



CENTRO DE ESTUDIOS ECONÓMICOS Y AMBIENTALES

¡10 Años apoyando la competitividad y el ambiente!

Tel/Fax: (506) 2835904; Tel: (506) 283 6627

100 M. Oeste de la Casa Presidencial. Zapote. San José. Costa Rica

Disponibilidad del Recurso Hídrico en Costa Rica

M.Sc. MARCOS ADAMSON-BADILLA

adamson.b@gmail.com

CONSULTOR SENIOR A CARGO DEL PROYECTO, ECONOMÍA AMBIENTAL

PhD. JULIO MASÍS

CONSULTOR SENIOR, HIDROLOGÍA

rivering.cr@gmail.com

Informe Final

CIESA

Febrero, 20010





CENTRO DE ESTUDIOS ECONÓMICOS Y AMBIENTALES

¡Un centro regional apoyando la competitividad y el ambiente!

Tel/Fax: (506) 22835904; Tel: (506) 2283 6627

100 M. Oeste de la Casa Presidencial. Zapote. San José. Costa Rica

MEMORANDUM

Para: Roberto Villalobos, Sub-director del IMN,
Coordinador Nacional, Proyecto Disponibilidad del Recurso Hídrico.
Fecha: 9 de febrero, 2010.
Asunto: Informe final proyecto de Disponibilidad del Recurso Hídrico.
De: Marcos Adamson, Consultor senior a cargo del proyecto, CIESA.

Me es grato hacerle llegar el Informe Final del proyecto "Disponibilidades del recurso hídrico en Costa Rica", el cual presenta el resultado para las 19 cuencas, y demás productos según los Términos de Referencia (ToR).

Como sabe, a pesar del esfuerzo del IMN y de CIESA, las instituciones no proveyeron la información según había sido previsto, y además el ICE no proveyó la información solicitada. Tal y como se discutió durante los talleres de trabajo conjuntos definiendo metodologías, esas contingencias fuera del control de CIESA, no permitieron obtener los estimados mensuales de las demandas. Sin embargo, como podrá verificar en el Informe los resultados y productos entregados, superan los inicialmente solicitados por los términos de referencia.

Si bien los ToR solicitaban los archivos digitales de mapas, podrá constatar que los desarrollados también superan los acordados. Según lo acordado durante nuestra conversación, debido a la organización por carpetas y subcarpetas temáticas, un técnico de nuestro dpto. de información estará haciendo las instalaciones respectivas en el equipo que le indiquen el sistema. Favor indicarme con qué persona coordinamos esta materia.

La presentación de este informe final, sigue literalmente el formato acordado con Usted en noviembre 12 del 2009 (adjunto su oficio) y por esa razón conserva la presentación seguida en el Informe anterior. Para la presentación de mapas se siguió al pie de letra la muestra que Usted nos proporcionó durante la presentación de la metodología, y por tanto numerados y referenciados como figuras. Cuadros, gráficos, figuras, diagramas se numeran independientemente también.

Para resaltar la presentación gráfica, CIESA presenta alguna información sobre nuestras capas DEM. Esto es para fines de presentación, ya que como sabe el contrato no estipula el desarrollo de DEM's. Como podrá observar el documento incluye una amplia revisión de documentos y bibliografía, considerada como necesaria. Debe tenerse en cuenta que una buena cantidad de los resultados se sustentan con los mismos resultados derivados a partir de los datos conjuntados para esta investigación.

El reporte está estructurado por secciones, cada sección por capítulos completos, es decir, que pueden ser tomados individualmente, ya que contienen sus anexos, bibliografía, etc., con objeto de facilitar su uso por parte del IMN. Es criterio de estos especialistas que sería muy relevante, para la GIRH, que el país disponga de un análisis con metodologías homogéneas, así como conjuntos de datos comparables, que permitan realizar comparaciones para los dos grupos de cuencas con propiedad.

Como de costumbre, nuestra empresa ha dado su mejor esfuerzo para que los productos entregados sean de la más alta calidad y rigurosidad metodológica. Aprovecho para solicitarle atentamente una reunión para agendar la presentación de resultados, y agradecemos su valiosa coordinación y el aporte de los funcionarios del IMN que participaron.

Cordialmente,

CC: Junta Directiva.
Asesoría Legal.
Archivo.

Desde 1999 ofreciendo soluciones para la Sostenibilidad, Algunas contribuciones:

1999. CIESA elaboró I Informe de Escenarios Económicos y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Costa Rica para IMN-MINAE. Presentando en reunión de las Partes en la Haya, Holanda. Costa Rica recibió felicitación por su Informe País.

En el 2003 CIESA desarrolló el estudio de factibilidad económica para un Fondo de Reconstrucción pos-desastre para 28 países de América Latina y el Caribe para la AEC, recibiendo felicitaciones del Comisionado del Reino de Gran Bretaña por los resultados.

En el 2003 CIESA fue seleccionada por la ARESEP para el desarrollo del estudio de definición de metodología y valoración económica e internacionalización de costos ambientales en los estudios tarifarios.

En el 2005 CIESA desarrolló para el CIAT el estudio de valoración económica de la introducción de semilla de arroz genéticamente modificada al país.

En el 2006 CIESA desarrolló para el SINAC-MINAE-PNUD-GEF el estudio Análisis y Valoración Económica y Financiera de la Sostenibilidad del Sistema de Áreas Protegidas de Costa Rica, Para una solicitud de un Financiamiento para un MSP. CIESA encontró que las áreas protegidas son económicamente sostenible, pero financieramente requieren lograr una mayor captura de recursos para asegurar su permanencia a largo plazo. El financiamiento solicitado con ese estudio para la Sostenibilidad de la ASP fue otorgado por el GEF.j

Generando innovación para Costa Rica, CIESA desarrolló el estudio de factibilidad para la producción de biodisel. Hoy en día Costa Rica produce biodisel.

Creando Mecanismos Económicos y Financieros de Sostenibilidad. Nuestro presidente M. Adamson desarrolló ad-hoc el proyecto para la creación del Fideicomiso Parque Nacional Manuel Antonio. Hoy día se ha pagado el 46% de tierras de este parque adeudadas a sus dueños, mostrando éxito...

Del 12 al 16 de Marzo, 2007, CIESA preparó la primera promoción nacional en metodologías de valoración económica ambiental.

2008. CIESA es seleccionada para desarrollar los estudios de Evaluación de la Mitigación ante el Cambio Climático, Escenarios Económicos; así como Opciones Tecnológicas para la Adaptación ante Cambio Climático; para IMN-PNUD-GEF.



Febrero 9 del 2010

Presentación

1. Este informe contiene los resultados de actividades y productos requeridos según los Términos de Referencia (ToR) para las cuencas de interés.
2. Debe indicarse que desde el punto de vista de construcción del modelaje econométrico e hidrológico, se requería disponer de un conjunto de datos base, inicialmente acordado con la Coordinación del Proyecto y solicitada a las instituciones a través del IMN, como medio formal, según se había previsto en la propuesta. Además CIESA trabajó fuertemente de manera simultánea en la obtención de información con la ayuda del IMN de varias instituciones, encontrándose importantes atrasos y conjuntos incompletos de información, lo cual finalmente atrasó el desarrollo de estos productos. Sin embargo, CIESA en conjunto con el IMN, encontró métodos para lograr superar estos obstáculos.
3. Este Informe Final presenta los resultados de la aplicación de dos grupos de novedosas metodologías para las estimaciones de disponibilidades hídricas (ofertas-demandas):
 - a) Para la estimación de las demandas CIESA presenta una novedosa metodológica aplicada a las demandas hídricas, al desarrollar un modelo de ecuaciones simultáneas, que permitió realizar estimaciones, con altos niveles de significancia estadística, de cantidades demandas de agua al 2030 por sector usuario y para tres escenarios económicos. A partir de estas estimaciones se precisa evolución de la demanda, el estado actual y su comportamiento futuro para el país, y para un conjunto de diecinueve cuencas. A diferencia con otros estudios de demanda hídrica, el método diseñado por CIESA permitió conocer estimados de elasticidades de la demanda de agua para consumo humano al ingreso per cápita, y las elasticidades de otras demandas a la producción agrícola, el nivel de turismo, relación demanda para hidrogenación y Producto Interno Bruto (PIB), consumos per cápitas, y otros indicadores de eficiencia del uso del recurso hídrico.
 - b) De lado del balance hídrico, CIESA también innova, metodológicamente al utilizar el concepto biotemperatura y zonas de vida de Holdridge; pero con la variante de su aplicación a nivel de celdas a través del uso de SIG, y permite por tanto obtener balances a nivel de cuenca, subcuencas o píxeles. La metodología fue validada y contrastada con otros resultados de balances obtenidos bajo otros métodos más demandantes en información. Como novedad, ofrece a una escala detallada, la estimación de balances, a un coto relativo bajo por área, y con creciente aplicación en cuencas con escasez de información. Este desarrollo dota al país de un método capaz de generar información de oferta, de una manera práctica, ya que se prepararon isoyetas y demás herramientas necesarias.

Desde 1999 ofreciendo soluciones para la Sostenibilidad, Algunas contribuciones:

1999. CIESA elaboró I Informe de Escenarios Económicos y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Costa Rica para IMN-MINAE. Presentando en reunión de las Partes en la Haya, Holanda. Costa Rica recibió felicitación por su Informe País.

En el 2003 CIESA desarrolló el estudio de factibilidad económica para un Fondo de Reconstrucción pos-desastre para 28 países de América Latina y el Caribe para la AEC, recibiendo felicitaciones del Comisionado del Reino de Gran Bretaña por los resultados.

En el 2003 CIESA fue seleccionada por la ARESEP para el desarrollo del estudio de definición de metodología y valoración económica e internacionalización de costos ambientales en los estudios tarifarios.

En el 2005 CIESA desarrolló para el CIAT el estudio de valoración económica de la introducción de semilla de arroz genéticamente modificada al país.

En el 2006 CIESA desarrolló para el SINAC-MINAE-PNUD-GEF el estudio Análisis y Valoración Económica y Financiera de la Sostenibilidad del Sistema de Áreas Protegidas de Costa Rica, Para una solicitud de un Financiamiento para un MSP. CIESA encontró que las áreas protegidas son económicamente sostenible, pero financieramente requieren lograr una mayor captura de recursos para asegurar su permanencia a largo plazo El financiamiento solicitado con ese estudio para la Sostenibilidad de la ASP fue otorgado por el GEF.j

Generando innovación para Costa Rica, CIESA desarrolló el estudio de factibilidad para la producción de biodisel. Hoy en día Costa Rica produce biodisel.

Creando Mecanismos Económicos y Financieros de Sostenibilidad. Nuestro presidente M. Adamson desarrolló ad-hoc el proyecto para la creación del Fideicomiso Parque Nacional Manuel Antonio. Hoy día se ha pagado el 46% de tierras de este parque adeudadas a sus dueños, mostrando éxito...

Del 12 al 16 de Marzo, 2007, CIESA preparó la primera promoción nacional en metodologías de valoración económica ambiental.

2008. CIESA es seleccionada para desarrollar los estudios de Evaluación de la Mitigación ante el Cambio Climático, Escenarios Económicos; así como Opciones Tecnológicas para la Adaptación ante Cambio Climático; para IMN-PNUD-GEF.

El reporte por tanto presenta los siguientes productos:

4. Del lado de la demanda, el análisis incluye la exposición detallada de la metodología, una revisión sobre la variación del consumo de agua (humano) en años secos, lluviosos y normales, una a revisión de la temática de concesiones por cuencas, principales concesionarios, etc. Adicionalmente, incluye un análisis a partir del SIG elaborado, que muestra la situación del país respecto las concesiones, su evolución a lo largo del tiempo, distribución por sector usuario, por fuente, por cuenca, principales concesionarios, incluye los mapas por cuenca y caudal, etc. Además, se dota al IMN con un SIG que incluye esa recopilación y sistematización de concesiones; la información de pozos, nacientes, niveles de extracción, etc. Incorpora los mapas de demandas.
5. Adicionalmente incluye un análisis de la situación, y mapas de ubicación de nacientes concesionadas, así como mapas de ubicación por cuenca y elevación, para las cuencas que aglutinan el 80% del caudal concesionado en nacientes.
6. Incorpora un análisis de la situación, mapas de concesiones por cuencas, y mapas de ubicación de pozos según elevación, para las cuencas que aglutinan el 80% del caudal concesionado.
7. Incluye un análisis sobre la información de pozos según los registros de SENARA, de los pozos existentes en el territorio nacional a partir del SIG elaborado y contradicciones resultantes de bases de datos en esta área.
8. Se entrega también una descripción del manejo de los sectores transporte fluvial, acuicultura y turismo-
9. Incluye la descripción sobre el recurso hídrico subterráneo (problemática, contaminación, etc.) para los principales acuíferos, y con mención especial a temas de conservación de los acuíferos existentes.
10. Contiene un análisis sobre la incertidumbre sobre cantidad de pozos que hay en Costa Rica.
11. La discusión y análisis metodológico para la estimación de los balances hídricos.
12. El análisis sobre la calidad de la información y las alternativas metodológicas, y la metodología seguida.
13. Se incorpora los resultados de las validaciones, y la estimación de la oferta hídrica potencial para las 19 cuencas objeto de estudio bajo tres condiciones climáticas (normal, seca y lluviosa), y el conjunto de mapas de ofertas mensuales.
14. Incluye los principales resultados de disponibilidades (totales y consuntivas) para las 19 cuencas, los mapas y además se agregan los resultados de IMTA para obtener un mapa integrado nacional de disponibilidades.
15. Se presenta una propuesta de indicadores y además la estimación de un conjunto de estos, en particular aplicados a la vulnerabilidades relativas para la satisfacción de necesidades de agua y mapas de estos.
16. Se incluye una sección dedicada a sintetizar problemas y amenazas caracterizados que identifican la condición de las cuencas y del recurso hídrico.
17. CIESA, agregó un análisis de factores estilizados de los problemas y amenazas,
18. Una sección de conclusiones globales y otra de recomendaciones.

Desde 1999 ofreciendo soluciones para la Sostenibilidad, Algunas contribuciones:

1999. CIESA elaboró I Informe de Escenarios Económicos y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Costa Rica para IMN-MINAE. Presentando en reunión de las Partes en la Haya, Holanda. Costa Rica recibió felicitación por su Informe País.

En el 2003 CIESA desarrolló el estudio de factibilidad económica para un Fondo de Reconstrucción pos-desastre para 28 países de América Latina y el Caribe para la AEC, recibiendo felicitaciones del Comisionado del Reino de Gran Bretaña por los resultados.

En el 2003 CIESA fue seleccionada por la ARESEP para el desarrollo del estudio de definición de metodología y valoración económica e internacionalización de costos ambientales en los estudios tarifarios.

En el 2005 CIESA desarrolló para el CIAT el estudio de valoración económica de la introducción de semilla de arroz genéticamente modificada al país.

En el 2006 CIESA desarrolló para el SINAC-MINAE-PNUD-GEF el estudio Análisis y Valoración Económica y Financiera de la Sostenibilidad del Sistema de Áreas Protegidas de Costa Rica, Para una solicitud de un Financiamiento para un MSP. CIESA encontró que las áreas protegidas son económicamente sostenible, pero financieramente requieren lograr una mayor captura de recursos para asegurar su permanencia a largo plazo. El financiamiento solicitado con ese estudio para la Sostenibilidad de la ASP fue otorgado por el GEF.j

Generando innovación para Costa Rica, CIESA desarrolló el estudio de factibilidad para la producción de biodisel. Hoy en día Costa Rica produce biodisel.

Creando Mecanismos Económicos y Financieros de Sostenibilidad. Nuestro presidente M. Adamson desarrolló ad-hoc el proyecto para la creación del Fideicomiso Parque Nacional Manuel Antonio. Hoy día se ha pagado el 46% de tierras de este parque adeudadas a sus dueños, mostrando éxito...

Del 12 al 16 de Marzo, 2007, CIESA preparó la primera promoción nacional en metodologías de valoración económica ambiental.

2008. CIESA es seleccionada para desarrollar los estudios de Evaluación de la Mitigación ante el Cambio Climático, Escenarios Económicos; así como Opciones Tecnológicas para la Adaptación ante Cambio Climático; para IMN-PNUD-GEF.

El informe incorpora un anexo digital con los archivos con toda la información,

En CIESA estamos muy complacidos de los resultados logrados. La calidad y precisión de las estimaciones permitió profundizar en muchos otros aspectos. Los hallazgos, conclusiones y recomendaciones potenciarán decididamente la gestión integrada del recurso hídrico en Costa Rica.

Aprovecho para agradecer la valiosa colaboración del Lic. Juan Carlos Fallas director del IMN-MINAE, el M.Sc. Roberto Villalobos; la Ing. Ana Rita Chacón, el Lic. Luis Alvarado, Lic. Wilkie Contreras y la M.Sc. Magda Campos, del IMN. En CIESA agradezco al Ing. Julio Masís, Ph. D., quien estuvo a cargo de la estimación de los balances hídricos, asistieron los economistas Leonardo Soto, Katherine Flores y la Srta. Laura Baldizón, y al técnico en SIG, Paul Vega que han asistido nuestro trabajo en CIESA. Los demás capítulos del informe fueron preparados por el economista Marcos Adamson. Un agradecimiento especial merece el Ph. D. Rafael Arce, quien facilitó siempre su especializado criterio y asesoría desinteresada.

Marcos Adamson Badilla, M.Sc.

**Consultor senior, CIESA
San José, 2010**

Introducción

El objetivo primordial de este trabajo es presentar un análisis sobre la disponibilidad del recurso hídrico en Costa Rica y sus proyecciones para el año 2030. Para su estimación es importante analizar dos componentes fundamentales: por un lado, la parte de demanda de agua a nivel de las cuencas solicitadas y a nivel agregado del país. El segundo elemento es el de oferta del recurso hídrico. En ambos casos, CIESA ofrece una metodología novedosa a las tradicionalmente utilizadas y presenta importantes resultados, bajo diferentes escenarios de crecimiento económico y condición climática.

Por un lado, introduce una metodología novedosa para la estimación de cantidades consumidas de agua por sector de consumo, con base en modelos estimados econométricamente para Costa Rica, con regresiones y niveles de significancia estadísticos, estimaciones de elasticidades y demás. Por otro, retoma el Método de Holdridge y lo modifica al aplicarlo utilizando métodos de SIG, con lo cual lleva el concepto de medición de ofertas hídricas a de zonas de vida propuesto por Holdridge.

Con base en los anteriores estimados, se realizan los estimados de las disponibilidades presente y futura para diferentes escenarios potenciales, con objeto de generar información para potenciar la gestión integrada del recurso hídrico (GIRH) en Costa Rica.

Dado este objetivo, este Informe Final sobre la disponibilidad del recurso hídrico en Costa Rica, se encuentra conformado por tres secciones fundamentales:

- *La primera, se enfoca en la estimación del consumo de agua y abarca desde las concesiones históricas, número de pozos y nacientes, temas sobre gestiones del recurso hídrico, informe sobre los principales acuíferos del país, hasta concluir con el capítulo de estimación y análisis de la demanda del agua para Costa Rica.*
- *La segunda abarca lo referente a la Oferta hídrica de las cuencas objeto de estudio, este presenta el balance hídrico a nivel mensual y anual, el cual se analiza desde el punto de vista climático.*
- *La última sección presenta los resultados finales sobre disponibilidad y un interesante análisis a nivel nacional y per cápita por cuenca según escenario climático y económico. A su vez ofrece un capítulo dedicado a proponer indicadores para monitorear cambios en el balance hídrico y vulnerabilidad de la disponibilidad. Adicionalmente se incluye un capítulo enfocado sobre los problemas y amenazas de las cuencas. La sección finaliza con una serie de conclusiones y recomendaciones finales.*

La información condensada en este reporte ofrece un panorama analítico y resultados empíricos, así como proyecciones al 2030, sobre el acervo hídrico nacional, que demandan la reflexión y toma de decisiones impostergables para no solo reducir la vulnerabilidad del recurso hídrico al cambio climático; sino también para asegurar su sostenibilidad.

M.Sc. Marcos Adamson-Badilla,

Consultor senior a cargo del proyecto, CIESA, enero, 2010.

Tabla de Contenido

Introducción.....	1
SECCIÓN I: Estimación de Demandas Hídricas.....	3
1. Consideraciones iniciales.....	5
2. Metodología seguida en la sistematización de información a utilizar en el análisis de concesiones, estimación de consumos y demandas de agua.....	6
2.1. Sistematización de la información de agua potable para consumo (AyA, ESPH).....	9
2.1.a. Base de datos del A y A.....	9
2.1.b. Base de datos de la ESPH.....	12
2.2. Georeferenciación por cuenca de consumo de agua de AyA y ESPH.....	15
2.3. Método de verificación de variaciones en consumo de agua en años secos, normales y lluviosos.....	16
2.3.a. Cuenca de Moín.....	18
2.3.b. Cuenca de Chirripó.....	20
2.4. Metodología de las Estimaciones de demanda.....	22
2.4.a. Modelación de los sectores económicos.....	22
2.4.b. Estimaciones de demanda de agua por sector usuario.....	25
2.4.c. Metodología para la estimación de la demanda de energía.....	28
2.4.d. Estimación del caudal destinado a riego.....	26
2.4.e. Metodología de la distribución de demanda de agua total del país por cuenca.....	34
Bibliografía.....	38
Anexo 2.1.A.....	39
Anexo 2.2.B.....	42
3. Concesiones de Agua en Costa Rica.....	51
3.1. Evolución de las concesiones en Costa Rica.....	51
3.2. Concesiones por cuenca.....	52
3.3. Distribución de caudal concesionado por sector productivo.....	56
3.4. Distribución de concesiones por fuente.....	58
3.5. Concesiones excluyendo el sector de hidroenergía.....	58

3.6. Principales concesionarios (excluyendo ICE, A y A, ESPH) a nivel nacional por sector de uso.....	61
3.6.a. Sector Energía.....	61
3.6.b. Sector Agricultura.....	61
3.6.c. Sector Consumo.....	62
3.6.d. Sector Industrial.....	62
Anexo 3.1A.....	67
Anexo 3.2.A.....	68
4. Nacientes en Costa Rica.....	69
4.1. Análisis por cuencas del 80% del caudal concesionado en nacientes.....	72
4.1.a. Tárcoles.....	72
4.1.b. Reventazón.....	74
4.1.c. Parrita.....	76
4.1.d. San Carlos.....	78
4.1.e. Térraba.....	80
Anexo 4.1A.....	83
Anexo 4.2A.....	84
5. Pozos en Costa Rica.....	85
5.1. Análisis por cuencas del 80% del caudal concesionado en pozos.....	89
5.1.a. Tárcoles.....	89
5.1.b. Península de Nicoya.....	91
5.1.c. Tempisque.....	93
5.1.d. Reventazón.....	95
5.1.e. Bebedero.....	97
Anexo 5.1A.....	100
Anexo 5.2A.....	101
6. ¿Cuántos pozos hay en Costa Rica?.....	102
7. Gestión y manejo del recurso hídrico en el sector transporte y navegación fluvial, desarrollo turístico, recreación y fomento piscícola.	104
7.1. Gestión del Recurso Hídrico.....	104
7.2. Propuesta de Ley del Recurso Hídrico.....	104
7.3. ¿Se aplican las leyes?.....	106
7.4. Transporte y Navegación Fluvial.....	107
7.4.a. Descripción del Sector.....	107
7.4.b. Legislación y Regulación.....	110
7.4.c. Situación del Recurso Hídrico.....	112

7.5. Desarrollo Turístico.....	112
7.5.a. Descripción del Sector.....	112
7.5.b. Legislación y Regulación.....	114
7.5.c. Situación del Recurso Hídrico.....	118
7.6. Actividades Recreativas.....	120
7.6.a. Descripción del Sector.....	120
7.6.b. Situación del Recurso Hídrico.....	121
7.7. Fomento piscícola (acuicultura de peces).....	122
7.7.a. Descripción del Sector.....	122
7.7.b. Legislación y Regulación.....	128
7.7.c. Situación del Recurso Hídrico.....	130
Bibliografía.....	131
Anexo 7.1A: Mapas con rutas de Cabotaje.....	134
Anexo 7.2A: Estadísticas de Turismo en Costa Rica.....	135

8. Consideraciones sobre el manejo y gestión de los acuíferos en Costa Rica.....137

8.1. Acuíferos de mayor relevancia en Costa Rica.....	138
8.2. Acuíferos continentales.....	140
8.2.a. Acuíferos Del Valle Central.....	140
8.2.b Zona de Guanacaste.....	146
8.3. Acuíferos costeros.....	150
8.3.a Acuífero de Banano, Zona de Limón.....	150
8.3.b. Acuífero la Bomba, cuenca del río Banano, zona de Limón.....	153
8.3.c Zona de Puntarenas.....	155
8.4. Protección de los acuíferos dentro de las Cuencas de estudio.....	159
Bibliografía.....	166

9. Demanda de agua en Costa Rica.....168

9.1. Consideraciones de fondo de las estimaciones de demanda.....	168
9.2. Demanda total de agua incluido el sector energía: histórico y proyecciones.....	172
9.3. Demanda total de agua excluido el sector de energía: histórico y proyecciones.....	176
9.4. Consumo total per cápita de agua (consuntivo y no consuntivo).....	178
9.5. Intensidades económicas hídricas.....	183
9.5.a. Consumo per cápita vs PIB per cápita.....	183
9.5.b. Consumo de agua/PIB total.....	184
9.5.c. PIB agrícola /Consumo de agua para riego.....	186
9.5.d. Turistas/demanda de agua del sector turismo.....	187
9.5.e. PIB de la economía/ Consumo de agua en el sector energía.....	187

9.6. Demanda de agua por sector: histórico y proyecciones	188
9.6.a. Demanda total de agua por sector de uso	188
9.6.b. Demanda por sector en cada una de las cuencas	196
9.6.c. Algunas consideraciones sobre la demanda de agua por turismo	202
9.6.d. Demanda de agua para consumo humano	203
9.7. Demanda total (consuntiva y no consuntiva) para cada las cuencas analizadas	210
9.8. Una Estimación sobre la extracción de agua de pozos de las cuencas objeto de estudio	221
9.8.a. Extracción anual	222
9.8.b. Extracción por sectores de uso	224
Bibliografía	227
Anexos 9.3. A	228

SECCIÓN II: Estimación De Balances Hídricos.....229

10. Generalidades y Aspectos Metodológicos.....231

10.1. Consideraciones Iniciales	231
10.2. El balance hídrico como herramienta de planificación	232
10.3. Metodologías tradicionales aceptadas para el balance hídrico de una cuenca	233

11. Consideraciones de la calidad de la información y alternativas metodológica.....234

11.1. Factibilidad de aplicar metodologías tradicionales a las 19 cuencas	234
11.1.a. Estimación de la oferta hídrica	234
11.1.b. Cuantificación y determinación de los usos del agua	234
11.2. Propuesta Metodológica para el Balance Hídrico en las 19 Cuencas	235
11.2.a. Cualidades requeridas del método a utilizar	235
11.2.b. Método Indirecto basado en el movimiento del agua en asociaciones climáticas	235
11.3. Consideraciones finales del capítulo	242

12. Adaptación de la metodología de Holdridge en un sistema de información geográfica (SIG)243

12.1. Ventajas de la plataforma SIG para la estimación de balances hídricos con la metodología de Holdridge	243
12.2. Implementación en las 19 cuencas	243
12.2.a. Adaptación y modificación de la metodología	244
12.2.b. Selección de escenarios	250

12.2.c. Limitaciones de la metodología.....	252
12.2.d. Interpolación espacial de la lluvia de cada año escenario.....	252
12.2.e. Obtención de los balances hídricos a nivel mensual.....	253
12.3. Consideraciones finales del capítulo	256
13. Resultados de la validación y aplicación a cuencas de las regiones climáticas	
Caribe Sur y Norte.....	258
13.1. Cuencas consideradas para la validación.....	258
13.2. Ejemplo de los productos y secuencia de cálculo para la cuenca del río Pacuare.....	259
13.2.a Modelo de elevación digital	259
13.2.b. Trazado de isoyetas e interpolación de la lluvia para los años escenario.....	259
13.2. c. Estimación de la Evapotranspiración Potencial (EVTP).....	259
13.2. d. Estimación de la Evapotranspiración Real (EVTR).....	260
13.2. e. Estimación del Escurrimiento Total Anual (ESC).....	260
13.3. Ejemplo de los productos y secuencia de cálculo para otras cuencas.....	267
13.3.a. Caso cuenca del río La Estrella.....	267
13.3.b. Caso de la cuencas de los ríos Frio y Naranjo.....	268
13.4. Evaluación de los resultados.....	273
13.5. Consideraciones finales del capítulo	277
14. Estimación de la Oferta Hídrica Potencial en las 19 cuencas a nivel anual y mensual	278
14.1. Estimaciones resultantes del balance hídrico en las 19 cuencas.....	278
14.2. Caudales específicos obtenidos y rangos de variación por región climática.....	280
14.3. Obtención de las esorrentías mensuales para cada escenario en las 19 cuencas.....	281
14.4. Comparación de los órdenes de magnitud de los volúmenes de precipitación areal con otros estudios de balance hídrico a nivel anual.....	297
14.5. Comparación de los balances hídricos obtenidos para el escenario normal en las 19 cuencas, con otros estudios de balance hídrico a nivel anual.....	299
14.5.a. Diferencias en las estimaciones de los volúmenes de precipitación areal.....	299
14.5.b. Diferencias en los valores de Evapotranspiración Real.....	302
14.5.c. Comparación de las estimaciones IMTA (2008), con los estudios UNESCO 1993 y 2008, para 15 cuencas prioritarias.....	303
14.6. Consideraciones finales del capítulo.....	304
Bibliografía.....	306
Anexo 14.2 A.....	307

SECCIÓN III: Estimación De Balances Hídricos.....	308
15. Disponibilidades.....	310
16. Propuesta de indicadores.....	325
16.1. Discusión sobre las relaciones entre el IDH, Vulnerabilidad y Adaptabilidad del Sistema Hídrico ante los Riesgos frente al Cambio Climático.....	325
16.2. Recomendaciones sobre indicadores.....	328
16.3. Otros indicadores recomendados.....	330
16.3.a. Módulo 1: Concentración y acceso al recurso a través de las concesiones.....	331
16.3.b. Módulo 2. Indicadores de eficiencia económica hídrica.....	332
16.3.c. Módulo 3. Indicadores de disponibilidad y vulnerabilidad relativa para satisfacción de necesidades de agua.....	335
17. Problemas y amenazas.....	348
17.1. Problemas y amenazas para la calidad y cantidad del recurso hídrico en las 19 cuencas.....	348
17.2. Resumen de elementos estilizados de la problemática y amenazas	352
17.1.a. Triple concentración de disponibilidad (de oferta, demanda y disponibilidad explicado en la sección de disponibilidad).....	352
17.1.b. Inexistencia de diseño de instrumentos económicos resultantes y ligados a las ofertas, demandas y disponibilidades relativas entre cuencas.....	353
17.1.c. Gestión y Monitoreo del Recurso Hídrico.....	354
Bibliografía.....	355
18. Conclusiones.....	356
19. Recomendaciones.....	361

SECCIÓN I

ESTIMACIÓN DE DEMANDAS HÍDRICAS

1. Consideraciones iniciales

Esta sección detalla la metodología y procesamiento de datos con objeto de obtener caudales concesionados por cuenca, por fuente y sector. El trabajo de revisión y complementación de la base de datos del Departamento de Aguas del MINAET fue intensivo, identificando datos faltantes, reclasificando concesiones con base en sus coordenadas y ubicándolas en las cuencas que efectivamente corresponden; así como complementando la información en aquellos casos en los cuales esa base de datos no incluye aún los concesiones para consumo de agua potable; caudales turbinados, así como para riego.

Esta sección incorpora la discusión de metodología para la estimación de los aspectos de demanda. Incluye un análisis de la sensibilidad del consumo de agua potable ante años secos y lluviosos respecto a años normales; un análisis detallado de las concesiones de agua; un análisis exclusivo para nacientes, y otro para pozos, para los cuales se diseñó un SIG. Posteriormente, se presentan aspectos relativos a la GIRH y el sector transporte y navegación fluvial, desarrollo turístico, recreación y fomento piscícola. Se continúa con una caracterización de la problemática, contaminación y otros aspectos de acuíferos.

Finalmente, la sección termina con un análisis detallado de la demanda de agua a nivel agregado de Costa Rica y para las 19 cuencas objeto de estudio. Dicha sección incluye diversos temas como: estimaciones econométricas, estimaciones totales de demanda de agua consuntiva y no consuntiva (en dos regímenes de aprovechamiento) y sus respectivos análisis per cápita, algunas intensidades económicas. Además, incluye demandas por sector de uso y la estructura de la demanda de agua para estas cuencas, crecimiento de las demandas a nivel histórico y proyectado. Por último, expone las demandas totales y per cápita para cada una de las 19 cuencas de estudio.

2. Metodología seguida en la sistematización de información a utilizar en el análisis de concesiones, estimación de consumos y demandas de agua

Para el desarrollo de este trabajo se utilizó como fuente de información la base de datos de concesiones del Departamento de Aguas del MINAET. Además, se complementó dicha información con la proveniente de bases de datos del SENARA, de la del consumo de agua potable provista por el AYA y la ESPH y por las estimaciones que hizo CIESA de caudales turbinados por los diferentes proyectos hidroeléctricos del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

Los sectores usuarios de las concesiones contenidos en la hoja electrónica provista por la base de datos del Departamento de Aguas del MINAET estaban subdivididos en:

- Acueducto Rural
- Agroindustria
- Agropecuario
- Comercio
- Hidráulico (generación hidroeléctrica)
- Consumo
- Industria
- Riego
- Turismo

Para efectos de este trabajo, después de varias consideraciones se acordó con el equipo del proyecto en el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) agregar en seis sectores que resumen y engloban las anteriores categorías de usos:

- Consumo humano: Es la suma de Acueducto Rural y Consumo.
- Agricultura: Es la suma de Agropecuario y Riego.
- Industria: Es la suma de Industria y Agroindustria.
- Comercio.
- Energía: Hidráulico.
- Turismo.

Estas categorías indican el caudal concesionado para 32 cuencas hidrográficas. En el caso de las cuencas *Changuinola* y *Cureña* no existe registro de concesiones para ningún tipo de actividad. Los caudales concesionados por año en este registro, originalmente se encuentra en litros por segundo, para efectos de este trabajo, se mostrarán en l/s, m³ o hm³, según se requiera.

Además, este registro toma en cuenta las concesiones que hasta diciembre del 2008 *estaban vigentes*. Por tanto, esa base de datos subestima el consumo concesionado, ya que no incluye las concesiones otorgadas que expiraron en otros períodos previos (denominadas como el “cementerio de concesiones”) y tampoco las que ha esa fecha ya pudieron haber sido aprobadas pero aún o estaban digitadas así como tampoco las que se encontraban en trámite. Los resultados de consumo de recurso hídrico según uso se mostrarán de forma acumulada.

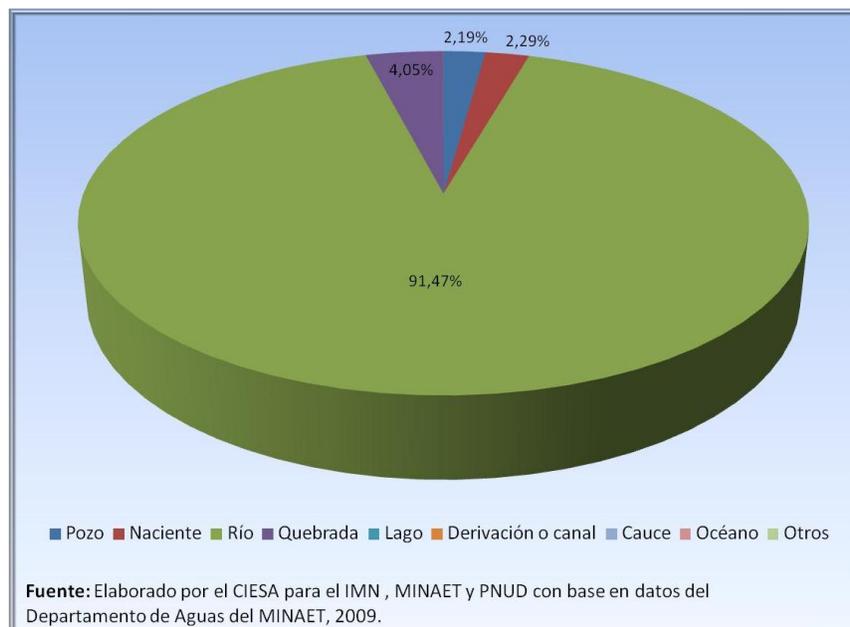
De igual forma como se indican las diferentes categorías de uso de los caudales concesionados, se indica la fuente de la cual procede la concesión, según la información proporcionada por el Dpto. de Aguas del MINAET. Específicamente, la información por fuente venía clasificada de la siguiente forma:

- Cauce
- Derivación o canal
- Lago
- Nacimiento
- Océano
- Pozo
- Quebrada
- Río
- Otros

La base de datos de concesiones no incluye un detalle metodológico que aborde las definiciones tipológicas respectivas; ni los parámetros que utilizan para clasificar las fuentes (que expliqué conmensurada y/o cualitativamente en qué se diferencia un cauce de un río y de una quebrada, para citar tan solo un ejemplo).

De estos usos, según *la cantidad de caudal* concesionado para todo Costa Rica, la fuente de la cual proviene la mayor cantidad de caudal es el Río con un 91,47 por ciento de participación sobre el total, seguido de quebradas (4,05 por ciento), Naciente (2,29 por ciento) y Pozo (2,19 por ciento) como los principales, el resto de fuentes si presentan concesiones pero su participación en el total es prácticamente insignificante (gráfico 2.1).

Gráfico 2.1. Costa rica: Participación relativa del caudal concesionado por fuente (1929-2008)



La base de datos de concesiones del MINAET, a diciembre del 2008 consta 7477 registros. De estos se excluyeron 6: cinco de ellos al geoposicionarse se ubican fuera del territorio nacional y otra es una concesión por uso de agua marina.

La base de datos de concesiones no incorpora las concesiones de agua otorgadas a Acueductos y Alcantarillados (AyA) y la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH) para la distribución de agua potable, la cual representa una importante cantidad de agua utilizada para el consumo humano. Además, dicha base de datos tampoco incorpora a diciembre del 2008, el detalle de las aguas turbinadas en la hidrogenación por parte del ICE ni la información detallada de los caudales utilizado en los proyectos de riego y avenamiento de mayor envergadura.

Por lo anterior se hizo necesario requerir información de diversas instituciones. Sin embargo, debido a que la información proporcionada por las instituciones no incorporaba el detalle solicitado y aunado a que, por diversas razones, el ICE no proveyó al Instituto Meteorológico Nacional (IMN) con la información histórica de caudales turbinados mensuales por proyecto y la información de estaciones meteorológicas, el proyecto se rezagó y además no fue posible estimar el consumo mensual.

El análisis de concesiones que se presenta en el capítulo 3, primera sección, se realiza sobre la base de datos del MINAET. Esto con objeto de no incorporar información ajena a esa base de datos en el análisis de concesiones solicitado como un producto específico.

2.1. Sistematización de la información de agua potable para consumo (AyA, ESPH)

En el análisis, estimación y modelación del consumo de agua nacional, se incorpora la información complementaria (AyA, ESPH, caudales turbinados y riego), con objeto de mostrar estimaciones reales de consumo, y asegurarse de que los pronósticos resultantes de los modelos también incorporen las demandas de esos sectores. Este análisis se presenta en el Capítulo 9.

Para complementar la información del componente de agua potable, se utilizaron como fuentes de información adicional, el registro de consumo mensual de agua potable del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) desde el año de 1999 (mayo) al 2009 (mayo) de forma mensual según los diferentes regímenes. Además, también se trabajó el registro de consumo de agua potable de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH) desde el año de 2000 al 2009 (junio) de forma mensual según el tipo de régimen; y el registro de concesiones del Departamento de Aguas del MINAET desde el año de 1929 hasta el 2008 a nivel de cuenca. Este último registro toma en cuenta las concesiones de agua potable de Asociaciones Administradoras de Acueductos Rurales (ASADAS) y Municipalidades.

2.1.a. Base de datos del A y A

La base de datos del A y A contiene el consumo de agua potable en m³ a partir de mayo de 1999 hasta mayo del 2009, las observaciones son mensuales. La información está distribuida por lo que definen “distrito”, en total el A y A reporta 184 distritos en la base de datos¹, sin embargo estos no necesariamente corresponden a la división política administrativa de distritos oficiales del país.

La información se organizó por año. Para cada año, se ordenó el consumo mensual para cada distrito abastecido por A y A, de la siguiente manera:

Cuadro 2.1. Costa Rica: Consumo mensual de agua potable. Distritos de de Alajuela y San Ramón. 2009

Provincia	Cantón	Distrito	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Alajuela	Alajuela	Aeropuerto	21.795	20.802	21.105	20.349	41.894
Alajuela	Alajuela	Pasito	463.800	412.932	421.995	505.785	456.202
Alajuela	Alajuela	Guácima	49.988	49.165	49.421	52.790	46.834
Alajuela	San Ramón	Piedades Norte	14.932	11.649	12.490	16.401	13.393
Alajuela	San Ramón	Barrio Bolivar	30.968	26.895	28.194	32.617	26.902
Alajuela	San Ramón	San Ramón	162.823	140.925	145.797	160.009	161.474
Alajuela	San Ramón	San Juan	49.390	44.157	44.134	52.134	47.146

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, Ciesa para el IMN, MINAET y PND, son datos del AyA, 2009

¹ Ver Anexo 2.1A: Distritos reportados por AyA.

A partir de esa base de datos en digital -que proporcionó AyA primero al IMN y esté a su vez a CIESA- se calculó el consumo anual por distrito y el consumo total por mes por año de agua consumida y distribuida por el AyA. La información no venía organizada por cuenca.

Es importante señalar que para el mes de setiembre del año 2002, la información no reporta ningún dato de consumo de agua potable. Estos datos se calcularon estimando el consumo promedio de agua para el mes de setiembre de los cuatro años más cercanos al 2002. Con el total de consumo para el mes de setiembre se procedió a distribuir este total entre los diferentes distritos. Se utilizó como ponderador, el promedio del consumo relativo para los diferentes distritos, para los meses de junio, julio, agosto, octubre, noviembre y diciembre.

División del consumo por sectores según sector tarifario AyA

El consumo de agua potable, posteriormente, se dividió por sector de consumo de acuerdo con la clasificación brindada por AyA. Los sectores no venían reportados según fuera domiciliario, económico e institucional. Las proporciones de consumo se estimaron con base en las estadísticas del sector de agua de la página de internet de ARESEP. Estas estadísticas son suministradas por A y A y están disponibles para los años 2003, 2004 y 2005.

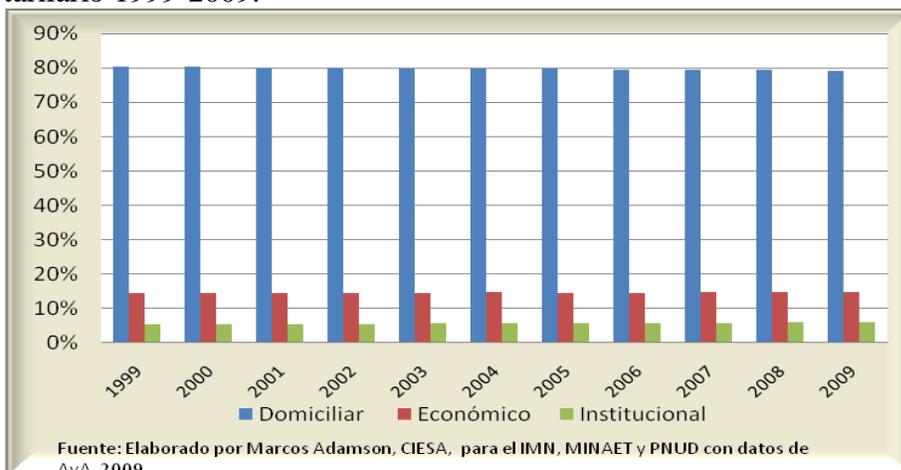
Es importante señalar que para el agua distribuida por el AyA, las proporciones de consumo de agua potable para cada sector se basan en el total de agua consumida distribuida por el AyA en el año por todos los cantones. Es decir, no se cuenta con las proporciones de consumo por sector para cada distrito o cantón, sino que se utilizó las proporciones del total para todos los distritos. Esto tiene una debilidad y es que existen distritos donde el 100% del agua potable es para consumo domiciliario, otros donde el consumo del sector económico es mayor.

Cuadro 2.2. A y A: Proporciones de consumo de agua potable por sector tarifario, años 2003, 2004, 2005.

	2003	2004	2005
Domiciliar	79,87%	79,67%	79,67%
Económico	14,53%	14,72%	14,59%
Institucional	5,60%	5,61%	5,74%

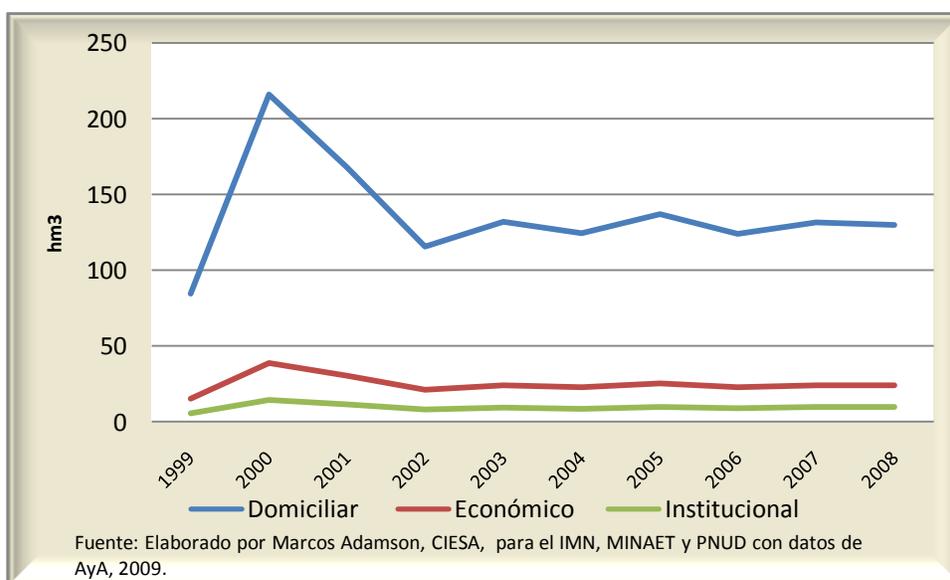
Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con datos del ARESEP, 2009

Gráfico 2.2. Costa Rica: A y A: Proporciones de consumo de agua potable por sector tarifario 1999-2009.



Solamente se cuenta con las proporciones para esos tres años. Por tanto, se procedió a estimar una proporción para los años 1999- 2002 y 2006- 2009. Para proyectar las proporciones en los años restantes, se calculó una tasa de crecimiento promedio a partir de las proporciones dadas. Posteriormente, se ajustaron las proporciones de tal forma que la suma de las tres ajustara el 100%.

Gráfico 2.3. Costa Rica: A y A: Provisión total de agua potable para consumo por sector tarifario en millones de hm³, 1999-2008.



Cuadro 2.3. A y A: Consumo Total de Agua Potable por sector tarifario en m³ 1999-2008

	Domiciliar	Económico	Institucional
1999	84.499.604	15.144.468	5.598.928
2000	215.901.663	38.824.068	14.511.909
2001	167.453.131	30.236.917	11.417.259
2002	115.573.556	20.938.495	7.991.020
2003	131.825.104	23.981.705	9.242.777
2004	124.222.316	22.951.581	8.747.172
2005	137.015.488	25.091.703	9.871.582
2006	124.017.165	22.805.067	9.056.558
2007	131.346.546	24.232.826	9.719.578
2008	129.630.784	24.017.803	9.737.831
2009	58.356.913	10.848.023	4.440.840

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA, para el IMN, MINAET y PNUD con datos de AyA, 2009.

2.1.b. Base de datos de la ESPH

Los datos utilizados para el consumo de agua potable para los distritos abastecidos por la ESPH en la provincia de Heredia, se obtuvieron de la página de internet de la ARESEP y de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH), entidad que cooperó enviando la información solicitada.

La información obtenida de ARESEP incluye el consumo de agua potable reportada para una clasificación sectorial de la siguiente forma: domiciliario, reproductivo, ordinario, preferencial y el sector gobierno. El consumo está dado en m³, con datos mensuales para los años 1998-2005.

La información suministrada por la ESPH indica el consumo de agua potable por cantón, por año (no mensualmente) y por sector (domiciliar, económico e institucional). El periodo de los datos va del 2000 hasta julio del 2009.

Para distribuir los datos suministrados por la ESPH por mes se obtuvo la distribución relativa por mes por año tomando como base la información de la ARESEP. Con la distribución relativa, se procedió a distribuir el total anual en los diferentes meses del año. De esta manera se obtuvo la información por mes, sector, año y por distrito.

División del consumo por categoría

Como se indicó, la información de la ESPH contiene el consumo de agua potable por año por sector para cada cantón de los administrados por la ESPH en la provincia de Heredia. De esta manera, el consumo por sector para los cantones de Heredia sí muestra de una forma más acertada el consumo de los sectores (económico, institucional, domiciliario) en cada cantón.

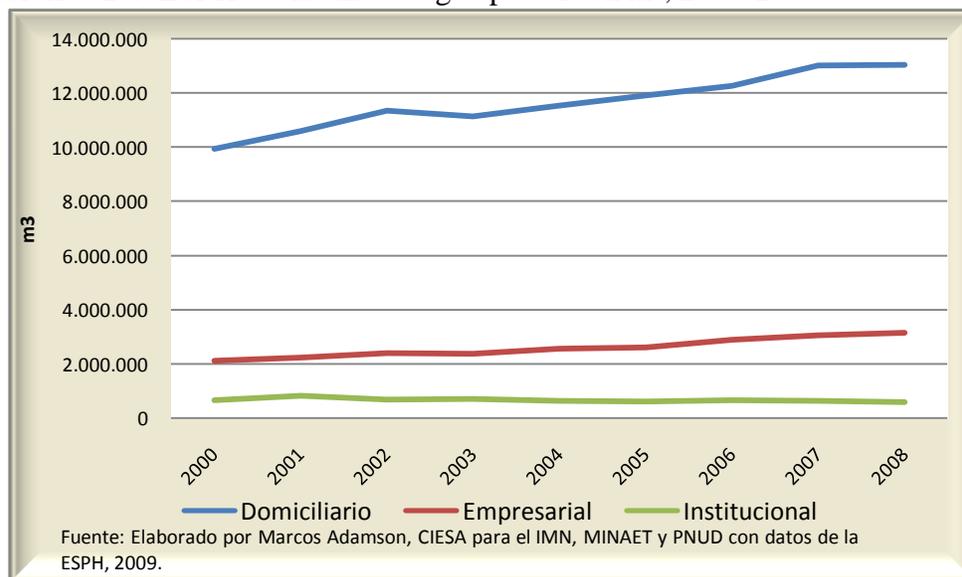
Cuadro 2.4. ESPH: Distribución del consumo por cantón de la provincia de Heredia según categoría, 2008.

Distribución de Consumo de Agua Potable por sector tarifario, 2008			
Cantón	Domiciliaria	Empresarial	Institucional
Barva	91,92%	7,36%	0,72%
Flores	98,82%	1,18%	0,00%
Heredia	72,04%	24,06%	3,90%
San Isidro	89,35%	5,68%	4,97%
San Pablo	66,33%	31,68%	1,99%
San Rafael	93,76%	4,13%	2,11%
Belén	100,00%	0,00%	0,00%
Santa Bárbara	100,00%	0,00%	0,00%
Santo Domingo	62,10%	37,90%	0,00%

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con datos de la ESPH, 2009.

Se puede resaltar que el cantón que proporcionalmente consume más agua potable para el sector empresarial es Santo Domingo, seguido por San Pablo y Heredia. Los cantones de Belén y Santa Bárbara consumen el 100% del agua potable en el sector domiciliario.

Gráfico 2.4. ESPH: Consumo de agua potable en m³, 2000-2008



Cuadro 2.5. ESPH: Consumo de Agua Potable por sector en m³, 2000-2009

	Domiciliario	Empresarial	Institucional
2000	9.951.743	2.116.484	673.018
2001	10.605.486	2.227.016	835.294
2002	11.361.350	2.404.841	687.842
2003	11.137.348	2.377.047	709.330
2004	11.546.932	2.558.318	652.405
2005	11.917.168	2.619.132	620.130
2006	12.262.352	2.896.528	664.763
2007	13.017.511	3.056.885	643.373
2008	13.034.454	3.156.553	595.968
2009 ^{a/}	8.422.105	1.883.175	424.424

a/Consumo hasta julio, 2009

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con datos de la ESPH, 2009.

Consumo de Agua: A y A y ESPH

Con el agregado de consumo por año se elaboró un subtotal (CT) de agua distribuida para consumo por ambas instituciones, AyA y la ESPH.

$$CT = C_{AYA} + C_{ESPH}$$

A partir del CT se obtuvo el consumo relativo para observar la importancia relativa de las instituciones. El cuadro 2.6 muestra los resultados obtenidos.

$$Proporción\ AyA = \frac{C_{AyA}}{CT}$$

$$Proporción\ ESPH = \frac{C_{ESPH}}{CT}$$

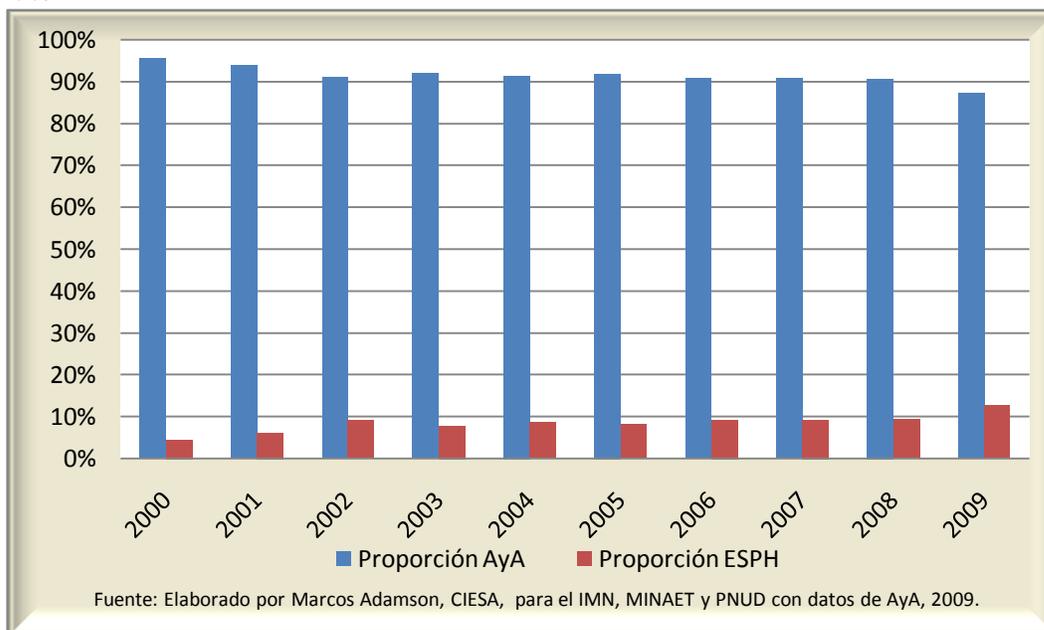
Cuadro 2.6. Consumo de agua potable en m³. Valores absolutos y relativos: A y A y ESPH, 2000-2009

	Consumo AyA	Consumo ESPH	Consumo Total	Proporción AyA	Proporción ESPH
2000	269.237.639	12.741.245	281.978.884	95,5%	4,5%
2001	209.107.307	13.667.796	222.775.103	93,9%	6,1%
2002	144.503.071	14.454.033	158.957.104	90,9%	9,1%
2003	165.049.586	14.223.725	179.273.311	92,1%	7,9%
2004	155.921.069	14.757.655	170.678.724	91,4%	8,6%
2005	171.978.772	15.156.430	187.135.202	91,9%	8,1%
2006	155.615.270	15.823.643	171.438.913	90,8%	9,2%
2007	165.298.950	16.717.769	182.016.719	90,8%	9,2%
2008	163.386.418	16.786.975	180.173.393	90,7%	9,3%
2009	73.645.776	10.729.704	84.375.480	87,3%	12,7%

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA, para el IMN, MINAET y PNUD con datos de AyA, 2009.

Se puede observar como el abastecimiento relativo de agua potable por parte de la ESPH ha aumentado en el periodo 2000-2009. Esto puede explicarse, en parte a que cubre más distritos actualmente que en el año 2000.

Gráfico 2.5. Proporción de abastecimiento de agua potable en m³ por institución, 1999-2009.



2.2. Georeferenciación por cuenca de consumo de agua de AyA y ESPH

Para los registros de agua potable anteriormente mencionados, existe la limitante de que estos se encuentran referenciados por “distrito”. Sin embargo, es necesario disponer los consumos de agua potable a nivel de cuenca.

Para poder disponer de estos registros por cuenca, se emplearon recursos como fotos satelitales de TerraMetric, DigitalGlobe, GeoEye, Google Earth y NASA para ubicar diferentes distritos. Además se utilizaron mapas 1:50000 del IGN con los cuales también fue posible localizar poblados y distritos atendidos por el AyA y la ESPH. En los casos en que el AyA y la ESPH utilizan 2 sectores como un solo distrito integrado, y que según la división político-administrativa de Costa Rica pertenecen a diferentes cantones, se optó por un cálculo estadístico de las coordenadas promediando una coordenada común para el sector distrito del AyA y la ESPH.

Una vez obtenidas todas las coordenadas fue necesario unificarlas en un solo sistema de coordenadas, así como el datum y el sistema de proyección. Todas aquellas coordenadas geográficas fueron transformadas al sistema de coordenadas de Costa Rica, LCRN y CRTM05. Para las transformaciones de datum de Ocotepeque a CRTM05 (WGS84) se utilizó los parámetros publicados por el Catastro Nacional y la Unidad Ejecutora del Programa de Regularización Catastro-Registro.

Una vez obtenidas las coordenadas se procede a unificar las bases de datos, aquellas que contienen las coordenadas y los datos de consumo para que pueda ser utilizable por el Sistema de Información Geográfico (SIG) y así representar los datos de consumo mensual según el abastecimiento que brinda el AyA y la ESPH a estos sectores del país.

Mediante el sistema de proyección y coordenadas con el cual se trabaja la capa de distritos AyA y ESPH es posible localizarlos en una cuenca utilizando la ubicación geográfica de los distritos de abastecimiento de ambas instituciones por medio del límite de la cuenca respectiva. Este método consiste, en sobreponer dos capas de diferente información para así obtener una nueva capa en la cual es posible determinar cuáles distritos quedan inmersos en el área de cada cuenca, así distribuir los consumos de agua potable a nivel de cuenca.

Al haberse distribuido los consumos, se unificaron los datos aquí descritos con los caudales concesionados inmersos en la base de datos del Departamento de Aguas del MINAET. Pero hay que señalar, que a causa de que este último registro fue provisto por ese Dpto. en litros por segundo, se utilizó un régimen de aprovechamiento para poder unir los datos del AYA y los de la ESPH los cuales se encuentran en m^3 . Se seleccionó un régimen de aprovechamiento 12 horas diarias de consumo de agua potable y en otros casos se estima también para uno de 12 horas. Posteriormente, se unificó las bases de datos del Departamento de Aguas del MINAET con los consumos de agua potable del AYA y la ESPH, los resultados de esta integración, y la de caudales de riego se presentan en el capítulo 9.

2.3. Método de verificación de variaciones en consumo de agua en años secos, normales y lluviosos

Una pregunta relevante respecto al manejo y gestión integrado del recurso hídrico, en particular de cara al cambio global y el calentamiento, es sí durante los años más secos se consumirá más agua. La primera idea intuitiva que surge es que se consumirá más agua. Sin embargo, no necesariamente, ya que depende de la escasez relativa del recurso, los precios (tarifas), el nivel de ingreso (per cápita), la inversión pública, y principalmente la dotación del recurso, la cual aún en años secos puede, en términos generales, satisfacer las

necesidades de la población, aunque en algunas cuencas como la Península de Nicoya, puede afectar a un número de productores agropecuarios de manera relevante.

Por tanto, con objeto de estimar un parámetro, con el cual se puede modelar el incremento en la demanda para consumo de agua (particularmente el humano), se diseñó un método de verificación empírico. No se puede utilizar la base de datos de concesiones del MINAET, ya que simplemente se indica la cantidad de agua concesionada y no efectivamente la consumida. Por lo tanto, cualquier resultado que se obtenga a partir de esos datos en este sentido, estaría más afectado por aspectos diferentes al climático. Es de esperar, sin embargo, que a medio plazo (periodos de 10 a 20 años) los datos de concesiones, capturen una mayor demanda de concesiones en años secos; aunque esta situación dependerá críticamente de la fecha de solicitud de la concesión (fecha en que se materializa la demanda). Lamentablemente, la base de datos del MINAET, muestra la fecha de “apertura” y en la que se otorga la concesión, pero estas no necesariamente coinciden con la de demanda efectiva.

Por tal razón, CIESA elaboró una investigación empírica a partir de los datos de consumo de agua provenientes del AyA y de la ESPH. El objeto es analizar si existe un patrón que muestre una tendencia de variación en el consumo de agua en años secos versus años lluviosos o “normales”.

El consumo de agua potable por cuenca se obtuvo a partir del consumo de agua potable por distrito que reportó el AyA y la ESPH. Se distribuyeron los distritos según su cuenca más próxima y se procedió a agregar el consumo de los distritos. De esta manera se obtuvo el consumo de agua potable distribuida por AyA y ESPH por cuenca.

Al agregar el consumo de agua potable por cuenca se encontró que para algunos pocos meses el consumo de agua potable fue significativamente mayor al consumo promedio de los demás meses. Incluso algunos meses llegan a concentrar el 50% del agua consumida en esa cuenca en el año. Por ejemplo, en el mes de diciembre del 2001 en la cuenca de Chirripó se consumió 53.33% del agua potable consumida en el año. Es posible que esto se dé por un error de registro de los datos, en el cual en un solo mes se carga el registro de varios meses atrasados.

Se encontró que el consumo de agua si varía entre años secos, lluviosos y normales. Sin embargo, se encuentra que el consumo mensual (la estructura relativa) no varía significativamente entre meses, y los meses de mayor/menor consumo se turnan entre años.

A continuación, se detalla el resultado para estos consumos de agua potable para las cuencas de Moín y Chirripó². Se presentan estas dos cuencas ya que para ellas se logró

² Se escogieron estas cuencas pues son las que presentaban información completa para realizar la verificación.

obtener datos de consumo simultáneamente para años secos, lluviosos y normales en el periodo 2000-2008, según las definiciones de estos provistas por el IMN.

2.3.a. Cuenca de Moín

El consumo anual durante el periodo 2000-2008 presenta un patrón de comportamiento fluctuante. No existe una tendencia clara, sino que el consumo aumenta y disminuye entre años. El cuadro 2.7 muestra el consumo mensual promedio y el consumo total de agua potable para la cuenca de Moín para los años 2000-2008.

Cuadro 2.7. Cuenca de Moín: Consumo de agua potable en m³: promedio mensual y total anual, 2000-2008. Aguas distribuidas por AyA.

Año	Consumo mensual promedio	Consumo total
2009	405.159	2.025.796
2008	390.244	4.682.926
2007	439.040	5.268.476
2006	348.028	4.176.333
2005	409.237	4.910.841
2004	405.735	4.868.825
2003	435.180	5.222.156
2002	476.048	5.712.577
2001	509.399	6.112.782
2000	2.066.997	24.803.961

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA, para el IMN, MINAET y PNUD con datos de AyA, 2009.

El consumo relativo por mes (proporciones del consumo mensual/total anual) es bastante estable entre los meses del año. El comportamiento del consumo relativo no permite concluir sobre algunos meses del año con un consumo de agua potable siempre mayor que en otros. Los meses con mayor/menor consumo en el año son distintos para todos los años. Es decir, aún en los meses más secos se observa un patrón estable del consumo.

Para la cuenca de Moín, el año 2006 es definido como un año normal. Para este año en particular, los meses con mayor consumo de agua potable fueron (en orden descendente): agosto (10.8%), junio (8.9%), abril (8.8%), enero (8.6%), setiembre (8.5%), mayo (8%), marzo (8%), julio (7.9%), octubre (7.8%), febrero (7.64%), noviembre (7.53%), diciembre (7.3%).

El año 2002 fue un año lluvioso para la cuenca de Moín. Para este año el consumo de agua potable se distribuyó de la siguiente manera (en orden descendente): enero (27.9%), febrero

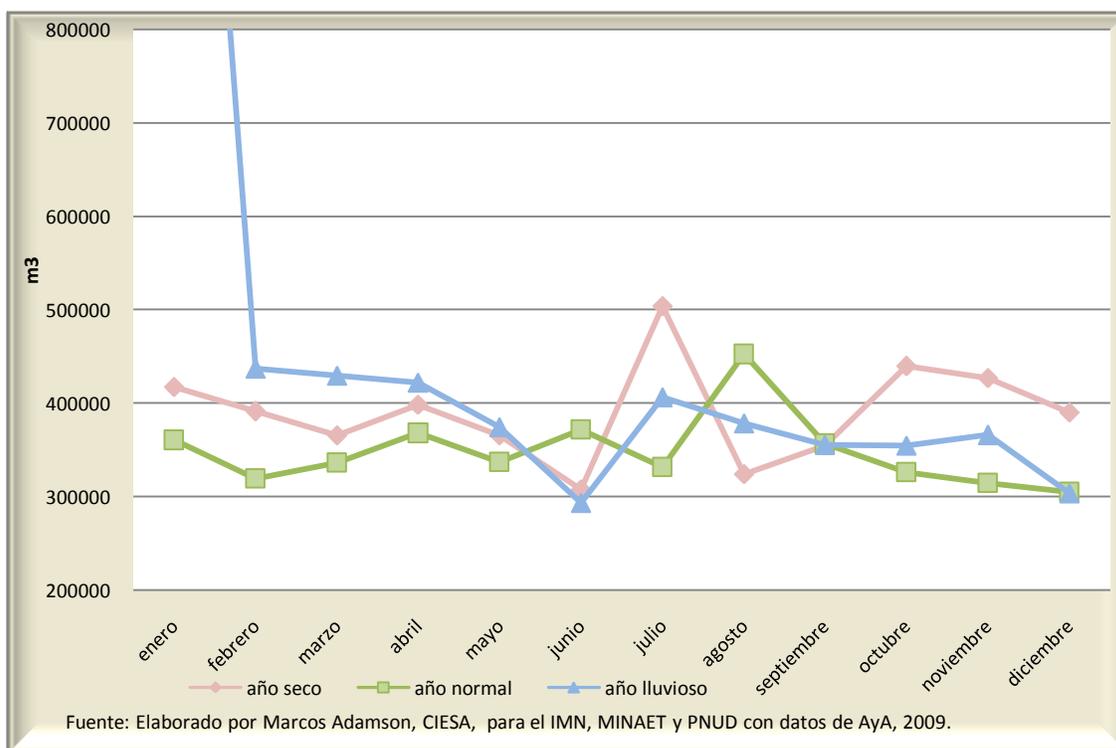
(7.64%), marzo (7.52%), abril (7.38%), julio (7.11%), agosto (6.62%), mayo (6.55%), noviembre (6.4%), setiembre (6.22%), octubre (6.2%), diciembre (5.32%), junio (5.13%).

Es importante anotar que en el mes de enero se consumió 27.9% del agua potable consumida en el año 2002. Existen algunos meses para los que se reporta un consumo de agua potable mucho mayor al promedio mensual. En este caso para la cuenca de Moín, en el mes de enero del 2002 se puede apreciar esta situación. El consumo promedio en los demás meses del año (sin contar enero) fue de 34.442,8 m³, para el mes de enero el consumo fue un 326% mayor al consumo promedio del año.

El año 2008 fue un año seco para la cuenca de Moín. La distribución del consumo (en orden descendente) fue: julio (10.76%), octubre (9.4%), noviembre (9.11%), enero (9%), abril (8.5%), febrero (8.34%), diciembre (8.32%), marzo (7.8%), mayo (7.8%), setiembre (7.6%), agosto (7%), junio (6.56%).

En el gráfico 2.6 se muestra el comportamiento del consumo en el año seco, lluvioso y normal. En términos generales, se puede observar como el consumo para el año normal, seco y lluvioso se concentra entre los 300.000 y los 400.000 m³.

Gráfico 2.6. Cuenca Moín: Consumo de Agua Potable en m³. Años: seco (2008), lluvioso (2002), normal (2006).



Por otro lado, si se observa un patrón de variación entre años. En los primeros meses, en años lluviosos el consumo de agua mensual tiende a ser mayor, que en años normales y secos, lo cual podría deberse a una mayor disponibilidad relativa del recurso. A su vez en años secos, los primeros meses del año, el consumo tiende a ser mayor que en años normales. Por otro lado, en los meses del último trimestre de los años secos, el consumo tiende a ser mayor que el de años normales y lluviosos. Esta época del año coincide con la fase más seca de esa cuenca. La definición de año lluvioso, seco o normal la brindó el IMN por cuenca. Si se compara el año seco versus el normal, el consumo mensual tiende a ser mayor para casi la mayoría de los meses en el año seco.

2.3.b. Cuenca de Chirripó

El consumo anual durante el periodo 2000-2008 presenta un patrón de comportamiento fluctuante. No existe una tendencia clara, sino que el consumo aumenta y disminuye entre años. El cuadro 2.8 muestra el consumo mensual promedio y el consumo total de agua potable para la cuenca de Chirripó para los años 2000-2008.

Cuadro 2.8. Cuenca de Chirripó: Consumo de agua potable en m³: promedio mensual y total anual, 2000-2008.

Año	Consumo Promedio mensual	Consumo total
2000	195.332	2.343.985
2001	178.296	2.139.556
2002	185.083	2.220.995
2003	222.907	2.674.884
2004	289.749	3.476.987
2005	170.206	2.042.469
2006	142.705	1.712.459
2007	197.037	2.364.443
2008	182.280	2.187.355

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA, para el IMN, MINAET y PNUD con datos de AyA, 2009.

El comportamiento del consumo relativo por mes no permite concluir que existen meses del año donde el consumo de agua potable es siempre mayor que en otros. Los meses con mayor/menor consumo en el año son distintos para todos los años.

El año 2004 constituye un mes normal para la cuenca de Chirripó. En este año el consumo mensual relativo se distribuyó (en orden descendente) de la siguiente manera: diciembre (33.45%), marzo (10.5%), enero (8.3%), febrero (7.75%), octubre (5.24%), abril (5.2%),

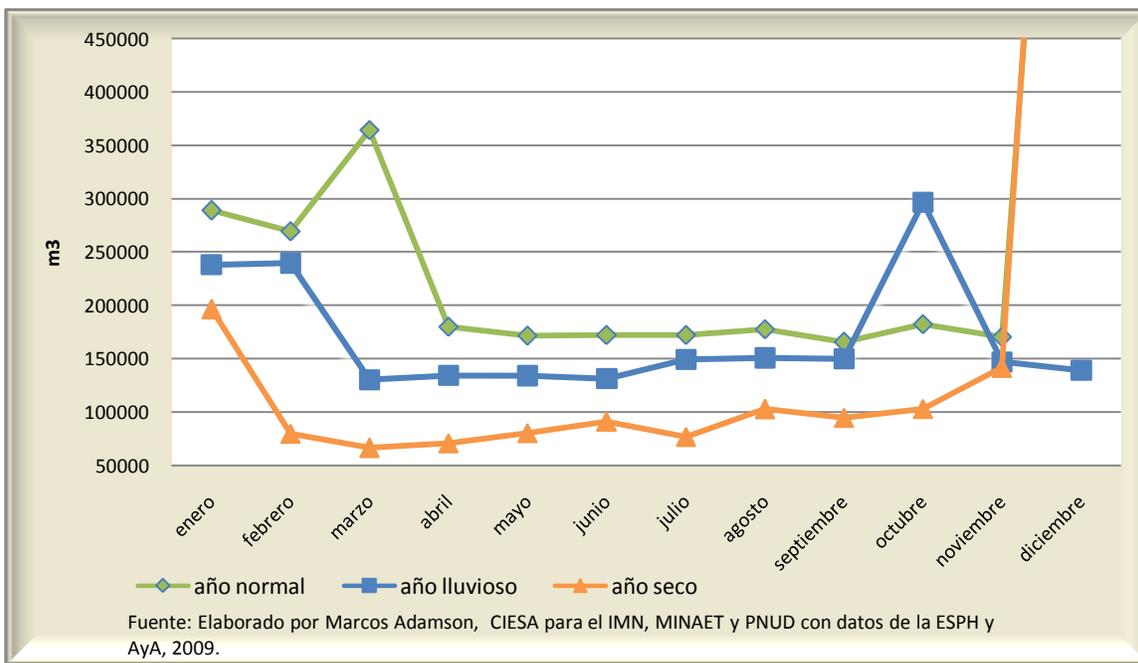
agosto (5.10%), junio (4.95%), julio (4.95%), mayo (4.93%), noviembre (4.9%), setiembre (4.75%).

El año lluvioso para la cuenca Chirripó se presentó en el año 2003. La distribución del consumo fue la siguiente: octubre (14.53%), febrero (11.74%), enero (11.66%), agosto (7.4%), setiembre (7.34%), julio (7.3%), noviembre (7.2%), diciembre (6.81%), abril (6.57%), mayo (6.57%), junio (6.43%), marzo (6.4%).

El año 2001 fue un año seco para la cuenca de Chirripó. El consumo se distribuyó de la siguiente manera: diciembre (53.36%), enero (8.3%), noviembre (6%), octubre (4.3%), agosto (4.3%), setiembre (4%), junio (3.85%), mayo (3.4%), febrero (3.4%), julio (3.24%), abril (2.98%), marzo (2.8%).

El gráfico 2.7 muestra el comportamiento del consumo en el año seco, lluvioso y normal. En términos generales, se puede observar como el consumo para el año normal se concentra entre los 150.000 y 200.000 m³. En el año seco, el consumo está entre 50.000 y 100.000 m³. En el año lluvioso el consumo se concentra entre los 100.000 y los 150.000 m³.

Gráfico 2.7. Cuenca Chirripó: Consumo de agua potable en m³. Años: seco (2001), lluvioso (2003) y normal (2004)



De forma interesante en este caso, el consumo mensual de años normales es mayor que el de años secos y estos a su vez mayor que el de años lluviosos, para la mayoría de los meses.³

2.4. Metodología seguida para las estimaciones de demanda

La demanda de agua de un país responde a las necesidades socioproductivas de este. Por tanto, para estimar y proyectar a futuro la demanda de agua utilizadas para satisfacer esas necesidades socioproductivas, es menester lograr también estimar y proyectar a futuro la economía, las necesidades de consumo humano de agua, así como la población, esta última ya estimada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) y por Centro Centroamericano de Población (CCP-UCR) a nivel distrital, y CIESA estimó poblaciones a nivel de cuencas. A continuación, se detalla la metodología seguida con objeto de realizar las estimaciones económicas y las pronósticos de cantidades demandas de agua.

2.4.a. Modelación de los sectores económicos

Para efectuar las proyecciones de demanda de agua de manera directa (esto es no asumiendo parámetros o intensidades, como se ha venido realizando en la mayoría de estudios previos), en una primera fase se estiman un modelo sectorial de producción (PIB). Esa estimación permite pronosticar la producción sectorial al año 2030. Siguiendo a Adamson, M. (1991) se utilizó un sistema de ecuaciones simultáneas, mediante el Método de Regresiones Aparentemente No Relacionadas (SUR, por sus siglas en inglés). Después de realizar varias pruebas con diferentes modelos, la opción de especificación seguida del sistema se presenta a continuación:

$$\ln ag = \alpha_1 + \alpha_2 \ln PIB + \alpha_3 \ln ag_{-1}$$

$$\ln ind = \alpha_4 + \alpha_5 \ln PIB + \alpha_6 \ln ind_{-1}$$

$$\ln eleag = \alpha_7 + \alpha_8 \ln PIB + \alpha_9 \ln eleag_{-1}$$

$$\ln com = \alpha_{10} + \alpha_{11} \ln PIB + \alpha_{12} \ln com_{-1}$$

$$\ln tra = \alpha_{13} + \alpha_{14} \ln PIB + \alpha_{15} \ln tra_{-1}$$

$$\ln otser = \alpha_{16} + \alpha_{17} \ln PIB + \alpha_{18} \ln ag_{-1}$$

$$\ln electri = \alpha_{19} + \alpha_{20} \ln PIB + \alpha_{21} \ln \left(\frac{electri_{-1}}{ag_{-1}} \right)$$

³ En el anexo 2.2A se presentan tablas con el consumo de agua potable anual y mensual promedio para el resto de las cuencas del país, provistas por el AyA y ESPH.

Donde:

- ln*: indica logaritmo natural.
- ag*: valor agregado (PIB) del sector agricultura.
- ind*: valor agregado del sector industria.
- eleag*: valor agregado de los sectores electricidad y agua.
- com*: valor agregado del sector comercio.
- tra*: valor agregado del sector transporte.
- otser*: valor agregado del sector otros servicios.
- electri*: valor agregado en el sector electricidad.

Utilizando los datos sobre producción histórica por sector, provenientes del Banco Central de Costa Rica –BCCR- desde 1950 al 2008, se procedió primero para eliminar el problema de inflación, al expresar la información en millones de dólares de Estados Unidos constantes del 2005 (PIB en millones de USD del 2005). Los resultados de obtenidos mediante este sistema fueron:

Cuadro 2.9. Resultados de estimación del modelo de ecuaciones simultáneas del PIB sectorial.

System: SYS01				
Estimation Method: Seemingly Unrelated Regression				
Date: 05/28/09 Time: 17:01				
Sample: 1951 2008				
Included observations: 58				
Total system (unbalanced) observations 391				
Linear estimation after one-step weighting matrix				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	0,013919	0,082946	0,16781	0,8668
C(2)	0,152288	0,037674	4,04222	0,0001
C(3)	0,797953	0,051526	15,4865	0,0000
C(4)	-0,852690	0,260015	-3,27939	0,0011
C(5)	0,296824	0,076625	3,87370	0,0001
C(6)	0,754129	0,060773	12,4089	0,0000
C(7)	-0,453300	0,486098	-0,93253	0,3517
C(8)	0,101068	0,078499	1,28751	0,1987
C(9)	0,920904	0,046186	19,9390	0,0000
C(10)	-0,227178	0,084373	-2,69254	0,0074
C(11)	0,383603	0,061383	6,24929	0,0000
C(12)	0,566834	0,067157	8,44049	0,0000
C(13)	-0,943509	0,304046	-3,10318	0,0021
C(14)	0,188074	0,056628	3,32124	0,0010
C(15)	0,883908	0,035951	24,5865	0,0000
C(16)	-0,060118	0,082169	-0,73164	0,4649
C(17)	0,013020	0,044319	2,28576	0,0228
C(18)	0,776010	0,049555	17,7095	0,0000
C(19)	-0,285836	0,228903	-1,24872	0,2126
C(20)	0,178564	0,076083	2,34697	0,0195
C(21)	0,860936	0,052677	16,3436	0,0000
Determinant residual covariance			4,18E-20	

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA, para IMN-MINAET- PNUD. 2009.

Los símbolos $C(i)$, representan los α_i , del sistema de ecuaciones presentado anteriormente, donde $i= 1,2,3,\dots,15$

La última columna del cuadro anterior indica que la mayoría de coeficientes son estadísticamente significativos a un nivel de significancia del 5%. Los datos presentan indicios de una ligera autocorrelación, lo cual es de esperarse en este tipo de modelos de corte sectorial con datos de serie histórica y además de ecuaciones simultáneas. Las correcciones y variaciones en la especificación del modelo para corregirla tienden a generar modelos explosivos en diferentes sectores, o de escasa o nula interpretación económica, por lo que se optó, siguiendo el principio de parsimonia, por mantener las ecuaciones fundamentales económicas de este ajuste. Algunos datos importantes sobre la estimación y elasticidades de las variables se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 2.10. Elasticidades de corto y largo plazo de PIB sectoriales ante el PIB nacional.

	ag	ind	eleag	com	tra	otser	electri
n	58	58	58	58	58	58	43
R Cuadrado Ajustado	0.99028	0.99722	0.99515	0.99596	0.99890	0.99789	0.99644
Elasticidad de Corto Plazo	0.15229	0.29682	0.10107	0.38360	0.18807	0.01302	0.17856
Elasticidad de Largo Plazo	0.75373	1.20723	1.27779	0.88558	1.62004	0.05813	1.28404

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA, para IMN-MINAET-PNUD. 2009.

Del cuadro anterior se puede observar que los R^2 ajustados presentan valores relativamente altos, lo que implica que cada modelo tiene una muy buena bondad de ajuste. Las elasticidades, que indican la respuesta de la producción sectorial a la producción nacional (PIB), son relativamente inelásticas en el corto plazo - la elasticidad más alta en el corto plazo es la del valor agregado del sector comercio (0.38) y las más baja es la del valor agregado de otros sectores-. Sin embargo, las elasticidades de largo plazo, presentan una mayor respuesta de producción sectorial ante el PIB en los sectores de industria, electricidad y agua, transporte y electricidad (sector individualizado).

Resulta relevante la importante elasticidad del sector eléctrico, la cual indica que cuando el PIB nacional se incrementa en un 100% el valor agregado de la electricidad lo hace en un 127%. Lo anterior es consistente con la relativa elasticidad ingreso (PIB) reportada en la demanda de energía por recientes estudios relativos al cambio climático (Adamson, 2008). Algo semejante sucede con el sector transporte, lo cual también es consistente con hallazgos similares de altas elasticidades ingreso en la demanda de ese sector de energía fósil (*op cit.*)

Utilizando los coeficientes obtenidos, se estiman los valores agregados por sector al 2030. El PIB se asumen en tres escenarios de crecimiento, base del 4%, bajo del 3% y alto del 5% (mayores detalles de fondo pueden verse en Adamson, op cit.).

2.4.b. Estimaciones de demanda de agua por sector usuario

Para la estimación de demandas de agua por sector usuario también se utilizó un sistema de ecuaciones simultáneas mediante el método SUR. La especificación econométrica del sistema es la siguiente:

$$\ln \text{Cons.humano Percapita} = \alpha_1 + \alpha_2 \ln \text{PIBpercapita} + \alpha_3 \ln \text{Cons.humanoPercapita}_{-1} + \alpha_4 D_1$$

$$\ln \text{Turismo} = \alpha_5 + \alpha_6 \ln \text{Turistas} + \alpha_7 \ln(\text{Turismo}_{-1}) + \alpha_8 D_2$$

$$\ln \text{Agricultura} = \alpha_9 \ln \text{Valor Agregado Agricultura}_{-1} + \alpha_{10} D_3$$

$$\ln \text{Industria} = \alpha_{11} \ln (\text{Valor Agregado Industria}_{-1}) + \alpha_{12} \ln (\text{Industria}_{-1})$$

$$\ln(\text{Comercio / Valor Agregado Comercio}) = \alpha_{13} + \alpha_{14} \ln (\text{Comercio / Valor Agregado Comercio}_{-1}) + \alpha_{15} D_4$$

Donde las variables, tal y como se definen en el modelo (sin tildes):

Cons humano Percapita: es la demanda del consumo humano per cápita de agua.

Turismo, Agricultura, Industria y Comercio: son las demandas de agua en m³ al año en cada uno de esos sectores.

Los *Valores Agregados Sectoriales:* son el PIB de cada sector, y están medidos en millones de dólares de Estados Unidos (USD) del 2005, es decir son dólares constantes para eliminar aspectos de inflación local y cambiarios.

PIBpercapita: es el producto interno bruto por habitante en millones de USD del 2005.

Turistas: es la cantidad de turistas que visitaron el país cada año.

Además, se utilizan las siguientes variables dummies:

D₁= 1, si t= 1998-2000, cero de otra forma.

D₂= 1, si t= 1985-1992, cero de otra forma.

D₃= 1, si t= 1985-1993, cero de otra forma.

D₄= 1, si t= 1997-2002, cero de otra forma.

Las variables “dummy” (D) se utilizaron para incorporar el efecto de comportamientos atípicos en algunos años.

La información histórica de consumo de agua se utiliza a partir de 1985, pues es desde ese año que se presenta una relativa mayor cantidad y disponibilidad de información para la mayoría de cuencas, aunque algunas presentan registros más completos desde periodos previos no sucede así para todas, en particular en lo relativo a la base de datos de concesiones (MINAET). La estimación de caudales por sector se efectuó para el régimen de aprovechamiento 12 horas y para el de 24 horas.

Tanto en el aprovechamiento de 12 como de 24 horas, los datos históricos sobre agua potable y riego utilizados son los del régimen de 24 horas, debido a que por un lado la mayoría del riego nacional es por gravedad (EGIRH Demanda, 2005) lo cual implica que este en términos prácticos opera las 24 horas, y el agua potable es el agua efectivamente consumida, por lo que ésta no depende de un régimen de aprovechamiento.

Los resultados de ambos regímenes de aprovechamiento se presentan en los siguientes cuadros 2.11 y 2.12.

Cuadro 2.11. Resultados de modelo de ecuaciones simultáneas de la estimación de demandas sectoriales de agua (aprovechamiento de 24 horas)

System: BASE24				
Estimation Method: Seemingly Unrelated Regression				
Date: 10/09/09 Time: 11:06				
Sample: 1986 2008				
Included observations: 23				
Total system (unbalanced) observations 106				
Linear estimation after one-step weighting matrix				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	10,61692	2,653001	4,001854	0,0001
C(2)	1,698062	0,459977	3,691628	0,0004
C(3)	0,686208	0,039411	1,741138	0,0000
C(4)	0,535821	0,108601	4,933856	0,0000
C(5)	4,961628	1,018362	4,872166	0,0000
C(6)	0,466958	0,080619	5,792177	0,0000
C(7)	0,325214	0,014711	22,10728	0,0000
C(8)	-5,542689	0,103636	-53,48247	0,0000
C(9)	2,878970	0,017981	160,1108	0,0000
C(10)	-3,300269	0,211521	-15,60255	0,0000
C(11)	0,437307	0,149562	2,923925	0,0044
C(12)	0,821888	0,068792	11,94752	0,0000
C(13)	3,381767	0,706198	4,788694	0,0000
C(14)	0,550297	0,100244	5,489557	0,0000
C(15)	-0,146435	0,109058	-1,342724	0,1827
Determinant residual covariance			1.94E-06	

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA, para IMN-MINAET-PNUD. 2009

Cuadro 2.12. Resultados de modelo de ecuaciones simultáneas de la estimación de demandas sectoriales de agua (aprovechamiento de 12 horas).

System: BASE12				
Estimation Method: Seemingly Unrelated Regression				
Date: 10/09/09 Time: 12:06				
Sample: 1986 2008				
Included observations: 23				
Total system (unbalanced) observations 106				
Linear estimation after one-step weighting matrix				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	10,24774	2,946089	3,478420	0,0008
C(2)	1,673094	0,515423	3,246059	0,0016
C(3)	0,702341	0,041403	16,96354	0,0000
C(4)	0,679148	0,120116	5,654078	0,0000
C(5)	4,498848	1,004750	4,477580	0,0000
C(6)	0,466144	0,079158	5,888741	0,0000
C(7)	0,325770	0,014400	22,62301	0,0000
C(8)	-5,546521	0,101142	-54,83906	0,0000
C(9)	2,874626	0,017551	163,7827	0,0000
C(10)	-3,278866	0,205853	-15,92816	0,0000
C(11)	0,400650	0,144073	2,780879	0,0066
C(12)	0,833854	0,068437	12,18425	0,0000
C(13)	3,079668	0,637370	4,831834	0,0000
C(14)	0,548897	0,100290	5,473095	0,0000
C(15)	-0,145917	0,109133	-1,337047	0,1845
Determinant residual covariance			2.30E-06	

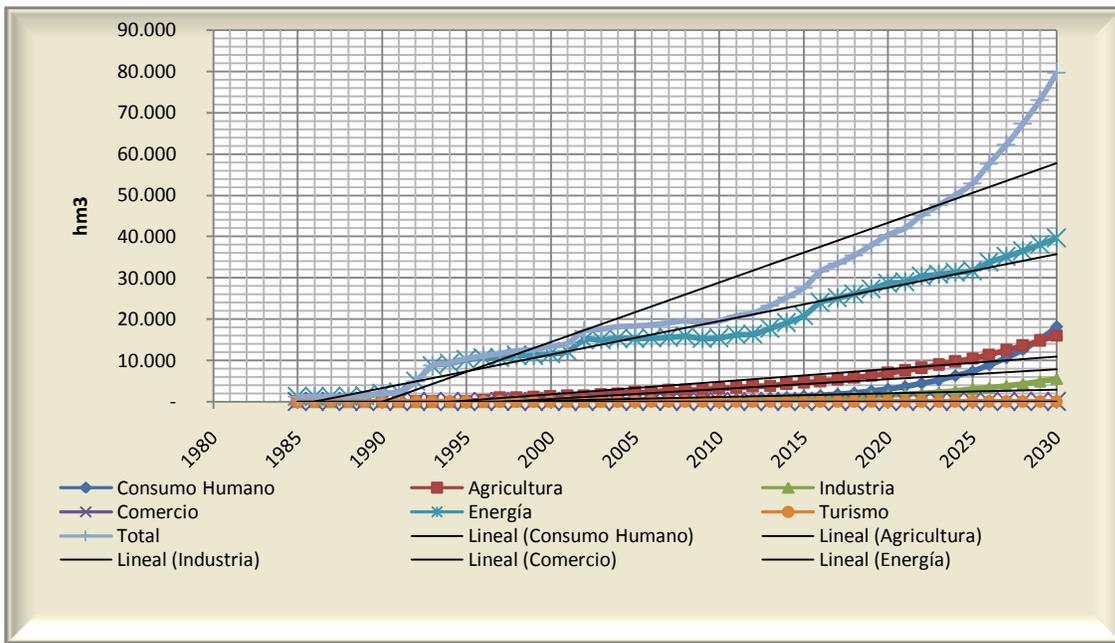
Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA, para IMN-MINAET-PNUD. 2009

Los símbolos C(i) de los 2 cuadros anteriores, representan los α_i , del sistema de ecuaciones presentado anteriormente, donde $i=1,2,3,\dots,15$.

Los coeficientes, en ambos regímenes, de prácticamente todas las variables son estadísticamente significativos a un nivel de significancia incluso del 1%, lo cual ofrece un amplio soporte empírico a la estimación y variables explicativas utilizadas en cada las demandas de agua. En la mayoría de los casos el R² ajustado es relativamente elevado, lo cual muestra un alto nivel de bondad estadística para los modelos de demanda. Además, los estadísticos H-Durbin y Durbin-Watson, según sea el caso, no muestran signos de autocorrección serial.

Algunos de los resultados obtenidos se muestran en el siguiente gráfico, los detalles de los mismos se explican en el capítulo 9.

Gráfico 2.8. Costa Rica: Demanda histórica y proyectada por sector, para el escenario base. Régimen de aprovechamiento de 24 horas.



Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD

Cómo puede verse con esta metodología la tasa de cambio respecto al tiempo ($\frac{\partial D(t)}{\partial t}$) de las demandas sectoriales estimadas no resultan ser constantes (el gráfico muestra la tendencia lineal). Es decir, las trayectorias de consumo de agua a lo largo del tiempo no necesariamente son lineales. La mayoría de estudios han asumido linealidad (aún en escenarios base o alternativos, véase por ejemplo EGIRH (2005), lo cual genera sobrestimaciones y subestimaciones según el sector y periodo.

2.4.c. Metodología para la estimación de la demanda de energía

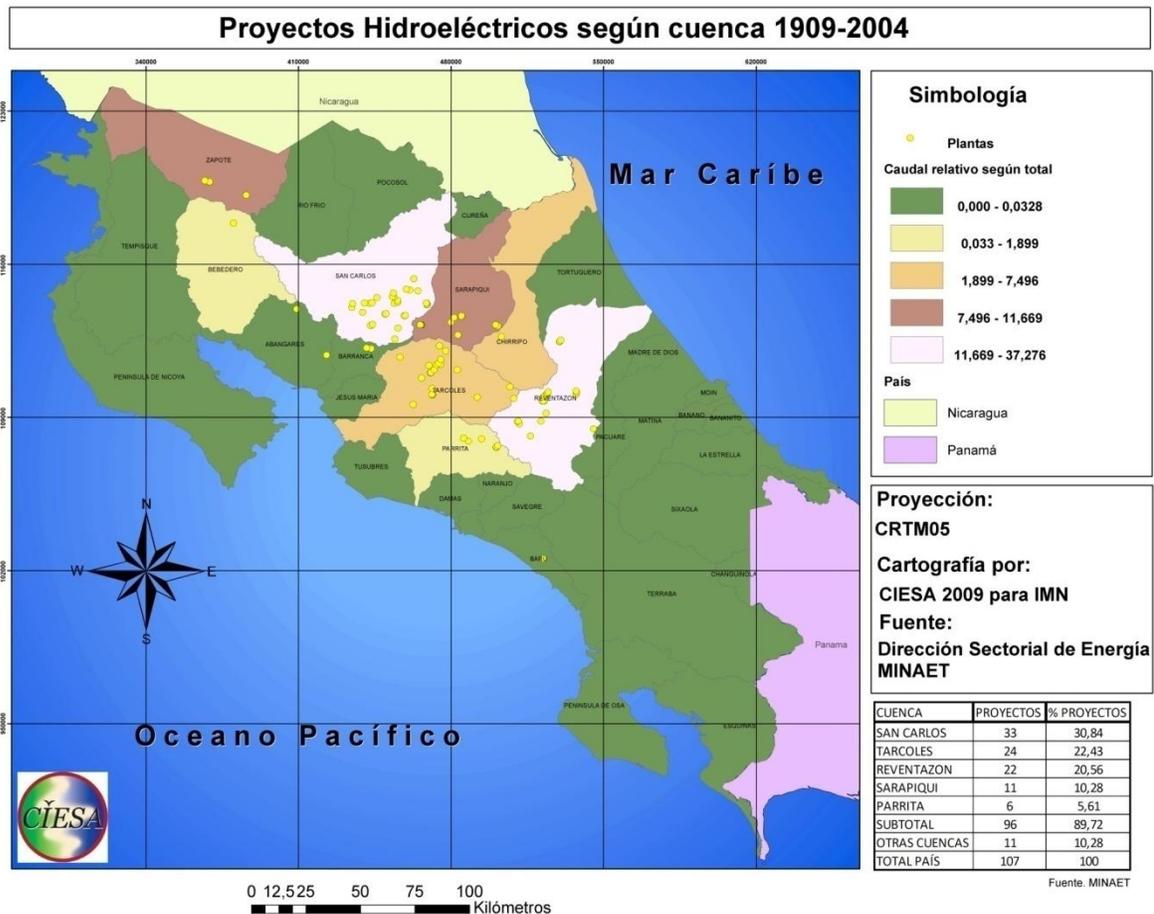
Generación Hidroeléctrica

De acuerdo con las reuniones sostenidas con funcionarios de la Dpto. Aguas, MINAET y del IMN, quedó claro que la base de datos de concesiones no contempla adecuadamente las concesiones de agua asociadas a concesionarios como Acueductos y Alcantarillados y la Empresa de Servicios Públicos de Heredia. Por lo tanto, al igual que procedió el IMTA, en este caso CIESA tuvo que completar dicha información, pues los volúmenes asociados de otra forma se estarían subestimando como ya se indicó.

En la estimación del caudal utilizado para la generación de hidroelectricidad, se utilizaron varios registros de información.

El primero es el registro de concesiones de agua para hidrogenación disponible en la Dirección Sectorial de Energía del MINAET (DSE), el cual muestra la ubicación geográfica de los diferentes proyectos hidroeléctricos en Costa Rica, así como el caudal concesionado en m³ y las fechas de apertura, otorgamiento y vencimiento de la concesión para hidrogenación. Con base en este registro se logró ubicar por cuenca la localización de cada uno de los proyectos hidroeléctricos a lo largo del tiempo (figura 2.1).

Figura 2.1. Proyectos hidroeléctricos según cuenca. 1909-2004.



Como segunda fuente de información se utilizaron los datos de caudales turbinados indicados en los anexos del informe del IMTA para los años 2000 y 2006⁴. Siendo una aproximación para algunas de las cuencas analizadas en este trabajo, debido a que el estudio del IMTA tuvo disponible datos de caudales turbinados por las distintas plantas hidroeléctricas del ICE y sector privado por mes (BID-IMTA, MINAET, 2008).

⁴ En este método el IMTA solo considera la generación hídrica del ICE por ser la mayoritaria en el país.

La tercer fuente de información fueron los registros de producción hidroeléctrica de Costa Rica, brindados por el ICE para el período 2004 – 2008. Con estos datos se intentó aproximar los volúmenes de caudales turbinados para los años 2007 y 2008 por medio del equivalente de generación en kWh/m³ brindado por ICE para sus principales proyecto hidroeléctricos (Cuadro 2.9). Para esto se utilizó información de producción a nivel mensual y anual para los años mencionados para cada una de las plantas que fueron seleccionadas en el estudio del IMTA.

Cuadro 2.13. Equivalente en generación en kWh/m³ según escala de planta

<i>Planta</i>	<i>Equivalente Energético (kWh/m³)</i>
Plantas mayores a 2.0 MW	
ARCOSA (Arenal, Corobicí y Sandillal)	0,0888
ECHANDI	0,4550
GARITA	0,3924
VENTANAS GARITA	0,5447
RIOCAT (Río Macho, Cachí, Angostura, Tres Ríos)	0,3086
PENAS BLANCAS	0,2780
TORO	0,9167
CARIBLANCO	0,9662
Plantas menores a 2.0 MW	
CACAO	0,0833
TRES RIOS	0,2114

Fuente: Instituto Costarricense de Electricidad, 2009.

La cuarta fuente de información fue el registro de concesiones del Departamento de Aguas del MINAET, el cual cuenta con el componente hidráulico, el cual tiende a subestimar el caudal turbinado, es un buen indicador de la entrada en vigor de las diferentes concesiones para hidrogenación, y el comportamiento de las mismas a lo largo del tiempo.

Y como última fuente, se empleo el Plan de Expansión de la Generación Eléctrica: Período 2008 – 2021 del ICE, 2007, el cual indica la producción y entrada en funcionamiento de los diferentes proyectos eléctricos en el país hasta el año 2025. Para el caso de este trabajo, sólo se contemplaron los proyectos de generación hidroeléctrica y además, para poder estimar la producción del período 2026-2030 se empleo un criterio econométrico se explicará más adelante.

Estimación de caudales turbinados anteriores al año 2007

Para la estimación de los caudales turbinados anteriores al año 2007 se utilizó una mezcla de técnicas de ajuste de los datos, las cuales consisten en ajustar los caudales acumulados de los años 2000 y 2006 de acuerdo a la entrada en vigencia de los diferentes proyectos hidroeléctricos.

En dicho plan se establece la potencia en MW que generaría los proyectos a establecer. Conociendo la producción u oferta hidroeléctrica futura se puede aproximar por medio del equivalente de generación en kWh/m³ presentado el cuadro 2.9 para aquellas plantas con características similares a las establecidas en la actualidad.

Nótese que para poder realizar esta estimación se deben realizar las correspondientes equivalencias energéticas, para pasar de MW a kWh:

$$MW \cdot 8.760 \text{ horas al año} \cdot \text{factor de capacidad} = MWh \text{ Energía generada en el año}$$
$$1 MWh = 1.000 kWh$$

Hay que considerar que el factor de capacidad se utiliza para describir la entrega real de energía de la instalación, y se expresa como el porcentaje del tiempo que está operaria en su potencia nominal. Para efectos de este trabajo, dicho factor fue facilitado por el ICE y para el caso de nuevas plantas a entrar en funcionamiento durante los próximos años, se utilizó un 80 por ciento de factor de capacidad.

Estimación histórica del caudal concesionado para hidrogenación por cuenca

Como se mencionó anteriormente, este trabajo contó con la limitante de información de caudales turbinados históricos para hidrogenación de las diferentes plantas de producción hidroeléctricas, ya sea tanto estatales (ICE) como privadas.

Ante esta situación, se utilizó como metodología de estimación, el desarrollo de la serie histórica de hidrogenación para las 16 cuencas que se abarcan en el estudio IMTA para los años 2000 y 2006 con la entrada en vigencia de las plantas hidroeléctricas que corresponden a cada cuenca. Esta última información se puede corroborar en la base de datos de la Dirección Sectorial de Energía (DSE), y complementariamente, en el caso de cuencas en las que el IMTA reporto algún caudal, pero en la base de datos de la DSE no existiere ese registro, se utilizó como criterio de referencia, la base de datos de del Departamento de Aguas del MINAET, la cual presenta un componente de agua concesionada para uso hidráulico.

Para las restantes cuencas que no se encuentran analizadas en el estudio IMTA, e incluye este estudio, se utilizó como criterio de estimación del caudal turbinado, la existencia de

algún proyecto hidroeléctrico en cada una de esas cuencas. En ese caso se compararon las bases del Departamento de Aguas del MINAET junto con la de la DSE y se le asignó el caudal que se concesionó al proyecto. De esas cuencas, solamente Barú y Zapote presentaron caudal de hidrogenación.

Tras aplicar esta estimación “hacia atrás” por medio de las correspondientes tasas de variación del caudal concesionado para los correspondientes años desde el año 2006 hacia atrás, se procedió a completar la estimación del caudal turbinado posterior al año 2006.

Para esta estimación, en el caso de las plantas que reportaron el IMTA, se procedió a estimar la relación producción hidroeléctrica - m^3 de agua turbinada. Esto se hizo con la información del Cuadro 2.9 de equivalente de generación en kWh/m^3 . Y para el caso de las cuencas Barú y Zapote, se mantuvo constante el caudal turbinado para estos dos últimos años.

Estimación histórica y proyectada del caudal concesionado para hidrogenación a nivel nacional

Para la estimación histórica, se utilizó la serie histórica de energía hidroeléctrica producida en el país de 1965 al 2001 (DSE-MINAE, 2002, ICE, 2004-8), en la memoria del año 2002 de la DSE en GWh, para los años del 2002-2003 se consultó en la DSE y para el período 2004-2008 se utilizó los informes de producción de electricidad del ICE.

Para la estimación de la electricidad posterior al año 2008, se utilizó como referencia el Plan de Expansión de la Generación Eléctrica para el 2008 – 2021 del ICE, el cual indica los diferentes proyectos hidroeléctricos que se pretenden desarrollar hasta el 2025, para atender la demanda y la producción que atendería el consumo (ICE, 2007, pág.11). Integrando esta información con la producción histórica del año 2008 y considerando que algunos proyectos no han entrado en vigencia en la actualidad, se completó una serie desde año 1965 hasta el año 2025.

Para los últimos 5 años (2030) se utilizó como método de estimación una regresión econométrica entre el histórico de producción hidroeléctrica, valor histórico de la producción en dólares del 2005 y el regresivo de la producción hidroeléctrica.

La serie completada (1965-2030 en GWh) funge como el escenario base de la proyección de energía para el país. Para obtener escenarios altos y bajos se revisaron las tasas de crecimiento históricas de la energía eléctrica, que permitieron generar dos bandas en la estimación a través de agregar un +- 8% a la tasa de crecimiento de la producción hidroeléctrica histórica: un escenario alto y uno bajo. Por ejemplo la tasa de crecimiento del 2007 al 2008 fue de 9%, a esta tasa se le aplicó un -8% para obtener el escenario bajo y un

+8% para el alto. Para obtener los escenarios del 2010 se utilizó la tasa de crecimiento del 2009-2010 y nuevamente se aplicó el mismo porcentaje (8%) para obtener los escenarios alto y bajo, respectivamente. Este proceso se continuó hasta lograr obtener los escenarios al 2030.

A partir de la serie histórica de producción hidroeléctrica y el caudal turbinado agregado (hm^3) para cada una de las cuencas, se obtiene la relación entre la producción histórica de hidroelectricidad y a caudales turbinados. Como resultado se encuentra que la relación de GWh/hm^3 promedio es bastante estable y su promedio es 0,5 para los últimos 10 años (1998-2008). Para estimar el caudal turbinado nacional posterior al año 2008, se utilizó dicha relación sobre las estimaciones de energía, y se estima el caudal turbinado al año 2030 en tres escenarios de producción como se mencionó anteriormente.

2.4.d. Estimación del caudal destinado a riego

Realizando una comparación entre la base de datos del Departamento de Aguas del MINAET con las estimaciones del caudal destinado a riego para cada una de las cuencas analizadas en el estudio del IMTA, se observa una importante subestimación en la primera en ese sector, debido a que el IMTA contó con información de riego y avenamiento detallada provista por varias instituciones incluido el SENARA.

Ante esta situación, se utilizó como medida de resolución una complementación de los resultados del IMTA para los años 2000 y 2006 para cada una de las cuencas de este proyecto con los registros de concesiones del Departamento de Aguas del MINAET.

En el caso de las cuencas del estudio del IMTA, en los períodos anteriores al 2006 se completó la serie con tasas de variaciones interanuales del caudal destinado a riego en m^3 tomadas del registro de concesiones del Departamento de Aguas del MINAET con los valores absolutos de los caudales citados por el estudio IMTA debido a que esa entidad si recibió dichos caudales detallados para los años 2000 y 2006, completándose así la serie para los años anteriores al 2006. Esto permite complementar ambas bases de información logrando además mantener la dinámica interna mostrada en la base del MINAET. Para los años posteriores, de la misma forma se utilizaron las variaciones de cantidad de caudal concesionado para riego posteriores al año 2006 y basado en el dato de caudal del IMTA para riego del año 2006 se logró estimar el caudal ajustado hasta el año 2008.

Para el caso de las cuencas de este estudio se utilizó el registro del Departamento de Aguas del MINAET, ya que no se dispuso de otro más completo para riego para un período amplio. Para estas 16 cuencas, el régimen de aprovechamiento de 24 horas aproxima a los valores del estudio del IMTA a nivel agregado.

Al completarse la serie para las cuencas en análisis, se procedió a unificar estos datos, con el caudal destinado al sector agropecuario en un régimen de aprovechamiento de 24 horas y convertido en m³, inmerso en la base de datos del Departamento de Aguas del MINAET, con el propósito de obtener una clasificación denominada “Agricultura” para cada una de las cuencas a lo largo del tiempo.

2.4.e. Metodología de la distribución de demanda de agua total del país por cuenca

Después de haber realizado las proyecciones por sector económico totales para el país hasta el año 2030, se procedió a distribuir la cantidad total de agua demandada entre cada una de las cuencas de estudio. Para hacer esta distribución se realizó un análisis histórico de las participaciones relativas de cada una de las cuencas en el total de agua demandada del país, sin tomar en cuenta el sector energía. Para ello se utilizó el promedio de los últimos años (2005-2008) de las participaciones relativas de cada cuenca, a través de:

$P(i) * D_j = D_i$, donde P es el porcentaje, D_i es la demanda de agua sin incluir energía de la cuenca i y D_j es la demanda total nacional de agua proyectada sin sector energía, $i=1 \dots 19$ cuencas objeto de estudio, y $j=2009, 2010, \dots, 2030$.

Para calcular la demanda de agua con el sector energía por cuenca se obtuvo el promedio del periodo 2005-2008 de la participación del sector energía de cada una de las cuencas en el total de demanda de agua del sector energía, y de forma similar al anterior se estimó por cuenca. Esa demanda del sector energía por cuenca se sumó a los totales de cada cuenca sin energía, para estimar las demandas totales de demanda de agua con energía para las cuencas de estudio.

La contribución relativa de cada una de estas cuencas en el total de agua demandada en Costa Rica en los últimos años, se muestran en los siguientes cuadros.

Cuadro 2.14: Costa Rica. Contribución relativa de las cuencas respecto a la demanda total de agua del país (consuntiva y no consuntiva, aprovechamiento de 24 horas).

	Año	Bananito	Banano	Barú	Chirripó	Damas	Esquinas	Jesús María	La Estrella	Madre de Dios
Histórica	2000	0,09%	0,17%	0,02%	0,55%	0,25%	0,16%	0,03%	0,00%	0,02%
	2001	0,08%	0,16%	0,02%	4,71%	0,28%	0,10%	0,02%	0,00%	0,01%
	2002	0,08%	0,14%	0,02%	4,20%	0,25%	0,13%	0,02%	0,01%	0,01%
	2003	0,07%	0,13%	0,02%	4,04%	0,24%	0,13%	0,04%	0,00%	0,01%
	2004	0,07%	0,13%	0,02%	3,90%	0,23%	0,13%	0,04%	0,00%	0,01%
	2005	0,07%	0,13%	0,02%	3,85%	0,30%	0,12%	0,04%	0,01%	0,02%
	2006	0,07%	0,13%	0,02%	3,80%	0,29%	0,12%	0,04%	0,01%	0,02%
	2007	0,08%	0,12%	0,02%	3,70%	0,28%	0,12%	0,04%	0,01%	0,02%
	2008	0,07%	0,12%	0,03%	3,61%	0,28%	0,12%	0,05%	0,01%	0,02%
	Año	Matina	Moín	Penín. Osa	Pocosol	Sixaola	Tortuguero	Tusubres	Zapote	Otras Cuencas
Histórica	2000	0,03%	0,58%	0,01%	0,00%	0,00%	0,07%	0,06%	2,96%	95,00%
	2001	0,02%	0,42%	0,01%	0,00%	0,00%	0,06%	0,07%	2,79%	91,25%
	2002	0,02%	0,37%	0,01%	0,00%	0,00%	0,08%	0,07%	2,49%	92,11%
	2003	0,02%	0,35%	0,01%	0,00%	0,00%	0,07%	0,07%	2,39%	92,39%
	2004	0,02%	0,34%	0,01%	0,00%	0,00%	0,07%	0,07%	4,68%	90,27%
	2005	0,02%	0,33%	0,01%	0,00%	0,00%	0,08%	0,07%	4,60%	90,33%
	2006	0,02%	0,32%	0,01%	0,00%	0,00%	0,08%	0,08%	4,55%	90,42%
	2007	0,03%	0,32%	0,01%	0,00%	0,00%	0,08%	0,09%	4,42%	90,65%
	2008	0,03%	0,31%	0,01%	0,01%	0,00%	0,08%	0,08%	4,32%	90,85%

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD, a partir de la Base de Datos del Dpto. de Aguas del MINAET (2008), AyA, ESPH, INEC, CCP, WTI; 2009.

Cuadro 2.15. Costa Rica: Contribución relativa de las cuencas respecto a la demanda total de agua del país (consuntiva y no consuntiva aprovechamiento de 12 horas)

	Año	Bananito	Banano	Barú	Chirripó	Damas	Esquinas	Jesús María	La Estrella	Madre de Dios
Histórica	2000	0,05%	0,09%	0,02%	0,30%	0,25%	0,16%	0,03%	0,00%	0,01%
	2001	0,04%	0,08%	0,01%	4,56%	0,28%	0,09%	0,01%	0,00%	0,01%
	2002	0,04%	0,07%	0,01%	4,08%	0,25%	0,10%	0,01%	0,00%	0,01%
	2003	0,04%	0,07%	0,02%	3,94%	0,24%	0,10%	0,04%	0,00%	0,01%
	2004	0,04%	0,07%	0,02%	3,82%	0,23%	0,10%	0,04%	0,00%	0,01%
	2005	0,04%	0,07%	0,02%	3,76%	0,30%	0,10%	0,04%	0,02%	0,01%
	2006	0,04%	0,07%	0,02%	3,72%	0,30%	0,10%	0,04%	0,02%	0,01%
	2007	0,04%	0,06%	0,02%	3,62%	0,29%	0,09%	0,04%	0,02%	0,01%
	2008	0,04%	0,06%	0,02%	3,53%	0,28%	0,09%	0,04%	0,02%	0,01%
	Año	Matina	Moín	Penín. Osa	Pocosol	Sixaola	Tortuguero	Tusubres	Zapote	Otras Cuencas
Histórica	2000	0,02%	0,39%	0,01%	0,00%	0,00%	0,04%	0,04%	3,02%	95,58%
	2001	0,01%	0,24%	0,01%	0,00%	0,00%	0,04%	0,04%	2,85%	91,71%
	2002	0,01%	0,21%	0,01%	0,00%	0,00%	0,04%	0,05%	2,55%	92,55%
	2003	0,01%	0,20%	0,01%	0,00%	0,00%	0,04%	0,05%	2,46%	92,78%
	2004	0,01%	0,19%	0,01%	0,00%	0,00%	0,04%	0,05%	4,82%	90,56%
	2005	0,01%	0,19%	0,01%	0,00%	0,00%	0,04%	0,05%	4,75%	90,60%
	2006	0,01%	0,18%	0,01%	0,00%	0,00%	0,05%	0,05%	4,70%	90,69%
	2007	0,02%	0,18%	0,01%	0,00%	0,00%	0,05%	0,06%	4,57%	90,93%
	2008	0,02%	0,17%	0,01%	0,01%	0,00%	0,05%	0,06%	4,46%	91,13%

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD, a partir de la Base de Datos del Dpto. de Aguas del MINAET (2008), AyA, ESPH, INEC, CCP, WTI; 2009.

Cuadro 2.16. Costa Rica: Contribución relativa de las cuencas respecto a la demanda de agua del país (sin energía, aprovechamiento de 24 horas)

	Año	Bananito	Banano	Barú	Chirripó	Damas	Esquinas	Jesús María	La Estrella	Madre de Dios
Histórica	2000	0,59%	1,08%	0,09%	3,47%	1,63%	1,04%	0,22%	0,03%	0,12%
	2001	0,54%	1,00%	0,08%	3,24%	1,77%	0,61%	0,10%	0,02%	0,09%
	2002	0,51%	0,94%	0,09%	3,04%	1,66%	0,88%	0,13%	0,04%	0,09%
	2003	0,40%	0,74%	0,08%	2,39%	1,30%	0,70%	0,21%	0,02%	0,08%
	2004	0,37%	0,69%	0,08%	2,29%	1,21%	0,68%	0,21%	0,01%	0,08%
	2005	0,34%	0,62%	0,09%	2,15%	1,46%	0,60%	0,21%	0,06%	0,08%
	2006	0,34%	0,62%	0,09%	2,11%	1,44%	0,59%	0,21%	0,07%	0,09%
	2007	0,34%	0,54%	0,08%	1,86%	1,27%	0,53%	0,20%	0,06%	0,08%
	2008	0,33%	0,53%	0,09%	1,84%	1,24%	0,54%	0,21%	0,06%	0,08%
	Año	Matina	Moín	Penín. Osa	Pocosol	Sixaola	Tortuguero	Tusubres	Zapote	Otras Cuencas
Histórica	2000	0,18%	3,80%	0,05%	0,03%	0,03%	0,44%	0,40%	0,87%	85,95%
	2001	0,14%	2,66%	0,07%	0,02%	0,02%	0,41%	0,44%	0,76%	88,02%
	2002	0,13%	2,49%	0,05%	0,02%	0,03%	0,51%	0,48%	0,71%	88,19%
	2003	0,12%	1,93%	0,04%	0,02%	0,02%	0,40%	0,37%	0,55%	90,62%
	2004	0,12%	1,79%	0,04%	0,02%	0,02%	0,39%	0,37%	0,52%	91,12%
	2005	0,11%	1,63%	0,04%	0,01%	0,02%	0,38%	0,34%	0,49%	91,39%
	2006	0,11%	1,59%	0,05%	0,02%	0,02%	0,40%	0,39%	0,49%	91,39%
	2007	0,12%	1,43%	0,04%	0,02%	0,02%	0,35%	0,39%	0,43%	92,24%
	2008	0,14%	1,39%	0,04%	0,04%	0,02%	0,35%	0,37%	0,43%	92,33%

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD, a partir de la Base de Datos del Dpto. de Aguas del MINAET (2008), AyA, ESPH, INEC, CCP, WTI; 2009.

Cuadro 2.17. Costa Rica: Contribución relativa de las cuencas respecto a la demanda de agua del país (sin energía, aprovechamiento de 12 horas).

	Año	Bananito	Banano	Barú	Chirripó	Damas	Esquinas	Jesús María	La Estrella	Madre de Dios
Histórica	2000	0,35%	0,65%	0,07%	2,12%	1,89%	1,19%	0,24%	0,02%	0,09%
	2001	0,32%	0,59%	0,06%	1,96%	2,03%	0,68%	0,10%	0,01%	0,06%
	2002	0,31%	0,57%	0,07%	1,87%	1,97%	0,83%	0,12%	0,04%	0,06%
	2003	0,24%	0,44%	0,06%	1,47%	1,53%	0,65%	0,22%	0,02%	0,06%
	2004	0,22%	0,41%	0,06%	1,44%	1,43%	0,64%	0,22%	0,01%	0,06%
	2005	0,20%	0,38%	0,07%	1,34%	1,72%	0,55%	0,22%	0,09%	0,06%
	2006	0,20%	0,37%	0,07%	1,31%	1,70%	0,54%	0,22%	0,10%	0,06%
	2007	0,22%	0,32%	0,06%	1,13%	1,47%	0,48%	0,20%	0,09%	0,06%
	2008	0,21%	0,31%	0,07%	1,12%	1,43%	0,48%	0,21%	0,08%	0,05%
	Año	Matina	Moín	Penín. Osa	Pocosol	Sixaola	Tortuguero	Tusubres	Zapote	Otras Cuencas
Histórica	2000	0,13%	2,97%	0,05%	0,03%	0,02%	0,29%	0,31%	0,96%	89,28%
	2001	0,09%	1,72%	0,07%	0,02%	0,01%	0,26%	0,30%	0,83%	91,44%
	2002	0,09%	1,65%	0,05%	0,02%	0,02%	0,34%	0,38%	0,79%	91,40%
	2003	0,08%	1,26%	0,04%	0,02%	0,01%	0,26%	0,29%	0,61%	93,17%
	2004	0,08%	1,17%	0,04%	0,02%	0,01%	0,25%	0,29%	0,58%	93,47%
	2005	0,07%	1,06%	0,04%	0,01%	0,01%	0,25%	0,26%	0,55%	93,50%
	2006	0,07%	1,02%	0,06%	0,02%	0,01%	0,27%	0,31%	0,54%	93,49%
	2007	0,08%	0,92%	0,04%	0,01%	0,01%	0,23%	0,33%	0,46%	94,21%
	2008	0,09%	0,89%	0,04%	0,03%	0,01%	0,23%	0,31%	0,45%	94,30%

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD, a partir de la Base de Datos del Dpto. de Aguas del MINAET (2008), AyA, ESPH, INEC, CCP, WTI; 2009.

En el caso de la demanda de agua consuntiva y no consuntiva, la contribución relativa de la demanda de agua de estas cuencas es relativamente pequeño en relación con el resto de

cuencas del país, es de alrededor de un 9% del total del país. Para el caso de la demanda sin el sector energía se encuentra entre un 8% y un 6%, según régimen de aprovechamiento.

Los resultados de dicha distribución por cuencas se presentan en el capítulo 9 de demanda de agua para Costa Rica.

Bibliografía

Adamson, Marcos (2008). Reporte Final del Proyecto: Opciones de Mitigación de Gases del Efecto Invernadero en Costa Rica. CIESA. San José, Costa Rica.

Banco Interamericano de Desarrollo, Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2008). *Elaboración de Balances Hídricos por Cuencas Hidrográficas y Propuesta de Modernización de la Redes de Medición en Costa Rica: Balances Hídricos Mensuales Oferta y Demanda*. San José.

Dirección Sectorial de Energía, MINAET: <http://www.dse.go.cr/>

Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH). Base de datos de consumo de agua potable por cantón, 2000-2009. Base de datos suministrada en el mes de agosto del 2009.

EGIRH (Estrategia de Gestión Integrada de Recursos Hídricos), (2005). MINAE Capítulo de Demanda. San José Costa Rica.

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). Base de datos de consumo de agua potable por distrito, 1999-2009. Base de datos suministrada en el mes de julio del 2009.

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). Base de datos de consumo de agua potable por distrito, 1999-2009. Base de datos suministrada en el mes de julio del 2009.

Instituto Costarricense de Electricidad. (Setiembre, 2007). *Plan de Expansión de la Generación Eléctrica: Período 2008 - 2021*. San José, Costa Rica: Centro Nacional de Planificación Eléctrica: Proceso de Expansión Integrada.

Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP). Estadísticas de Acueductos y Alcantarillados de la Sección de Agua. Consultado en el mes de junio del 2009. Disponible en:

<http://www.aresp.go.cr/cgi-bin/index.fwx?area=11&cmd=servicios&id=2812&sub=2955>

Anexo 2.1A

Distritos reportados por A y A

Provincia	Cantón	Distrito	Provincia	Cantón	Distrito
Alajuela	Alajuela	Aeropuerto	Puntarenas	Puntarenas	Aranjuez
Alajuela	Alajuela	Pasito	Puntarenas	Puntarenas	Zagala
Alajuela	Alajuela	Guácima	Puntarenas	Puntarenas	San Luis
Alajuela	San Ramón	Piedades Norte	Puntarenas	Puntarenas	Carrizal
Alajuela	San Ramón	Barrio Bolívar	Puntarenas	Puntarenas	San Miguel
Alajuela	San Ramón	San Ramón	Puntarenas	Puntarenas	Barranca
Alajuela	San Ramón	San Juan	Puntarenas	Puntarenas	Fray Casiano
Alajuela	Grecia	Rincón Salas	Puntarenas	Puntarenas	Carmen Lyra
Alajuela	San Mateo	Jesús María	Puntarenas	Puntarenas	20 de noviembre
Alajuela	Atenas	Atenas	Puntarenas	Puntarenas	Riojalandia
Alajuela	Atenas	Concepción Río Grande	Puntarenas	Esparza	Mata de Limón
Alajuela	Atenas	Santa Eulalia	Puntarenas	Esparza	Cabezas
Alajuela	Atenas	Alto López	Puntarenas	Esparza	Cascajal
Alajuela	Atenas	Mercedes	Puntarenas	Esparza	Escobal
Alajuela	Atenas	Barrio Jesús	Puntarenas	Esparza	Ceiba
Alajuela	Atenas	Barroeta	Puntarenas	Esparza	Orotina
Alajuela	Palmares	Palmares	Puntarenas	Esparza	Turrucares
Alajuela	Palmares	Zaragoza	Puntarenas	Esparza	Ciruelas
Alajuela	Los Chiles	Los Chiles	Puntarenas	Esparza	Esparza
Cartago	La Unión	La Unión de Tres Ríos	Puntarenas	Esparza	Tivives
Guanacaste	Liberia	Liberia	Puntarenas	Esparza	San Mateo
Guanacaste	Liberia	Guardia Comunidad	Puntarenas	Esparza	Limal
Guanacaste	Liberia	Cañas Dulces	Puntarenas	Buenos Aires	Buenos Aires
Guanacaste	Liberia	Quebrada Grande	Puntarenas	Buenos Aires	Santa Marta
Guanacaste	Nicoya	Nicoya	Puntarenas	Osa	Ciudad Cortés
Guanacaste	Nicoya	San Antonio	Puntarenas	Osa	Palmar Norte
Guanacaste	Nicoya	La Mansión	Puntarenas	Aguirre	Quepos
Guanacaste	Nicoya	La Vigia	Puntarenas	Golfito	Puerto Jiménez
Guanacaste	Nicoya	Polvazales	Puntarenas	Golfito	La Mona
Guanacaste	Santa Cruz	Santa Cruz	Puntarenas	Golfito	Los Ángeles
Guanacaste	Santa Cruz	Cartagena	Puntarenas	Golfito	Río Claro
Guanacaste	Santa Cruz	Lagunilla	Puntarenas	Golfito	Golfito
Guanacaste	Santa Cruz	Santa Barbará	Puntarenas	Coto Brus	San Vito
Guanacaste	Santa Cruz	27 de Abril	Puntarenas	Coto Brus	Sabalito
Guanacaste	Santa Cruz	Tempate	Puntarenas	Coto Brus	Agua Buena
Guanacaste	Santa Cruz	Bolson Ortega	Puntarenas	Coto Brus	Santa Rita
Guanacaste	Santa Cruz	Portegolpe	Puntarenas	Parrita	Parrita

Guanacaste	Santa Cruz	Tamarindo	Puntarenas	Corredores	Ciudad Neily
Guanacaste	Bagaces	Bagaces	Puntarenas	Corredores	La Cuesta
Guanacaste	Carrillo	Palmira	Puntarenas	Corredores	Paso Canoas
Guanacaste	Carrillo	Belén	Puntarenas	Corredores	La Fuente
Guanacaste	Carrillo	Río Cañas	Puntarenas	Corredores	Laurel
Guanacaste	Carrillo	Sardinal	Puntarenas	Garabito	Jacó
Guanacaste	Carrillo	El Coco	San José	San José	San José
Guanacaste	Carrillo	Filadelfia	San José	Escazú	Escazú
Guanacaste	Carrillo	Verdun Carpintero	San José	Desamparados	Desamparados
Guanacaste	Cañas	Cañas	San José	Puriscal	Santiago de Puriscal
Guanacaste	Cañas	Bello Horizonte- Pedregal	San José	Puriscal	Cañales Abajo
Guanacaste	Cañas	Ciudadela San Luis	San José	Puriscal	Mercedes Norte- Puriscal
Guanacaste	Cañas	El Vergel	San José	Puriscal	Bajo Badillas
Guanacaste	Abangares	Colorado	San José	Puriscal	Santa Cecilia
Guanacaste	Tilarán	Tilarán	San José	Puriscal	Pozos
Guanacaste	Tilarán	Los Ángeles	San José	Puriscal	Cerbatana
Guanacaste	Tilarán	Líbano	San José	Puriscal	Mercedes Norte- Fte. Gari
Guanacaste	Tilarán	Tierras Morenas	San José	Puriscal	Bajo La Lengua
Guanacaste	Tilarán	Buenos Aires	San José	Puriscal	Alto La Lengua
Guanacaste	La Cruz	La Cruz	San José	Puriscal	Barbacoas
Guanacaste	La Cruz	Peñas Blancas	San José	Puriscal	San Antonio
Guanacaste	Hojancha	Hojancha	San José	Puriscal	Piedades
Heredia	San Isidro	San Isidro	San José	Puriscal	Candelarita
Heredia	San Pablo	San Pablo	San José	Aserri	Aserri
Limón	Limón	Limón	San José	Mora	Ciudad Colón
Limón	Limón	La Bomba	San José	Mora	San Bosco
Limón	Pococí	Guápiles	San José	Mora	Ticufres
Limón	Pococí	Jiménez	San José	Mora	Morado
Limón	Pococí	La Rita	San José	Mora	Corrogres
Limón	Pococí	San Antonio	San José	Goicoechea	Goicoechea
Limón	Pococí	Roxana	San José	Santa Ana	Santa Ana
Limón	Pococí	Cariari	San José	Alajuelita	Alajuelita
Limón	Siquirres	Siquirres	San José	Vásquez de Coronado	Vásquez de Coronado
Limón	Siquirres	Pacuarito	San José	Acosta	San Ignacio
Limón	Siquirres	Madre de Dios	San José	Acosta	Guaitil de Acosta
Limón	Siquirres	Indiana	San José	Tibás	Tibás
Limón	Talamanca	Cahuita	San José	Moravia	Moravia
Limón	Talamanca	Puerto Viejo	San José	Montes de Oca	Montes de Oca
Limón	Matina	Matina	San José	Turrubares	San Pablo

Limón	Matina	28 millas	San José	Turrubares	San Pedro
Limón	Matina	Estrada	San José	Turrubares	San Gabriel
Limón	Matina	Bataan	San José	Turrubares	Purires
Limón	Matina	Luzon	San José	Curridabat	Curridabat
Limón	Matina	Santa Marta	San José	Pérez Zeledón	San Isidro de Pérez Zeledón
Limón	Guácimo	Guácimo	San José	Pérez Zeledón	Peñas Blancas
Limón	Guácimo	Pocora	San José	Pérez Zeledón	Tinamaste
Limón	Guácimo	Río Jiménez	San José	Pérez Zeledón	Pejibaye
Puntarenas	Puntarenas	Pochote	San José	Pérez Zeledón	San Rafael de Platanares
Puntarenas	Puntarenas	Cobano	San José	Pérez Zeledón	Platanillo
Puntarenas	Puntarenas	Tambor	San José	Pérez Zeledón	Palmares
Puntarenas	Puntarenas	Jicaral	San José	Pérez Zeledón	Las Juntas de Pacuar
Puntarenas	Puntarenas	La Tigra	San José	Pérez Zeledón	Rosario de Pacuar
Puntarenas	Puntarenas	Puntarenas	San José	Pérez Zeledón	La Palma
Puntarenas	Puntarenas	El Roble	San José	Pérez Zeledón	Pavones
Puntarenas	Puntarenas	Pitahaya	San José	Pérez Zeledón	Quebradas

Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con datos de AyA, 2009.

Anexo 2.2A: Consumo de Agua Potable provista por el AyA y el ESPH por Cuenca: Consumo Total y Consumo Mensual Promedio

Las Cuencas Bananito, Damas, Río Frío, Savegre y Sixaola, no presentan registros de consumo de agua potable según AyA y ESPH.

Abangares: Consumo total y consumo mensual promedio de agua potable

Abangares	Consumo total	Consumo mensual promedio
2008	3.086.208	257.184
2007	3.053.234	254.436
2006	2.776.125	231.344
2005	3.265.634	272.136
2004	3.358.623	279.885
2003	3.662.272	305.189
2002	3.618.754	301.563
2001	5.705.940	475.495
2000	9.805.623	817.135

Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con datos de AyA, 2009.

Banano: Consumo total y consumo mensual promedio de agua potable

Banano	Consumo total	Consumo mensual promedio
2008	59.498	4.958
2007	55.677	4.640
2006	53.744	4.479
2005	56.563	4.714
2004	52.409	4.367
2003	42.863	3.572
2002	33.129	2.761
2001	29.493	2.458
2000	165.074	13.756

Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con datos de AyA, 2009.

Barranca: Consumo total y consumo mensual promedio de agua potable

Barranca	Consumo total	Consumo mensual promedio
2008	5.064.235	422.020
2007	5.467.265	455.605
2006	4.224.482	352.040
2005	4.568.337	380.695
2004	5.059.169	421.597
2003	5.510.075	459.173
2002	4.756.329	396.361
2001	10.643.167	886.931
2000	15.917.114	1.326.426

Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con datos de AyA, 2009.

Barú: Consumo total y consumo mensual promedio de agua potable

Barú	Consumo total	Consumo mensual promedio
2008	82.994	6.916
2007	83.937	6.995
2006	81.952	6.829
2005	72.862	6.072
2004	67.001	5.583
2003	76.747	6.396
2002	61.982	5.165
2001	67.394	5.616
2000	80.387	6.699

Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con datos de AyA, 2009.

Bebedero: Consumo total y consumo mensual promedio de agua potable

Bebedero	Consumo total	Consumo mensual promedio
2008	2.781.905	231.825
2007	2.558.047	213.171
2006	2.612.924	217.744
2005	5.120.457	426.705
2004	4.477.502	373.125
2003	2.946.698	245.558
2002	2.925.054	243.755
2001	3.730.227	310.852
2000	9.935.570	827.964

Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con datos de AyA, 2009.

Chirripó: Consumo total y consumo mensual promedio de agua potable

Chirripó	Consumo total	Consumo mensual promedio
2008	2.343.985	195.332
2007	2.139.556	178.296
2006	2.220.995	185.083
2005	2.674.884	222.907
2004	3.476.987	289.749
2003	2.042.469	170.206
2002	1.712.459	142.705
2001	2.364.443	197.037
2000	2.187.355	182.280

Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con datos de AyA, 2009.

Esquinas: Consumo total y consumo mensual promedio de agua potable

Esquinas	Consumo total	Consumo mensual promedio
2008	2.755.044	229.587
2007	2.647.574	220.631
2006	2.508.020	209.002
2005	2.908.685	242.390
2004	3.560.668	296.722
2003	2.947.977	245.665
2002	3.054.426	254.535
2001	3.811.501	317.625
2000	11.453.738	954.478

Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con datos de AyA, 2009.

Jesús María: Consumo total y consumo mensual promedio de agua potable

Jesús María	Consumo total	Consumo mensual promedio
2008	1.258.875	104.906
2007	1.026.407	85.534
2006	1.423.466	118.622
2005	1.348.632	112.386
2004	1.261.201	105.100
2003	1.126.378	93.865
2002	1.112.968	92.747
2001	1.093.288	91.107
2000	3.269.895	272.491

Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con datos de AyA, 2009.

La Estrella: Consumo total y consumo mensual promedio de agua potable

La Estrella	Consumo total	Consumo mensual promedio
2008	84.699	7.058
2007	194.788	16.232
2006	189.036	15.753
2005	97.161	8.097
2004	90.033	7.503
2003	305.937	25.495
2002	554.043	46.170
2001	76.656	6.388
2000	200.731	16.728

Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con datos de AyA, 2009.

Madre de Dios: Consumo total y consumo mensual promedio de agua potable

Madre de Dios	Consumo total	Consumo mensual promedio
2008	680.655	56.721
2007	671.559	55.963
2006	647.304	53.942
2005	628.117	52.343
2004	650.356	54.196
2003	572.588	47.716
2002	233.245	19.437
2001	241.329	20.111
2000	574.207	47.851

Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con datos de AyA, 2009.

Matina: Consumo total y consumo mensual promedio de agua potable

Matina	Consumo total	Consumo mensual promedio
2008	422.950	35.246
2007	318.116	26.510
2006	296.051	24.671
2005	273.817	22.818
2004	289.787	24.149
2003	349.375	29.115
2002	336.226	28.019
2001	382.996	31.916
2000	816.985	68.082

Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con datos de AyA, 2009.

Moín: Consumo total y consumo mensual promedio de agua potable

Moín	Consumo total	Consumo mensual promedio
2008	4.682.926	390.244
2007	5.268.476	439.040
2006	4.176.333	348.028
2005	4.910.841	409.237
2004	4.868.825	405.735
2003	5.222.156	435.180
2002	5.712.577	476.048
2001	6.112.782	509.399
2000	24.803.961	2.066.997

Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con datos de AyA, 2009.

Naranjo: Consumo total y consumo mensual promedio de agua potable

Naranjo	Consumo total	Consumo mensual promedio
2008	2.328.180	194.015
2007	2.072.834	172.736
2006	2.096.712	174.726
2005	2.103.997	175.333
2004	1.938.760	161.563
2003	3.028.773	252.398
2002	2.009.568	167.464
2001	3.095.225	257.935
2000	11.112.470	926.039

Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con datos de AyA, 2009.

Pacuare: Consumo total y consumo mensual promedio de agua potable

Pacuare	Consumo total	Consumo mensual promedio
2008	1.386.082	115.507
2007	1.581.423	131.785
2006	1.301.194	108.433
2005	1.406.488	117.207
2004	1.242.437	103.536
2003	1.424.231	118.686
2002	1.164.916	97.076
2001	1.401.399	116.783
2000	1.457.781	121.482

Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con datos de AyA, 2009.

Parrita: Consumo total y consumo mensual promedio de agua potable

Parrita	Consumo total	Consumo mensual promedio
2008	1.236.281	103.023
2007	1.126.468	93.872
2006	1.474.060	122.838
2005	1.211.729	100.977
2004	1.448.116	120.676
2003	1.570.246	130.854
2002	1.303.942	108.662
2001	1.904.426	158.702
2000	1.716.486	143.041

Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con datos de AyA, 2009.

Península de Nicoya: Consumo total y consumo mensual promedio de agua potable

Península de Nicoya	Consumo total	Consumo mensual promedio
2008	4.625.019	385.418
2007	5.555.359	462.947
2006	3.725.087	310.424
2005	4.412.998	367.750
2004	2.923.713	243.643
2003	3.255.524	271.294
2002	4.172.780	347.732
2001	4.503.175	375.265
2000	5.024.934	418.745

Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con datos de AyA, 2009.

Península de Osa: Consumo total y consumo mensual promedio de agua potable

Península de Osa	Consumo total	Consumo mensual promedio
2008	227.045	18.920
2007	328.900	27.408
2006	705.401	58.783
2005	201.936	16.828
2004	209.456	17.455
2003	295.605	24.634
2002	295.263	24.605
2001	728.749	60.729
2000	229.796	19.150

Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con datos de AyA, 2009.

Pocosol: Consumo total y consumo mensual promedio de agua potable

Pocosol	Consumo total	Consumo mensual promedio
2008	233.883	19.490
2007	230.460	19.205
2006	420.857	35.071
2005	258.860	21.572
2004	409.981	34.165
2003	366.491	30.541
2002	387.316	32.276
2001	267.712	22.309
2000	400.197	33.350

Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con datos de AyA, 2009.

Reventazón: Consumo total y consumo mensual promedio de agua potable

Reventazón	Consumo total	Consumo mensual promedio
2008	2.013.637	167.803
2007	1.596.023	133.002
2006	1.432.687	119.391
2005	1.609.808	134.151
2004	1.477.536	123.128
2003	1.039.134	86.595
2002	1.005.224	83.769
2001	1.032.772	86.064
2000	13.613.565	1.134.464

Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con datos de AyA, 2009.

San Carlos: Consumo total y consumo mensual promedio de agua potable

San Carlos	Consumo total	Consumo mensual promedio
2008	58.808	4.901
2007	59.305	4.942
2006	51.365	4.280
2005	54.344	4.529
2004	54.880	4.573
2003	65.509	5.459
2002	66.902	5.575
2001	74.646	6.221
2000	181.978	15.165

Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con datos de AyA, 2009.

Tárcoles: Consumo total y consumo mensual promedio de agua potable

Tárcoles	Consumo total	Consumo mensual promedio
2008	106.481.353	8.873.446
2007	106.864.894	8.905.408
2006	103.294.447	8.607.871
2005	114.141.339	9.511.778
2004	102.120.102	8.510.009
2003	110.876.026	9.239.669
2002	104.994.260	8.749.522
2001	140.448.663	11.704.055
2000	129.152.293	10.762.691

Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con datos de AyA, 2009.

Tempisque: Consumo total y consumo mensual promedio de agua potable

Tempisque	Consumo total	Consumo mensual promedio
2008	8.625.805	718.817
2007	9.009.098	750.758
2006	8.037.454	669.788
2005	8.773.232	731.103
2004	7.358.324	613.194
2003	8.001.139	666.762
2002	7.880.708	656.726
2001	9.733.777	811.148
2000	14.447.580	1.203.965

Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con datos de AyA, 2009.

Térraba: Consumo total y consumo mensual promedio de agua potable

Térraba	Consumo total	Consumo mensual promedio
2008	8.765.355	730.446
2007	8.825.956	735.496
2006	9.271.585	772.632
2005	9.044.516	753.710
2004	7.781.949	648.496
2003	8.407.387	700.616
2002	7.684.984	640.415
2001	9.196.216	766.351
2000	8.585.724	715.477

Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con datos de AyA, 2009.

Tortuguero: Consumo total y consumo mensual promedio de agua potable

Tortuguero	Consumo total	Consumo mensual promedio
2008	1.761.592	146.799
2007	1.573.939	131.162
2006	1.801.402	150.117
2005	1.478.918	123.243
2004	757.830	63.153
2003	1.077.615	89.801
2002	1.077.845	89.820
2001	901.107	75.092
2000	1.110.281	92.523

Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con datos de AyA, 2009.

Tusubres: Consumo total y consumo mensual promedio de agua potable

Tusubres	Consumo total	Consumo mensual promedio
2008	1.822.664	151.889
2007	2.594.639	216.220
2006	584.966	48.747
2005	395.005	32.917
2004	398.260	33.188
2003	398.584	33.215
2002	511.951	42.663
2001	858.379	71.532
2000	1.319.039	109.920

Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con datos de AyA, 2009.

Zapote: Consumo total y consumo mensual promedio de agua potable

Zapote	Consumo total	Consumo mensual promedio
2008	516.740	43.062
2007	395.016	32.918
2006	471.141	39.262
2005	959.612	79.968
2004	587.164	48.930
2003	437.787	36.482
2002	422.184	35.182
2001	701.845	58.487
2000	1.674.875	139.573

Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con datos de AyA, 2009.

3. Concesiones de Agua en Costa Rica

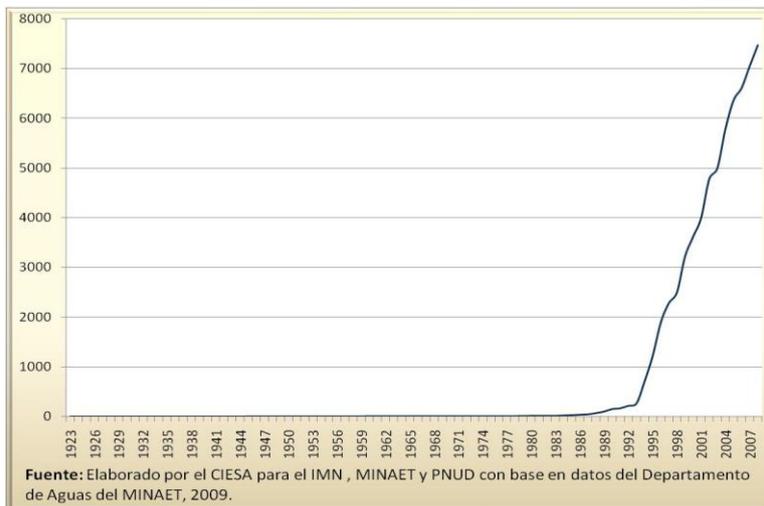
Este capítulo presenta el análisis de concesiones otorgadas y registradas por el MINAET a usuarios de agua. Se fundamenta en su base de datos facilitada por el Departamento de Aguas del MINAET, completada según las solicitudes que realizó CIESA con objeto de mejorar la información. Los datos están al mes de diciembre del 2008.

3.1. Evolución de las concesiones en Costa Rica

Costa Rica muestra una tasa de crecimiento en las solicitudes y caudal concesionado del recurso hídrico preocupantemente elevada. Durante la última década y media, el país ha multiplicado siete veces el número de concesiones solicitadas sobre su recurso hídrico.

El número de concesiones registradas en Costa Rica se mantuvo relativamente estable y bajo, antes del año 1983. Luego de 1984, la cantidad de concesiones registradas aumentó considerablemente. Desde 1923 hasta 1983 se registraron y aún están vigentes¹ formalmente tan solo quince concesiones para explotar el recurso hídrico. Una década después (1993) la cantidad de concesiones acumuladas llegó a 262 concesiones y dos años más tarde pasó a 1.217 concesiones acumuladas, **lo cual implica que, en tan solo dos años, las concesiones se multiplicaron seis veces**. Esto coincide con los esfuerzos que realizaba el país en aquel momento regularizando e instando a formalizar el uso del agua a través de las solicitudes de concesiones, que en muchos casos, es de esperar, ya estaban siendo efectivamente utilizadas.

Gráfico 3.1. Costa Rica: Evolución de la cantidad de concesiones otorgadas y registradas 1929-2008



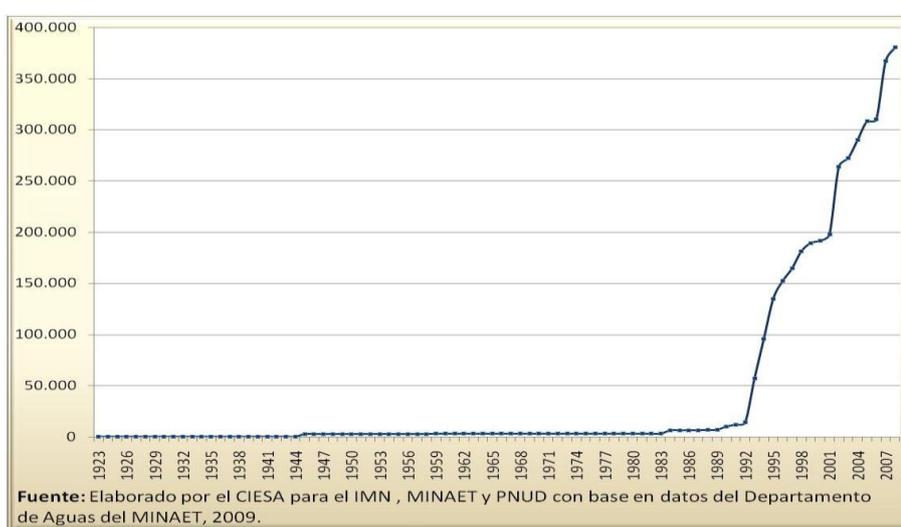
El número promedio de concesiones anuales durante el periodo de 1984 a 1993 fue de 24.7 concesiones. A partir de 1994, el número de concesiones promedio se incrementó a 480.9 concesiones por año (gráfico 3.1). Al 2008, el país cuenta con 7.475 concesiones,

¹ Puede existir una cantidad importante de expedientes que se cancelaron y no fueron renovados. CIESA solicitó esta información, pero la misma aún no está disponible en el Dpto. de Aguas del MINAET.

lo que implica que desde 1995, *nuevamente*, el número de concesiones se multiplicó más de siete veces en menos de década y media (ver anexo 3.1A).²

Lo anterior evidencia una altísima tasa de crecimiento de la demanda por concesiones de agua. El número absoluto de concesiones antes desde 1923 y hasta 1983 fue bastante bajo (en las década de 1920 y 1930 solo se otorgó y registró 1 concesión; en la década de 1940, 4 concesiones; en la década de 1950, 1 concesión; en las décadas de 1960 y 1970, 3 concesiones en cada una). Como se indicó la solicitud de concesiones se disparó a partir de la década de los 80, en estos años el número absoluto de concesiones fue de 88. A partir de 1983 y hasta el año 2008, la tasa de crecimiento promedio anual de solicitud de concesiones fue del **73%**.

Gráfico 3.2. Costa Rica: Evolución del caudal (l/s) concesionado acumulado anual: 1929-2008



El caudal (l/s) concesionado evolucionó siguiendo el patrón del número de concesiones. Al igual que el número de concesiones presentó un aumento significativo a partir del año 1993, el caudal concesionado aumentó considerablemente a partir de este año (ver gráfico 3.2). Desde 1923 y hasta 1944, el caudal concesionado fue de *300 l/s*. En 1945, el caudal concesionado creció un **852%**, al pasar a un caudal de *2905 l/s*, el mismo se mantuvo hasta 1958 donde creció 8.44%. Para 1983 el caudal era de *3218,6 l/s*, un año más tarde experimentó un aumento de **100.98%**. A partir 1984, el caudal acumulado creció a una tasa promedio de **25.58%**. En el año 2008, el caudal acumulado concesionado total en Costa Rica fue de *380.676 l/s* (ver anexo 3.2A).

3.2. Concesiones por cuenca

Según el registro de la Base de Datos de Aguas del Departamento de Aguas del Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET), a diciembre del 2008 se habían registrado y estaban activas **7.468** concesiones para explotar el recurso

² La base de datos provista por el Dpto. de Aguas del MINAET consta de 7477 registros. De estos 6 tienen asignada una latitud y longitud que los localiza fuera del país y una es una concesión de océano. Estas fueron excluidas.

hídrico en Costa Rica. La figura 3.1 muestra la localización de estas concesiones. *Un hallazgo interesante que encontró CIESA en este estudio es que unas muy pocas cuencas concentran la mayoría de estas concesiones y el caudal concesionado.* El 81.5% de las concesiones se concentró en cinco de las treinta y cuatro cuencas del país. Por esa razón en este informe se analizan las principales cuencas que aglutinan el mayor número y caudal concesionado, ya que en la base de datos y el SIG que se ha elaborado dispone de todo el detalle cuenca por cuenca del país; y su narración detallada agregaría poco valor al reporte además de hacerlo innecesariamente extenso. *La cuenca de Tárcoles concentra 38% de las concesiones, seguida por Reventazón con 13%, San Carlos con 10.4% y Península de Nicoya con 7.3% (ver cuadro 3.1).*

El caudal total concesionado en el país a diciembre del 2008 fue de **380.826 l/s**. La cuenca que mayor caudal concesionado concentra es la cuenca del río San Carlos con 31% del total, seguida por Reventazón con 20.4%, Tárcoles con 15.6% del caudal concesionado, Sarapiquí con 7.7% y Zapote con 6.6% (ver cuadro 3.2 y gráfico 3.3). *El 81.52% del caudal concesionado se concentró en 7 de las 34 cuencas, con solo el 63% de las concesiones totales.*

Cuadro 3.1. Costa Rica: Cuencas con mayor número de concesiones y su caudal respectivo en l/s Valores absolutos y relativos (a diciembre del 2008)

	Número de Concesiones	Porcentaje de Concesiones	Caudal (l/s)	Porcentaje de caudal	Caudal promedio (l/s)
Tárcoles	2.840	38,03%	59.428,6	15,61%	20,93
Reventazón	951	12,73%	77.864,2	20,45%	81,88
San Carlos	777	10,40%	117.393,9	30,83%	151,09
Península de Nicoya	543	7,27%	1.519,8	0,40%	2,80
Tempisque	369	4,94%	14.598,0	3,83%	39,56
Parrita	362	4,85%	5.921,3	1,55%	16,36
Térraba	246	3,29%	7.236,7	1,90%	29,42
Subtotal	6.088	81,52%	283.963	74,56%	46,64
Otras cuencas	1.380	18,48%	96.863	25,44%	70,19
Total país	7.468	100%	380.826	100%	50,99

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con base en datos del Departamento de Aguas del MINAET, 2009.

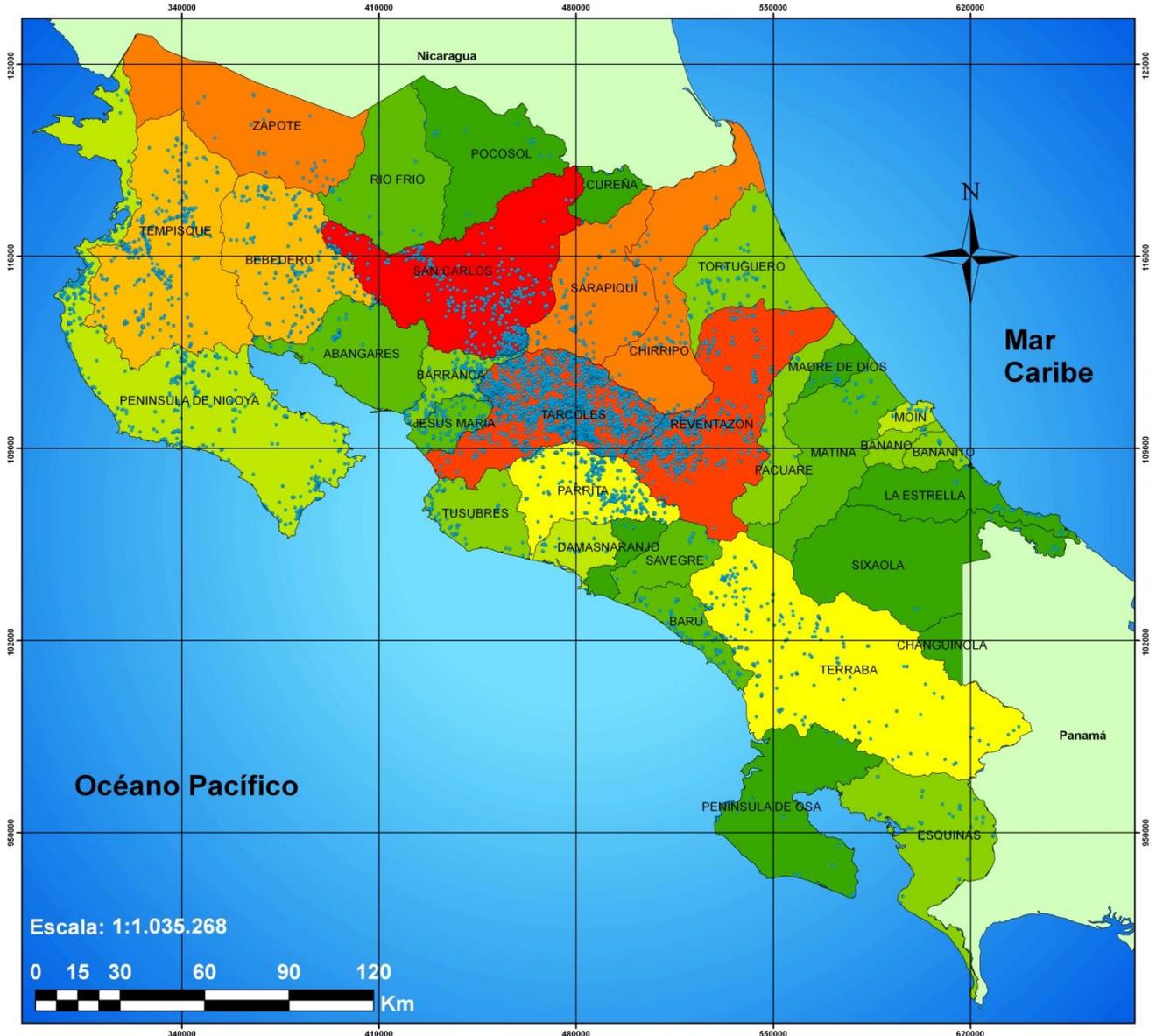
Cuadro 3.2. Costa Rica: Cuencas con mayor caudal concesionado en l/s y su cantidad respectiva de concesiones otorgadas y registradas. Valores absolutos y relativos (a diciembre del 2008)

	Caudal total	Porcentaje de caudal	Número de concesiones	Porcentaje de concesiones	Caudal promedio
San Carlos	117.393,9	30,8%	777	10,4%	151,09
Reventazón	77.864,2	20,4%	951	12,7%	81,88
Tárcoles	59.428,6	15,6%	2.840	38,0%	20,93
Sarapiquí	29.448,4	7,7%	127	1,7%	231,88
Zapote	25.058,1	6,6%	31	0,4%	808,33
Subtotal	309.193,3	81,2%	4.726	63,3%	65,42
Otras cuencas	71.632,7	18,8%	2.742	36,7%	26,12
Total país	380.826,0	100%	7.468	100%	50,99

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con base en datos del Departamento de Aguas del MINAET, 2009.

Figura 3.1. Costa Rica: Distribución de concesiones por cuenca y caudal

Distribución de concesiones por cuenca y caudal (L/s) en Costa Rica, diciembre del 2008



Simbología

Costa Rica

- Cuencas
- Concesiones

Central America

- Pais
- Nicaragua
- Panamá

Rangos de distribución Caudal Total (L/s)

- 0,0000 - 80,3800
- 80,3801 - 234,4170
- 234,4171 - 689,0000
- 689,0001 - 1911,2000
- 1911,2001 - 7236,7270
- 7236,7271 - 14597,9600
- 14597,9601 - 29448,4350
- 29448,4351 - 77864,2440
- 77864,2441 - 117393,8520

CUENCA	CONCESIONES	CAUDAL TOTAL
TARCOLES	2840	59428,603
REVENTAZON	951	77864,244
SAN CARLOS	777	117393,852
PENINSULA DE NICOYA	543	1519,783
TEMPISQUE	369	14597,96
SUBTOTAL	5480	270804,442
OTRAS CUENCAS	1988	110021,513
TOTAL PAIS	7468	380825,955

Elaborado por: CIESA
Para: IMN. 2009

Fuente: Departamento de Aguas, MINAET.



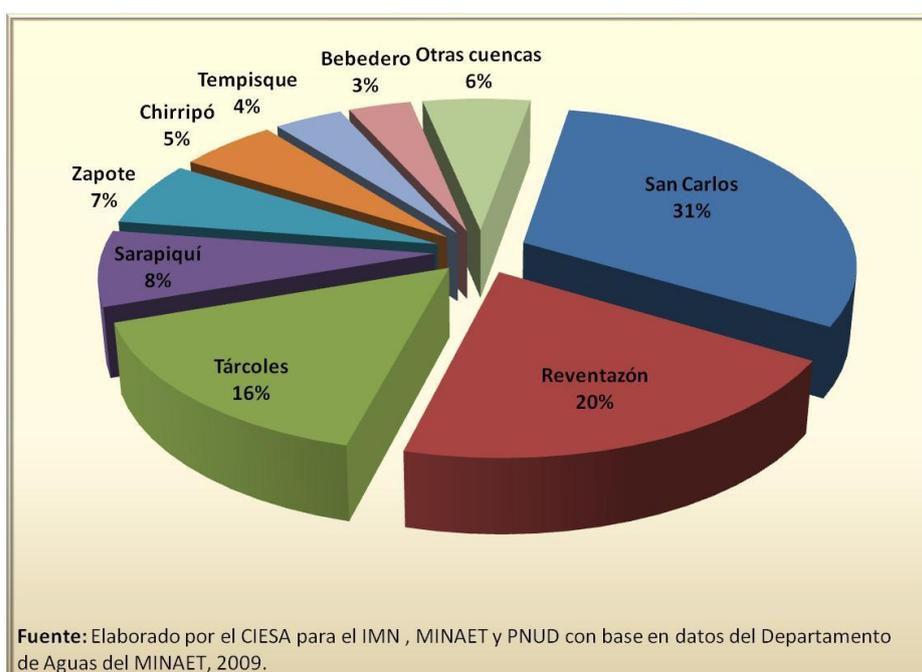
El caudal promedio por concesión para Costa Rica es de 51 l/s. La cuenca con mayor caudal **promedio** concesionado es Zapote con 808,3 l/s, seguida por Chirripó con 247,83 l/s y Sarapiquí con 231,88 l/s (ver cuadro 3.3).

Cuadro 3.3. Costa Rica: Cuencas con mayor caudal promedio por concesión en l/s/ (a diciembre del 2008)

	Caudal promedio (l/s)	Número de concesiones	Porcentaje de concesiones	Caudal total (l/s)	Porcentaje de caudal
Zapote	808,3	31	0,4%	25.058,1	6,6%
Chirripó	247,8	84	1,1%	20.818,1	5,5%
Sarapiquí	231,9	127	1,7%	29.448,4	7,7%
San Carlos	151,1	777	10,4%	117.393,9	30,8%
Moín	138,5	12	0,2%	1.661,8	0,4%
Reventazón	81,9	951	12,7%	77.864,2	20,4%
Damas	79,6	24	0,3%	1.911,2	0,5%
Bebedero	59,6	224	3,0%	13.350,3	3,5%
Subtotal	128,9	2230	29,9%	287.506,0	75,5%
Otras cuencas	17,8	5238	70,1%	93.319,9	24,5%
Total país	50,99	7.468	100%	380.826	100%

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con base en datos del Departamento de Aguas del MINAET, 2009.

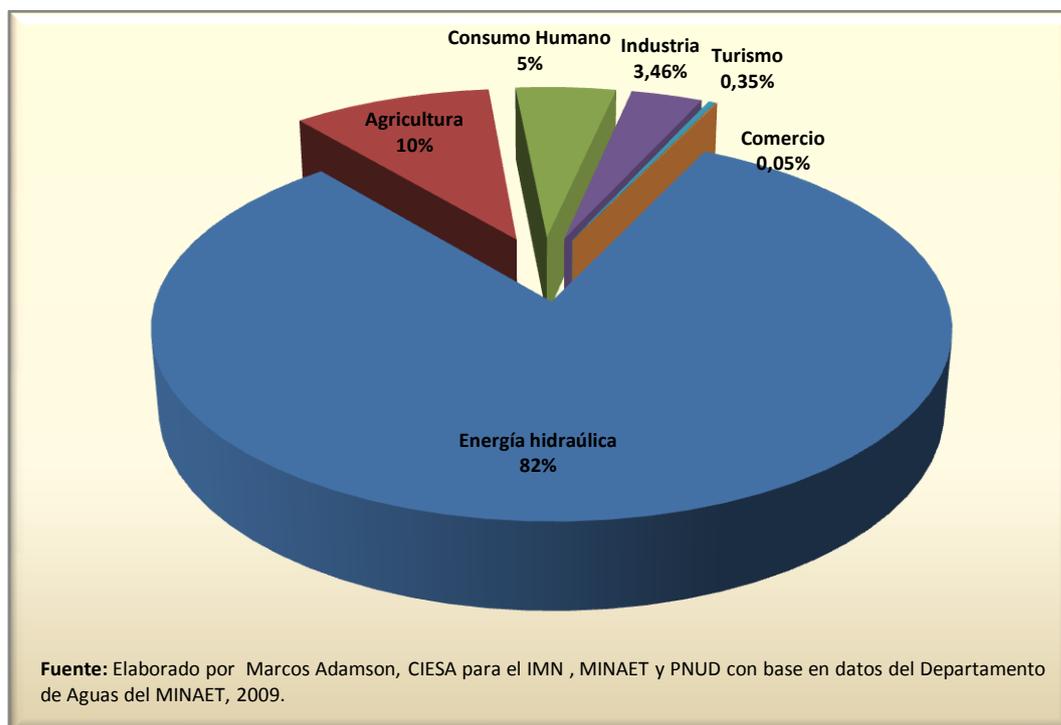
Gráfico 3.3. Costa Rica: Distribución porcentual de caudal concesionado según cuenca (1929- diciembre del 2008)



3.3. Distribución de caudal concesionado por sector productivo

El caudal concesionado se utiliza en diferentes usos. Estos usos incluyen el sector hidráulico, agricultura, consumo humano, industria, turismo y comercio. **CIESA encontró que una gran mayoría del caudal concesionado es de tipo no consuntivo y utilizado para la generación de hidroenergía: poco más del 82% del caudal se utiliza en la generación de energía hidráulica.** Le sigue con un **10% del caudal el sector agrícola**, **5% del caudal concesionado se utiliza para consumo humano**³, **3.5% lo utiliza la industria**, **y tan solo el 0.4% se indica para usos de turismo y comercio** (ver gráfico 3.4).

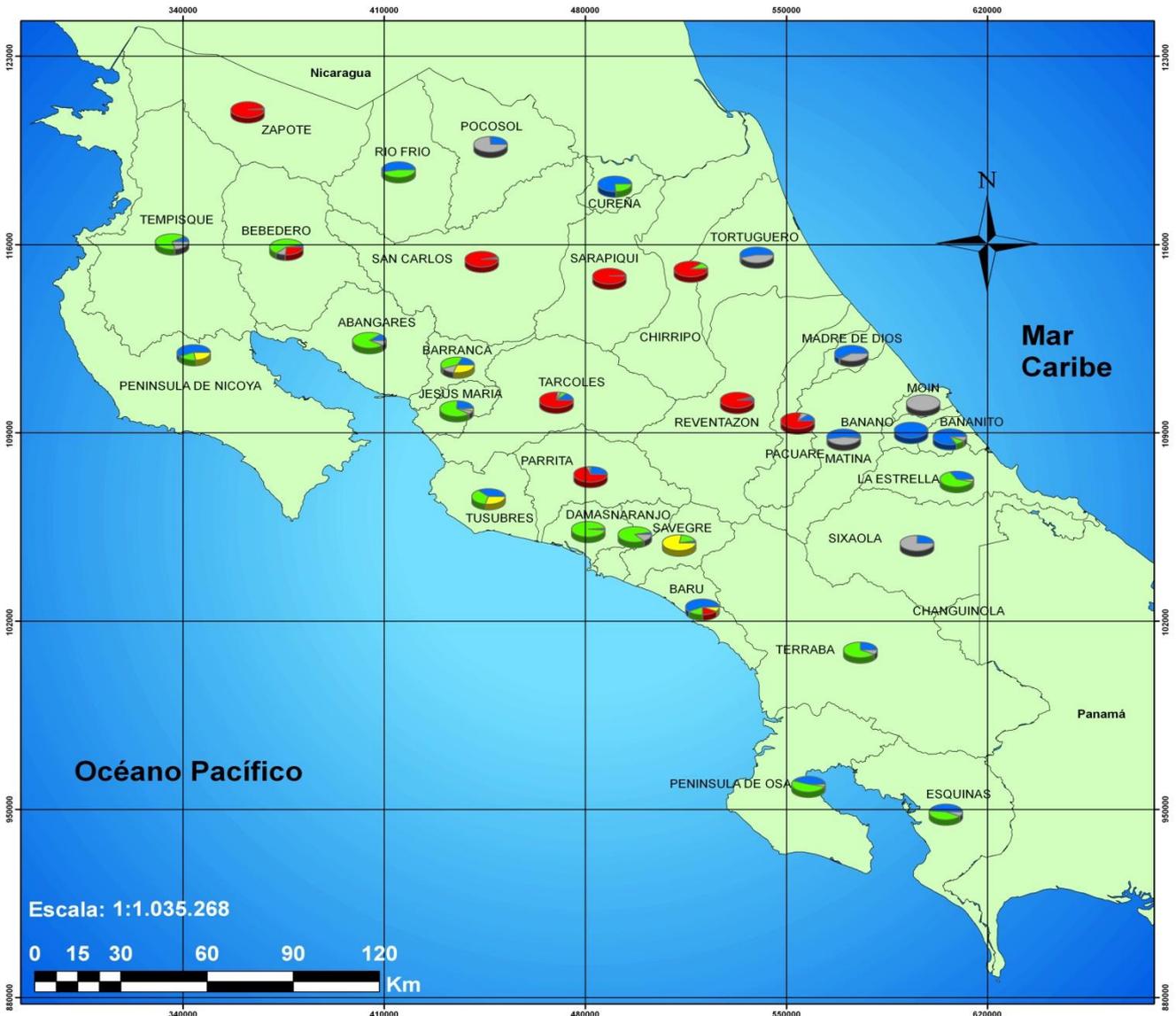
Gráfico 3.4. Costa Rica: Distribución porcentual del caudal concesionado por sector de uso (1929- a diciembre del 2008).



La figura 3.2 muestra un mapa con la distribución de concesiones por cuenca según su uso. Se puede observar como las concesiones para generación de energía se concentran en las cuencas de San Carlos, Sarapiquí, Zapote, Chirripó, Tárcoles, Parrita, Reventazón y Pacuare, lo cual confirma lo que se mencionó con anterioridad. Por otro lado, las cuencas con mayor caudal concesionado para la agricultura se encuentran en el Pacífico Central y Guanacaste (en el mapa cuando se indique consumo se refiere a consumo humano).

³ Debe tenerse claro que en el análisis de concesiones a diciembre del 2008 no se había incluido en la base del Dpto. de Aguas del MINAET, la información de concesiones asociadas al agua potable distribuida por Acueductos y Alcantarillados y la Empresa de Servicios Públicos de Heredia. En el siguiente informe, se presentará un consolidado de consumo de agua, más allá de las concesiones, que si incluye dichos consumos.

Figura 3.2. Costa Rica: Distribución de concesiones por cuenca según su uso, datos a diciembre del 2008.



Escala: 1:1.035.268



Simbología

Costa Rica

Central America

País

Nicaragua

Panamá

Rangos de distribución

CONSUMO

AGRICULTURA

INDUSTRIA

COMERCIO

ENERGIA

TURISMO

Distribución de concesiones por cuenca según su uso Costa Rica, diciembre del 2008

CUENCA	CONCESIONES	CAUDAL TOTAL (L/s)
TARCOLES	2840	59428,603
REVENTAZON	951	77864,244
SAN CARLOS	777	117393,852
PENINSULA DE NICOYA	543	1519,783
TEMPISQUE	369	14597,96
SUBTOTAL	5480	270804,442
OTRAS CUENCAS	1988	110021,513
TOTAL PAÍS	7468	380825,955

Elaborado por: CIESA
Para: IMN. 2009

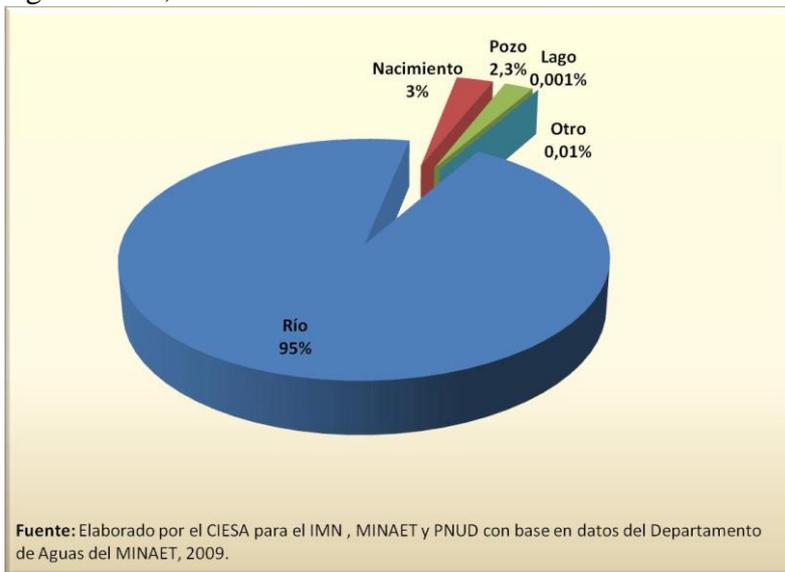
Fuente: Departamento de Aguas, MINAET.



3.4. Distribución de concesiones por fuente

Las fuentes de explotación del recurso hídrico están clasificadas en ríos, nacientes, pozos, derivaciones o canales, océanos, lagos, causes, entre otros. **CIESA encontró que en Costa Rica, un 95% de las concesiones usan como fuente de explotación los ríos.** La segunda fuente de explotación son las nacientes y los pozos (ver gráfico 3.5).

Gráfico 3.5. Costa Rica: Distribución porcentual de concesiones otorgadas y registradas según fuente, 1929- a diciembre del 2008



3.5. Concesiones excluyendo el sector de hidroenergía

Es relevante realizar un análisis excluyendo las concesiones utilizadas en generación hídrica, ya que se trata de un consumo no consuntivo y al utilizar más del 80% del caudal concesionado, **opaca el análisis del restante 19% de caudal efectivamente consumido por los otros sectores.**⁴

A continuación se presentan los principales resultados de concesiones y caudales por sector y fuente, para este 19% de agua efectivamente consumida.

El gráfico 3.6 muestra que, **excluyendo energía, el sector agrícola concentra el 52,43% del caudal total concesionado.** El sector de **consumo representa el 26,44%** del caudal concesionado, seguido por el sector industria (19%), turismo (2%) y comercio (0.3%).

Por otro lado, las concesiones excluyendo energía tienen como fuente principal los ríos (52,4%), seguido por nacimientos (16%), pozos (13%), lagos (0.01%) y otras fuentes (0.07%) (Ver gráfico 3.7).

⁴ El sector piscícola también hace un uso no consuntivo, sin embargo el caudal concesionado representa una fracción mínima, que no amerita su exclusión.

Gráfico 3.6. Costa Rica: Distribución porcentual de concesiones otorgadas y registradas, excluyendo energía, según uso. 1929- a diciembre del 2008

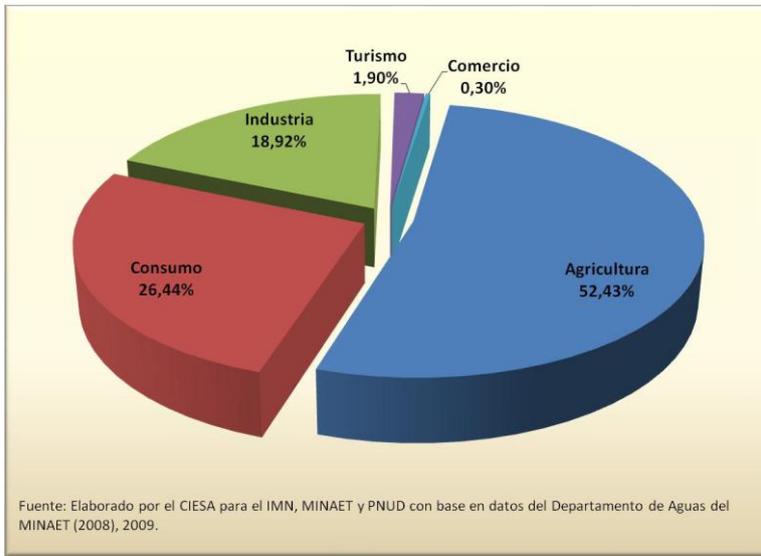
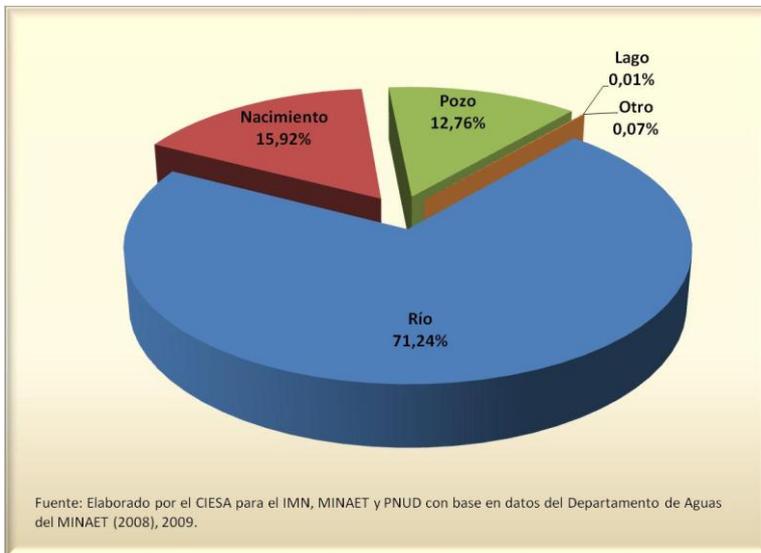


Gráfico 3.7. Costa Rica: Distribución porcentual de concesiones otorgadas y registradas, excluyendo energía, según fuente. 1929- a diciembre del 2008



La figura 3.3 muestra un mapa con la distribución de concesiones por cuenca según su uso. Este mapa excluye el sector de hidrogenación y permite observar con mayor claridad que los sectores de agricultura, consumo e industria son los que luego de la generación de energía acaparan la mayor cantidad de caudal concesionado: *la mitad del agua se utiliza en la agricultura y un cuarto para consumo humano* (en el mapa cuando se indique consumo se refiere a consumo humano).

Figura 3.3. Costa Rica: Distribución de concesiones por cuenca según su uso (excluye hidrogenación), datos a diciembre del 2008.



Simbología

Costa Rica

- Cuencas

Centroamérica

- Panamá
- Nicaragua

Concesiones según su uso

- CONSUMO
- AGRICULTURA
- INDUSTRIA
- COMERCIO
- TURISMO

Distribución de concesiones por cuenca según su uso (excluye hidrogenación) Costa Rica, diciembre del 2008

CUENCA	TOTAL CONCESIONES	TOTAL CAUDAL (L/s)
TARCOLES	2825	14019,863
REVENTAZON	920	4091,344
SAN CARLOS	741	5249,552
PENINSULA DE NICOYA	543	1519,783
TEMPISQUE	369	14597,96
PARRITA	357	1821,331
SUBTOTAL	5755	41299,833
OTRAS CUENCAS	1607	28411,482
TOTAL PAÍS	7362	69711,315

Elaborado por: CIESA
Para: IMN. 2009

Fuente: Departamento de Aguas, MINAET.



3.6.Principales concesionarios (excluyendo ICE, A y A, ESPH) a nivel nacional por sector de uso.

3.6.a. Sector de uso Energía

Los principales concesionarios para el sector energía se ubican en las cuencas de Reventazón, San Carlos, Chirripó y Tárcoles. En el cuadro 3.4 se muestra el porcentaje del caudal concesionado en sus respectivas cuencas. Se puede observar como el concesionario de la cuenca de Reventazón acapara el 54% del caudal total concesionado en su cuenca. Además, el concesionario de Chirripó acapara el 89% del caudal de la cuenca para generación de energía.

Cuadro 3.4. Principales concesionarios para el sector de uso energía

Principales concesionarios	Cuenca	Caudal (l/s)	Porcentaje del caudal en la cuenca respectiva
UNION FENOSA GENERADORA LA JOYA S.A.	Reventazón	41800	53,68%
CONELECTRICAS R.L.	San Carlos	24890	21,20%
CONELECTRICAS R.L.	San Carlos	20000	17,04%
HIDROENERGIA DEL GENERAL SRL	Chirripó	18500	88,86%
COMPAÑIA NACIONAL DE FUERZA Y LUZ, S.A.	Tárcoles	14000	23,56%

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con base en datos del Departamento de Aguas del MINAET, 2009.

3.6.b. Sector de uso Agricultura

Los cinco concesionarios que absorben el mayor porcentaje de caudal en el sector agricultura se ubican en las cuencas de Bebedero, Chirripó, Damas y Tempisque. Estos concesionarios acaparan entre un 5.5% y un 47% del caudal total de sus cuencas (ver cuadro 3.5).

Cuadro 3.5. Principales concesionarios para el sector de uso agricultura

Principales concesionarios	Cuenca	Caudal (l/s)	Porcentaje del caudal en la cuenca respectiva
AQUACORPORACION INTERNACIONAL S.A.	Bebedero	5000	37,45%
ACUA CARIBE S.A	Chirripó	2000	9,61%
COMPAÑIA PALMA TICA S.A.	Damas	900	47,09%
GEORGE W STEWART S.A.	Bebedero	800	5,99%
GANADERA SAN LAZARO LTDA	Tempisque	800	5,48%

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con base en datos del Departamento de Aguas del MINAET, 2009.

3.6.c. Sector de uso Consumo

En el sector consumo, los concesionarios que mayor caudal concentran, exceptuando AyA y ESPH, son las ASADA Linda Vista y Altos Cedros y la Municipalidad de Alajuela. Estos concesionarios acaparan porcentajes relativamente bajos de caudal de sus cuencas (ver cuadro 3.6).

Cuadro 3.6. Principales concesionarios para el sector de uso consumo

Principales concesionarios	Cuenca	Caudal (l/s)	Porcentaje del caudal en la cuenca respectiva
ASADA LINDA VISTA Y CEIBA ESTE DE ACOSTA	Parrita	1.074	18,14%
MUNICIPALIDAD DE ALAJUELA	Tárcoles	190	0,32%
ASADA INTEGRADO ALTOS CEDROS MONTERREY , SANTA ROSA DE POC	San Carlos	110	0,09%
MUNICIPALIDAD DE ALAJUELA	Tárcoles	100	0,17%
MUNICIPALIDAD DE ALAJUELA	Tárcoles	100	0,17%

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con base en datos del Departamento de Aguas del MINAET, 2009.

3.6.d. Sector de uso Industria

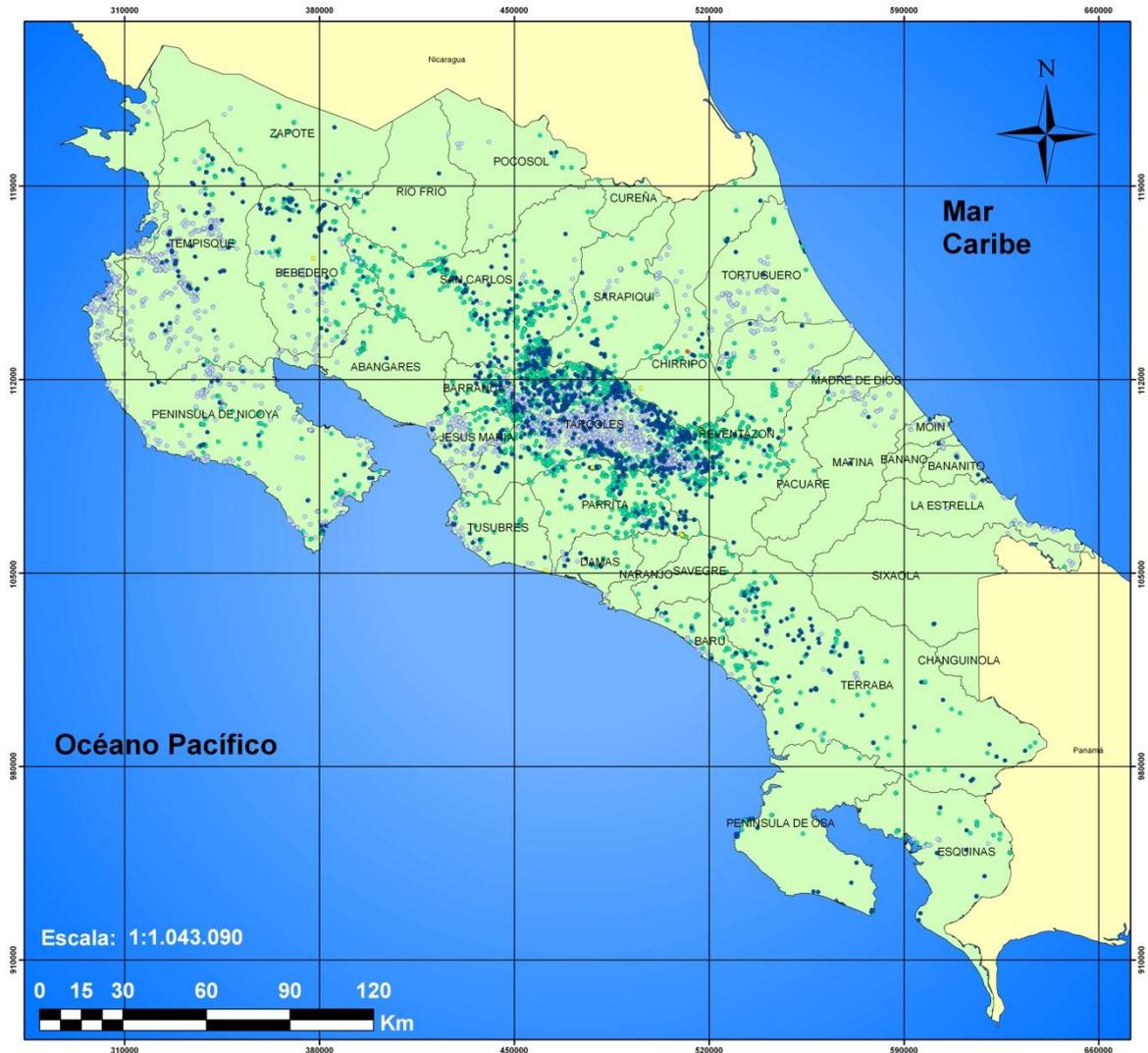
Los cinco principales concesionarios de la industria se ubican en las cuencas de Tempisque, Moín, Bebedero y San Carlos. Es importante resaltar que la Central Azucarera Tempisque acapara el 20,5% del caudal concesionado en Tempisque. Por otro lado, RECOPE absorbe el 98% del caudal en Moín (ver cuadro 3.7).

Cuadro 3.7. Principales concesionarios para el sector de uso industria

Principales concesionarios	Cuenca	Caudal (l/s)	Porcentaje del caudal en la cuenca respectiva
CENTRAL AZUCARERA TEMPISQUE S.A.	Tempisque	3000	20,55%
REFINADORA COSTARRICENSE DE PETROLEO S.A.	Moín	1631	98,15%
INGENIO TABOGA S.A.	Bebedero	1500	11,24%
TICOFRUT S.A.	San Carlos	570	0,49%
INGENIO QUEBRADA AZUL LTDA	San Carlos	500	0,43%

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con base en datos del Departamento de Aguas del MINAET, 2009.

Figura 3.4. Costa Rica: Cantidad de Concesiones según su fuente (excluye hidrogenación), datos a diciembre del 2008



Simbología	
● Lagos	■ Panamá
● Otros	■ Nicaragua
● Ríos	■ Cuencas Costa Rica
● Pozos	
● Nacimientos	

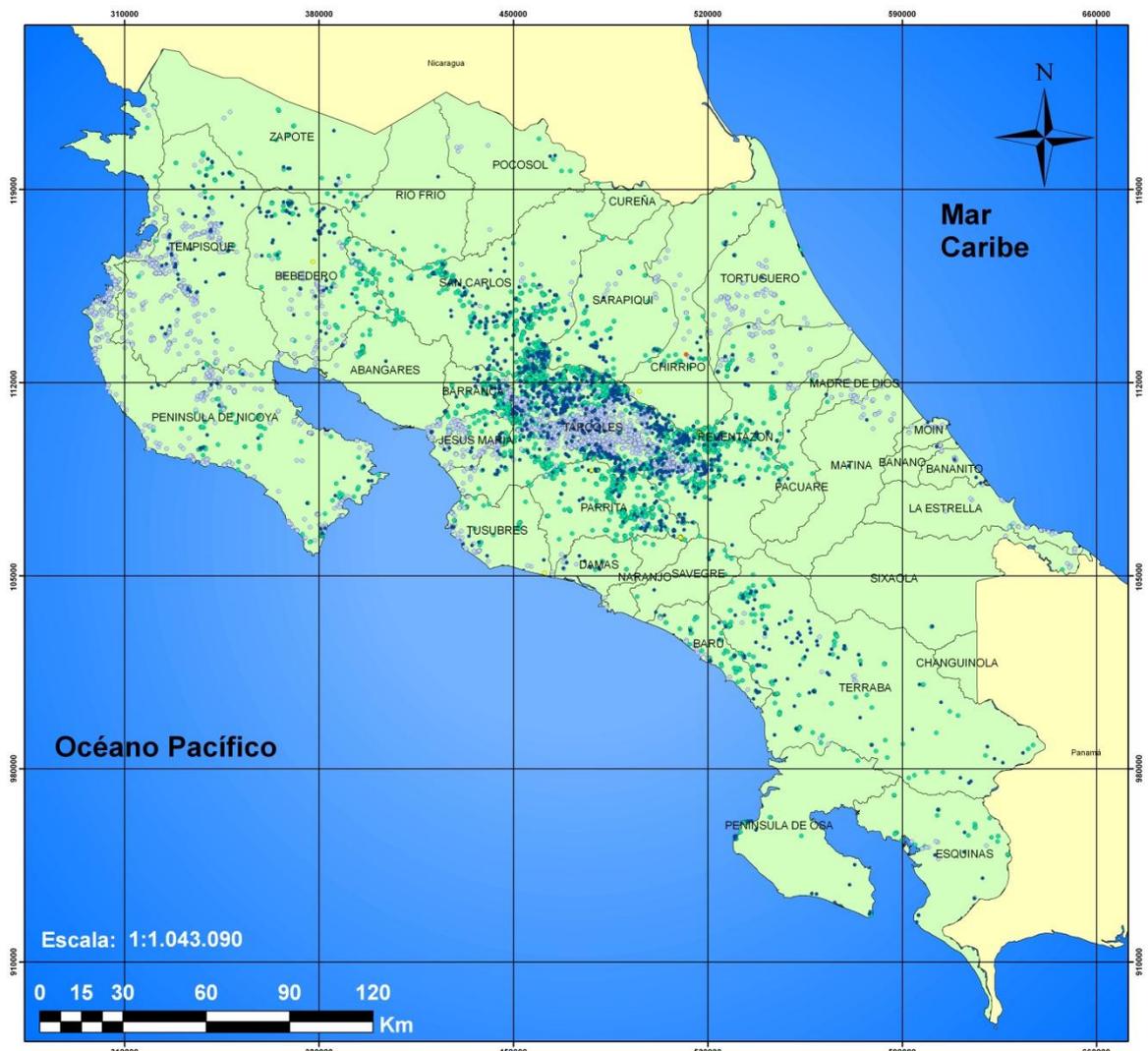
Cantidad de concesiones según su fuente (excluye hidrogenación) Costa Rica, diciembre del 2008

Cantidad por división según tipo de fuente		
Nacientes	Pozos	Ríos
3476	2558	1323
Otros	Lagos	Total
7	1	7365

Fuente: Elaborado por CIESA para IMN a partir de la base de datos del Dpto. de Aguas del MINAET. 2009.



Figura 3.5. Costa Rica: Cantidad de Concesiones según su fuente (incluye hidrogenación), datos a diciembre del 2008



Simbología

- Lagos
- Otros
- Pozos
- Nacimientos
- Ríos con hidrogenación
- Panamá
- Nicaragua
- Cuencas Costa Rica

Cantidad de concesiones según su fuente (incluye hidrogenación) Costa Rica, diciembre del 2008

Cantidad por división según tipo de fuente		
Nacientes	Pozos	Ríos
3476	2558	1323
Otros	Lagos	Total
7	1	7365

Fuente: Elaborado por CIESA para IMN a partir de la base de datos del Dpto. de Aguas del MINAET. 2009.



Los siguientes mapas muestran la evolución histórica de las concesiones en Costa Rica de 1923 al 2008. En ellos se puede observar que la explosión de concesiones se presentó en los últimos años, la mayor parte de estas se registran partir del año 1991.

Figura3.6. Concesiones en Costa Rica, periodo: 1923 al 1981



Figura 3.7. Concesiones en Costa Rica, periodo: 1981 al 1991

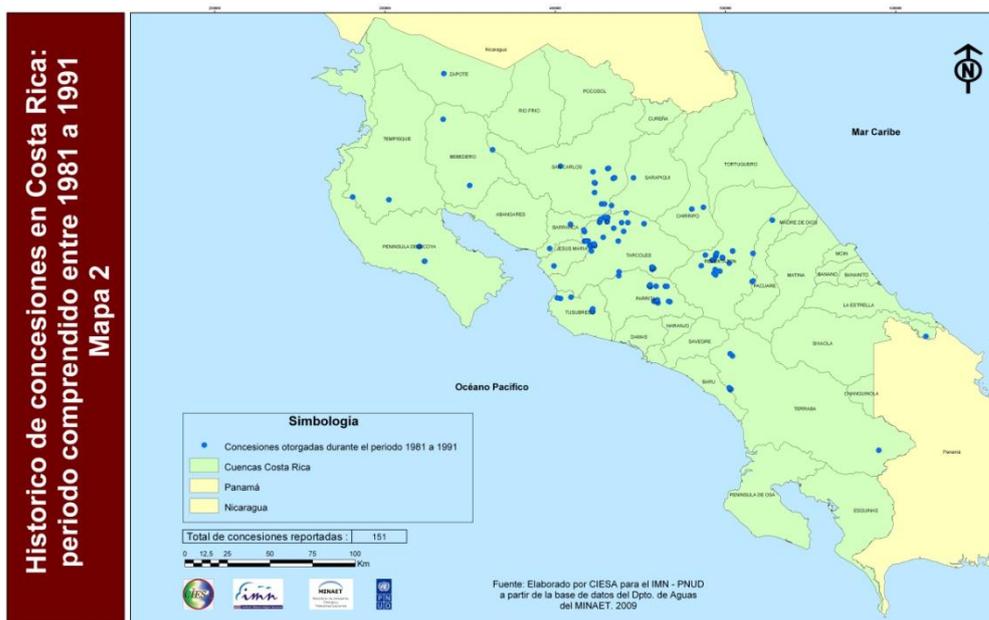


Figura 3.8. Concesiones en Costa Rica, periodo: 1991 al 2001

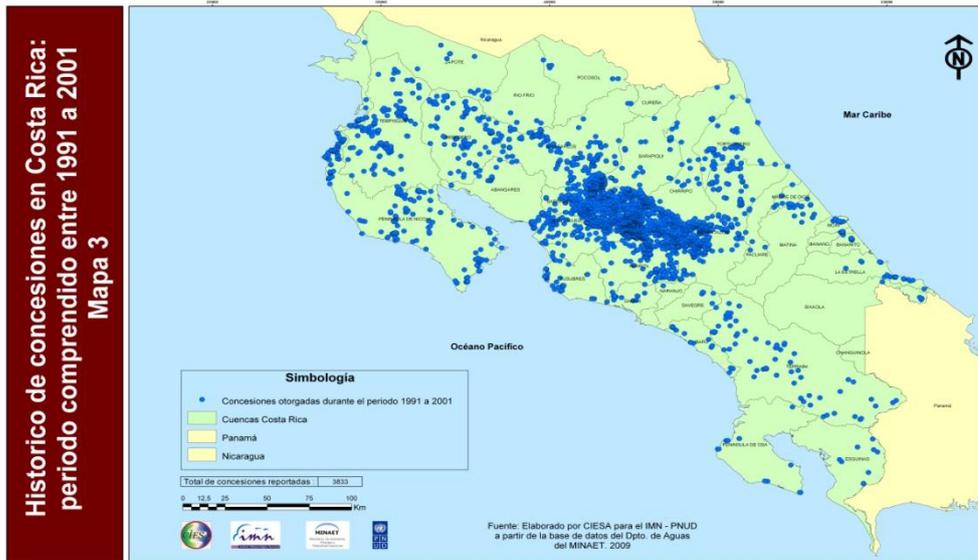
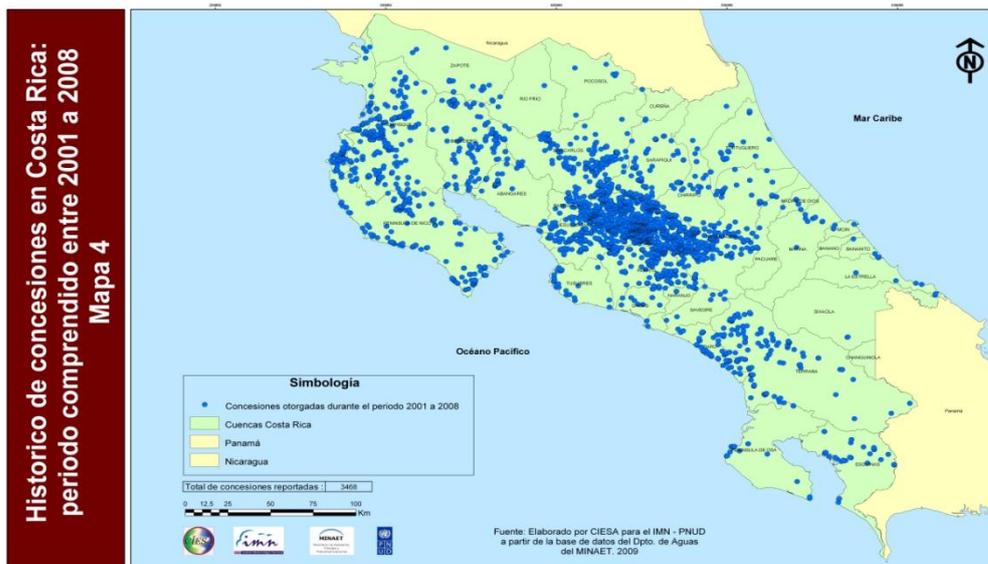


Figura 3.9. Concesiones en Costa Rica, periodo: 2001 al 2008



Es relevante observar una muy importante densificación de las concesiones en las zonas costeras y las cuencas centrales del país. La creciente actividad turística explica la mayor demanda en las zonas costeras, y el acelerado proceso urbanístico y activas agroindustriales de exportación también han contribuido en ese proceso. La situación encontrada por este consultor evidencia signos de gravedad respecto a la vulnerabilidad del recurso hídrico en Costa Rica. La sección de recomendaciones tratará sobre este aspecto.

Anexo 3.1A

Concesiones otorgadas y registradas: número absoluto y acumulado a diciembre, 2008.

Año	Número de concesiones	Concesiones acumuladas	Año	Número de concesiones	Concesiones acumuladas
1923	1	1	1966	0	9
1924	0	1	1967	0	9
1925	0	1	1968	0	9
1926	0	1	1969	0	9
1927	0	1	1970	0	9
1928	0	1	1971	1	10
1929	0	1	1972	0	10
1930	0	1	1973	0	10
1931	0	1	1974	0	10
1932	0	1	1975	0	10
1933	0	1	1976	0	10
1934	0	1	1977	0	10
1935	0	1	1978	0	10
1936	0	1	1979	2	12
1937	0	1	1980	2	14
1938	0	1	1981	0	14
1939	0	1	1982	1	15
1940	0	1	1983	0	15
1941	0	1	1984	8	23
1942	0	1	1985	5	28
1943	0	1	1986	8	36
1944	1	2	1987	8	44
1945	3	5	1988	25	69
1946	0	5	1989	31	100
1947	0	5	1990	50	150
1948	0	5	1991	16	166
1949	0	5	1992	50	216
1950	0	5	1993	46	262
1951	0	5	1994	441	703
1952	0	5	1995	514	1217
1953	0	5	1996	671	1888
1954	0	5	1997	393	2281
1955	0	5	1998	215	2496
1956	0	5	1999	721	3217
1957	0	5	2000	398	3615
1958	0	5	2001	387	4002
1959	1	6	2002	781	4783
1960	3	9	2003	214	4997
1961	0	9	2004	791	5788
1962	0	9	2005	576	6364
1963	0	9	2006	252	6616
1964	0	9	2007	438	7054
1965	0	9	2008	421	7475

Anexo 3.2A

Caudal acumulado concesionado en l/s por año.

Año	Caudal Acumulado	Año	Caudal Acumulado
1923	300,00	1965	3.199,66
1924	300,00	1966	3.199,66
1925	300,00	1967	3.199,66
1926	300,00	1968	3.199,66
1927	300,00	1969	3.199,66
1928	300,00	1970	3.199,66
1929	300,00	1971	3.199,66
1930	300,00	1972	3.199,66
1931	300,00	1973	3.199,66
1932	300,00	1974	3.199,66
1933	300,00	1975	3.199,66
1934	300,00	1976	3.199,66
1935	300,00	1977	3.199,66
1936	300,00	1978	3.199,66
1937	300,00	1979	3.206,90
1938	300,00	1980	3.213,05
1939	300,00	1981	3.213,05
1940	300,00	1982	3.218,61
1941	300,00	1983	3.218,61
1942	300,00	1984	6.468,61
1943	300,00	1985	6.473,88
1944	305,00	1986	6.500,79
1945	2.905,02	1987	6.667,29
1946	2.905,02	1988	6.741,44
1947	2.905,02	1989	7.061,02
1948	2.905,02	1990	10.148,58
1949	2.905,02	1991	11.983,32
1950	2.905,02	1992	14.101,79
1951	2.905,02	1993	57.072,63
1952	2.905,02	1994	95.858,02
1953	2.905,02	1995	134.922,43
1954	2.905,10	1996	152.316,34
1955	2.905,02	1997	164.693,31
1956	2.905,02	1998	181.445,35
1957	2.905,02	1999	189.566,06
1958	2.905,02	2000	191.838,82
1959	3.150,32	2001	197.947,47
1960	3.199,66	2002	263.947,85
1961	3.199,66	2003	272.468,52
1962	3.199,66	2004	290.243,87
1963	3.199,66	2005	308.435,16
1964	3.199,66	2006	310.283,15
1965	3.199,66	2007	367.383,50
1966	3.199,66	2008	380.676,13

Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con datos del Departamento de Aguas del MINAET, 2009.

4. Nacientes en Costa Rica

En 1988 el número de nacientes concesionadas creció un 139% al pasar de 18 a 43. A partir de 1989 y hasta el año 2004, la tasa de crecimiento promedio de nacientes concesionadas fue de 31.7%. En el periodo 2004-2008 la tasa de crecimiento promedio nacientes concesionadas se redujo a 6.9% anual. Para el año 2008, el número de concesiones acumuladas de nacientes fue de 3.477 (ver gráfico 4.1).

El caudal en l/s acumulado pasó de ser 4,27 l/s en 1985 a 11,191 l/s en el 2008. En el periodo 1988-1998, la tasa de crecimiento promedio de concesiones de nacientes fue de 32.86% anual. En el periodo de 1999-2008, la tasa disminuyó a 14.4% anual.¹

Gráfico 4.1. Costa Rica: Evolución del número concesiones acumuladas de nacientes, 1985- 2007.

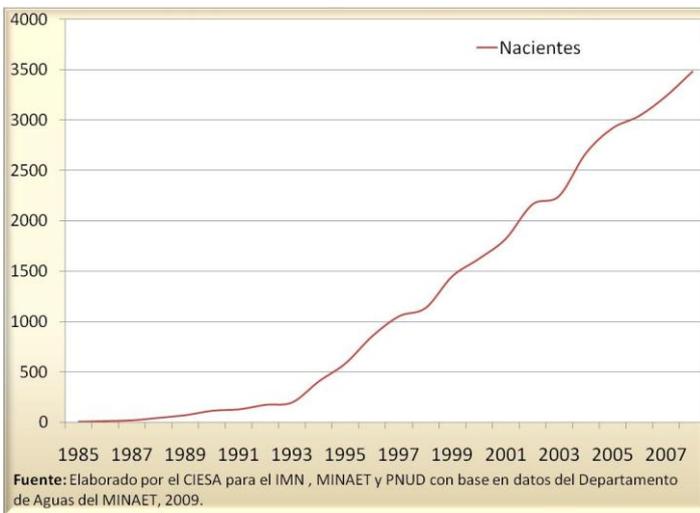
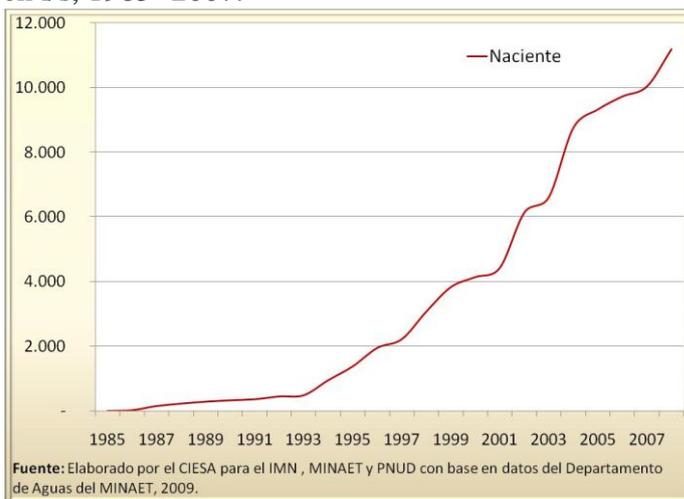


Gráfico 4.2. Costa Rica: Evolución de caudal acumulado por concesiones de nacientes en l/s, 1985- 2007.



¹ Ver anexo 4.2A: Concesiones de nacientes y caudal en l/s, 1985-2008.

A diciembre del 2008, Costa Rica disponía con 3.475 nacientes a las cuales el MINAET había otorgado una concesión. El caudal total concesionado a estas nacientes fue de 11.190 l/s. *El 78% del total de nacientes se concentran en tan solo 5 de las 34 cuencas del país. CIESA encontró que ese 78% de las nacientes concentran el 83% del caudal total concesionado para nacientes.* La cuenca con mayor porcentaje de nacientes concesionadas (34%) es la cuenca del Tárcoles, seguida por San Carlos (16%), Reventazón (15,5%), Parrita y Térraba. El cuadro 4.1 muestra la distribución por cuenca de las nacientes y su respectivo caudal concesionado.

Cuadro 4.1. Costa Rica: Cuencas con mayor cantidad de nacientes concesionadas y su respectivo caudal concesionado en l/s. Valores absolutos y relativos. Datos a diciembre del 2008

Cuenca	Cantidad de Nacientes	Porcentaje Nacientes	Caudal (l/s)	Porcentaje Caudal	Caudal promedio (l/s)
Tárcoles	1.183	34%	4.105	36.7%	3,47
San Carlos	552	15.9%	1.328	11.9%	2,41
Reventazón	540	15.5%	2.092	18.7%	3,87
Parrita	287	8.3%	1.376	12.3%	4,79
Térraba	156	4.5%	433	3.9%	2,78
Subtotal	2.718	78.2%	9.334	83.4%	3,43
Otras Cuencas	757	21.8%	1.856	16.6%	2,45
Total País	3.475	100%	11.190	100%	3,22

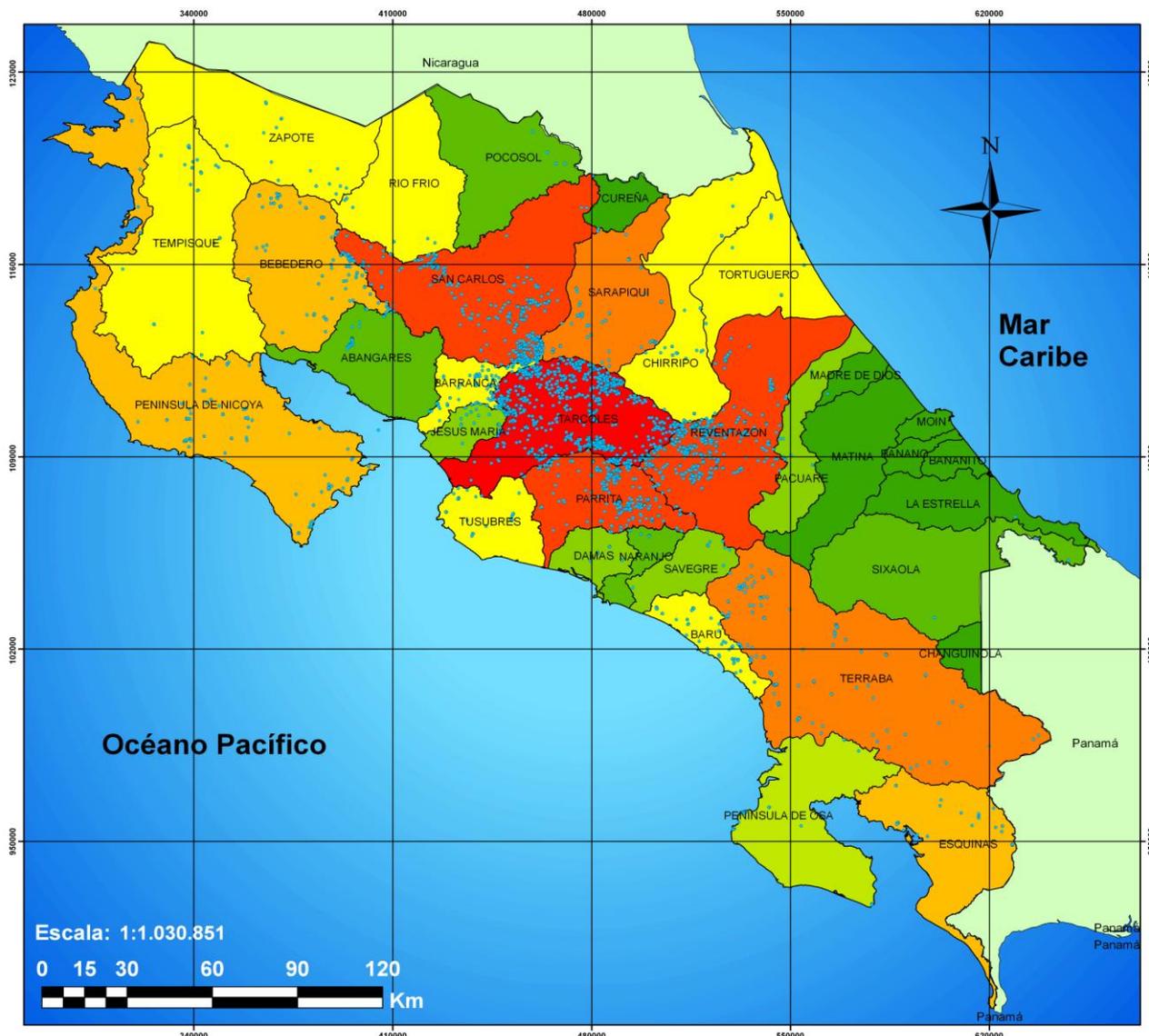
Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con base en datos del Departamento de Aguas del MINAET (2008), 2009

Además, estas 5 cuencas son las que presentan mayor caudal concesionado por concepto de nacientes. La cuenca con mayor caudal concesionado es Tárcoles, seguida por Reventazón, Parrita, San Carlos y Térraba.

La cuenca con una mayor promedio de caudal por nacimiento es la cuenca de Tortuguero con una relación de 10,66 l/s. Seguida por Río Frío con un caudal promedio de 10,44 l/s, Esquinas con 9,22 l/s, Zapote con 6,35 l/s y Parrita con 4,79 l/s (ver anexo 4.1A).

La figura 4.1 presenta las nacientes concesionadas a nivel nacional según su altitud.

Figura 4.1. Costa Rica: Distribución de nacientes por cuenca y caudal concesionado (l/s) a diciembre del 2008.



Simbología

Costa Rica	Rangos de distribución
□ Cuencas	Caudal Total (L/s)
• Nacientes	0,0000 - 0,6800
Central America	0,6801 - 5,9850
Pais	5,9851 - 18,4700
Nicaragua	18,4701 - 23,1900
Panamá	23,1901 - 137,5500
	137,5501 - 249,0570
	249,0571 - 433,2370
	433,2371 - 2091,5701
	2091,5702 - 4105,0000

Distribución de nacientes por cuenca y caudal (L/s) en Costa Rica, diciembre del 2008

Elaborado por: CIESA
Para: IMN. 2009

CUENCA	NACIENTES	CAUDAL TOTAL
TARCOLES	1183	4105,00
SAN CARLOS	552	1328,47
REVENTAZON	540	2091,57
PARRITA	287	1376,04
TERRABA	156	433,24
SUBTOTAL	2718	9334,31
OTRAS CUENCAS	757	1855,62
TOTAL PAÍS	3475	11189,93

Fuente: Departamento de Aguas, MINAET.



4.1 Análisis por cuencas del 80% del caudal concesionado en nacientes

Dada la importancia de estas cinco cuencas que concentran el 78% de las nacientes del país, a continuación se procede a explicar en detalle como se distribuyen según nivel de caudal.

4.1.a. Tárcoles

Como ya se indicó, la mayor cantidad de nacientes del país (34%) se encuentran en la cuenca de Tárcoles. De las 1.183 nacientes de la cuenca de Tárcoles, el 86,4% cuenta con un caudal concesionado de 0 a 5,3 l/s. Sin embargo, esa mayoría de nacientes concesionadas tan solo concentran el 20% del caudal concesionado en esa cuenca. Un 11% de las nacientes concesionadas aglutinan el 32% del caudal total concesionado, las cuales se ubican en concesiones de 5,3 l/s a 22 l/s. El caudal total de la cuenca es de 4,105 l/s y tan solo 32 nacientes concesionadas concentran el 48,5% del caudal concesionado total en un rango de 22 l/s o más (ver cuadro 4.2).

Cuadro 4.2. Tárcoles: cantidad de nacientes y su caudal concesionado en l/s. Valores absolutos y relativos. Datos a diciembre del 2008

Rango de caudal	Cantidad de nacientes	Porcentaje naciente	Caudal (l/s)	Porcentaje caudal	Caudal Promedio (l/s)
0,0000 - 5,3000	1.022	86,39%	803	19,57%	0,79
5,3001 - 22,0000	129	10,90%	1.311	31,94%	10,16
22,0001 - 54,0000	22	1,86%	806	19,63%	36,64
54,0001 - 100,0000	8	0,68%	670	16,32%	83,75
100,0001 - 325,0000	2	0,17%	515	12,55%	257,50
Total	1.183	100%	4.105	100%	3,47

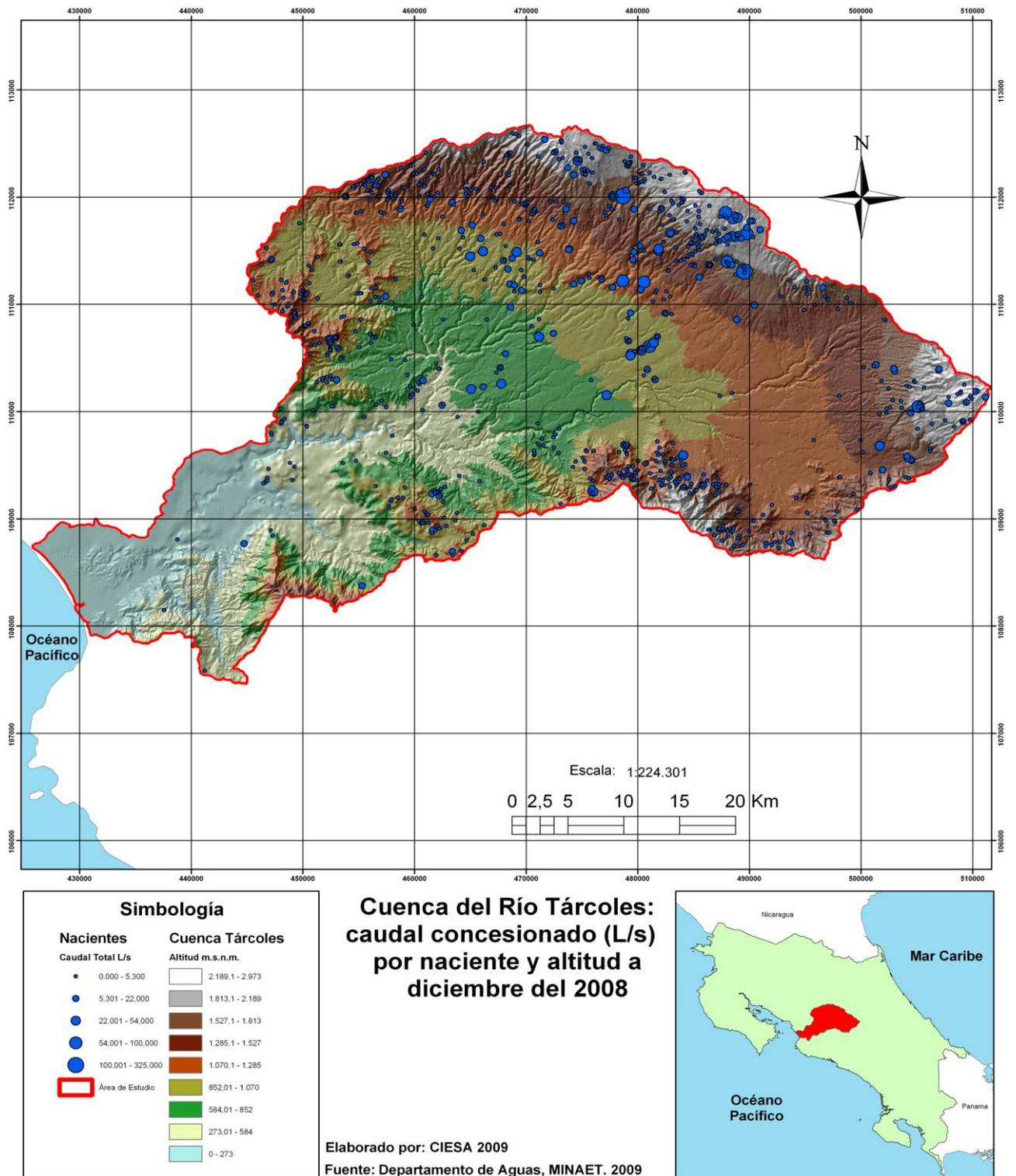
Se utiliza la misma cantidad de decimales que reporta el mapa.

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con base en datos del Departamento de Aguas del MINAET (2008), 2009.

El 86% de las concesiones de nacientes en la cuenca de Tárcoles concentran apenas un 20% del caudal total concesionado. Mientras que el restante 14% de las nacientes aglutinan el 80% del caudal total concesionado. Las concesiones con mayor promedio de caudal por concesión son las que tienen concesiones entre 100 y 325 l/s, el caudal promedio utilizado es de 257.5 l/s. Estas son dos concesiones que corresponden a nacientes para consumo humano. Una fue concesionada a la ESPH (325 l/s) y la otra a la Municipalidad de Alajuela (190 l/s).

La figura 4.2 muestra el mapa con la ubicación de las nacientes concesionadas en la cuenca del río Tárcoles.

Figura 4.2. Cuenca del Río Tárcoles: caudal concesionado (l/s) por nacimiento y altitud a diciembre del 2008.



4.1.b. Reventazón

En la cuenca del río Reventazón se localizan 540 nacientes concesionadas, las cuales representan 16% del total nacional. El 82,78% de las nacientes cuentan con un caudal concesionado que está en el rango de 0 a 4,4 l/s. Esta cuenca muestra una importante concentración del caudal total (2092 l/s) concesionado a nacientes: tan solo 25 nacientes concentran el 54% del caudal concesionado. Estas nacientes recibieron concesiones de caudales de 24 l/s o más (ver cuadro 4.3).

Cuadro 4.3. Reventazón: cantidad de nacientes y su caudal concesionado en l/s. Valores absolutos y relativos. Datos a diciembre del 2008

Rango de caudal	Cantidad de nacientes	Porcentaje naciente	Caudal (l/s)	Porcentaje caudal	Caudal promedio (l/s)
0,0000 - 4,4000	447	82,78%	415	19,86%	0,93
4,4001 - 15,0000	68	12,59%	544	26,02%	8,00
15,0001 - 31,7000	17	3,15%	406	19,41%	23,88
31,7001 - 67,0000	6	1,11%	300	14,34%	50,00
67,0001-213,000	2	0,37%	426	20,37%	213,00
Total	540	100%	2092	100%	3,87

Se utiliza la misma cantidad de decimales que reporta el mapa.

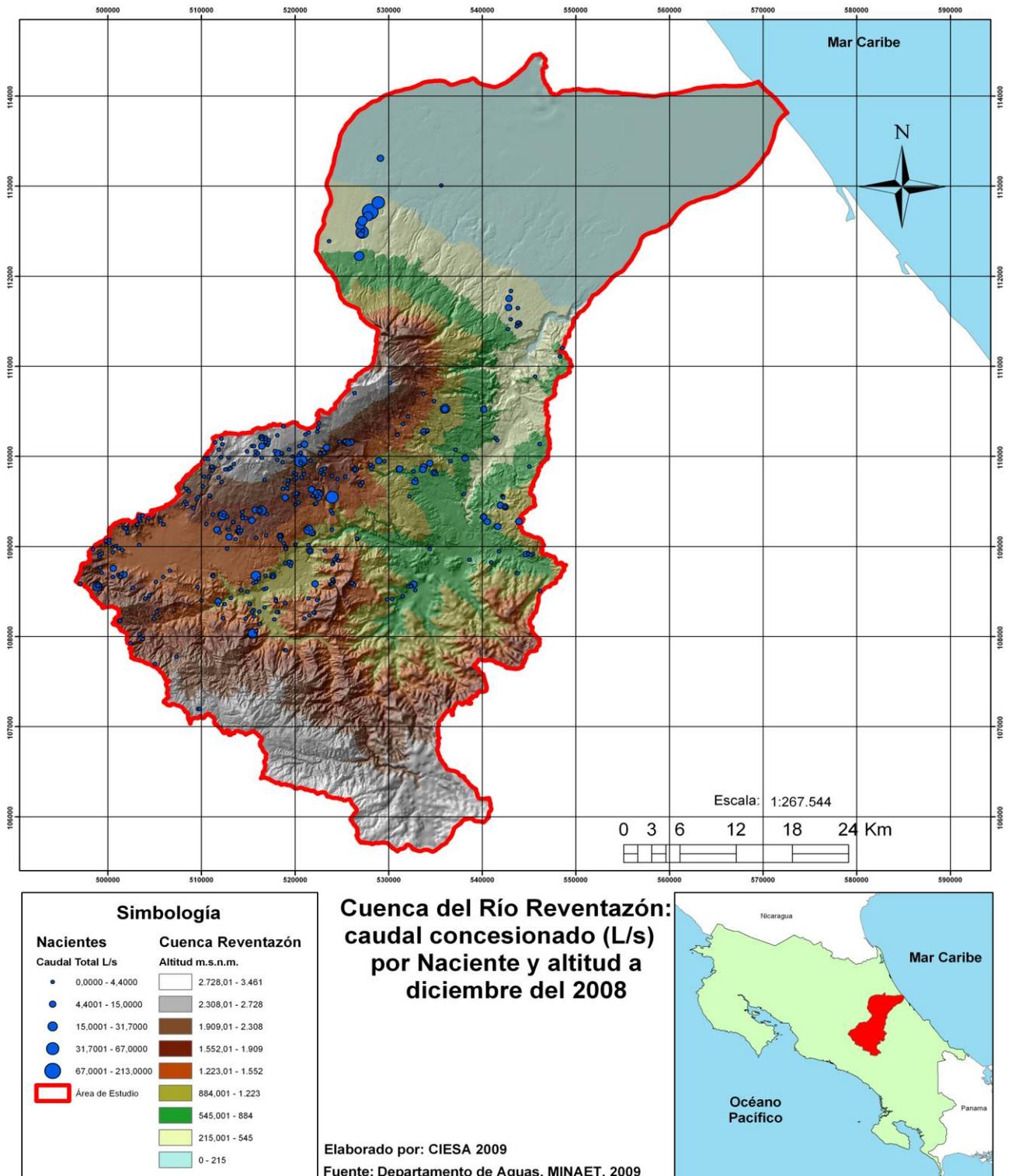
Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con base en datos del Departamento de Aguas del MINAET (2008), 2009.

El 83% (447) de las nacientes en la cuenca del río Reventazón concentran el 20% del caudal total concesionado. Por otro lado, el restante 80% del caudal está distribuido en 17% (93) de las nacientes concesionadas a la cuenca.

El mayor caudal promedio por naciente es de 213 l/s. Estas concesiones tienen una concesión de 67 l/s a 213 l/s. Son dos concesiones solamente las que tienen un caudal total concesionado que corresponde al 20,37% del total. Ambas concesiones se ubican en el Pococí de Limón y fueron otorgadas al A y A (213 l/s cada concesión) para uso de acueductos rurales.

La figura 4.3 muestra el mapa con la ubicación de las nacientes concesionadas en la cuenca del río Reventazón.

Figura 4.3. Cuenca del Río Reventazón: caudal concesionado (l/s) por nacimiento y altitud a diciembre del 2008.



4.1.c. Parrita

La cuenca de Parrita acapara el 8% del total de nacientes con concesión en Costa Rica. Como se puede observar en el cuadro 4.4, el 81% de las nacientes tiene un caudal entre 0 y 1,4 l/s. El caudal total de la cuenca es de 1.376 l/s, del cual tan solo una de 287 nacientes concentra el 78% del caudal. Esta naciente se encuentra en el rango de caudal concesionado de 40,33 a 1,074 l/s.

Cuadro 4.4. Parrita: cantidad de nacientes y su caudal concesionado en l/s. Valores absolutos y relativos. Datos a diciembre del 2008

Rango de caudal	Cantidad de nacientes	Porcentaje naciente	Caudal (l/s)	Porcentaje caudal	Caudal promedio (l/s)
0,0000 - 1,4000	232	80,84%	75	5,43%	0,32
1,4001 - 4,6100	41	14,29%	104	7,57%	2,54
4,6101 - 11,7000	12	4,18%	83	6,02%	6,92
11,7001 - 40,3300	1	0,35%	40	2,93%	40
40,3301 - 1074,0000	1	0,35%	1074	78,05%	1074
Total	287	100%	1376	100%	4,79

Se utiliza la misma cantidad de decimales que reporta el mapa.

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con base en datos del Departamento de Aguas del MINAET (2008), 2009.

El 81% de las nacientes en la cuenca del río Parrita concentra solo 5,4% del caudal total. Por otro lado, 94,6% del caudal se aglutina en 19% de las nacientes. Más precisamente, existe una concesión que abarca el 78% del caudal total de la cuenca. Esta concesión fue otorgada a la Asada Linda Vista y Ceiba Este de Acosta para uso de acueducto rural en Cangrejal de Acosta (1074 l/s).

La figura 4.4 muestra el mapa con la ubicación de las nacientes concesionadas en la cuenca del río Parrita.

Figura 4.4. Cuenca del Río Parrita: caudal concesionado (l/s) por nacimiento y altitud a diciembre del 2008.



4.1.d. San Carlos

La cuenca de San Carlos contiene 16% del total de nacientes en el país para un total de 552 nacientes concesionadas. El 78,44% de las nacientes de San Carlos cuentan con una concesión de 0 a 2,5 l/s. Sin embargo, esas casi cuatro quintas partes de las concesiones tan solo aglutinan el 15% del caudal concesionado, lo cual evidencia una importante concentración del caudal concesionado (85%) en tan solo 22% de las nacientes concesionadas (ver cuadro 4.5).

Cuadro 4.5. San Carlos: cantidad de nacientes y su caudal concesionado en l/s. Valores absolutos y relativos. Datos a diciembre del 2008

Rango de caudal	Cantidad de nacientes	Porcentaje naciente	Caudal (l/s)	Porcentaje caudal	Caudal promedio (l/s)
0,0000- 2,500	433	78,44%	200	15,02%	0,46
2,5001 - 7,2000	74	13,41%	345	25,96%	4,66
7,2001 - 15,9200	28	5,07%	306	23,01%	10,93
15,9201 - 31,8000	14	2,54%	318	23,93%	22,71
31,8001 - 80,0000	3	0,54%	160	12,07%	53,33
Total	552	100%	1.328	100%	2,41

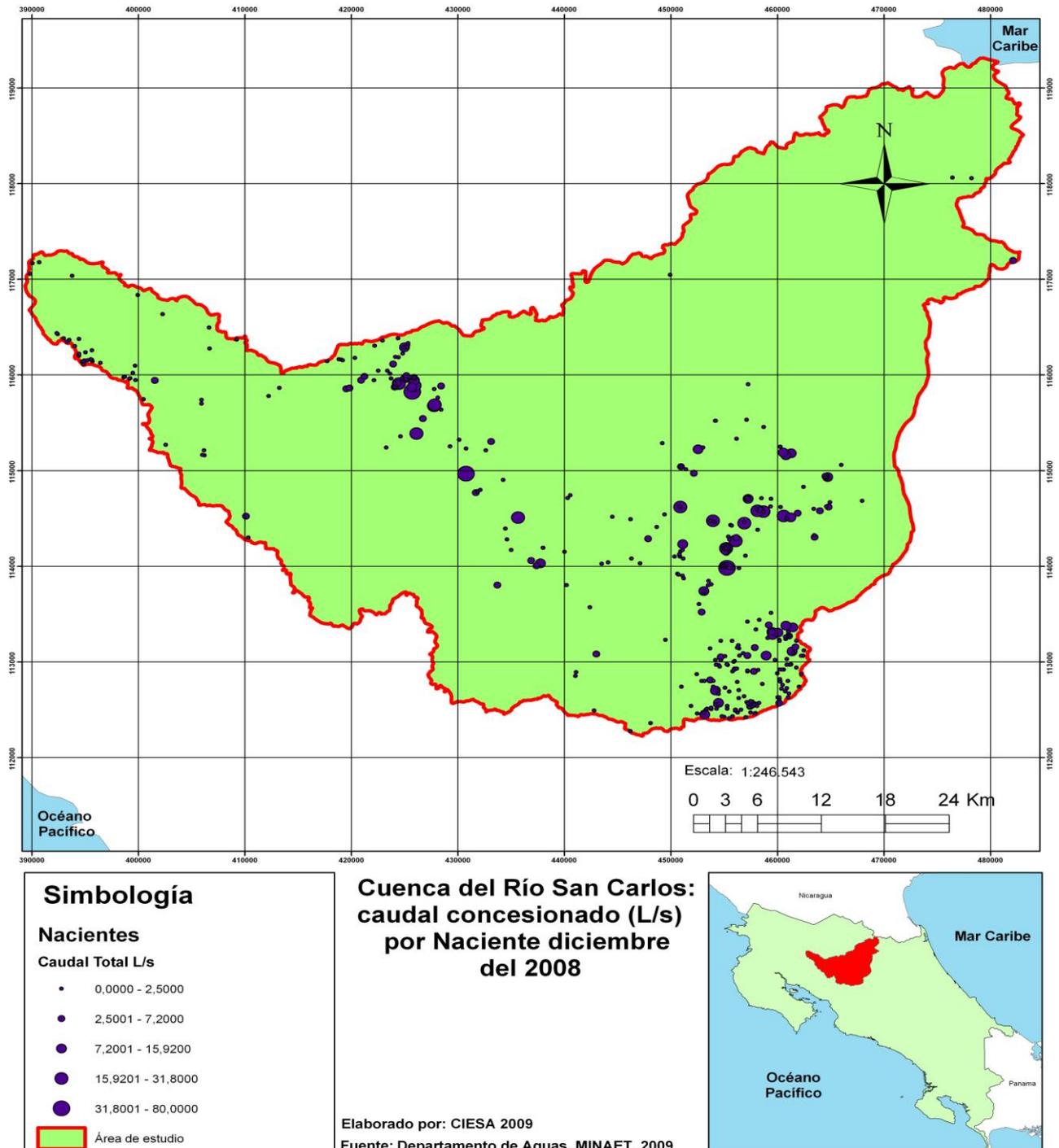
Se utiliza la misma cantidad de decimales que reporta el mapa.

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con base en datos del Departamento de Aguas del MINAET (2008), 2009.

El 78% de las nacientes concesionadas concentran 15% del caudal. Mientras que 22% de las concesiones de nacientes aglutinan 85% del caudal. La mayor concentración de caudal por concesión (53.33 l/s) se localiza en 3 nacientes con un caudal concesionado entre los 31.8 y los 80 l/s. Estas concesiones fueron otorgadas para uso de acueductos rurales en Quesada de San Carlos, Peñas Blancas de San Ramón y en La Fortuna de San Carlos. Fueron concesionadas a la Asada Cedral y Dulce Nombre de Ciudad Quesada (39,8 l/s), a la Asada Chachagua de Peñas Blancas de San Ramón (40,6 l/s) y a A y A (80 l/s), respectivamente.

La figura 4.5 muestra el mapa con la ubicación de las nacientes concesionadas en la cuenca del río San Carlos.

Figura 4.5. Cuenca del Río San Carlos: caudal concesionado (l/s) por nacimiento y altitud a diciembre del 2008.



4.1.e. Térraba

La cuenca de Térraba presenta el 4,5% del total de nacientes concesionadas del país. El 70% de las nacientes cuentan con concesiones de 0 a 1,2 l/s, seguido por un 13,46% del total con concesiones de 4 a 10 l/s y por 12,82% de 1,2 a 4 l/s. El caudal total que presentan las nacientes concesionadas en la cuenca de Térraba es de 433 l/s, concentrado en un 83% en 27 de las 156 nacientes totales, las cuales se encuentran en el rango de caudal concesionado de 4 l/s o más (ver cuadro 4.6).

Cuadro 4.6. Térraba: cantidad de nacientes y su caudal concesionado en l/s. Valores absolutos y relativos. Datos a diciembre del 2008

Caudal Total m3/s	Nacientes	Porcentaje Naciente	Caudal (l/s)	Porcentaje Caudal	Caudal promedio (l/s)
0,0000 - 1,2000	109	69,87%	31	7,11%	0,28
1,2001 - 4,0000	20	12,82%	44	10,06%	2,20
4,0001 - 10,0000	21	13,46%	152	35,17%	7,24
10,0001 - 21,5000	5	3,21%	92	21,12%	18,40
21,5001 - 115,0000	1	0,64%	115	26,54%	115,00
Total	156	100%	433	100%	2,78

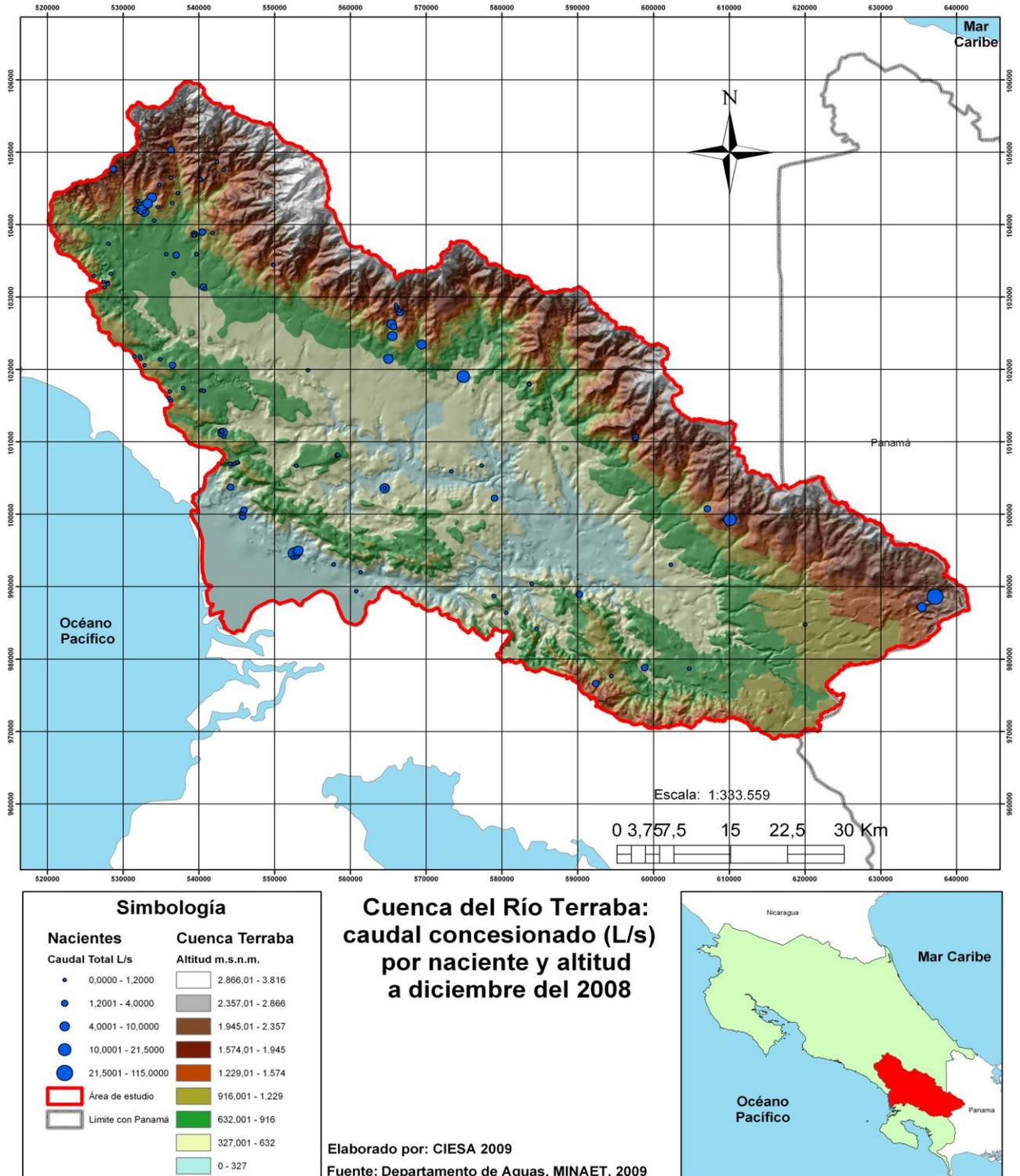
Se utiliza la misma cantidad de decimales que reporta el mapa.

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con base en datos del Departamento de Aguas del MINAET (2008), 2009.

El 70% de las nacientes concesionadas concentran 7% del caudal. Mientras que 30% de las concesiones concentran 93% del caudal. Una naciente concesionada tiene un caudal concesionado de 115 l/s, el mismo representa 26,54% del total. Esta naciente fue concesionada a A y A en San Vito de Coto Brus para uso de acueducto rural.

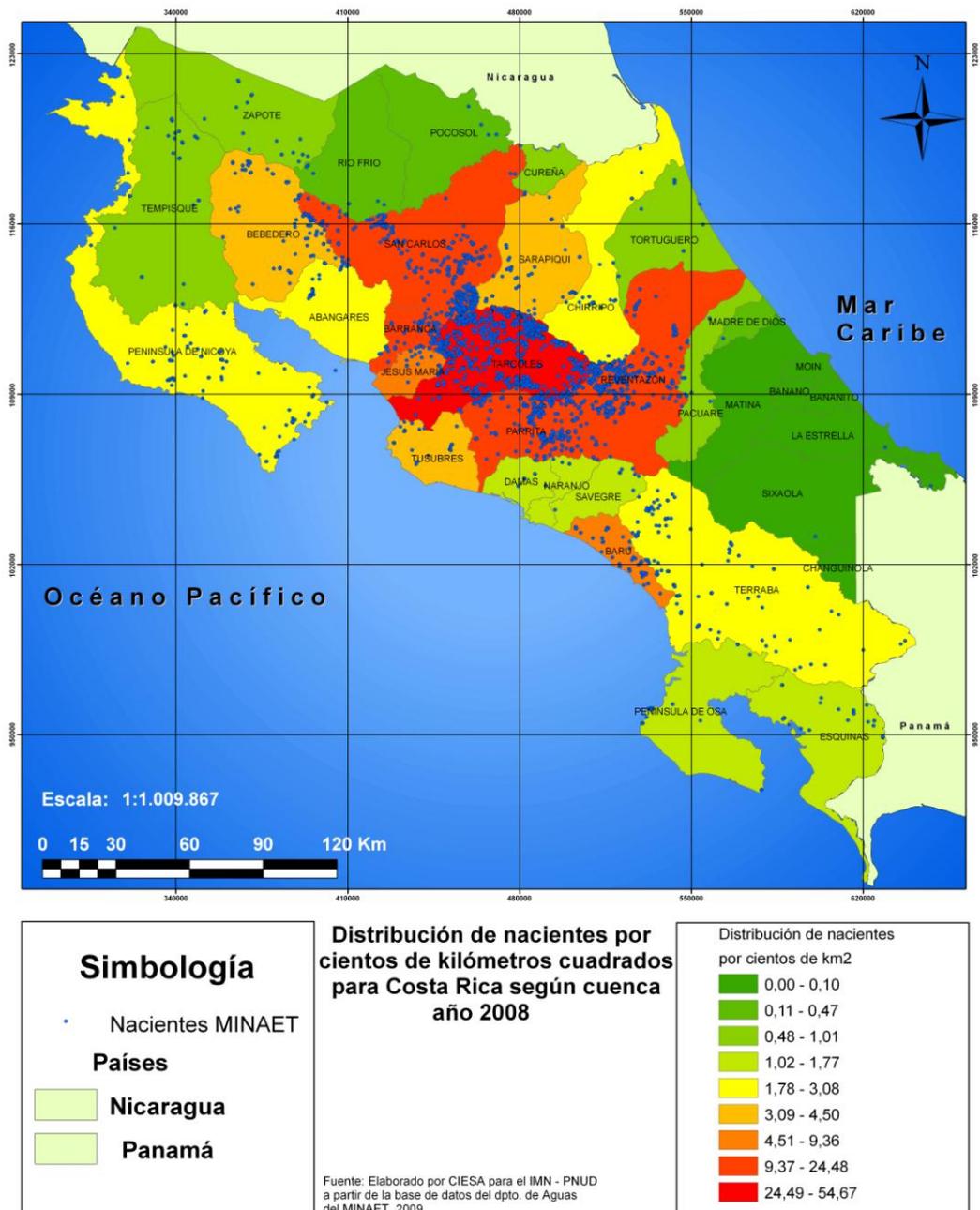
La figura 4.6 muestra el mapa con la ubicación de las nacientes concesionadas en la cuenca del río Térraba.

Figura 4.6. Cuenca del Río Térraba: caudal concesionado (l/s) por nacimiento y altitud a diciembre del 2008.



La figura 4.7 muestra el mapa con la distribución de las nacientes concesionadas según cuenca al 2008. Las cuencas con mayor intensidad de nacientes son: San Carlos, Barranca, Tárcoles, Parrita y Reventazón.

Figura 4.7. Distribución de nacientes por cientos de kilómetros cuadrados para Costa Rica según cuenca, año 2008



Anexo 4.1A

Costa Rica: Cuencas con mayor caudal por naciente concesionadas, concesiones y caudal respectivo

Datos a diciembre del 2008.

Nacientes	Caudal promedio (l/s)	Concesiones	Porcentaje de concesiones	Caudal (l/s)	Porcentaje de caudal
TORTUGUERO	10,67	12	1,1%	128,0	1,1%
RIO FRIO	10,44	8	0,7%	83,5	0,7%
ESQUINAS	9,22	27	2,2%	249,1	2,2%
ZAPOTE	6,35	17	1,0%	108,0	1,0%
PARRITA	4,79	287	12,3%	1.376,0	12,3%
SARAPIQUI	4,49	74	3,0%	332,2	3,0%
TUSUBRES	4,44	31	1,2%	137,6	1,2%
REVENTAZON	3,87	540	18,7%	2.091,6	18,7%
TARCOLES	3,47	1183	36,7%	4.105,0	36,7%
TERRABA	2,78	156	3,9%	433,2	3,9%
SAN CARLOS	2,41	552	11,9%	1.328,5	11,9%
TEMPISQUE	2,34	34	0,7%	79,7	0,7%
DAMAS	2,12	8	0,2%	17,0	0,2%
PENINSULA DE NICOYA	2,10	101	1,9%	211,9	1,9%
BEBEDERO	2,00	93	1,7%	186,4	1,7%
CHIRRIPO	1,91	47	0,8%	89,9	0,8%
SAVEGRE	1,85	10	0,2%	18,5	0,2%
PACUARE	1,71	9	0,1%	15,4	0,1%
BARU	1,33	51	0,6%	67,9	0,6%
SIXAOLA	1,25	2	0,0%	2,5	0,0%
POCOSOL	0,97	4	0,0%	3,9	0,0%
PENINSULA DE OSA	0,86	27	0,2%	23,2	0,2%
NARANJO	0,67	4	0,0%	2,7	0,0%
BARRANCA	0,63	118	0,7%	74,3	0,7%
JESUS MARIA	0,50	34	0,2%	17,0	0,2%
LA ESTRELLA	0,27	1	0,0%	0,3	0,0%
CUREÑA	0,23	3	0,0%	0,7	0,0%
ABANGARES	0,15	41	0,1%	6,0	0,1%
BANANITO	0,00	0	0,0%	0,0	0,0%
BANANO	0,00	0	0,0%	0,0	0,0%
CHANGUINOLA	0,00	0	0,0%	0,0	0,0%
MADRE DE DIOS	0,00	1	0,0%	0,0	0,0%
MATINA	0,00	0	0,0%	0,0	0,0%
MOIN	0,00	0	0,0%	0,0	0,0%
TOTAL	3,22	3.475	100%	11.189,9	100%

Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con base en datos del Departamento de Aguas del MINAET (2008), 2009.

Anexo 4.2A

Costa Rica: Concesiones de nacientes y caudal en l/s, 1985-2008.

Año	Caudal por año en l/s	Caudal acumulado en l/s	Concesiones por año	Concesiones acumuladas
1985	4,27	4,27	4	4
1986	24,41	28,68	7	11
1987	129,50	158,18	7	18
1988	74,15	232,33	25	43
1989	61,05	293,38	26	69
1990	40,36	333,74	44	113
1991	34,04	367,78	14	127
1992	86,12	453,90	45	172
1993	36,59	490,49	24	196
1994	464,43	954,92	209	405
1995	428,74	1.383,66	179	584
1996	570,87	1.954,53	269	853
1997	269,46	2.223,99	197	1.050
1998	851,06	3.075,05	83	1.133
1999	758,16	3.833,21	314	1.447
2000	310,73	4.143,94	174	1.621
2001	286,53	4.430,47	197	1.818
2002	1.710,88	6.141,34	341	2.159
2003	477,09	6.618,43	84	2.243
2004	2.144,77	8.763,20	422	2.665
2005	565,70	9.328,90	250	2.915
2006	401,63	9.730,53	122	3.037
2007	309,04	10.039,56	194	3.231
2008	1.151,49	11.191,05	246	3.477

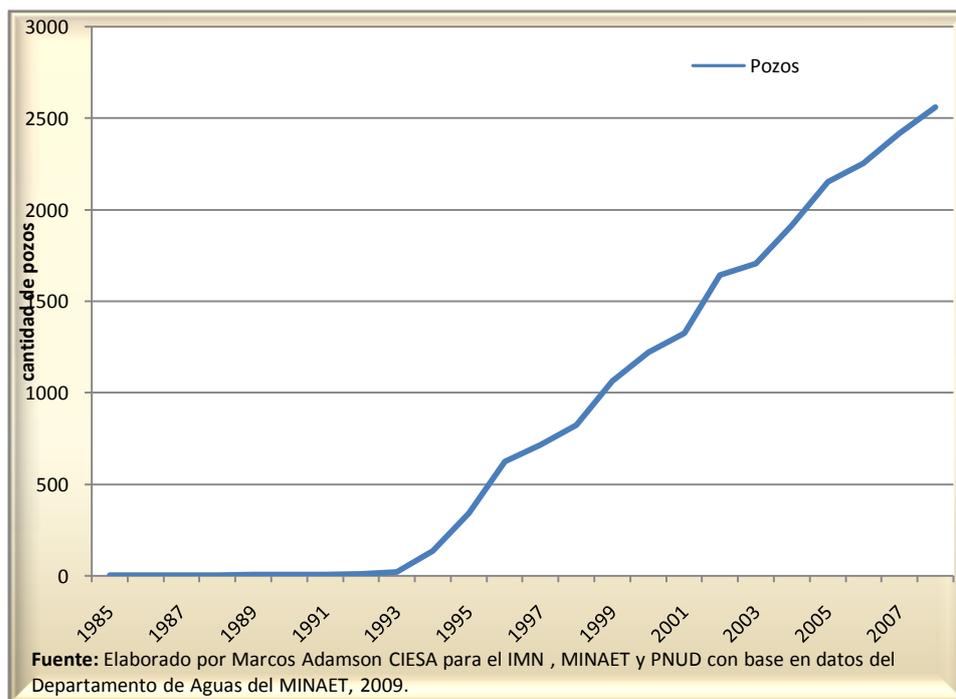
Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con base en datos del Departamento de Aguas del MINAET (2008), 2009.

5. Pozos en Costa Rica

Desde 1923 y hasta 1992, las concesiones de pozos del MINAET fueron *bastante* bajas. De acuerdo con la base de datos del MINAET, hasta 1992 se habían concesionado solamente 8 pozos. A partir del año 1994, las concesiones acumuladas de pozos pasaron de 8 a 18, aumentan en un 125%. Es a partir de este año que las concesiones de pozos crecen a una tasa promedio de **un 72% anual**. **Para el año 2008, el número de concesiones acumuladas de pozos fue de 2.560¹** (gráfico 5.1).

A su vez, el caudal (l/s) acumulado concesionado en pozos, pasó de 1 l/s en 1985 a 8,883 l/s en el 2008. Es a partir del año 1994, cuando el caudal acumulado presenta un incremento de un 909,3%. Posteriormente y hasta el año 2000, el caudal acumulado creció a una tasa promedio de 50% anual. Después del 2001, el caudal acumulado creció a una tasa promedio de 6,9% anual.²

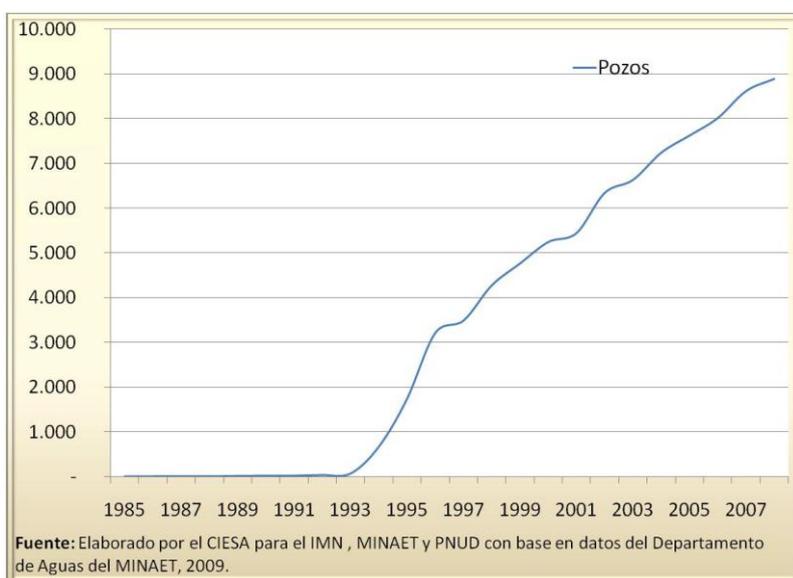
Gráfico 5.1. Costa Rica: Evolución del número de concesiones acumuladas de pozos, 1985- 2007.



¹ Para efectos de cálculos y estimaciones fueron excluidos dos pozos cuyas coordenadas estaban fuera del país.

² Ver anexo 5.2A: Concesiones y caudal para pozos, 1985-2008.

Gráfico 5.2. Costa Rica: Evolución de caudal (l/s) acumulado por concesiones de pozos, 1985- 2007.



Según los datos (MINAET), Costa Rica tenía concesionados 2.558 pozos a diciembre del año 2008. El caudal concesionado a estos pozos fue de 8.878 l/s. **El 82% del total de pozos concesionados se concentra en 5 de las 34 cuencas del país.** Por otro lado, en estas cinco cuencas se concentra el 82,2% del caudal total concesionado en pozos a nivel nacional. La cuenca con mayor porcentaje de pozos concesionados es la cuenca de Tárcoles (44%), seguida por Península de Nicoya (16%), Tempisque (10,5%), Reventazón (8,4%) y Bebedero (2,6%). En el cuadro 5.1 se muestra la distribución para las principales conglomeraciones de pozos por cuenca y su respectivo caudal concesionado.

Cuadro 5.1. Costa Rica: Cuencas con mayor cantidad de pozos concesionados y su respectivo caudal concesionado en l/s. Valores absolutos y relativos (datos a diciembre del 2008)

Cuenca	Cantidad Pozos	Porcentaje Pozos	Caudal Total (l/s)	Porcentaje Caudal	Caudal/ Pozos (l/s)
Tárcoles	1.120	43,78%	2.502,19	28,19%	2,23
Península de Nicoya	420	16,42%	1.180,53	13,30%	2,81
Tempisque	269	10,52%	2.651,33	29,87%	9,86
Reventazón	215	8,41%	660,35	7,44%	3,07
Bebedero	68	2,66%	302,26	3,40%	4,45
Subtotal	2.092	81,78%	7.297	82,19%	3,49
Otras cuencas	466	18,22%	1.580,91	17,81%	3,87
Total país	2.558	100%	8.877,57	100%	3,47

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con base en datos del Departamento de Aguas del MINAET (2008), 2009.

Al analizar el caudal concesionado, varía el orden de las cuencas con mayor caudal concesionados. En el cuadro 5.2 se muestra que la cuenca con mayor caudal concesionado es la del río Tempisque (30%), seguida por Tárcoles (28%), Península de Nicoya (13%), Reventazón (7,44%) y Banano (3,5%).

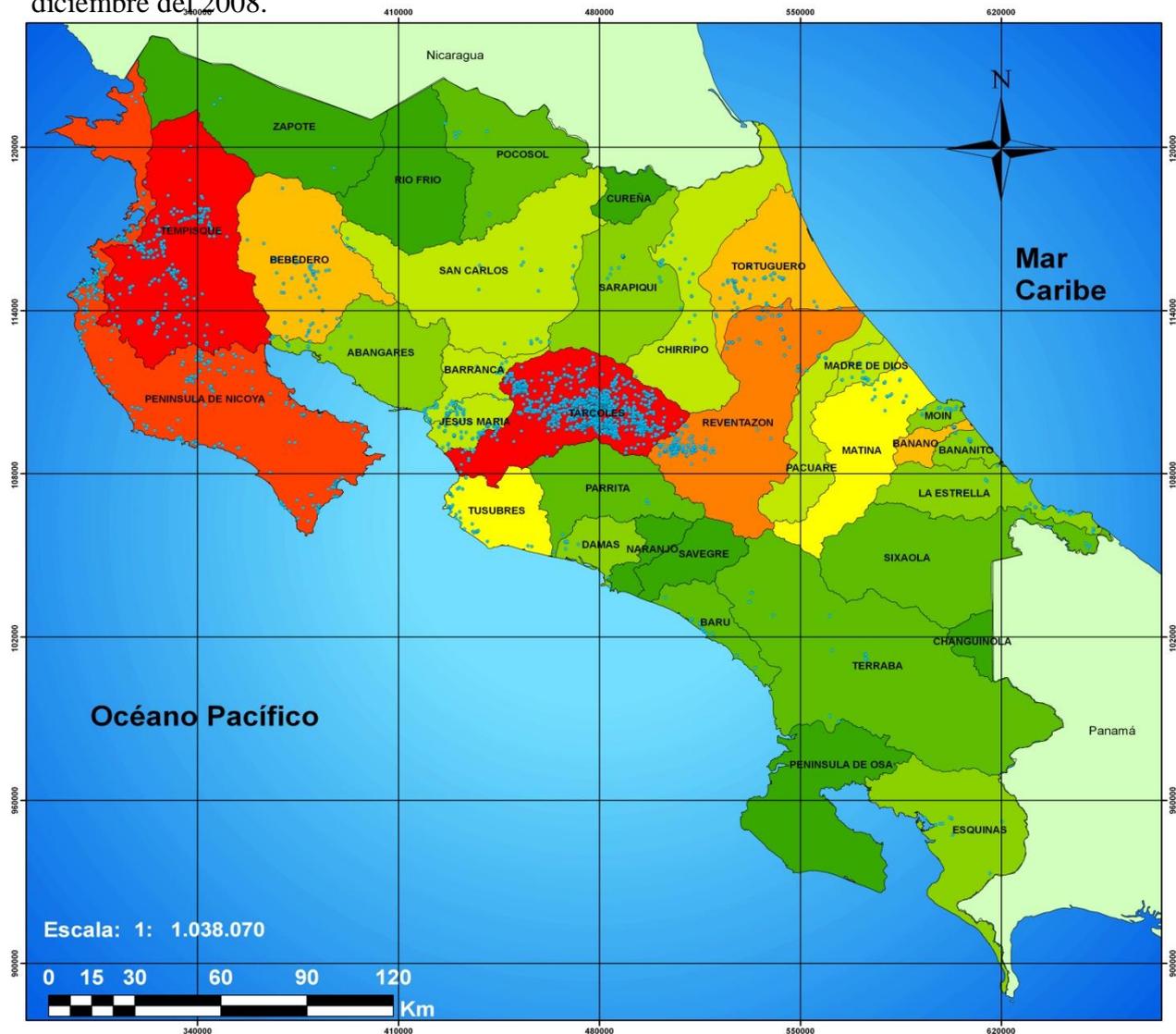
Por otro lado, las cuencas con un mayor promedio de caudal concesionado por pozo son Banano (28 l/s), Tempisque (10 l/s), Pacuare (9 l/s), Matina (6 l/s) y Madre de Dios (5 l/s) (ver anexo 5.1A). La figura 5.1 presenta los pozos concesionados a nivel nacional.

Cuadro 5.2. Costa Rica: Cuencas con mayor caudal concesionado en l/s por concepto de pozos y sus concesiones respectivas. Valores absolutos y relativos (datos a diciembre del 2008)

Cuenca	Caudal Total (l/s)	Porcentaje Caudal	Cantidad Pozos	Porcentaje Pozos	Caudal/Pozos (l/s)
Tempisque	2.651,33	29,87%	269	10,52%	2,23
Tárcoles	2.502,19	28,19%	1.120	43,78%	2,81
Península de Nicoya	1.180,53	13,30%	420	16,42%	9,86
Reventazón	660,35	7,44%	215	8,41%	3,07
Banano	309,00	3,48%	11	0,43%	4,45
Subtotal	7.303	82,27%	2.035	79,55%	3,59
Otras cuencas	1.574,18	17,73%	523,00	20,45%	3,01
Total país	8.877,57	100%	2.558	100%	3,47

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con base en datos del Departamento de Aguas del MINAET (2008), 2009.

Figura 5.1. Costa Rica: Distribución de pozos por cuenca y caudal concesionado (l/s) a diciembre del 2008.



Simbología

Costa Rica	Rangos de distribución
□ Cuencas	Caudal Total (L/s)
• Pozos	0,0000 - 1,0000
Central America	1,0001 - 17,0000
Nicaragua	17,0001 - 43,2000
Panamá	43,2001 - 82,6500
	82,6501 - 159,8800
	159,8801 - 309,0000
	309,0001 - 660,3500
	660,3501 - 1180,5300
	1180,5301 - 2651,3300

Distribución de pozos por cuenca y caudal (L/s) para Costa Rica, diciembre del 2008

Elaborado por: CIESA
Para: IMN. 2009

NOMBRE CUENCA	POZOS	TOTAL CAUDAL
TARCOLES	1120	2502,187
PENINSULA DE NICOYA	420	1180,53
TEMPISQUE	269	2651,33
REVENTAZON	215	660,35
BEBEDERO	68	302,26
SUBTOTAL	2092	7296,657
OTRAS CUENCAS	466	1580,917
TOTAL PAÍS	2558	8877,574

Fuente: Departamento de Aguas, MINAET.



5.1. Análisis por cuencas del 80% del caudal concesionado en pozos

Dada la importancia de estas cinco cuencas que concentran el 82% de los pozos concesionados en el país y el 79,5% del caudal total, se procede a explicar en detalle como se distribuyen según nivel de caudal.

5.1.a. Tárcoles

La cuenca de Tárcoles agrupa un total de 1.120 pozos concesionados, representa un 44% del total de pozos concesionados por MINAET. El 80,4% de los pozos tienen un caudal concesionado que va desde 0 a 2,4 l/s. La cuenca de Tárcoles presenta un caudal total de 2.502,2 l/s, esto es 28,2% del caudal nacional (ver cuadro 5.3).

Cuadro 5.3. Tárcoles: cantidad de pozos y su caudal concesionado en l/s. Valores absolutos y relativos. Datos a diciembre del 2008

Rango Caudal	Cantidad de Pozos	Porcentaje Pozos	Caudal (l/s)	Porcentaje Caudal	Caudal/Pozos (l/s)
0,0000 - 2,4000	901	80,40%	492	19,60%	0,55
2,4001 - 8,2000	155	13,80%	681,6	27,20%	4,40
8,2001 - 20,0000	49	4,40%	611,8	24,40%	12,49
20,0001 - 60,0000	12	1,07%	415,5	16,60%	34,63
60,0001 - 120,0000	3	0,30%	301,2	12,00%	100,40
	1.120	100%	2502,2	100%	2,23

Se utiliza la misma cantidad de decimales que reporta el mapa.

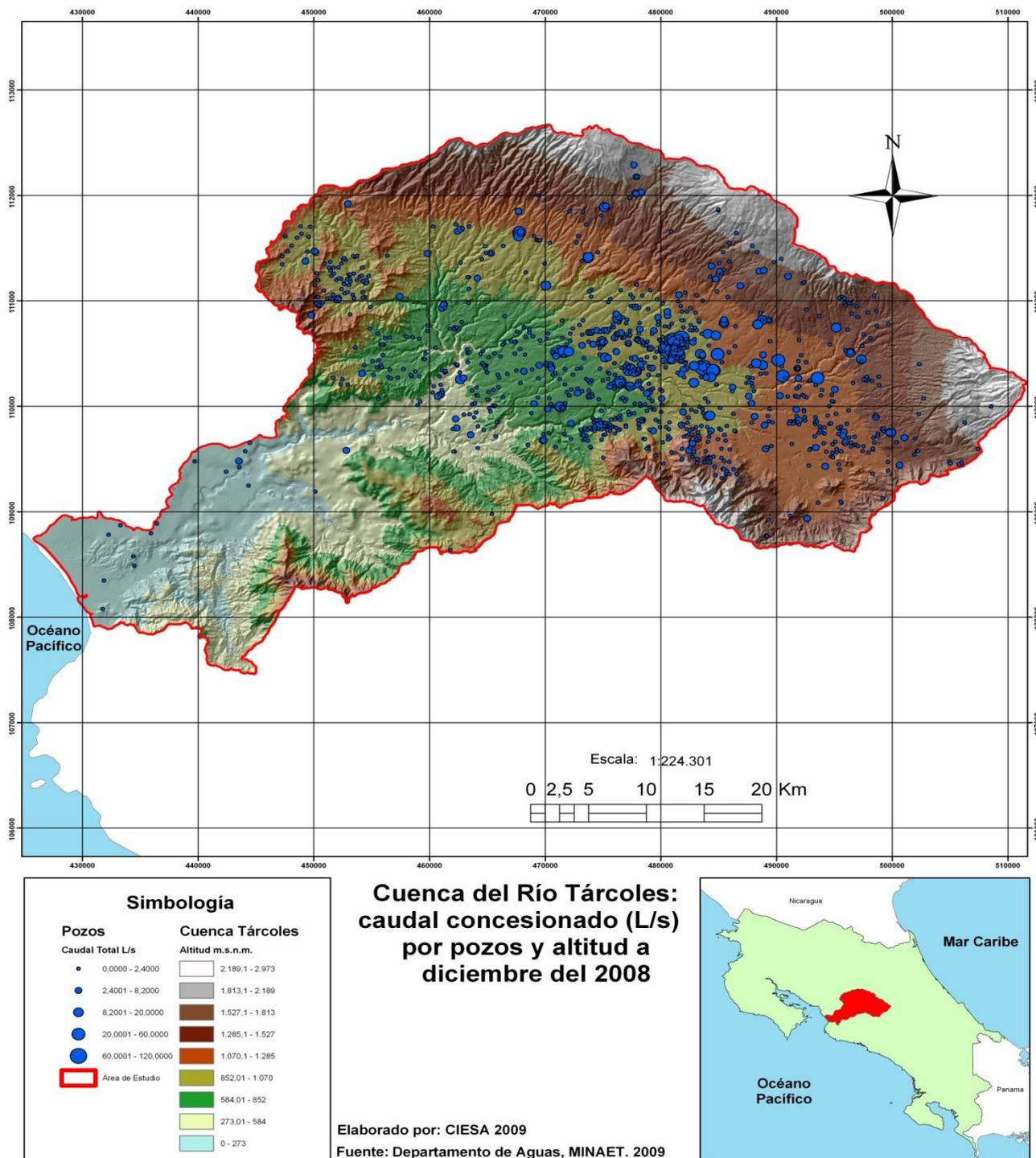
Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con base en datos del Departamento de Aguas del MINAET (2008), 2009.

El 80,4% de los pozos tienen un caudal concesionado de 0 a 2,4 l/s y concentran 20% del caudal total concesionado para pozos en la cuenca de Tárcoles. De manera análoga, el 19,6% de los pozos aglutinan el restante 80% del caudal concesionado. El cuadro 5.3 muestra el caudal promedio por naciente, se puede observar que existen 3 pozos concesionados con un consumo promedio de 100,4 l/s.

Los pozos con concesiones de 60 a 120 l/s fueron otorgados a la ESPH y a Productora La Florida, S.A. El pozo concesionado a la ESPH es en Barreal de Heredia y corresponde a consumo humano con un caudal concesionado de 72,4 l/s. Los pozos de La Florida son para uso industrial en La Ribera de Belén con un caudal concesionado de 120 l/s y en San Joaquín de Flores con un caudal concesionado de 108,76l/s.

La figura 5.2 muestra el mapa con la ubicación de los pozos concesionados en la cuenca del río Tárcoles.

Figura 5.2. Cuenca del Río Tárcoles: caudal concesionado (l/s) por pozos y altitud a diciembre del 2008.



5.1.b. Península de Nicoya

La cuenca Península de Nicoya reporta un total de **420** pozos concesionados, los cuales representan 16,4% de los pozos concesionados en el país. El caudal total concesionado en pozos en esta cuenca es de **1.180 l/s**. **CIESA encontró una amplia concentración de caudal concesionado es una relativa pequeña fracción de las concesiones.**

El **69%** de estos pozos tienen un caudal concesionado que se ubica en el rango de 0 a 2,3 l/s. Estos pozos concentran 14% del caudal concesionado en la cuenca y en promedio tiene un caudal concesionado de 0.58 l/s. El 86% de ese caudal está concentrado tan solo en el 31% (132) de los pozos concesionados, los cuales se ubican en el rango de caudal concesionado de **2,3 l/s o más** y concentran el **86%** del caudal concesionado en la cuenca, con un caudal promedio de 7,67 l/s (ver cuadro 5.4).

Cuadro 5.4. Península de Nicoya: cantidad de pozos y su caudal concesionado por rangos en l/s. Valores absolutos y relativos. Datos a diciembre del 2008

Rango Caudal	Cantidad de Pozos	Porcentaje Pozos	Caudal (l/s)	Porcentaje Caudal	Caudal/Pozos (l/s)
0,0000 - 2,3000	288	68,60%	167,9	14,20%	0,58
2,3001 - 7,0000	95	22,60%	382,9	32,40%	4,03
7,0001 - 17,6000	28	6,70%	331,8	28,10%	11,85
17,6001 - 40,0000	8	1,90%	197,8	16,80%	24,73
40,0001 - 100,0000	1	0,20%	100	8,50%	100
	420	100%	1.180,50	100%	2,81

Se utiliza la misma cantidad de decimales que reporta el mapa.

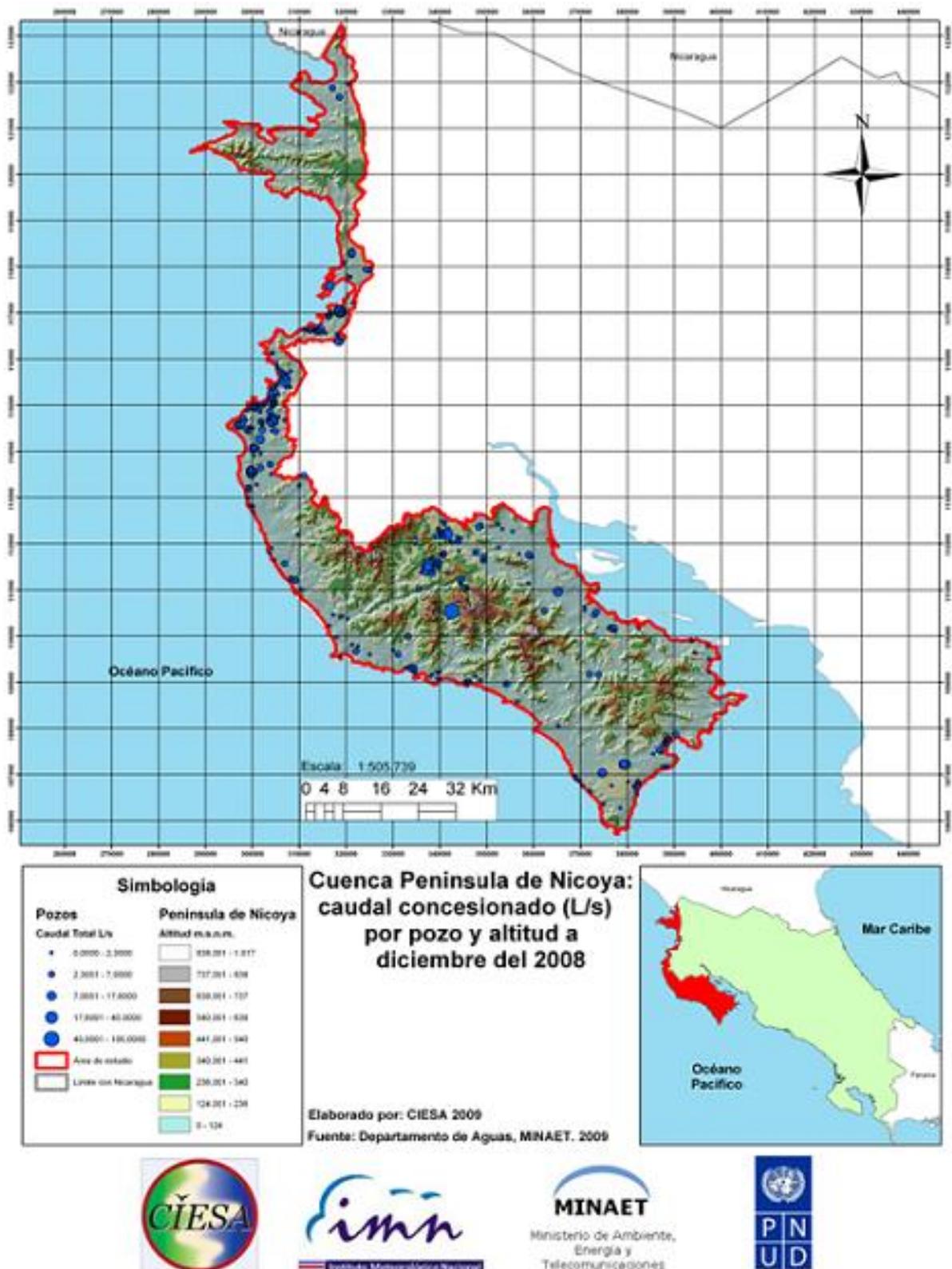
Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con base en datos del Departamento de Aguas del MINAET (2008), 2009.

Existe un pozo con una concesión de 100 l/s, este pozo corresponde a una concesión otorgada al AyA en Liberia, Guanacaste para un acueducto rural. Otros 8 pozos tienen un caudal promedio concesionado de casi 25 l/s.

La figura 5.3 muestra el mapa con la ubicación de los pozos concesionados en la cuenca de la Península de Nicoya según elevación. Nótese que una buena concentración de los pozos concesionados se localiza en las zonas cercanas a las costas de la Península.

Estos hallazgos indican que si las autoridades se concentran en el control de los pocos pozos que concentran el mayor caudal concesionado estarían abarcando el grueso del caudal concesionado. Por otro lado, sin embargo deben considerar que la importante cantidad de pozos cerca de la línea costera requieren un cuidadoso control sobre el estado de estos pozos, los controles sanitarios de sus alrededores y posibles niveles de sobreexplotación y salinización consecuente de los acuíferos asociados.

Figura 5.3. Cuenca de la Península de Nicoya: caudal concesionado (l/s) por pozos y altitud a diciembre del 2008.



5.1.c. Tempisque

Las concesiones de pozos de la cuenca del río Tempisque concentran 30% del caudal total concesionado en el país por ese concepto. Esta cuenca concentra 269 pozos concesionados, es decir un 10,5% del total del país. El caudal total concesionado en pozos en la cuenca es de 2.651,3 l/s. El 50,6% de los pozos se encuentra en el rango de caudal de 0 a 3.65 l/s, pero apenas concentran el 3,6% del caudal total concesionado a esa cuenca por ese concepto. De forma asimétrica el restante 49% de los pozos absorbe el 96,4% del caudal (ver cuadro 5.5).

Cuadro 5.5. Tempisque: cantidad de pozos y su caudal concesionado en l/s. Valores absolutos y relativos. Datos a diciembre del 2008

Rango Caudal	Cantidad de Pozos	Porcentaje Pozos	Caudal (l/s)	Porcentaje Caudal	Caudal promedio (l/s)
0,0000 - 3,6500	136	50,60%	96,4	3,60%	0,71
3,6501 - 10,7000	64	23,80%	430,4	16,20%	6,73
10,7001 - 20,0000	32	11,90%	516,9	19,50%	16,15
20,0001 - 41,5000	21	7,80%	615,6	23,20%	29,31
41,5001 - 100,0000	16	5,90%	992	37,40%	62,00
	269	100%	2651,3	100%	9,86

Se utiliza la misma cantidad de decimales que reporta el mapa.

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con base en datos del Departamento de Aguas del MINAET (2008), 2009.

El cuadro 5.5 muestra que la mayoría de pozos (50,6%) concentran tan solo un 3,6% del caudal total concesionado. Mientras que el restante 49,4% de los pozos reúnen el restante 96,4% del caudal concesionado. A su vez el 37% del caudal se ubica en tan solo el 5,9% (16) de los pozos.

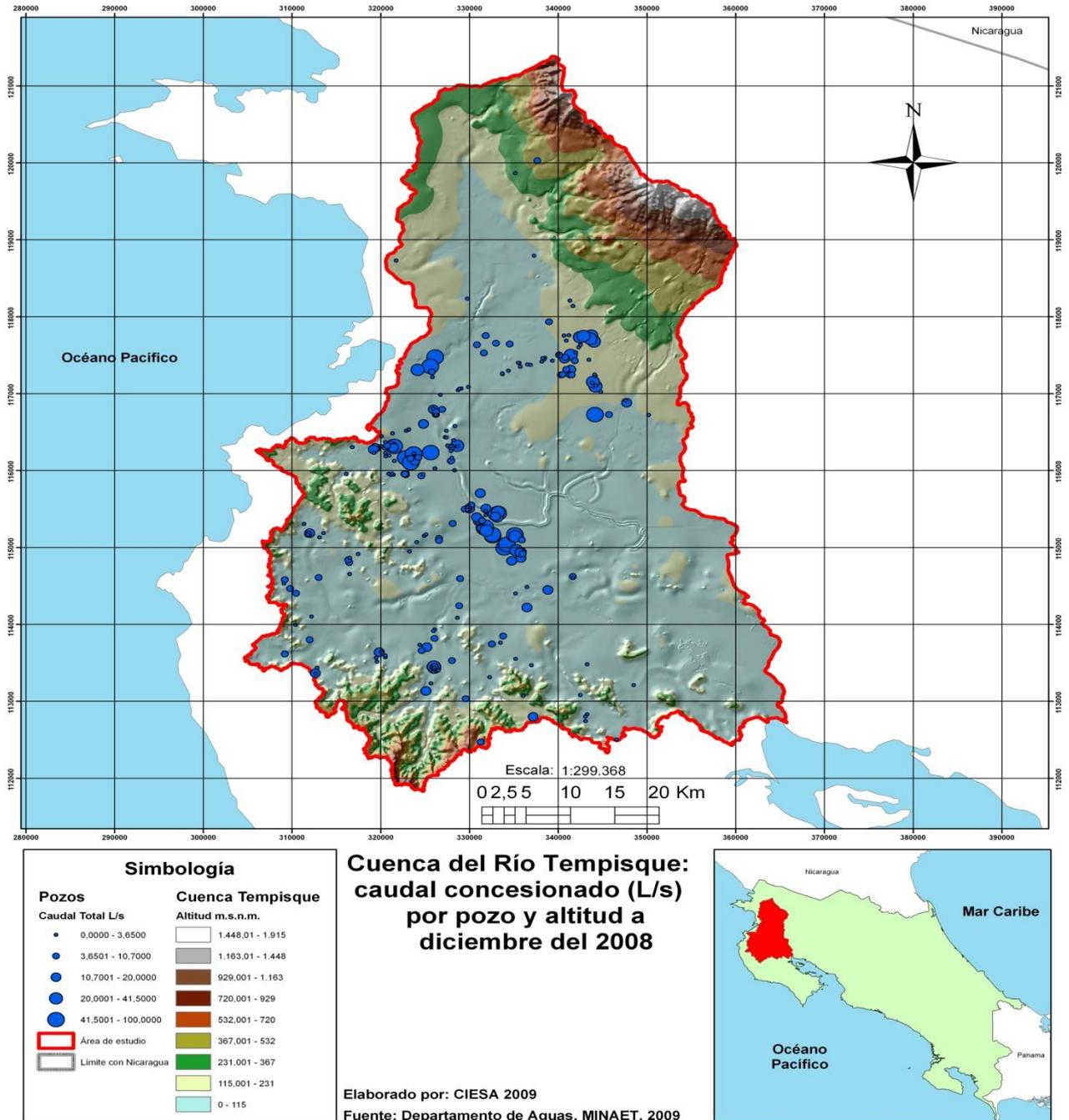
Los pozos con caudal concesionado de 41,5 l/s o más están ubicados en Guanacaste de la siguiente manera: 7 en Filadelfia de Carrillo; 3 en Liberia; 5 en Sardinal de Carrillo; 1 en Palmira de Carrillo. Todos los pozos tienen concesiones para riego, menos uno concesionado en Liberia a AyA, el mismo es para un acueducto rural (47 l/s). Además, un pozo concesionado en Palmira y otro en Liberia tienen concesión para uso turístico, a parte de la concesión para riego. Ambas concesiones fueron otorgadas a la Sociedad de Usuarios de Agua Auristela (100 y 75 l/s).

El resto de las concesiones fueron otorgadas a las siguientes sociedades anónimas: Corporación Parajes del Tempisque, SA (1 concesión de 50 l/s); Azucarera El Viejo, SA (1 concesión de 50 l/s); El Genizaro, SA (4 concesiones de 50 l/s cada una); Cheves y Aguilar, SA (1 concesión de 50 l/s); El Pelón de la Bajura, SA (1 concesión de 50 l/s); Exporpack, SA (5 concesiones de 50/ 93,25/ 50,4/ 94,5/ 81,9 l/s).

La distribución de caudal en los pozos de esta cuenca está altamente concentrada en unas cuantas concesiones. Por ejemplo, **tan solo en 37 (menos del 14%) de los pozos se**

concentra más de la mitad del caudal concesionado. El cuadro anterior refleja esta situación, así como la figura 5.4 que muestra el mapa con la ubicación de los pozos concesionados en la cuenca del río Tempisque. El SIG entregado incluye el detalle por concesionario y demás.

Figura 5.4. Cuenca del río Tempisque: caudal concesionado (l/s) por pozos y altitud a diciembre del 2008.



5.1.d. Reventazón

En la cuenca del río Reventazón se ubican 215 pozos concesionados los cuales representan 8,4% del total nacional de pozos. El caudal total concesionado en pozos en la cuenca Reventazón fue de 660,3 l/s, el cual representa el 7,4% del caudal nacional concesionado a pozos en el país. El 95,5% del caudal concesionado se concentra en el 58,6% de los pozos con una concesión igual o mayor a 0,94 l/s. El 41,4% de los pozos tienen un caudal concesionado de 0 a 0,94 l/s.

Cuadro 5.6. Reventazón: cantidad de pozos y su caudal concesionado en l/s. Valores absolutos y relativos. Datos a diciembre del 2008

Rango Caudal	Cantidad de Pozos	Porcentaje Pozos	Caudal (l/s)	Porcentaje Caudal	Caudal promedio (l/s)
0,0000 - 0,9400	89	41,40%	29,8	4,50%	0,33
0,9401 - 2,8000	41	19,10%	66,6	10,10%	1,62
2,8001 - 5,9000	52	24,20%	215,9	32,70%	4,15
5,9001 - 10,0000	21	9,80%	186,1	28,20%	8,86
10,0001 - 18,0000	12	5,60%	162	24,50%	13,50
	215	100%	660,3	100%	3,07

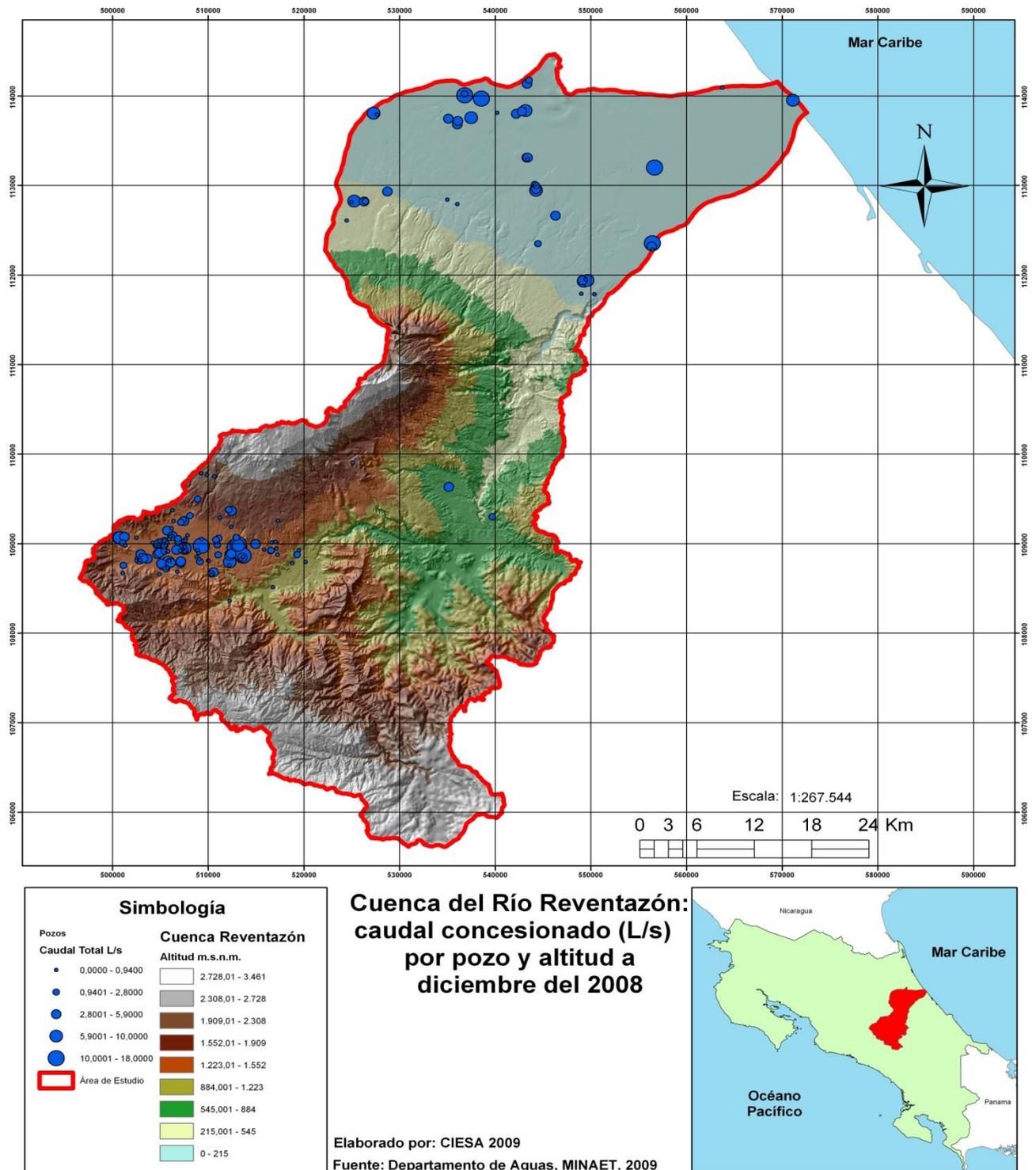
Se utiliza la misma cantidad de decimales que reporta el mapa.

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con base en datos del Departamento de Aguas del MINAET (2008), 2009.

La cuenca del río Reventazón muestra una distribución por caudal concesionado menos concentrada que las anteriores. Los 12 pozos con mayor caudal concesionado corresponden a 11 concesiones otorgadas a sociedades anónimas y 1 al Instituto Tecnológico de Costa Rica (18 l/s). Dentro de las sociedades anónimas están: Florexp, SA (1 concesión de 13,2 l/s); Helechos de Cuero, SA (3 concesiones de 14,4/ 14,21/ 14 l/s); Compañía Bananera Monte Blanco, SA (2 concesiones de 13 l/s cada una); Desarrollo Agroindustrial de Frutales, SA (2 concesiones de 11,5 l/s cada una); Desarrollo Bananero, SA (1 concesión de 14 l/s); Compañía Bananera Parismina, SA (2 concesiones de 12,6 l/s cada una).

La distribución geográfica de los pozos es la siguiente: Paraíso de Cartago (2), Oreamuno de Cartago (2), Cartago (1), Siquirres (4) y Pococí (3). Todas las concesiones en Limón son para uso agroindustrial y tres de ellas, además incluyen concesión para consumo humano. La concesión del distrito Oriental de Cartago es para consumo humano y comercial, fue otorgada al ITCR. El resto de las concesiones en Cartago son para riego. La figura 5.5 muestra el mapa con la ubicación de los pozos concesionados en la cuenca del río Reventazón.

Figura 5.5. Cuenca del río Reventazón: caudal concesionado (l/s) por pozos y altitud a diciembre del 2008.



5.1.e. Bebedero

La cuenca Bebedero cuenta con un total de 68 pozos concesionados, los cuales equivalen apenas al 2,6% del total de pozos del país. El caudal de estos pozos (302 l/s) corresponde al 3,4% del caudal nacional concesionado por este concepto. El 41% de los pozos se ubica en concesiones de 0 a 0,5 l/s, mientras que el resto de las concesiones tienen un caudal de 0,5 a 35 l/s. El caudal se concentra en las concesiones que van desde los 3 l/s a 35 l/s, el mismo corresponde al 90,23% del total concesionado.

Cuadro 5.7. Bebedero: cantidad de pozos y su caudal concesionado en l/s. Valores absolutos y relativos (a diciembre del 2008)

Rango de Caudal	Cantidad de Pozos	Porcentaje de Pozos	Caudal (l/s)	Porcentaje de caudal	Caudal promedio (l/s)
0,0000 - 0,5000	28	41,18%	3,21	1,06%	0,11
0,5001 - 3,0000	16	23,53%	26,34	8,71%	1,65
3,0001 - 8,0000	12	17,65%	63,1	20,88%	5,26
8,0001 - 20,0000	9	13,24%	112,61	37,26%	12,51
20,0001 - 35,0000	3	4,41%	97	32,09%	32,33
Total	68	100%	302,26	100%	

Se utiliza la misma cantidad de decimales que reporta el mapa.

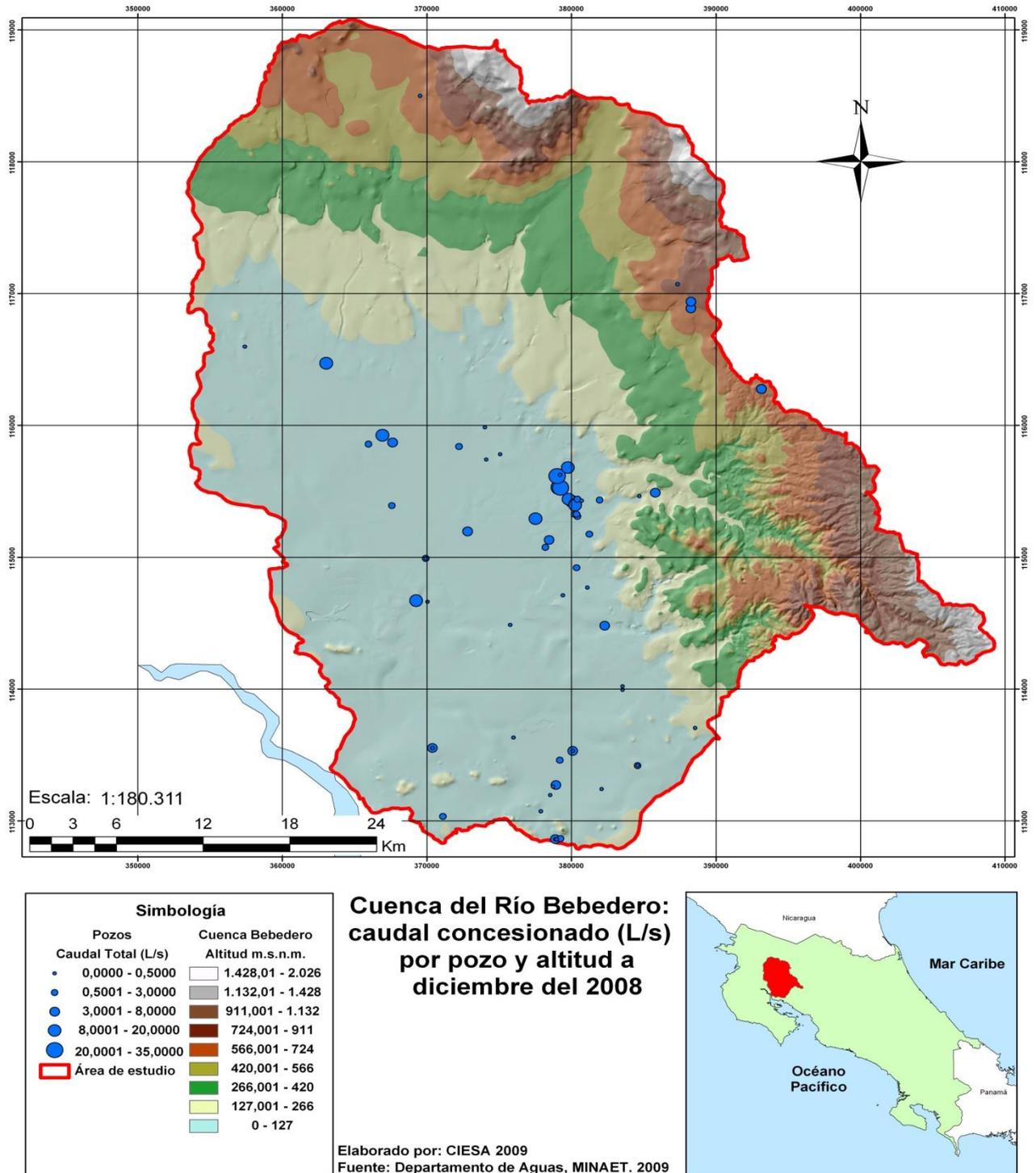
Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con base en datos del Departamento de Aguas del MINAET (2008), 2009.

El 65% de los pozos tienen concesiones de 0 a 3 l/s y concentran 9,77% del caudal total concesionado. Mientras tanto, el restante 35% de los pozos aglutinan el 90,23% del caudal total.

Las tres concesiones de pozos que mayor caudal (l/s) promedio presentan corresponden a acueductos rurales del A y A, ubicados en Cañas, Guanacaste. Las concesiones son de 32 l/s, 35 l/s y 30 l/s.

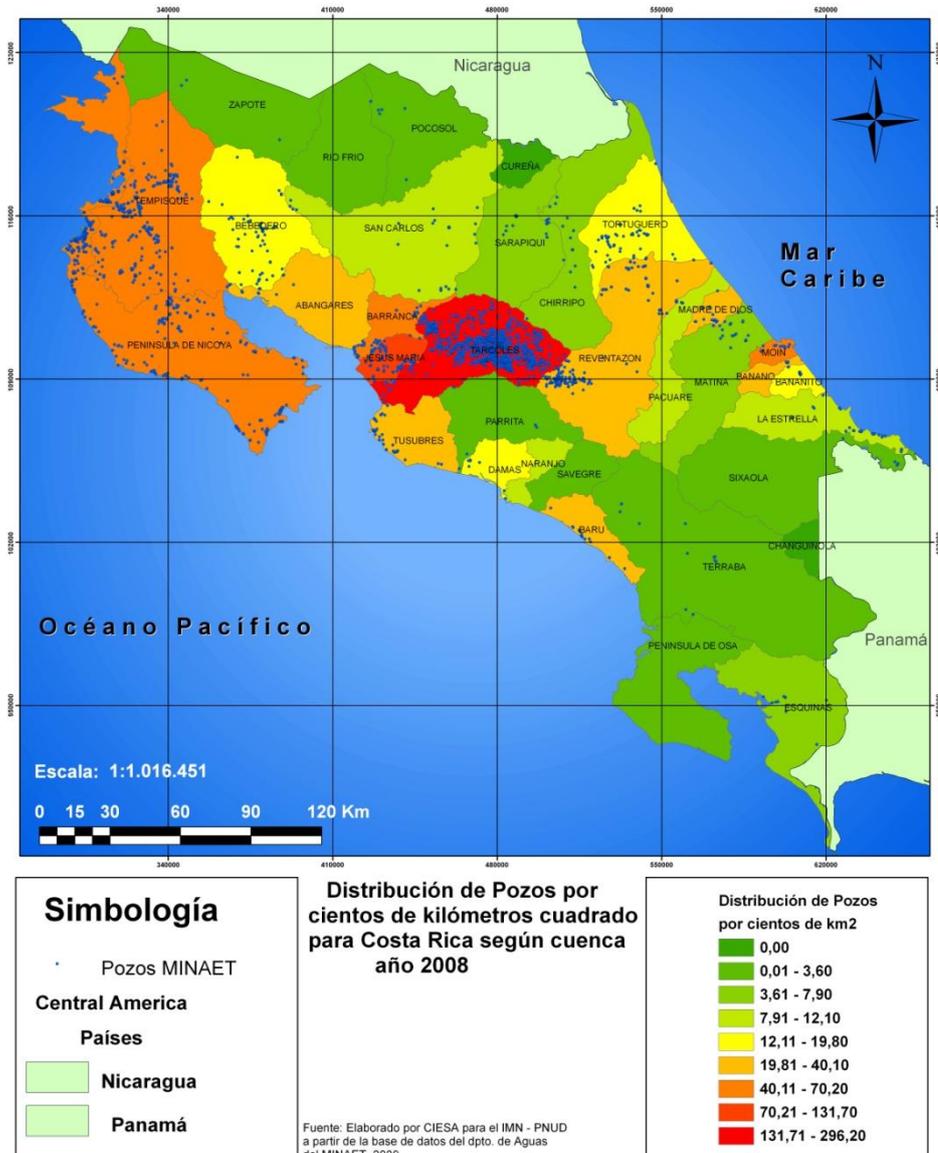
La figura 5.6 muestra el mapa con la ubicación de los pozos concesionados en la cuenca Bebedero.

Figura 5.6. Cuenca del río Bebedero: caudal concesionado (l/s) por pozos y altitud a diciembre del 2008.



La figura 5.7 muestra el mapa con la distribución de la intensidad de pozos por kilómetros cuadrados para cada una de las cuencas. Se encontró que las cuencas con mayor intensidad de pozos por Km² son: *Tárcoles* y *Jesús María*, seguidas de *Tempisque*, *Península de Nicoya*, *Barranca* y *Moín*. Son de particular interés para la *Gestión Integrada de los acuíferos* estos datos, sobre todo en los pozos cercanos a las costas, por el grado de vulnerabilidad a la intrusión salina de los acuíferos por sobreexplotación, y la degradación de los acuíferos en cuencas más urbanas como *Tárcoles* por sobre-explotación y procesos de contaminación.

Figura 5.7. Distribución de pozos por cientos de kilómetros cuadrados para Costa Rica según cuenca, año 2008



Anexo 5.1A

Costa Rica: Cuencas con mayor caudal por pozo concesionado, concesiones y caudal respectivo

Datos a diciembre del 2008.

	Caudal promedio (l/s)	Caudal (l/s)	Porcentaje de caudal	Concesiones	Porcentaje de concesiones
BANANO	28,09	309	3,48%	11	0,43%
TEMPISQUE	9,86	2651,33	29,87%	269	10,52%
PACUARE	9,17	55	0,62%	6	0,23%
MATINA	6,11	140,57	1,58%	23	0,90%
MADRE DE DIOS	4,84	77,42	0,87%	16	0,63%
TORTUGUERO	4,45	262,39	2,96%	59	2,31%
BEBEDERO	4,45	302,26	3,40%	68	2,66%
SIXAOLA	4,25	17	0,19%	4	0,16%
BANANITO	3,95	39,54	0,45%	10	0,39%
DAMAS	3,81	30,5	0,34%	8	0,31%
SAN CARLOS	3,31	82,65	0,93%	25	0,98%
TUSUBRES	3,26	159,88	1,80%	49	1,92%
REVENTAZON	3,07	660,35	7,44%	215	8,41%
CHIRRIPO	3,04	63,8	0,72%	21	0,82%
ESQUINAS	2,98	32,73	0,37%	11	0,43%
PENINSULA DE NICOYA	2,81	1180,53	13,30%	420	16,42%
MOIN	2,80	30,75	0,35%	11	0,43%
TARCOLES	2,23	2502,187	28,19%	1120	43,78%
SARAPIQUI	2,16	43,2	0,49%	20	0,78%
BARRANCA	1,77	76,29	0,86%	43	1,68%
PARRITA	1,66	6,62	0,07%	4	0,16%
POCOSOL	1,35	8,1	0,09%	6	0,23%
TERRABA	1,34	16,11	0,18%	12	0,47%
ABANGARES	1,26	22,72	0,26%	18	0,70%
LA ESTRELLA	1,12	30,11	0,34%	27	1,06%
JESUS MARIA	1,02	66,147	0,75%	65	2,54%
BARU	0,67	9,39	0,11%	14	0,55%
ZAPOTE	0,33	1	0,01%	3	0,12%
CHANGUINOLA	0,00	0	0,00%	0	0,00%
CUREÑA	0,00	0	0,00%	0	0,00%
NARANJO	0,00	0	0,00%	0	0,00%
PENINSULA DE OSA	0,00	0	0,00%	0	0,00%
RIO FRIO	0,00	0	0,00%	0	0,00%
SAVEGRE	0,00	0	0,00%	0	0,00%
TOTAL		8877,574	100%	2558	100%

Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con base en datos del Departamento de Aguas del MINAET (2008), 2009.

Anexo 5.2A

Concesiones y caudal para pozos, 1985-2008

Año	Caudal por año en l/s	Caudal acumulado en l/s	Concesiones por año	Concesiones acumuladas
1985	1,00	1,00	1	1
1986	2,50	3,50	1	2
1987	0,00	3,50	0	2
1988	0,00	3,50	0	2
1989	8,93	12,43	3	5
1990	4,80	17,23	1	6
1991	0,00	17,23	0	6
1992	15,50	32,73	2	8
1993	33,07	65,80	10	18
1994	598,32	664,12	114	132
1995	1.069,77	1.733,89	208	340
1996	1.471,19	3.205,08	284	624
1997	278,17	3.483,25	88	712
1998	786,71	4.269,96	111	823
1999	488,26	4.758,22	239	1.062
2000	479,86	5.238,08	159	1.221
2001	199,93	5.438,01	103	1.324
2002	897,96	6.335,97	319	1.643
2003	289,93	6.625,90	61	1.704
2004	607,79	7.233,69	211	1.915
2005	383,15	7.616,84	236	2.151
2006	390,06	8.006,90	102	2.253
2007	601,76	8.608,66	164	2.417
2008	273,92	8.882,57	143	2.560

Fuente: Elaborado por el CIESA para el IMN, MINAET y PNUD con base en datos del Departamento de Aguas del MINAET (2008), 2009.

6. ¿Cuántos pozos hay en Costa Rica?

Si se fusionan las bases de datos de pozos de SENARA y MINAET, Costa Rica cuenta con un total de 16.534 pozos a los cuales se les ha otorgado una concesión. De estos datos 2.558 provienen de la base del MINAET y el restante 13.976 de los registros del SENARA.

El caudal total asociado a estos pozos es de 46.476,78 l/s. De este caudal 8.877,57 l/s se registran como concesiones en la base de datos del MINAET y 37.599 l/s en la del SENARA.

El 79% del total de pozos se concentra en 5 de las 34 cuencas del país. En este 79% de los pozos se concentra el 74% del caudal total concesionado en pozos a nivel nacional.

La cuenca con mayor porcentaje de pozos concesionados es la cuenca de Tárcoles (39%), seguida por Península de Nicoya (17%), Tempisque (14.4%), Reventazón (5.5%) y Jesús María (3%). En el cuadro 6.1 se observa la distribución por cuenca de los pozos y su respectivo caudal concesionado.

Cuadro 6.1

Costa Rica: cantidad de pozos y su caudal concesionado en l/s
Valores absolutos y relativos
Datos a diciembre del 2008

Cuenca	Cantidad Pozos	Porcentaje Pozos	Caudal Total (l/s)	Porcentaje Caudal	Caudal promedio (l/s)
Tárcoles	6.409	38,80%	14.046,70	30,20%	2,19
Península de Nicoya	2.834	17,10%	6.259,20	13,50%	2,21
Tempisque	2.373	14,40%	9.987,98	21,50%	4,21
Reventazón	913	5,50%	2.850,30	6,10%	3,12
Jesús María	498	3,00%	1.061,38	2,30%	2,13
Subtotal	13.027	78,80%	34.205,55	73,60%	2,63
Otras Cuencas	3507	21,20%	12.271,23	26,40%	3,50
Total País	16.534	100%	46.476,78	100%	2,81

Se resaltan los datos más importantes en cantidad de pozos

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD, con base en datos del Departamento de Aguas, MINAET (2008) y SENARA (sin registro).

El 79% de los pozos concesionados se concentran en 5 cuencas, las mismas reúnen el 73.6% del caudal total en l/s concesionado en pozos. Por otro lado, el restante 21.2% de los pozos concesionados aglutinan el 26.4% del caudal (l/s) total.

De las cinco cuencas con mayor concentración de pozos a nivel nacional, la cuenca del río *Tempisque es la que tiene un mayor promedio de caudal por pozo (4.21 l/s);* mientras que la cuenca del río Jesús María es la que presenta el menor promedio de caudal en l/s.

Es importante cuestionar cuántos pozos realmente están concesionados en la actualidad, cuántas perforaciones exactamente se han realizado, en qué estado se encuentran, cuándo cerraron la extracción, cuánta agua extraen con relación a la concesionada y si el aprovechamiento del agua es conforme con los usos solicitados en concesión.

Es menester de este investigador apuntar sobre la gravedad que evidencia las inconsistencias de información sobre el estado y la cantidad de explotación de los acuíferos a través de la perforación acelerada de pozos. Un pozo es un ducto que conecta directamente la superficie con el acuífero. La vulnerabilidad de los acuíferos utilizados por estos pozos se ha incrementado a nivel que debe llamar la atención de las autoridades. El estado sanitario de estos pozos, su cierre técnico en aquellos casos en que hayan sido abandonado; y la operacionalización bajo condiciones formales de los que están activos y proceden; así como el cierre y la prohibición de explotación de los que no proceden es una tarea impostergable, para asegurar el acervo natural de agua subterránea del país.

¿Cuántos pozos hay ilegales en Costa Rica? Tampoco se conoce el dato, pero se estiman hasta en un 20% de los pozos concesionados, lo cual indicaría podrían fácilmente haber cerca de 20 mil pozos extrayendo agua en Costa Rica. Cerca de mitad de estos se ubica en el valle central.

7. Gestión y manejo del recurso hídrico en el sector transporte y navegación fluvial, desarrollo turístico, recreación y fomento piscícola.

7.1. Gestión del Recurso Hídrico

Algunos de los logros más importantes en esta área en los últimos años son: la conclusión de la Estrategia para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Costa Rica; la aprobación de la Política Hídrica Nacional; la colocación del Proyecto de Ley del Recurso Hídrico, este último lamentablemente no ha sido aprobado con la celeridad que se esperaba.

La atomización de leyes, responsabilidades y actores en el sector, así como el incremento en la demanda y en la competencia por el recurso hídrico, llevaron al gobierno de Costa Rica a tomar conciencia en la necesidad de definir una política nacional para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH). La Estrategia para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Costa Rica, concluye con cuatro productos importantes: El Diagnóstico, La Política Hídrica Nacional, cuatro Estudios de Caso y la Estrategia Hídrica.¹

La Política Hídrica Nacional incorpora los principios rectores de la gestión del recurso hídrico, donde se establece el agua como un bien de dominio público, inembargable e inalienable, la función del agua como fuente de vida y supervivencia de todas las especies y ecosistemas, el reconocimiento del agua con valor económico y social, la participación de los interesados en su gestión a nivel de la cuenca hidrográfica como unidad de planificación y gestión, con criterios de integración y descentralización, entre otros.

7.2. Propuesta de Ley del Recurso Hídrico

La Propuesta de Ley del Recurso Hídrico en Costa Rica tiene por objeto regular el dominio público del recurso hídrico y las competencias del Estado para su tutela. Regular el marco institucional para la protección, conservación, gestión y manejo integral, uso racional y sostenible del recurso hídrico, bajo una perspectiva ecosistémica. Además, regular el derecho de los habitantes al aprovechamiento y disfrute racional del recurso hídrico y su deber de conservarlo y protegerlo.

Para aprovechar el recurso hídrico, toda persona física o jurídica, pública o privada requiere de una concesión o permiso de uso para el aprovechamiento del recurso hídrico. Las concesiones y los permisos de uso se otorgan teniendo en cuenta la explotación racional y conjunta de los recursos superficiales y subterráneos y un manejo integral del recurso.

Dentro de los aprovechamientos del Recurso Hídrico la ley contempla en el artículo 50 el abastecimiento de población, uso doméstico, riego para usos agropecuarios, riego

¹ Duodécimo Informe Estado de la Nación.

para usos no agropecuarios, hidroeléctrico, desarrollo de la fuerza hidráulica, **turismo**, agroindustrial, **acuicultura**, industriales, **recreativos**, **transporte**, entre otros usos.

La Ley General de Aguas de 1942, crea el canon que por concepto de aprovechamiento de agua deben pagar los concesionarios y usuarios del agua. Esto permite regular y controlar el recurso y financiar su gestión a largo plazo. En el artículo 35 del Proyecto de Ley del Recurso Hídrico se define el Canon de aprovechamiento como la prestación en dinero que deben pagar todas las personas físicas o jurídicas para el aprovechamiento como bien y servicio del recurso hídrico superficial o subterráneo y de las fuerzas derivadas del mismo.

El Cuadro 7.1 muestra el valor del canon ambiental ajustado por sector, el monto está dado en colones y dólares por m³.

Cuadro 7.1. Canon Ambiental ajustado por sector

Uso	Canon (colones/m ³)	
	Agua Superficial	Agua Subterránea
Consumo Humano	1.46	1.63
Industrial	2.64	3.25
Comercial	2.64	3.25
Agroindustrial	1.90	2.47
Turismo	2.64	3.25
Pecuario	1.29	1.40
Acuicultura	0.15	1.40
Fuerza Hidráulica	0.12	-

Fuente: Decreto No.32868

Tomado de: Duodécimo Informe del Estado de la Nación

Además, del canon por aprovechamiento, del Proyecto de Ley del Recurso Hídrico establece en el artículo 37, el canon ambiental por vertidos. El canon ambiental por vertidos se establece como la prestación en dinero que deben pagar todas las personas físicas o jurídicas, públicas o privadas por utilización directa o indirecta de los cuerpos de agua para introducir, transportar, diluir, transformar y eliminar los desechos vertidos autorizados que provocan la modificación de la calidad física, química o biológica del agua y por los costos sociales, económicos y ambientales que generan esas cargas contaminantes.

El canon por vertidos no es una autorización para contaminar. El monto a pagar es proporcionalmente menor, para aquellas entidades que utilizan sistemas de tratamiento de las aguas residuales y tecnologías limpias, que propician una mejor calidad de las aguas del cuerpo receptor, reduciendo el impacto en sus condiciones físicas, químicas o biológicas, por debajo de los límites permitidos.

El artículo 38 del proyecto de ley antes mencionado, señala algunos puntos relacionados al canon ambiental por vertidos:

- a) El monto a pagar por concepto de este canon será establecido con base en el procedimiento fijado vía reglamento. Rige para un período de tiempo no mayor a seis años y estaría asociado a una meta de reducción de la contaminación vertida, en una cuenca, microcuenca o tramo de cuenca.
- b) El monto máximo del canon establecido en el inciso anterior, se fija con base en la meta de reducción de la contaminación vertida. Este se aplicará gradualmente, fijando un monto mínimo durante el primer año que corresponderá a una fracción del monto máximo definido, el cual se incrementará en tramos hasta alcanzar el cien por ciento del canon máximo fijado.
- c) El monto máximo del canon será revisado al finalizar el período de vigencia definido por el reglamento, con base en:
 - c.1) Una evaluación del cumplimiento de las metas de reducción de la contaminación vertida.
 - c.2) Los requerimientos de calidad de agua.
 - c.3) Las nuevas metas de disminución de la contaminación hídrica que fijen las autoridades correspondientes, en consulta con los actores sociales interesados.

7.3.¿Se aplican las leyes?

La estructura normativa e institucional es importante para proteger las fuentes de agua del impacto de las dinámicas sociales y productivas en el territorio. Sin embargo, a pesar de los avances en materia de gestión del recurso hídrico la aplicación de las leyes y la regulación de las actividades relacionadas con el recurso no han tenido tanto éxito.

Según el décimo cuarto informe del Estado de La Nación, entre julio de 2006 y junio de 2007, la Contraloría General de la República evaluó la función rectora del MINAE en la aplicación de las políticas y normas atinentes al recurso hídrico, y determinó que la política del Gobierno en la materia, incluida en el Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010, es muy general y está poco desarrollada. En el país no existe un subsector hídrico formalmente establecido, ni están definidos los roles específicos de las instituciones. Además, el MINAE no está haciendo uso adecuado de las potestades legales que tiene para ejercer su rectoría política en pro de la gestión integrada del recurso hídrico.

De aquí en adelante se explicará el manejo y la gestión del recurso hídrico en algunas actividades de gran importancia en la economía costarricense. Se tratará sobre el transporte y la navegación fluvial, el desarrollo turístico, actividades recreativas y la acuicultura.

La idea es brindar un panorama de las actividades en cuanto a la importancia del sector en la economía; la legislación y regulación de las actividades en Costa Rica; así como, la demanda de recurso hídrico en cada sector, su manejo y gestión.

7.4 Transporte y Navegación Fluvial

Existe limitada información sobre el sector transporte y de navegación fluvial. Pero mucho menos información que relacione la actividad de estos sectores con las propuestas de gestión integrada de recurso hídrico (GIRH). La información del nivel de actividad económica de estos sectores no se encuentra independizada en la contabilidad nacional, la información sobre quantum de producción piscícola es incompleta espacialmente hablando, y no hay documentos que estimen la demandas de agua relacionadas estos sectores, de manera que no es posible realizar una integración apropiada del estado y manejo del recurso hídrico en estos sectores sin realizar un trabajo de campo, lo cual evidentemente esta fuera del alcance de este proyecto.

7.4.a. Descripción del Sector

En Costa Rica se distinguen claramente dos vertientes: la del Caribe y la del Pacífico. La vertiente del Caribe se caracteriza por tener una gran variabilidad tanto espacial como temporal en el régimen lluvioso; en general se puede afirmar que llueve durante todo el año. Se subdivide en la vertiente de la costa y la subvertiente Norte. La vertiente del Pacífico presenta también una gran variabilidad en la distribución temporal y espacial de la precipitación. Se caracteriza por tener un período seco bien definido que comprende los meses de diciembre a abril.²

Vertiente del Pacífico

Los ríos de la vertiente del Pacífico son navegables cuando las condiciones lo permiten. Los ríos de esta vertiente se caracterizan por ser cortos y profundos. Los principales ríos de esta vertiente son: Tempisque, Grande de Tárcoles, Pirrís o Parrita, Grande de Térraba y Coto Colorado. De menor importancia son Bebedero, Aranjuez, Barranca y Jesús María. En el Cuadro 7.2 se brinda una descripción de algunos ríos de la vertiente del Pacífico.

Cuadro 7.2. Costa Rica. Ríos de la Vertiente del Pacífico

Río	Descripción
Tempisque Extensión: 136 km	- Afluentes: Ahogados, Colorado, Liberia, Salto, Las Palmas, Cañas, Bolsón y Bebedero. - Desemboca en forma de estuario. - Es navegable hasta la confluencia con el Bolsón (36 km). - El río recorre una importante región agrícola y ganadera.
Bebedero	-Afluentes: ríos Piedras, Tenorio, Cañas y Lajas. - Navegable hasta 18 km aguas arriba
Grande de Tárcoles Extensión: 94 km	- El río se forma por la unión de los ríos Virilla y San Ramón - Poco antes de su desembocadura en el Pacífico recibe por la margen izquierda al Turrubares. - Primer río del país en ser utilizado para la obtención de energía eléctrica.
Pirrís o Parrita	- El río desciende de la cordillera de Talamanca junto con el río Candelaria, su principal

² ICE, Estudios Básicos de Ingeniería, Área Hidrología.

Extensión: 108 km	afluente. Ambos guardan un cierto paralelismo en sus cursos y forman dos valles de gran importancia económica.
Grande de Térraba Extensión: 160 km	-Río más largo de Costa Rica, el de cuenca más extensa y el más caudaloso (338 m ³ /seg). - Es navegable en su curso inferior (22 km), donde recorre una zona bananera intensamente cultivada. - En el Grande de Térraba hay pontones transbordadores en Paso Real y Puerto Cortés para mercancías y pasajeros.
Coto Colorado	- Nace en la fila Costeña y forma el Valle Coto Colorado, donde hay tierras bananeras. - En los ríos Coto y Sierpe existen lanchas que transportan arroz, maíz, frijoles y bananos.

Fuente: Elaborado por el CIESA para IMN, MINAET y PNUD con datos de La Nación, 2000 y OPS, 2003.

Vertiente del Caribe

En la Vertiente del Caribe los ríos son más largos, más anchos y menos profundos que los del Pacífico. Pertenecen a esta vertiente los ríos San Juan, Colorado, Tortuguero, Parismina, Pacuare, Matina, Estrella, Banano y Sixaola. En el Cuadro 7.3 se brinda una descripción de algunos ríos de la vertiente del Caribe.

Cuadro 7.3. Costa Rica: Ríos de la Vertiente del Caribe

Río	Descripción
San Juan	- Aunque no pertenece a Costa Rica, constituye la principal vía fluvial de salida al Caribe. - Costa Rica tiene derecho a navegar "libremente" para "fines comerciales" en la parte del río San Juan fronteriza con Nicaragua.
Colorado	- Principal vía de navegación hacia el San Juan.
Tortuguero	- El río no tiene un curso independiente porque está conectado por brazos al Chirripó y a otros ríos menores de la llanura. - El canal artificial, que lleva su nombre, permite la navegación desde Moín hasta el río Colorado.
Parismina Extensión: 145 km	- El río junto con su principal afluente, el Reventazón, constituye la tercera cuenca fluvial de Costa Rica por su extensión (2 950 km ²). - Esta cuenca es una de las más utilizadas para la obtención de energía hidroeléctrica.
Pacuare Extensión: 108 km	- Nace en el Chirripó. Al entrar a la llanura, se vincula con la cuenca del Reventazón a través del brazo Reventazoncito. - Desemboca en el Caribe después de recorrer 108 km.
Estrella Extensión: 52 km	- Desciende de la fila de Matama y sin recibir afluentes importantes cruza la llanura que lleva su nombre, destinada en su mayoría a plantaciones bananeras de la Standard Fruit Co.
Sixaola Extensión: 146 km	- Nace en las cimas de la cordillera de Talamanca. En la llanura, recibe los afluentes Coen, Lari y Urén. - Aguas abajo sirve de límite con Panamá, junto con su afluente, el Yorkin. - Sólo es navegable en el último tramo (17 km), hasta el lugar llamado Colonia San Bernardo.

Fuente: Elaborado por el CIESA para IMN, MINAET y PNUD con datos de La Nación, 2000 y OPS, 2003.

Subvertiente Norte

Los ríos de la subvertiente Norte tienen la ventaja de ser navegables por toda la llanura hasta el pie de monte. Estos ríos constituyen las vías de salida hacia el Caribe de productos y viajeros regionales, a través del San Juan. Dentro de los ríos de la subvertiente norte se pueden mencionar: río Frío, San Carlos, Sarapiquí y Chirripó. En el Cuadro 7.4 se describen algunos ríos de la vertiente del Caribe.

Cuadro 7.4. Costa Rica: Ríos de la Subvertiente Norte

Río	Descripción
Fío Extensión: 52 km	- Recorre la llanura de los Guatusos a través de 70 km. - Desemboca en el lago Nicaragua.
San Carlos Extensión: 135 km	- La cuenca del San Carlos es la más importante de la vertiente norte y una de las principales del país. - Recorre la llanura de San Carlos, donde recibe al río Tres Amigos, y a esa altura el río se ensancha. - Vierte sus aguas al San Juan, formando bancos que dificultan la navegación.
Sarapiquí Extensión: 84 km	- Afluentes: ríos Peje, Sardinal y Sucio. Antes de su desembocadura recibe las aguas de los ríos Toro y Cuarto - Más de la mitad de sus 84 km de curso es navegable, constituyendo una importante vía de salida de productos y pasajeros hacia el exterior, por medio del San Juan.
Chirripó	- Nace en la sierra Volcánica Central y al entrar en la llanura de Santa Clara se comunica con la cuenca del Tortuguero a través de un brazo del río Toro Amarillo. - Luego de 96 km, vuelca su caudal en el río Colorado. - Sirve de límite natural entre las áreas Atlántica y Norte.

Fuente: Elaborado por el CIESA para IMN, MINAET y PNUD con datos de La Nación, 2000 y OPS, 2003.

Cabotaje

Otra forma de transporte fluvial es la realizada por el cabotaje. En la Ley de Servicios de Cabotaje se define el tráfico de cabotaje como aquel efectuado entre dos puertos nacionales, costaneros o fluviales, de un mismo litoral.

Para explotar el servicio de cabotaje en forma regular y permanente, es indispensable obtener una concesión de derecho de línea del Poder Ejecutivo por conducto del Ministerio de Seguridad Pública.

Los servicios de cabotaje que actualmente operan y son regulados por ARESEP, son los siguientes: lancha Pavona- Tortuguero, Puntarenas- Paquera, Puntarenas- Playa Naranjo y Puerto Jiménez- Golfito.

Cuadro 7.5. Costa Rica: Rutas de Cabotaje y Concesionario

Ruta de Cabotaje ³	Empresa Concesionaria del Servicio de Cabotaje
Puerto Jiménez-Golfito y Viceversa	Edwin Castro Vásquez
Puntarenas-Paquera Viceversa/ Modalidad Ferry	Naviera Tambor, S.A
Puntarenas-Playa Naranjo	COONATRAMAR, R.L
Costa de Pájaros-Isla de Chira-Isla Venado	Inversiones Legu de Costa de Pájaros S.A
Puntarenas-Paquera y Viceversa/ Modalidad lancha	Asociación de Desarrollo Integral de Paquera (ADIP)
Puntarenas-Paquera Viceversa Modalidad Ferry ADIP	Asociación de Desarrollo Integral de Paquera

Nota: Se incluyen aquellas empresas que operan con el permiso respectivo por parte de la Dirección de Navegación y Seguridad Marítima del MOPT y que tienen tarifas autorizadas por ARESEP. Se está a la espera de que la Dirección de Navegación y Seguridad Marítima del MOPT envíe a la ARESEP listado de todos los operarios en el sector de cabotaje, y que para la renovación o el permiso de operación por parte del MOPT, se le ha pedido como requisito la autorización de la tarifa por parte de ARESEP.

Fuente: ARESEP, 2009.

7.4.b. Legislación y Regulación

Son ríos navegables aquellos establecidos en el Decreto 6, publicado el 2 de abril de 1940. Además, en el Decreto Ejecutivo 4365 del 28 de noviembre de 1974 se adiciona a la nómina de ríos navegables del litoral Atlántico, el río Sarapiquí, desde su desembocadura aguas arriba hasta el sitio denominado Puerto Viejo en una longitud de 46 kilómetros aproximadamente.

En el Decreto Ejecutivo 3729, en el artículo 4, se establece que el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, a través de la Dirección General de Obras Portuarias y Fluviales, es el organismo administrativo encargado de la tramitación y resolución final en todo lo relativo a la prestación de servicios públicos de transporte remunerado de pasajeros y carga por vía fluvial o canalera, sea a través de organismos del Estado, por particulares concesionarios o por permisionarios.

Legislación

A pesar de la importancia de la navegación fluvial en Costa Rica no existe una ley de Navegación que regule esta actividad.⁴

Para el caso particular de los canales del norte existe un Reglamento para la navegación en los Canales del Norte, publicado en el Diario Oficial La Gaceta del viernes 18 de marzo de 1977.

En el Decreto Ejecutivo 3729 del 03 de mayo de 1974 se declara inaugurado el Sistema Canalización del Atlántico. En el artículo 2, se encarga la administración de los canales del Atlántico a la Junta de Administración Portuaria y de Desarrollo Económico de la Vertiente Atlántica (JAPDEVA). Además, JAPDEVA debe administrar los bienes inmuebles que integran la canalización del Atlántico.

³ Ver anexo 1: Mapas con rutas de Cabotaje

⁴ ANEP, 2008.

Los Canales naturales y artificiales entre Moín y Barra de Colorado (112 Km.) a cargo de JAPDEVA son: Moín - Dos Bocas, Dos Bocas - Río Matina, Río Matina - Laguna de Urpiano, Laguna de Urpiano - Río Santa Marta, Río Santa Marta - Río Pacuare, Río Pacuare - Río Chiquero, Río Chiquero – Parismina, Parismina - Norte Caño Penitencia, Norte Caño Penitencia - Samay Laguna, Samay Laguna - Barra de Colorado.

La sección de Canales del Norte de JAPDEVA es la encargada de administrar y realizar el mantenimiento a los canales, cuyo acceso se logra por la vía acuática. Para mantener las condiciones óptimas de navegación, la sección de Canales del Norte realiza constantes limpiezas.

Regulación

De conformidad con la ley N° 4786, Reforma a la Ley orgánica del MOPT del 5 de julio de 1971, corresponde al Ministerio de Obras Públicas y Transportes "artículo 2°, inciso c) planificar, construir, mejorar y mantener los puertos de altura y cabotaje, las vías y terminales de navegación interior, los sistemas de transbordadores y similares. Regular y controlar el transporte marítimo internacional, de cabotaje y por vías de navegación interior.

La Dirección de Navegación y Seguridad del MOPT es el ente encargado de velar por la seguridad del transporte y la navegación fluvial. Dentro de sus funciones relacionadas con el transporte y la navegación fluvial, según el artículo 41 del Decreto Ejecutivo 29547, se encuentran:

41.1. Dar cumplimiento a las políticas sobre navegación y seguridad marítima, establecidas por el Consejo Portuario Nacional.

41.3. Establecer los requerimientos mínimos para la prestación de servicios de navegación y transporte acuático, incluyendo en su caso, el otorgamiento de las concesiones o autorizaciones que procedan de acuerdo con la legislación vigente, según las directrices del Consejo Portuario Nacional.

41.4. Registrar y regular a las empresas navieras nacionales, agentes navieros y empresas de transporte por agua interiores (comprende servicios fluviales, lacustres, de cabotaje nacional y transbordadores).

41.5. Velar por la seguridad de la vida humana en el medio acuático y de la navegación, en relación con todos los buques nacionales, así como los de bandera extranjera, cuando se encuentren en aguas en las que Costa Rica ejerce plena soberanía, derechos soberanos o jurisdicción de acuerdo con el Derecho Internacional.

41.6. Llevar a cabo las inspecciones y controles técnicos, para la salvaguarda y seguridad de la vida humana, la seguridad de la navegación y la prevención de la contaminación de los buques nacionales y los de bandera extranjera, en las situaciones autorizadas por la legislación vigente y los convenios internacionales.

41.7. Velar por una adecuada planificación, construcción, operación y mantenimiento de los servicios de señalización marítima y ayudas a la navegación en aguas y costas nacionales, así como la ordenación y el control del tráfico marítimo de la navegación.

41.17. Ordenar la navegación y el transporte acuático y cualesquiera otras competencias que le sean atribuidas por las leyes y reglamentos afines.

41.18. Recomendar al Director General de la División Marítimo Portuaria las acciones a tomar en cuenta para una buena y eficiente gestión de la navegación y seguridad.

41.22. Autorizar la renovación de patentes provisionales de navegación para embarcaciones extranjeras nacionales o extranjeras.

7.4.c. Situación del Recurso Hídrico

- No existen datos en el anuario estadístico del MOPT sobre el sector fluvial, solo hacen referencia a los estadísticas de puertos. Esto muestra poco interés en el sector y desorganización.

- Debería registrarse el origen de las embarcaciones y su destino, además del detalle de mercancías entre destinos.

- Es importante conocer la estructura relativa del sector fluvial o un estimado, por medio de la contabilidad económica.

-No existe información sobre ríos navegables por cauce o cuenca.

7.5 Desarrollo Turístico

7.5.a. Descripción del Sector

En Costa Rica el sector turismo es una de las actividades productivas más importantes y tiene un gran potencial para seguir contribuyendo con el crecimiento del país y el bienestar de los costarricenses.⁵ El turismo es uno de los sectores de mayor crecimiento en la generación de divisas en el país, gracias a una constante política de inversiones y la aprobación de beneficios fiscales y jurídicos para la atracción, consolidación y desarrollo de empresas extranjeras y nacionales.⁶

Entre el año 2006 y el año 2007, la relación de divisas por concepto de turismo entre las exportaciones totales aumentó 0.4 puntos porcentuales; la relación pasó de 19.9% a 20.3% de las exportaciones totales.

El objetivo principal del Instituto Costarricense de Turismo (ICT) es la atracción de turistas internacionales que ingresan al país. En el año 2007 se contabilizó 1.979.789 visitantes, lo anterior representa un incremento del 14.75% en relación con el 2006.

⁵ Pratt, 2002.

⁶ Mideplan, 2007.

Por otro lado, el número de habitaciones con declaratoria turística aumentó 44.15% entre 1995 y el 2007. Por otro lado, el número de turistas que ingresaron al país aumentó 152.32% para el mismo periodo.⁷

El sector turístico costarricense genera importantes inversiones tanto nacionales como extranjeras. Entre 1996- 2004, en Costa Rica se invirtió \$721 millones entre todas las empresas con declaratoria turística en el país. La inversión en hospedajes para ese periodo representó un 85.63% del total de inversión en empresas declaradas turísticas.⁸

El número neto (total menos empresas canceladas) de empresas con declaratoria turística aumento 14.41% entre el 2004 y el 2007. De éstas, las empresas de hospedaje experimentaron un aumento de 12.33%, las empresas gastronómicas y de diversión aumentaron 48.74%, las agencias de viajes 7.97%, las empresas de transporte acuático disminuyeron en un 75.36%, las líneas aéreas disminuyeron 65.52% y las de alquiler de vehículos aumentaron 38.89%.⁹

Según cifras de COMEX, el sector turismo atrajo en el 2000 un 12.55% de la Inversión Extranjera Directa (IED), un año más tarde la proporción aumentó a 22.26%. Hasta el año 2003 el sector turístico fue el segundo sector en atraer mayor IED, solo superado por la industria. Luego, en el año 2004 el sector inmobiliario constituyó un 22.47% de la IED, mientras que el turismo solo tuvo un 5.2%. En el periodo 2004-2008 otros sectores tomaron fuerza en cuanto a atracción de IED, en el 2008 los sectores que más IED atrajeron fueron: industria (26.59%), inmobiliario (24.29%), agricultura (21.15%), turismo (14.05%), servicios (6.36%).

Cuadro 7.6. Costa Rica: Número de habitaciones con declaratoria turística e Ingreso de Turistas, 1995-2007. Valores absolutos y porcentajes de cambio

AÑO	Número de Habitaciones	% Cambio	Número de Turistas	% Cambio
1995	11.862	-	784.610	-
1996	13.128	10,7	781.127	-0,4
1997	13.437	2,4	811.490	3,9
1998	13.413	-0,2	942.853	16,2
1999	13.714	2,2	1.031.585	9,4
2000	14.122	3,0	1.088.075	5,5
2001	14.990	6,1	1.131.406	4,0
2002	15.172	1,2	1.113.359	-1,6
2003	15.611	2,9	1.238.692	11,3
2004	16.003	2,5	1.437.098	16,0
2005*	16.696	4,3	1.679.051	16,8
2006*	17.139	2,7	1.725.261	2,8
2007*	17.099	-0,2	1.979.789	14,8

⁷ Ver cuadro 7.6: Número de habitaciones con declaratoria turística e Ingreso de Turistas

⁸ Ver anexo 7.2A: Estadísticas de Turismo en Costa Rica.

⁹ Ver cuadro 7.8: Número de Empresas con declaratoria Turística

*Datos de SIDES

Fuente: datos de SIDES (Mideplan) y Anuario de Turismo (BNCR)

7.5.b. Legislación y Regulación

El Instituto Costarricense de Turismo (ICT) es la institución encargada de la actividad turística en Costa Rica. Existen leyes que regulan la actividad turística, de tal manera que el sector genere el menor daño ambiental posible. El ICT junto al Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) son responsables de medir permanentemente el impacto ambiental de la actividad turística mediante los programas de "**Certificación de Sostenibilidad Turística**" y "**Bandera Azul Ecológica**".

Antes de que cualquier proyecto turístico sea llevado a cabo se debe realizar una evaluación de impacto ambiental. Según el artículo 17 de la Ley Orgánica del Ambiente (LOA), todas las actividades humanas que alteren o destruyan elementos del ambiente o generen residuos requieren de una evaluación de impacto ambiental por parte de la Secretaría Técnica Nacional Ambiental. La aprobación de la evaluación es un requisito indispensable para iniciar las actividades, obras o proyectos.

Por otro lado, en cuanto al tratamiento de las aguas residuales el artículo 65 de la LOA establece que las mismas deben recibir tratamiento antes de ser descargadas en ríos, lagos, mares y demás cuerpos de agua. Según el artículo 67, las personas físicas o jurídicas, están obligadas a adoptar las medidas adecuadas para impedir o minimizar la contaminación o el deterioro sanitario de las cuencas hidrográficas.

Certificado de Sostenibilidad Turística

La Certificación de Sostenibilidad Turística (CST) es un programa que pretende la categorización y certificación de empresas turísticas de acuerdo al grado en que su operación se aproxime a un modelo de sostenibilidad. La CST evalúa cuatro ámbitos: entorno físico biológico, planta de servicio, gestión de servicio, cliente y el entorno socioeconómico.

1. Entorno físico-biológico: Evalúa la interacción entre la empresa y el entorno natural. Se espera que exista implementación de políticas y programas de sostenibilidad, protección del medio ambiente, entre otros.
2. a) Planta de servicio (para establecimientos de hospedaje): Se evalúan aspectos relacionados con los sistemas y procesos internos de la empresa, en cuanto al manejo de desechos y la utilización de tecnologías para el ahorro de luz y agua.
b) Gestión del servicio (Este ámbito corresponde a Agencias Tour Operadoras) Comprende el proceso mediante el cual, la empresa considerando todos los elementos exógenos y endógenos, diseña un producto turístico acorde con las tendencias del mercado y las características propias del país y de las localidades en donde se va a operacionalizar el producto.
3. Cliente: Se evalúan las acciones que realiza la gerencia para invitar al cliente a participar en la implementación de las políticas de sostenibilidad de la empresa.

4. Entorno socioeconómico: Se evalúa la identificación e interacción del establecimiento con las comunidades adyacentes, analizándose por ejemplo, el grado en que las empresas turísticas responden al crecimiento y desarrollo de la región, mediante la generación de empleo o el logro de beneficios en pro de la colectividad.

Cada aspecto se evalúa por medio de preguntas específicas que buscan conocer qué tanto la empresa cumple con los estándares prefijados. Cada pregunta representa un elemento de la sostenibilidad que la empresa debe cumplir para clasificar en alguno de los niveles que se han determinado. Para medir y ubicar estos niveles, el CST establece una escala de 0 a 5, donde cada número indica la posición relativa de la empresa en términos de sostenibilidad.

El primer nivel significa que la empresa ha dado el primer paso para integrarse al proceso de sostenibilidad. Los siguientes niveles corresponden a estados cada vez más avanzados del proceso específico evaluado. En el nivel 5 la empresa ya ha finalizado con el proceso y es considerada como ejemplar en términos de sostenibilidad. La categorización se realiza de acuerdo con el porcentaje de cumplimiento, ilustrado en la Cuadro 7.7:

Cuadro 7.7. Costa Rica: Niveles para la Certificación de Sostenibilidad Turística

Nivel	% cumplimiento
0	< 20
1	20-39
2	40-59
3	60-79
4	80-90
5	> 95

Fuente: ICT, 2009

En función de la idea de sostenibilidad, el cumplimiento debe ser coherente para los diferentes ámbitos mencionados. Por ejemplo, para el Nivel 3 es necesario cumplir al menos con el 60% de las condiciones establecidas para todos los ámbitos. El nivel en el que logre ubicarse una empresa corresponde al menor nivel alcanzado en alguno de los ámbitos. Con esto se pretende que las empresas avancen hacia un modelo de sostenibilidad considerando por igual la importancia de los cuatro ámbitos que entran en juego.

Actualmente, según datos del sitio web del ICT, existen 87 hoteles con CST. En los cuadros 7.8 y 7.9 se presenta la distribución de los hoteles según ubicación, tamaño y además se muestra el nivel promedio alcanzado.

Cuadro 7.8. Costa Rica: Certificación de Sostenibilidad Turística. Hoteles aprobados por provincia

Provincia	Número de hoteles	Porcentaje
Alajuela	14	16.1
Cartago	4	4.6

Guanacaste	15	17.2
Heredia	10	11.5
Limón	4	4.6
Puntarenas	20	23
San José	20	23
Total	87	

Fuente: ICT

Cuadro 7.9. Costa Rica: Certificación de Sostenibilidad Turística. Hoteles aprobados por tamaño y nivel promedio alcanzado

Tamaño	Número	Porcentaje	Nivel promedio
Pequeño	60	69	2.67
Mediano	11	12.6	2.18
Grande	16	18.4	2.88

Fuente: ICT, 2009

Bandera Azul Ecológica

El Programa Bandera Azul Ecológica (PBAE) entró en vigencia el 1° de enero de 1996. El objetivo del PBAE es establecer un incentivo para promover la organización de comités locales en las zonas costeras, comunidades, centros educativos, espacios naturales protegidos y otros nichos turísticos y ambientales con el propósito de buscar su conservación y desarrollo en concordancia con la protección de los recursos naturales, la búsqueda de mejores condiciones higiénico-sanitarias y la mejoría de la salud pública costarricense.¹⁰

El PBAE está dirigido y administrado por una Comisión Nacional, constituida originalmente con representantes del ICT, MINAET, CANATUR, MINSA y AYA. Luego, en el año 2004, con la creación de la categoría de centros educativos, se incorporó un representante del MEP. En el año 2006 se incorpora a la Comisión Nacional a la Red Costarricense de Reservas Naturales Privadas de Costa Rica.

Se incorporó como observador y colaborador a la CNFL. Las funciones de la Comisión Nacional, consisten en coordinar las labores del equipo técnico, establecer los programas de trabajo anual, evaluar y seleccionar los ganadores de los galardones anuales en cada categoría; pero sobre todo su principal función es orientar el presente y futuro del PBAE. Dicha Comisión, se reúne una vez al mes y su trabajo es totalmente “ad honorem”.

Los criterios que se toman en cuenta para evaluar a las Comunidades Costeras son los presentados en la Cuadro 7.10

¹⁰ CANATUR

Cuadro 7.10. Costa Rica: Bandera Azul Ecológica. Criterios de Evaluación para las Comunidades Costeras

Criterio	Porcentaje
Calidad microbiológica del agua de mar	35%
Calidad del agua para consumo humano	15%
Calidad Sanitaria de las costas	
-----Basuras y basureros	10%
-----Vertidos industriales tratado	5%
-----Aguas residuales tratadas	15%
Educación ambiental	10%
Seguridad y administración	10%
Total	100%

Fuente: ICT, 2009

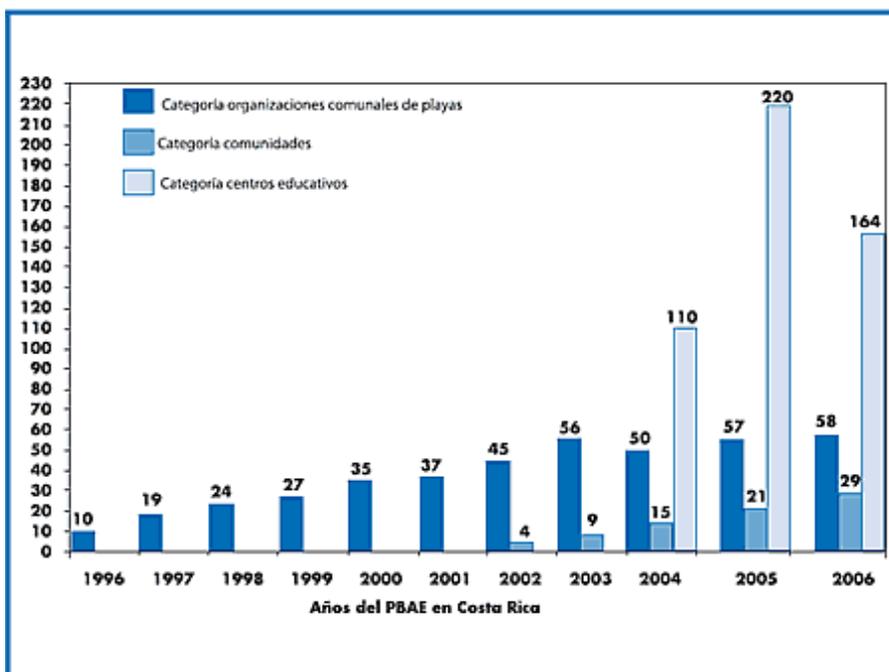
Existen cinco categorías del PBAE, cada una explicada en la Cuadro 7.11

Cuadro 7.11. Costa Rica: Bandera Azul Ecológica. Categorías de Clasificación

Categoría	Descripción
Una estrella:	Si el valor obtenido está entre 90% y 100%
Dos estrellas:	Si la evaluación obtenida es del 100% Prohibición del paso de vehículos motorizados Prohibición de caballos y animales domésticos introducidos por visitantes o lugareños Señalización de corrientes marinas en caso de que existan
Tres estrellas:	Cumple con lo indicado para dos estrellas Vigilancia y socorrismo en temporadas altas Plan Regulador o Plan de Manejo en caso de Áreas de Conservación
Cuatro estrellas:	Cumple con lo indicado para tres estrellas Accesos cómodos y seguros para personas con discapacidad, duchas y servicios sanitarios públicos Separación y reciclaje de desechos sólidos Cuenta con vigilancia y socorrismo de forma permanente Cuenta con Comité de Emergencia Local Participación en el programa “Sello de Calidad Sanitaria”

Fuente: ICT, 2009

Figura 7.1. Costa Rica: Histórico de Ganadores Bandera Azul Ecológica



Fuente: AyA

Cuadro 7.12. Costa Rica: Playas Bandera Azul Ecológica

Puntarenas		Limón	Guanacaste	
Santa Teresa	Bejuco	Negra	Bahía Junquillal	Pelada
El Carmen	Tulemar	Blanca	Manzanillo	Guiones
Mal País	Dulce Vida	Puerto Vargas	Monte del Barco	Samara
Quizales	Espadilla Sur	Cocles	Arenilla	Carrillo
Pochote	Manuel Antonio	Chiquita	Panamá	Camaronal
Curú	Gemelas	Punta Uva	Buena	Punta Islita
Quesera	Puerto Escondido	Net Creek	Ocotal	Ostional
Isla Tortuga	El Rey	Gandoca	Guacamaya	Junquillal
Puntarenas	Matapalo		Zapotal	Avellanas
El Roble	Barú		Pan de Azúcar	Mansita
Limoncito PL	La Colonia		Blanca Flamingo	Langosta
Mantas PL	Ballena		Conchal	Grande
Blanca PL	San Pedrillo		Ventanas	
Hermosa	Blanca		Punta de Madero	

Fuente: AyA

7.5.c. Situación del Recurso Hídrico

A pesar de las regulaciones en cuanto a estudios de impacto ambiental y tratamiento de aguas residuales, en Costa Rica existe escasa regulación ambiental ante el desarrollo inmobiliario y turístico. El **décimo tercer informe del Estado de la Nación (2007)** señala que en los últimos años, las zonas costeras han evidenciado conflictos entre la

dinámica económica y el control ambiental. Por ejemplo, el desarrollo inmobiliario en Guanacaste y la costa Pacífica, así como el uso desordenado de la zona marítimo-terrestre, dejan ver que, si bien hay un conjunto complejo y amplio de regulaciones, el seguimiento efectivo es limitado y por lo general los impactos son percibidos *a posteriori*.

Las deficiencias en los planes reguladores, junto con las débiles capacidades institucionales para el control ambiental por parte de la SETENA y de las municipalidades, hacen presumir que el desarrollo inmobiliario en las zonas costeras se está dando en un marco de escasa regulación.

Estudios de la Municipalidad de Santa Cruz y fiscalizaciones de la Contraloría General de la República identificaron cuatro planes reguladores costeros que se consideran irregulares, por lo que el órgano encargado de la evaluación solicitó su derogación o no aprobación. Se identificaron problemas en el manejo del agua, movimientos de tierra, cambios de uso del suelo y manejo de residuos.¹¹

En las zonas costeras hay otros tipos de impactos que a la vez comprometen la calidad de las aguas. En el 2006 se reportó la presencia de coliformes fecales en 94 playas del país. Además, la cercanía de las marinas turísticas a ecosistemas sensibles puede causar daños en corales, pastos marinos y manglares, no solo por el dragado y la generación de sedimentos durante la construcción, sino por riesgos derivados del manejo inadecuado de combustibles, aceites, aguas servidas y desechos en los proyectos en operación. Por otra parte, en las canchas de golf de los hoteles de playa se aplican agroquímicos que conllevan la amenaza de impactar negativamente el litoral.¹²

La capacidad reguladora del sector público no está acorde con el auge inmobiliario, lo que ha provocado que el control sanitario y ambiental sea deficiente y a menudo se ejerza cuando el daño ya se ha consumado. Son notorios los casos de playa Tamarindo, playa Manzanillo y el golfo de Papagayo, donde las aguas negras y residuales se descargan directamente en el mar.¹³

Junto con los efectos de la actividad económica, varios factores complican la planificación y regulación del uso del territorio costero: el manejo de la zona marítimo-terrestre (ZMT), la situación de los planes reguladores y la deficiente acción de las municipalidades.

Observaciones:

- La dotación de agua de las concesiones para hoteles es de 380 l/ persona/ día. Para el caso de piscinas es de 40 l/persona/día.¹⁴
- Existen deficiencias en los planes reguladores.
- Débiles capacidades institucionales para el control ambiental por parte de SETENA y de las municipalidades.
- El desarrollo inmobiliario en las zonas costeras se está dando en un marco de escasa regulación.

¹¹ Décimo tercer informe del Estado de la Nación (2007)

¹² Décimo tercer informe del Estado de la Nación (2007)

¹³ Décimo cuarto informe del Estado de la Nación (2008)

¹⁴ Departamento de Aguas, AyA.

7.6 Actividades Recreativas

7.6.a. Descripción del Sector

Existen actividades recreativas donde se utiliza el recurso hídrico para navegación. Algunas de estas actividades recreativas lucrativas son: Balsas en Ríos (“white water rafting”), consiste en tripular y navegar por ríos en aguas turbulentas. Navegación en Kayak de mar o río. Buceo (“Scuba-diving”), consiste en sumergirse en aguas abiertas, con equipo autónomo. Incluye buceo con “snorkel” e inmersión en apnea.

Otras actividades recreativas son la pesca deportiva y la pesca turística. La pesca deportiva es aquella actividad pesquera que se realiza sin fines de lucro y con propósito de deporte, distracción, placer, recreo, turismo o pasatiempo. La pesca turística es realizada por personas físicas nacionales o extranjeras, con el fin de capturar, con un aparejo de pesca personal apropiado para el efecto, recursos acuáticos pesqueros en aguas continentales, jurisdiccionales o en la zona económica exclusiva, con fines comerciales y propósitos exclusivamente turísticos, llevados a cabo de forma permanente.

Rápidos en Balsa

Los ríos más conocidos para hacer rápidos en balsa son el río Reventazón y el río Pacuare. Estos ríos, del lado del mar Caribe, pueden ser recorridos todo el año. De junio a Octubre es la época donde las corrientes de los ríos son más fuertes, coincide con la época lluviosa.

En la zona norte, el río Sarapiquí tiene recorridos de un día de Mayo a Noviembre. Este río es más angosto y más “técnico” que el Reventazón y Pacuare, y por lo tanto menos concurrido. Del lado del Pacífico, el río Chirripó es un río de gran volumen de agua que cae desde la montaña más alta de Costa Rica y es navegable desde mediados de Junio a mediados de Diciembre. El viaje más tranquilo es en el río Corobicí, cerca de Cañas. Este viaje es prácticamente una flotación tranquila.

Según datos del ICT, existen 33 operadores de rafting. Los operadores proporcionan botes, balsas, remos, chalecos salvavidas, cascos y guías. Las compañías de rápidos en balsa no son reguladas por el gobierno de Costa Rica.

Pesca deportiva

De acuerdo al artículo 68 de la Ley de Pesca y Acuicultura, la pesca deportiva es la actividad pesquera que realizan personas físicas, nacionales o extranjeras, con el fin de capturar, con un aparejo de pesca personal apropiado para el efecto, recursos acuáticos pesqueros en aguas continentales, jurisdiccionales o en zona económica exclusiva, sin fines de lucro y con propósito de deporte, recreo, turismo o pasatiempo. La pesca deportiva puede efectuarse: desde tierra, a bordo de alguna embarcación o de manera subacuática.

Los propietarios o permisionarios de embarcaciones utilizadas para la pesca deportiva deben cumplir las siguientes obligaciones:

- a) Poseer licencia vigente de pesca deportiva.

- b) Cumplir las tallas mínimas, los límites de captura y las vedas que el INCOPECA señale.
- c) Verificar que las personas a quienes les presten los servicios cumplan las disposiciones legales de la materia.
- d) Instruir acerca de la forma en que debe desarrollarse la pesca deportiva.
- e) Apoyar los programas de repoblación y mejoramiento de los lugares donde llevan a cabo su actividad y participar en ellos; asimismo, contribuir al mantenimiento y la conservación de las especies y su hábitat.

El INCOPECA es responsable de establecer los cánones, las épocas, las zonas y las tallas mínimas, así como el número máximo de ejemplares que pueda capturar un pescador deportista, de acuerdo con las condiciones del recurso de que se trate y las características particulares del lugar donde se desarrolle la actividad.

Según datos del ICT, existen 87 empresas en Costa Rica que se dedican a actividades relacionadas con la pesca deportiva; incluyen empresas de pesca deportiva y hoteles que ofrecen tours de pesca deportiva.

Pesca turística

El artículo 79, de la Ley de Pesca y Acuicultura define pesca turística como la actividad pesquera que realizan personas físicas, nacionales o extranjeras, con el fin de capturar, con un aparejo de pesca personal apropiado para el efecto, recursos acuáticos pesqueros en aguas continentales, jurisdiccionales o en la zona económica exclusiva, con fines comerciales y propósitos exclusivamente turísticos, llevados a cabo en forma permanente.

Las embarcaciones dedicadas a la pesca turística deben estar registradas en el ICT y contar con una licencia especial otorgada por el INCOPECA para este propósito.

El INCOPECA debe fomentar la práctica y el desarrollo de la pesca turística, en coordinación con el ICT y los demás sectores interesados. También es responsable de velar porque su personal reciba la capacitación necesaria para el cumplimiento de los fines propuestos; impulsar la práctica de liberar las especies capturadas vivas y establecer pautas y normas que garanticen la sostenibilidad de las especies prioritarias para esta actividad

7.6.b. Situación del Recurso Hídrico

Observaciones:

- Es importante organizar operadores con información sobre: ríos utilizados, cantidad de botes y su tamaño, número de veces que navegan por día, cantidad de turistas que utilizan sus servicios, consumo de combustible (en caso de utilizar).

7.7 Fomento piscícola (acuicultura de peces)

7.7.a. Descripción del Sector

En Costa Rica, la acuicultura ha adquirido mayor importancia en los últimos años. El volumen de la producción total acuícola aumentó 158.36% en 4 años, pasando de 9.515 toneladas métricas en el 2000 a 24.583 en el 2004¹⁵. Paralelamente, el número de hectáreas acuícolas aumentó 74.42%, pasó de 1107,1 en el 2000 a 1931 en el 2004.¹⁶

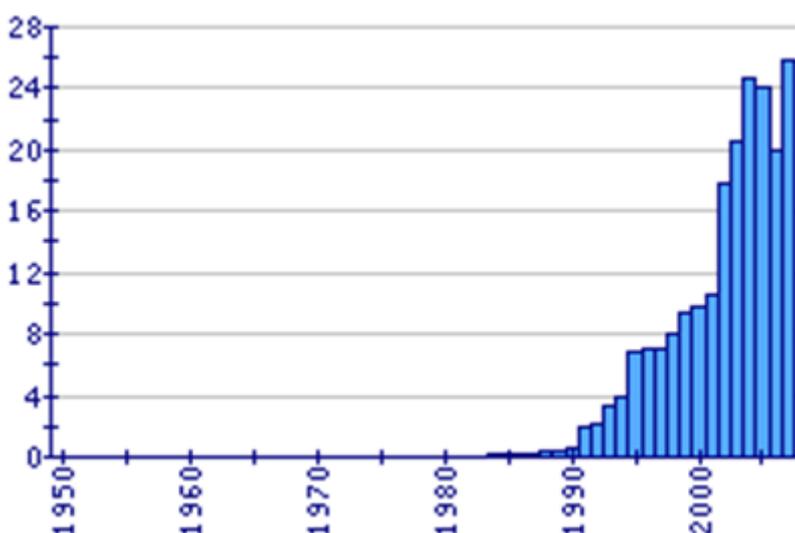
La acuicultura está dominada por la de tipo continental de agua dulce, con énfasis en el cultivo de truchas (3%) y tilapia (97%), con grandes producciones de tilapia destinadas a atender mercados internacionales (filete). En el 2005 se contabilizaron 815 proyectos acuícolas de tilapia y 309 de trucha. La producción de trucha es muy modesta y está totalmente destinada al mercado interno, según datos del INCOPELCA.

Cuadro 7.13. Costa Rica: Producción Acuícola según especie (toneladas métricas), 2000 – 2007.

Especie	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Tilapia	8.000	8.500	13.190	14.679	18.987,00	17.328	13.000	19.489
Trucha	200	210	500	513	515	522	524	532
Camarón	1.300	1.800	4.097	5.051	5076	5.714	5.726	5.274
Langostino	15	10	5	5	5	5	4	4
Gran Total	9.515	10.520	17.792	20.248	24.583,00	23.569	19.254	25.299

Fuente: Departamento Acuicultura, INCOPELCA, 2008.

Figura 7.2. Producción de la acuicultura reportada en Costa Rica (a partir de 1950) (FAO Fishery Statistic), en toneladas (x1000).



Fuente: Estadística Pesquera de la FAO, Producción en Acuicultura

¹⁵ Ver Cuadro 7.13: Producción Acuícola según especie

¹⁶ Ver Cuadro 7.14: Hectáreas en producción según especie cultivada

Cuadro 7.14. Costa Rica: Hectáreas en producción según especie cultivada, 2000-2004

Especie	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Tilapia	95,0	110,0	219,0	222,3	420	625
Trucha	5,1	5,2	5,7	6,5	6,75	8,5
Camarón	1000,0	1 400,0	1650,0	1448,0	1500	-
Langostino	7,0	7,0	5,0	5,0	5	-
Gran Total	1107,1	1522,2	1879,7	1681,8	1931,75	-

Fuente: Departamento de Acuicultura - Incopesca. Base de Datos 2005.

Cuadro 7.15. Número de acuicultores según especie. Costa Rica, 2004.

Especie	Absoluto	Porcentual
Tilapia	784	68,41
Trucha	267	23,30
Camarón	90	7,85
Otros	5	0,44
Gran Total	1 146	100,00

Otros: langostino y catfish

La base de datos no especifica la ubicación de estos acuicultores.

Fuente: Departamento de Acuicultura - Incopesca, Base de Datos. 2005.

Especies cultivadas

Tilapia

En los últimos diez años la acuicultura ha tenido un crecimiento vertiginoso, específicamente en lo referente al cultivo de tilapia en aguas continentales. El crecimiento ha tenido que ver con el establecimiento de grandes compañías de capital extranjero y nacional en la provincia de Guanacaste, específicamente en los cantones de Cañas, Bagaces y Liberia.

La región cuenta con infraestructura de riego gubernamental, que aprovecha las aguas que vienen del embalse del Arenal, producto de la generación de energía eléctrica, para su utilización en los grandes proyectos de cultivo de tilapia que existen en la zona.

La unión de esfuerzos de varias de estas compañías, mediante alianzas en actividades como proceso del producto, producción de semilla, capacitación y compra de insumos ha logrado que sean altamente competitivas. Existe una planta de proceso en Cañas (Terrapez) donde se procesa toda la tilapia de la zona para la exportación. De esta manera se amplían sus áreas de producción y aumenta el volumen de producto tanto para el mercado interno como para la exportación hacia los Estados Unidos.

El cultivo de tilapias se desarrolla a partir de dos sistemas, un sistema industrial con empresas de capital extranjero y nacional, cuyo mercado meta principal es el de los Estados Unidos y una porción pequeña del mercado nacional. La mayoría de estas grandes empresas están ubicadas en la zona de Cañas (Aquacorporación Internacional S.A., La Pacífica, Guanapez y el Pelón de la Bajura), Bagaces y Liberia en la provincia de Guanacaste.

Se trabaja con sistemas de cultivo intensivo y semintensivo. Para realizar la actividad de una manera intensiva y que sea comercialmente factible, se debe contar con una infraestructura mínima de 6 a 8 estanques de 500 a 1000 m² de espejo de agua¹⁷. Los estanques deben contar con estructuras adecuadas de manejo del agua (entradas y salidas) independientes para cada estanque. Se trabaja con recambios de 24 a 48 por día. La densidad de cosecha es de 100 peces por metro cúbico. Se da el cultivo intensivo en jaulas en el lago de Arenal, con jaulas de 4 x 4 x 3 metros con densidades de siembra de 100 a 150 peces por metro cúbico.

Para una producción de tilapia más intensiva el factor principal lo constituye el agua disponible para el proyecto, tomando en cuenta su calidad y la cantidad a utilizar. En cuanto a su calidad se necesita que el agua se lo más pura posible libre de contaminantes. En cuanto a la cantidad necesaria, la densidad de siembra es directamente proporcional a los recambios de agua diarios que se puedan realizar en el estanque, por ejemplo para mantener una densidad de siembra de 100 peces por metro cúbico se necesitan 10 recambios diarios de agua, lo que significa cambiar el agua completamente al estanque 10 veces por día, lo cual va a permitir que aunque los peces van a estar muy aglomerados van tener suficiente oxígeno para sus procesos metabólicos.¹⁸

Debido a las densidades que se manejan, el cuidado y manejo técnico que se le dé a los estanques es muy importante en este tipo de cultivos. Debe haber un monitoreo de la cantidad de agua que entra y que sale.

En este sistema, se trabaja con pilas circulares de concreto. La forma circular de la pila permite la circulación uniforme y constante del agua. Algunas características de diseño técnico de los estanques importantes son:

- Diámetro: 6 metros
- Altura: 1, 12 m en el centro a 0,81 m en las paredes.
- Capacidad (volumen): 25 m³ cúbicos.
- Entrada de agua: 2,9 litros/segundo.
- Salida de agua: un tubo de 6 pulgadas.

El otro esquema de desarrollo es el de cultivo de tilapia semi-intensivo con tres fases de cultivo: Precría, Engorde I y Engorde II.¹⁹

Además, se puede cultivar tilapia en jaulas. Este sistema de cultivo es empleado con mucha frecuencia en otros países, donde se cuenta con numerosos cuerpos de agua como lagos, embalses y represas que tienen buenas condiciones para el cultivo. En Costa Rica existe un proyecto de este tipo en la laguna del Arenal. Entre sus ventajas están las siguientes:

- Permite desarrollar cultivos intensivos: (100 a 200 peces por metro cúbico)
- Facilidad de manejo (Alimentación, limpieza, selección).
- Rápido crecimiento de los peces.

¹⁷ INCOPECA, 2005.

¹⁸ INCOPECA, 2005.

¹⁹ FAO.

La producción de tilapias representó un 77.24% del total de producción acuícola en el 2004. Mientras que solo ocupó un 21.74% del total de hectáreas destinadas a la actividad. Precisamente, los productores de tilapia representaron un 68.41% del total de productores acuícolas en el 2004.²⁰

Actualmente, INCOPECA estima que existen 762 hectáreas cultivadas de tilapia, de las cuales 670 estarían en la región Huétar Norte.²¹

En el cuadro 7.16 se muestra la producción de tilapia por provincia para el año 2007. La provincia de Guanacaste presenta la mayor producción media de tilapia en toneladas métricas por productor (265,8), seguida por Heredia (7,66 toneladas métricas por productor) y Puntarenas (2,06 toneladas métricas por productor).

A pesar de que Guanacaste es la principal productora de tilapia (17.277 tm), es la provincia de Alajuela la que concentra la mayor cantidad de productores (738). Como se mencionó anteriormente, la provincia de Guanacaste concentra empresas industriales para la producción de tilapia, las mismas requieren de un espejo de agua de 6.275.000 m².

Cuadro 7.16. Costa Rica: Producción de tilapia por provincia, 2007.

Provincia	Nº de productores	Espejo de agua (m ²)	Producción (tm)	Producción media por productor
San José	81	23.000	52	0,64
Alajuela	738	450.000	1.103	1,49
Cartago	34	10.000	40	1,18
Heredia	58	150.000	444	7,66
Guanacaste	65	6.275.000	17.277	265,80
Puntarenas	31	34.000	64	2,06
Limón	290	165.000	508	1,75
Total	1.297	7.107.000	19.489	15,03

Fuente: Departamento de Acuicultura – Incopecsa, 2008.

Trucha

La actividad del cultivo de trucha se da en las zonas altas del país a altitudes mayores de 1.500 metros sobre el nivel del mar. El esquema de producción actual de esta especie está basado en un sistema intensivo que se da en pilas de concreto rectangulares, circulares así como en estanques de tierra, con altos recambios (12 a 24 por día) en las unidades de producción.²²

El cultivo de truchas ha crecido lentamente debido a que la actividad está ligada a las cadenas montañosas altas, con condiciones para este tipo de actividad y que están restringidas a la parte central del país con altitudes mayores de 1 500 metros sobre el nivel de mar, las cuales son limitadas.

²⁰ Ver Cuadro 7.15: Número de acuicultores según especie

²¹ Camacho, 2009.

²² FAO.

La tecnología usada para cultivar la trucha del tipo arco iris es el sistema intensivo, cuya densidad por m³ está relacionada a dos factores como son el flujo de agua y la temperatura. A 15 °C la densidad que utiliza es de 60 peces por m³, con un recambio del agua por hora en cada estanque. Peso de siembra inicial 2 gramos y el sistema de cultivo involucra como mínimo tres estanques y una pileta para el recibimiento de alevines.²³

La producción de truchas representó un 2.09% del total de producción acuícola en el 2004. Por otro lado, ocupó un 0.35% del total de hectáreas destinadas a la actividad. Los productores de trucha representaron un 23.3% del total de productores acuícolas en el 2004.

En el cuadro 7.17 se muestra la producción de trucha para el año 2007 por provincia. La provincia con la mayor producción media por productor fue Limón, seguida por San José y Cartago.

El espejo total de agua para el cultivo de trucha fue de 98.000 m². La provincia que concentró el mayor espejo de agua fue Cartago, seguida por San José y Alajuela.

Cuadro 7.17. Costa Rica: Producción de trucha por provincia, 2007.

Provincia	Nº de productores	Espejo de agua (m ²)	Producción (tm)	Producción media por productor
San José	154	33.000	261	1,69
Alajuela	58	17.000	56	0,97
Cartago	107	39.000	164	1,53
Heredia	13	2.000	18	1,38
Guanacaste	0	0	0	0,00
Puntarenas	21	5.000	28	1,33
Limón	2	2.000	5	2,50
Total	355	98.000	532	1,50

Fuente: Departamento de Acuicultura – Incopesca, 2008.

Camarón

La producción de camarón en el país está localizada en Puntarenas y Guanacaste, en áreas aledañas al Golfo de Nicoya, Pacífico Central y Pacífico Sur. Se utilizan dos sistemas de cultivo:²⁴

1. Cultivo de camarón semi-intensivo, una sola cosecha: se siembran de 11 a 14 camarones por m³ con un ciclo de producción de 3,5 a 4 meses, dos y media cosechas al año con un volumen de producción por ciclo que oscila entre 1 200 y 1 300 kg/ha para un total de 2 400 a 2 600 kg/ha/año. La sobrevivencia oscila

²³ INCOPECA, 2005.

²⁴ FAO.

entre un 50 y 80 por ciento (Soto, 2005). El alimento suministrado consiste en un concentrado paletizado.

2. Cultivo de camarón semi-intensivo, cosechas parciales: En algunas fincas camaroneras desde hace más de un año la estrategia de producción se redujo a un ciclo de cultivo por año, abarcando solamente los meses de invierno. Durante este único ciclo, se realizan una serie de cosechas parciales. La sobrevivencia promedio es de un 42 por ciento y las producciones en kilogramos por hectárea/año son de aproximadamente 4 500-5 000 unidades. Lo anterior con el fin de reducir costos y riesgos y mejorar el nivel productivo (Villarreal, 2005).

El cultivo de camarón ha tenido un crecimiento en la producción con altibajos debido a los constantes problemas de enfermedades que han afectado a esta actividad. Dicho problema ha generado que se dé un cambio en las tecnologías de cultivo tendiendo a minimizar el estrés en los camarones para bajar el riesgo de aparición de patologías. Asimismo, las fuertes restricciones ambientales con las zonas de manglar y áreas aledañas, hacen que el crecimiento de esta actividad sea limitado.

La producción de camarón representó un 20.65% del total de producción acuícola en el 2004. Por otro lado, ocupó un 77.65% del total de hectáreas destinadas a la actividad. Los productores de camarón representaron un 7.85% del total de productores acuícolas en el 2004.

En el cuadro 7.18 se presenta información sobre la producción de camarón para el año 2007. El camarón solo se cultiva en Guanacaste, Puntarenas y Limón. La provincia con mayor producción de camarón es Guanacaste y a su vez es la que acapara 72% del espejo de agua total destinado al cultivo de camarón.

Cuadro 7.18. Costa Rica: Producción de camarón por provincia, 2007.

Provincia	Nº de productores	Espejo de agua (m ²)	Producción (tm)
San José	0	0	0
Alajuela	0	0	0
Cartago	0	0	0
Heredia	0	0	0
Guanacaste	65	12.230.000	3.649
Puntarenas	51	4.750.000	1.625
Limón	0	0	0
Total	116	16.980.000	5.274

Fuente: Departamento de Acuicultura – Incopesca, 2008.

Demanda de productos acuícolas

La tilapia antes se daba como un cultivo de subsistencia, hoy en día se ha convertido en una actividad generadora de ingresos. Uno de los factores determinantes en la evolución en cuanto a la demanda y consumo de la tilapia es sin duda el sabor y apariencia del producto, desarrollado gracias al mejoramiento del alimento que se les ha suministrado por más de diez años. Para tener una idea del cambio en el consumo de tilapia a nivel de mercado doméstico, y específicamente en el Gran Área Metropolitana, hace unos diez

años, este consumo se estimaba en unas 5 toneladas anuales y actualmente ronda entre las 100-150 toneladas.²⁵

La trucha es otra especie importante, sobre todo en la generación de ingresos, en comunidades rurales. Los niveles de demanda de la trucha no son semejantes a la Tilapia, en primer lugar, porque la producción de trucha, todavía, en la mayoría de los casos no se ha desarrollado como una actividad productiva principal, generadora de ingresos, sino más bien como una actividad complementaria. Sin embargo, se puede destacar, que el mercado de la trucha, viene evolucionando en una forma muy positiva y atractiva, ya que algunos productores, se han vuelto productores exclusivos, esto condicionado por el comportamiento del mercado. (Comunicación personal de los Biólogos Álvaro Otárola y Rolando Ramírez, Funcionarios del Dpto. de Acuicultura y Mercadeo del Incopesca, Setiembre del 2009).

7.7.b. Legislación y Regulación

La ley 8436, Ley de Pesca y Acuicultura, publicada en el año 2005 tiene por objeto fomentar y regular la actividad pesquera y acuícola en las diferentes etapas correspondientes a la captura, extracción, procesamiento, transporte, comercialización y aprovechamiento sostenible de las especies acuáticas. En la misma, se garantizan la conservación, la protección y el desarrollo sostenible de los recursos hidrobiológicos, mediante métodos adecuados y aptos que aseguren su permanencia para el uso de las generaciones actuales y futuras y para las relaciones entre los diversos sujetos o agentes vinculados con la actividad.

En esta ley, en el Artículo 12, se indica que el Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (INCOPESCA) es la autoridad ejecutora de la misma y del Plan de Desarrollo Pesquero y Acuícola que dicte el Poder Ejecutivo.

Según el artículo 13, el INCOPESCA es el encargado de la actividad pesquera y acuícola que se realiza en aguas marinas e interiores. Además, debe brindar asistencia técnica a la actividad acuícola en aguas continentales y marinas. En aguas continentales, la protección de los recursos acuáticos le corresponderá al MINAET, de acuerdo con artículo 17 de Ley de aguas No. 276. Dentro de las aguas continentales están comprendidos los ríos y sus desembocaduras, los lagos, las lagunas y los embalses, incluso las áreas declaradas como reservas forestales, zonas protectoras, parques nacionales, manglares, humedales, reservas biológicas, refugios nacionales de vida silvestre y monumentos naturales, con apego a la legislación vigente y a lo dispuesto en los tratados internacionales ratificados, en especial en el RAMSAR.

Ente responsable del manejo

El Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (INCOPESCA) es el ente encargado de promover, ordenar y coordinar el sector pesquero y de acuicultura, con el propósito de lograr la conservación, el aprovechamiento y el uso sostenible de los recursos biológicos del mar y de la acuicultura, así como dar seguimiento y aplicación a la

²⁵ FAO

legislación para el desarrollo de la pesca, la caza marítima y evitar la contaminación de los recursos marítimos y acuícolas.

Departamento de Acuicultura

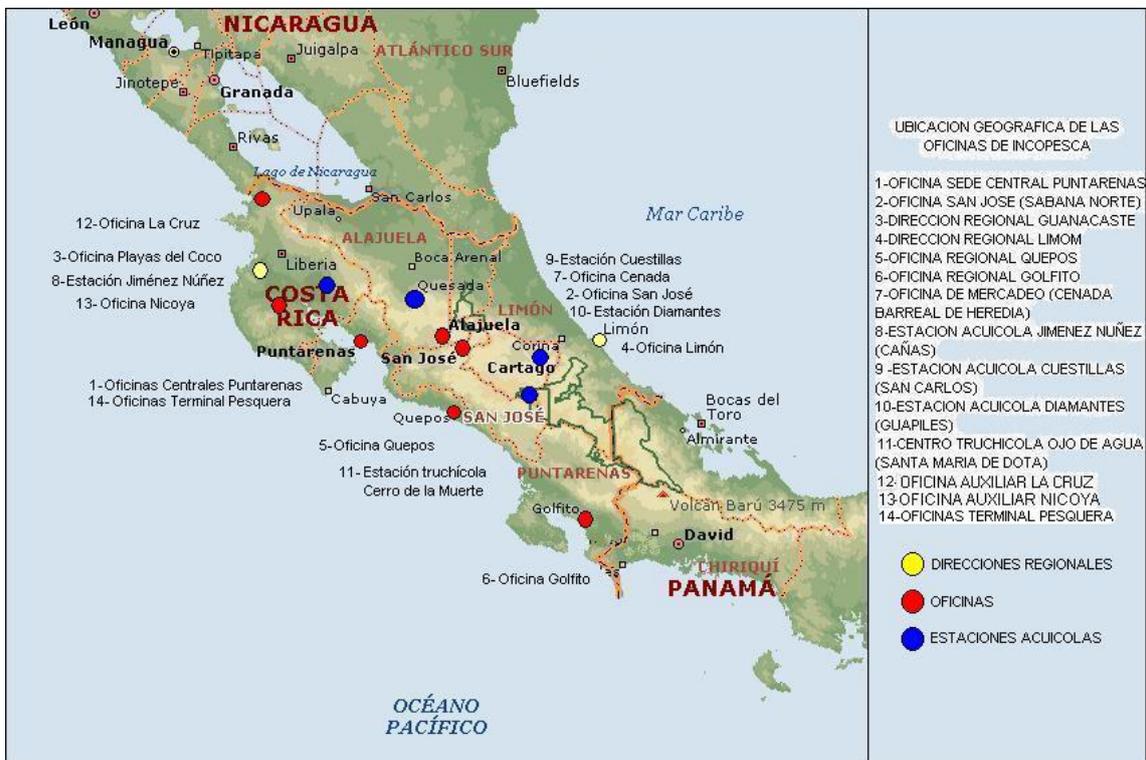
El Departamento de Acuicultura del INCOPECA depende directamente de la Dirección General Técnica. Este tiene su sede en las oficinas de la institución en San José.

Este departamento cuenta con cuatro estaciones acuícolas a nivel nacional: Estación Acuícola Enrique Jiménez Núñez, en Cañas Guanacaste; Estación Acuícola Cuestillas, San Carlos, Alajuela; Estación Acuícola Los Diamantes, Guápiles, Limón; Estación Acuícola Truchas Ojo de Agua de Dota.

Las estaciones sirven de apoyo al Departamento de Acuicultura en sus zonas de influencia realizando las siguientes funciones:

- Producción de semilla de calidad para acuicultores nacionales.
- Servir como unidades demostrativas.
- Realizar transferencia de tecnología a los productores (charlas, cursos, pasantías, días demostrativos y visitas de asistencia técnica).
- Realizar investigación básica en aspectos relevantes de la actividad.

Figura 7.3. Ubicación geográfica de las oficinas, estaciones acuícolas y direcciones regionales de INCOPECA



Fuente: INCOPECA

7.7.c. Situación del Recurso Hídrico

Observaciones:

- La dotación de agua de las concesiones para estanques piscícolas es de 2.5 l/s/1000 peces/día.²⁶
- De acuerdo con Álvaro Otárola de INCOPECA, las grandes compañías productoras de tilapia ubicadas en Guanacaste no son supervisadas en cuanto al manejo de desechos producto de los cultivos. Como fue mencionado anteriormente, el cultivo de tilapia requiere de agua que sea lo más pura posible y debe recargarse varias veces al día. Estos recambios desechan agua con residuos, tales como: antibióticos, excremento de peces y restos de alimento. No existe un control sobre el manejo de estas aguas, más allá del cobro del canon por vertidos cobrado por el MINAET.
- Además, actualmente INCOPECA realiza esfuerzos para actualizar la base de datos de productores acuícolas. Las bases de datos que actualmente manejan están desactualizadas. Otárola menciona que antes era más fácil llevar un control de los productores por que por medio de las estaciones acuícolas y la venta de semilla tenían contactos con los mismos y podían tener un registro actualizado. En la actualidad, algunas de estas estaciones han cerrado, por falta de recursos, y se ha tornado más difícil el contacto con los productores y por tanto, la actualización de las bases de datos.
- Es importante tener una ubicación geo-posicionada de unidades productivas acuícolas.
- Utilizar el promedio anual de la producción para ubicar los ríos más utilizados y de esa forma analizar la carga de desechos.

²⁶ Departamento de Aguas, AyA.

Bibliografía

Leyes y Decretos:

- Ley 276: Ley General de Aguas del 27/08/1942.
- Ley 2220: Ley de Servicios de Cabotaje del 20/06/1958.
- Ley 4786: Reforma a la Ley Orgánica del MOPT del 05/07/1971
- Ley 7384: Creación del Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (INCOPECA) del 16/03/1994.
- Ley 7554: Ley Orgánica del Ambiente del 04/10/1995
- Ley 8436: Ley de Pesca y Acuicultura del 01/03/2005.
- Decreto 29547: Reforma Organizativa y Funcional del MOPT del 22/03/2001.
- Ley del Recurso Hídrico. Texto Actualizado con Mociones Incorporadas al 07-04-2005 y Dictaminado el 14-04-2005. Expediente No. 14.585

Astorga, Yamileth. (2006). Estado y Gestión del Recurso Hídrico en Costa Rica. Duodécimo Informe sobre el Estado de La Nación en Desarrollo Humano Sostenible.

Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP). Estadísticas de Cabotaje. Sección de Transportes. Consultado el día 23/07/09. Disponible en: <http://www.aresep.go.cr/cgi-bin/index.fwx?area=16>

Camacho Sandoval, Ana Cristina. 2009. Tilapia sigue pescando mercado. El Financiero. Sección de Negocios. Edición 713 del 19 de Abril del 2009. Consultado el día 06/07/09. Disponible en: http://www.elfinancierocr.com/ef_archivo/2009/abril/19/negocios1923873.html

Cámara Nacional de Turismo (CANATUR). Programa Bandera Azul Ecológica. Consultado el día 30/07/09. Disponible en: <http://www.canatur.org/banderaAzul.aspx>

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). Programa Bandera Azul. Consultado el día 06/08/09. Disponible en: <http://www.aya.go.cr/Contenidos/frwContenidos.aspx?d=17&a=1>

Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). Cuentas de Costa Rica. Unidad de Manejo de Cuencas – Biblioteca. Consultado el día 20/07/2009. Disponible en: http://www.grupoice.com/esp/ele/manejo_cuencas/biblio/cr/bib_cr.html

Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). Principales Cuencas de Costa Rica y Algunas Características Generales. Estudios Básicos de Ingeniería. Área Hidrología. Unidad de Manejo de Cuencas - Biblioteca - Costa Rica. Consultado el día 20/07/2009.

Disponible en:
http://www.grupoice.com/esp/ele/manejo_cuencas/biblio/cr/bib_cr_princ.html

Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (INCOPESCA). Acuicultura en Costa Rica. Departamento Acuicultura, INCOPESCA, 2005. Consultado el día 08/07/09. Disponible en: <http://www.incopescas.go.cr/Acuicultura.htm>

Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (INCOPESCA). Estadísticas Pesqueras: Resumen del sector pesquero y acuícola. Departamento Acuicultura, INCOPESCA, 2005. Consultado el día 08/07/09. Disponible en: http://www.incopescas.go.cr/Estadisticas_Pesqueras.htm

Instituto Costarricense de Turismo (ICT). Certificación para la Sostenibilidad Turística. Consultado el día 06/08/09. Disponible en: <http://www.turismo-sostenible.co.cr/ES/entrada.phtml>

Instituto Costarricense de Turismo (ICT). Programa Bandera Azul Ecológica. Consultado el día 06/08/09. Disponible en: <http://www.visitcostarica.com/ict/paginas/mapas/areasurf.asp?tab=0>

Junta de Administración Portuaria y Desarrollo Económico de la Vertiente Atlántica (JAPDEVA). Información sobre los Canales del Norte, Tortuguero. Consultado el día 20/07/09. Disponible en: http://www.japdeva.go.cr/adm_desarrollo/proyectos_regionales/canales.html

Nacional de Empleados Públicos y Privados (ANEP), 2008. Nueva Ley de Marinas y Atracaderos Turísticos es un atropello al ambiente, a las comunidades de la costa y al país en general. Unidad de Formación, Información y Comunicación UFIC-ANEP. San José de Costa Rica, 15 de octubre de 2008. Consultado el día 20/07/09. Disponible en: <http://www.anep.or.cr/leer.php/2499>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Costa Rica: Visión general del sector acuícola nacional. Departamento de Pesca y Acuicultura. Consultado el día 13/07/09. Disponible en: http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_costarica/es

Organización Panamericana de la Salud (OPS), 2003. Calidad del agua potable en Costa Rica: Situación actual y perspectivas. Organización Panamericana de la Salud, Ministerio de Salud. -- San José, Costa Rica. Consultado el día 20/07/09. Disponible en: <http://www.bvs.sa.cr/php/situacion/agua.pdf>

Otárola, Álvaro. Producción acuícola continental en Costa Rica. Acuicultura por la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible. Ambientico. Revista mensual sobre la actualidad ambiental ISSN 1409-214X, N°179 Agosto, 2008.

Otárola, Álvaro. Consultas telefónicas al INCOPESCA. 17/08/09.

Periódico La Nación, S.A. (2000). Aprovechamiento de los Cauces. Descubra Costa Rica. Consultado el día 10/07/2009. Disponible en: http://www.nacion.com/ln_ee/costarica/aprovechamiento.html

Román, Marcela. (2007). Desarrollo turístico e inmobiliario costero y preocupaciones ambientales. Decimotercer Informe sobre el Estado de La Nación en Desarrollo Humano Sostenible.

Anexo 7.1A: Mapas con rutas de Cabotaje

Imagen 1

Costa de Pájaros- Isla de Chira- Isla Venado



Fuente: Google Maps.

Imagen 2

Golfito- Puerto Jiménez



Fuente: Google Maps

Imagen 3

Puntarenas- Playa Naranjo

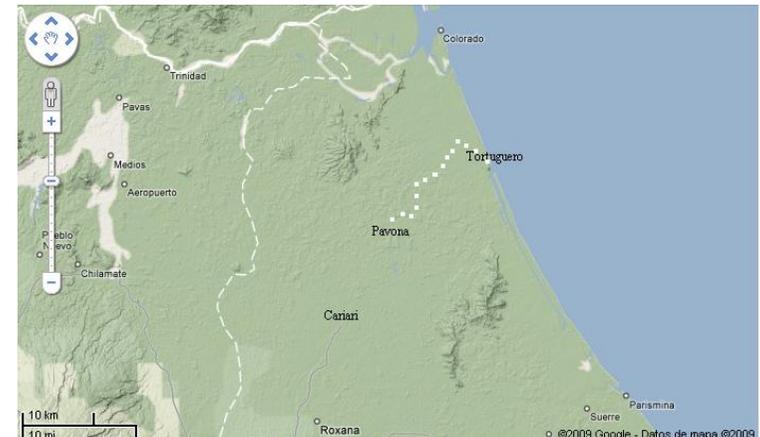


Fuente: Google Maps

Imagen 4: Puntarenas- Paquera



Imagen 5: Pavona- Tortuguero



Anexo 7.2A: Estadísticas de Turismo en Costa Rica

A continuación se presentan algunas estadísticas del sector turismo que evidencian el crecimiento del mismo en los últimos años.

Cuadro 7.1A1

Costa Rica: Empresas con declaratoria Turística, según tipo y condición
2004 y 2007

TIPO DE EMPRESA	CONDICIÓN DE LA EMPRESA						Empresas Canceladas ^[1]	
	En proyecto		En operación		Total		2004	2007
	2004	2007	2004	2007	2004	2007	2004	2007
Total	181	183	1063	1.221	1244	1.404	71	62
Hospedaje	58	71	390	433	448	504	10	12
Gastronómico y Diversión	36	54	309	421	345	475	27	2
Agencias de Viajes	40	40	277	290	317	330	16	5
Transporte Acuático	34	14	40	26	74	40	5	23
Líneas Aéreas	0	0	29	30	29	30	0	20
Alquiler de automóviles	13	4	18	21	31	25	13	0

[1] Se refiere a empresas a las que se les ha cancelado la declaratoria turística a diciembre del 2004 y el 2007 Fuente: SIDES (Mideplan), Anuario de Turismo (BNCR)

Cuadro 7.1A2

Número de Empresas en proyecto y en operación con Declaratoria Turística
Según tipo, por provincia.
2005

Provincia	TIPO DE EMPRESA						
	Hospedaje	Agencias De viajes	Alquiler de automóviles	Transporte Acuático	Diversión y Gastronomía	Líneas aéreas	Total
San José	101	248	17	3	209	24	602
Alajuela	53	25	11	1	39	5	134
Cartago	7	0	0	2	23	0	32
Heredia	28	13	1	1	29	0	72
Guanacaste	113	9	1	22	20	0	165
Puntarenas	114	16	0	43	19	0	192
Limón	32	6	1	2	6	0	47
Total	448	317	31	74	345	29	1.244

FUENTE: Anuario de Turismo (BNCR)- Área de Empresas y Servicios Turísticos, Departamento de Fomento Instituto Costarricense de Turismo

Cuadro 7.1A3

Costa Rica: Análisis comparativo de la Inversión de las Empresas declaradas Turísticas, 1996-2004. Datos en colones y en dólares.

Actividad	Inversión Año 1996	Inversión Año 1997	Inversión Año 1998	Inversión Año 1999	Inversión Año 2000	Inversión Año 2001	Inversión Año 2002	Inversión Año 2003	Inversión Año 2004	Total
Hospedaje	5.999.730.000,0	17.711.243.581,0	46.926.333.297,0	5.599.160.408,0	10.278.617.212,0	12.683.240.905,3	58.648.318.620,3	17.868.699.986,4	16.300.483.413,4	192.015.827.423,4
Rent a Car	90.060.000,0	--	--	105.100.000,0	--	364.191.400,0	259.810.000,0	781.165.630,0	2.640.307.220,0	4.240.634.250,0
Agencias de Viajes	75.340.000,0	131.241.558,0	166.233.241,0	325.504.630,0	343.915.911,0	356.575.363,0	133.167.000,0	247.687.081,0	189.040.524,1	1.968.705.308,1
Gastronomía y Diversión	816.370.000,0	149.679.935,0	529.773.714,0	1.039.710.108,0	1.069.018.111,7	1.975.984.075,0	2.431.480.914,4	3.746.727.411,3	4.520.646.529,6	16.279.390.799,1
Transporte Acuático	85.520.000,0	42.820.400,0	171.852.800,0	162.816.219,0	39.567.000,0	251.995.328,0	90.211.789,0	795.205.201,0	18.018.270,0	1.658.007.007,0
Servicio Aéreo	--	--	152.205.000,0	--	--	--	--	8.695.933,0	316.275.915,4	477.176.848,4
Marinas	--	--	5.870.336.500,0	--	--	--	--	--	614.680.200,0	6.485.016.700,0
T. Terr. Turístico	--	--	--	--	--	57.523.126,0	--	--	--	57.523.126,0
Renta de Caballos	--	--	--	--	--	8.000.000,0	--	--	--	8.000.000,0
Turismo de Aventura	--	--	--	--	--	--	643.400.000,0	--	--	643.400.000,0
Actividades Turísticas	--	--	--	--	--	--	--	395.000.000,0	--	395.000.000,0
Total	7.067.020.000,0	18.034.985.474,0	53.816.734.552,0	7.232.291.365,0	11.731.118.234,7	15.697.510.197,3	62.206.388.323,7	23.843.181.242,7	24.599.452.072,5	224.228.681.462,0
Inversión en \$	34.023.494,3	77.536.481,0	209.248.938,7	25.316.057,7	38.064.564,8	47.734.560,4	172.881.964,1	59.808.310,9	56.172.109,9	720.786.481,9

Fuente: Anuario de Turismo, BNCR

8. Consideraciones sobre el manejo y gestión de los acuíferos en Costa Rica

Este capítulo tiene como objetivo resumir información existente y sistemática sobre los principales acuíferos¹. Para ello se ha buscado una amplia cantidad de investigaciones. En particular, resalta la falta de estudios de acuíferos a nivel de cuencas, de forma integral que permita generar una profunda comprensión de la relación de la degradación de los acuíferos y los procesos de cambio de uso de suelo y urbanización. Existe más bien una amplia larga lista de estudios y tesis de graduación sobre secciones puntuales de algunos acuíferos.

El siguiente mapa (figura 8.1) muestra la cantidad y el área de acuíferos de Costa Rica según su clasificación.

¹ Un acuífero es aquel estrato o formación geológica que permite la circulación del agua por sus poros y/o grietas. Dentro de estas formaciones podemos encontrarnos con materiales muy variados como gravas de río, calizas muy agrietadas, areniscas porosas poco cementadas, arenas de playa, algunas formaciones volcánicas, depósitos de dunas (<http://www.fortunecity.com/campus/carthage/1033/Pag2/acuif.htm> el día 19 de abril del 2009).

Figura 8.1. Costa Rica: Cuencas de Estudio y Acuíferos según su clasificación



Se puede observar que la mayor parte de los acuíferos se encuentran fuera de nuestras áreas de estudio, sin embargo, se realizó un resumen de las principales características de los acuíferos más importantes de todo el país.

8.1. Acuíferos de mayor relevancia en Costa Rica

Debido que Costa Rica es un país rico en acuíferos, por tanto se han seleccionado los que se indican como los principales. La información se presenta por zona, y en la mayoría de estas se presentan datos para las dos principales formaciones de acuíferos tomados de estudios técnicos, los cuales se indican y estas indicaciones deben analizarse prácticamente como una cita textual, debido a que el objeto de este capítulo no es realizar una investigación hidrogeológica; sino profundizar en la vulnerabilidad de este acervo.

El país ha desatendido las aguas superficiales. No es sino hasta la administración Arias Sánchez (2006-2010), que se está tramitando recursos con objeto de coleccionar y tratar

aguas negras domésticas.² El estado del río Virilla y la calidad del agua en la desembocadura del Tárcoles son la prueba del deficiente manejo de las cuencas (EGIRH, Diagnóstico, 2005). Si además se considera la exorbitante explosión en la demanda por agua, evidenciada por las altas tasas de crecimiento experimentada en las concesiones de agua, encontrados y cuantificados en los capítulos previos, se llega a la preocupante conclusión que es ineludible aceptar que Costa Rica está frente a un situación compleja, de la cual apenas se están evidenciando algunos síntomas, sin que se haya manifestado la situación plenamente. A lo anterior, debe agregarse la creciente amenaza del calentamiento y cambio global.

Ante este escenario, los acervos de acuíferos cobran un creciente valor económico y social, no solo como fuente actual de agua; sino como acervos hídricos y futuros reservorios naturales de fuentes puras y naturales de agua del país.

Esta sección brinda una descripción del recurso hídrico subterráneo para los principales acuíferos del país y de las cuencas de estudio, cuando se logró acceder a información, ya que esas cuencas son para las que existe menor disponibilidad de datos y estudios. Debe anotarse que se buscaba una caracterización, con base en el uso de información y fuentes secundarias, y se ha sintetizado con en el fin de no redundar.

Las zonas y sus principales acuíferos que se refieren en este capítulo son:

- Valle Central, con los acuíferos: Colima y Barba.
- Limón, con los acuíferos Banano y la Bomba.
- Puntarenas, con los acuíferos Barranca y Puntarenas.
- Guanacaste, con los acuíferos Liberia y Bagaces

Para cada uno de estos acuíferos se compiló y sintetizó la información relevante, lo cual se complementó con tesis de graduación.

² Préstamo de origen internacional (Franco-Japonés) para el AyA tramitado en la Asamblea Legislativa de la República y recientemente en avance.

8.2. Acuíferos continentales

8.2.a. Acuíferos Del Valle Central

Generalidades de la zona³

Más de dos millones de personas viven en el Valle Central de Costa Rica, en la región más urbanizada del país denominada la Gran Área Metropolitana (GAM). Esta población genera presiones crecientes sobre los recursos hídricos, debido a la creciente demanda para diversos usos y a la producción de desechos líquidos y sólidos.⁴ Alrededor de medio millón de personas dependen del agua del acuífero, por lo que la “salud” de este capital natural es crítica para la continuidad y calidad del agua que de este se extraiga para atender las demandas de esta población.

Según Rodríguez (2007) está ubicado en las coordenadas topográficas 212.000-235.000 Norte y 505.00-545.000. Este de las Hojas Barba, Abra, Naranjo, Río Grande, Carrillo e Istarú.

En cuanto a la altitud del valle, este se encuentra entre los 500 y los 2700m. La altura máxima se alcanza en el volcán Irazú con 3300m. Entre las características climatológicas más importantes del área se puede mencionar que presenta una estación seca que abarca desde diciembre y los primeros cuatro meses del año, y una estación lluviosa que comprende los restantes seis meses, aunque es importante mencionar que abril y noviembre también son conocidos por ser los meses de transición entre una estación a otra. La precipitación promedio es de alrededor de 2000 mm por año.

Actualmente, el Valle Central está sometido a una gran demanda de recursos hídricos subterráneos. Capítulos previos profundizaron sobre la importante cantidad de perforaciones de pozos que concentra esta zona, la cual ronda entre el 40% al 50% de la totalidad de pozos según se defina el área. La explotación de los recursos acuíferos está acompañada por un cambio en el uso del suelo. Durante los últimos años se ha

³ Para el análisis de los presentes acuíferos se tomó en especial consideración el informe elaborado por el geólogo R. Ramírez para el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento, para el año 2007, así como otros trabajos de referencia. Las recomendaciones que se sintetizan en los cuadros provienen también de este reporte y de los otros reportes, y se presentan lo más textuales posibles con objeto de evidenciar el nivel de conocimiento y tipos de recomendaciones que hasta el momento se han realizado.

⁴ Universidad Nacional, Proyecto Acuífero Barba.

presentado un crecimiento acelerado en la construcción, con lo cual se han llegado a transformar las áreas de recarga en áreas con infraestructura dedicada a la vivienda, industria y comercio. Todos estos factores pueden provocar una alteración en la infiltración y generar procesos de contaminación.

Formación Hidrogeológica Colima:

Esta formación presenta profundidades que oscilan entre los 100 y 200 m. Esta presenta tres miembros que se diferencian hidrológicamente. A continuación, se describe brevemente cada uno de ellos.

Miembro Belén: en este miembro se ubican los acuíferos de Colima Inferior sus capas de lava presentan permeabilidad por fracturas o por características brechosas y únicamente se conocen bien sus dos capas superiores, con producciones por pozo de hasta 60 l/s de agua químicamente potable y originan grupos de manantiales de hasta 300 l/s en el cañón del río Virilla (Ramírez, 2007). Según Losilla (2001) el acuífero se recarga del acuífero de Colima Superior por percolación vertical a través del miembro Puente de Mulas. Según Astorga (2008) el Acuífero Colima Inferior es utilizado exclusivamente para consumo humano brindado por instituciones públicas.

Miembro Puente Mulas: en ciertas zonas este miembro es bastante permeable, lo cual permite que se dé una conexión hidráulica entre los acuíferos de Colima Inferior y Superior. En este sector brota un manantial de gran magnitud que es utilizado en el abastecimiento de la población (MIVAH, 2006). Los espesores obtenidos por medio de las perforaciones varían en un rango de 13 a 22 metros (Ramírez, 2007).

Miembro Linda Vista: En él se encuentra albergado el acuífero Colima Superior. Está formado por dos capas lávicas de composición andesítica, de textura brechosa o masiva fracturada, separados por una capa fina de toba meteorizada que actúa como acuitardo. La capa superior posee unos 110 m de espesor promedio en el que se ubica el **Acuífero colgado La Libertad** y origina manantiales de 100 l/s. Este acuífero da origen a los manantiales del mismo nombre en el cañón del río Virilla (Ramírez, *op cit.*).

Según Losilla (2001) este acuífero se recarga desde el acuífero Barba a través de la formación Tiribí y a través de percolación vertical del acuífero La Libertad.

Según BGS- SENARA (1988) los acuíferos de Colima producen un caudal entre 5000 a 7000 litros por segundo; sin embargo, este potencial debe investigarse y contabilizarse la explotación actual de los acuíferos del Valle Central (Ramírez, *op cit.*).

Los niveles de extracción del Colima, por parte de Acueductos y Alcantarillados, son (Ramírez, *op cit.*) :

- 1280 l/s del campo de *pozos* la Valencia;
- 650 l/s del de Puente *Manantial* de Mulas;
- 250 l/s de Potrerillos ;
- y más de 400 l/s de *pozos* y fuentes privadas. La extracción por pozo se estima en 50 a 100 l/s o más.

Formación Hidrogeológica Barba:

Según MIVAH (2006), es el manto de agua subterránea más superficial del sistema de acuíferos que conforman el Valle Central. Posee un área de 120 km². La formación incluye varias coladas y depósitos piroclásticos⁵ que se originaron en la Cordillera Volcánica Central y forman parte del Grupo Volcánico Central (Ramírez, *op cit.*).

Según Ramírez (2007), esta formación está constituida por coladas de lavas⁶ andesíticas, con espesores que van desde 10 metros hasta 80 metros con intercalaciones de aproximadamente 10 metros de ceniza.

La recarga del acuífero Barba se da por percolación vertical desde los acuíferos superiores, por la infiltración de lluvia que se da en las zonas más altas del volcán Barba y por infiltración a través de los cauces de algunos ríos.

Su principal drenaje es natural, a través de una serie de manantiales que posee en toda su área, los cuales son utilizados en su mayoría por la Empresa de Servicio Públicos de Heredia (ESPH). Además, la extracción es por medio de pozos, en especial para usos de consumo humano e industrial.

⁵ En geología se llama piroclasto a cualquier fragmento sólido de material volcánico arrojado al aire durante una erupción.

⁶ Una colada es un manto de magma emitido por un volcán durante sus erupciones.

Se pueden identificar miembros con características diferenciales:

Miembro Bermúdez: también llamado acuífero de Barba Inferior. La alta permeabilidad es debida principalmente a las fisuras y en las partes brechosas, los pozos pueden producir hasta 20 l/s de agua químicamente potable. (Ramírez, *op cit.*)

Miembro Porrosatí y Carbonal: constituido por arenas volcánicas gruesas y tobas arcillosas meteorizadas. Forman acuitardos de gran extensión donde subyacen los acuíferos locales Barba Superior y en algunos sectores afloran directamente cubriendo sólo al acuífero Barba Inferior (Ramírez, *op cit.*).

Miembro los Ángeles y los Bambinos: también se conocen con Acuífero de Barba Superior. Gracias a las fisuras que posee y a la estructura brechosa, este acuífero posee una alta permeabilidad secundaria. La recarga se da especialmente por infiltración de la precipitación en las partes altas del volcán Barba y en los ríos.

Miembro Cráter: según Ramírez (*op cit.*), está constituido por piroclástos recientes, que cubren parcialmente el acuífero de Barba Superior. Presenta espesores menores de 10 metros y una capacidad moderada de infiltración.

Existen aspectos generales de ambos acuíferos que se exponen a continuación:

La demanda de agua por extracción y sector proviene del sector doméstico con alrededor de 6129 l/s, lo que representa un 62% del agua extraída. Los sectores como el industrial extrae cerca de 3028 l/s; el agrícola 551 l/s y turismo 158 l/s. La extracción total para el año 2006 se estima en 9866 l/s. Se estima que el acuífero Colima-Barba aporta 9720 l/s. (Ramírez, *op cit.*).

Algunas de las principales zonas de recarga que abarcan ambos acuíferos se encuentran en Alajuela, Heredia y San José, y comprende los cantones de: Alajuela, Barba, San Isidro, San Ramón, San Rafael, Santa Bárbara, Santo Domingo, Goicoechea, Montes de Oca, Moravia y Vásquez de Coronado (Ramírez, *op cit.*)

Los meses de mayor recarga son setiembre y octubre, con valores mayores a los 100 mm anuales (Arredondo, 1994).

El cambio de uso del suelo en las áreas de recarga y la alta permeabilidad de los suelos son los principales factores que inciden en la cantidad y calidad del agua de los acuíferos del Valle Central. El uso inadecuado de tanques sépticos, los fertilizantes y plaguicidas son considerados las fuentes más importantes de contaminación.

La sobreexplotación de estos acuífero (5198, pozos registrados) y la relativa protección que ha cedido espacio a intereses de urbanización, son una importante amenaza sobre la disponibilidad y calidad del agua para el consumo de la población, en particular a través de instituciones públicas.

Se han señalado (Ramírez, *op cit.*) como medidas relevantes:

- a) La consolidación de esfuerzos a nivel institucional en campañas impulsadas por los entes gubernamentales para promover la conservación de los mantos acuíferos. Es importante considerar que el Acuífero Inferior de Colima es una importante fuente de agua para uso humano, por lo cual debe conservarse con medidas efectivas.
- b) Otro aspecto reiteradamente señalado es que la gran cantidad de pozos provoca una sobreexplotación del recurso y se ha recomendado aplicar restricciones a las perforaciones que se realicen en la zona del Valle central, en especial en la zona de los Acuíferos Colima y Barba, lo cual recientemente fue puesto en marcha por la veda emitida por el SENARA. Sin embargo, se sospecha que existen una buena cantidad de pozos ilegales que posteriormente se alegan existían previos a los cambios en normativas.
- c) Colocación obligatoria de medidores de consumo de agua y de extracción en pozos.

Con lo anterior, es importante sintetizar que se deben realizar esfuerzos por generar una base de datos integral, que incluya cantidad extraída y los usos por sector del agua, y que sea actualizada continuamente, con objeto de alimentar procesos decisorios sobre

la explotación dependiendo de las necesidades hídricas de cada sector y establecer reglas sobre el uso de esta agua. También, es importante que se establezca un medio para comunicar a los usuarios sobre estas normas y demás actividades, para ejercer un mejor uso del recurso por parte de la población.

Cuadro 8.1. Principales Características de los Acuíferos del Valle Central

Zona del Valle Central, acuíferos Colima y Barva			
Ubicación	Entre las coordenadas topográficas 212.000-235.000 Norte y 505.00-545.000 Este de las Hojas Barva, Abra, Naranjo, Río Grande, Carrillo e Istarú	Recarga	Las zonas de mayor recarga son: Alajuela, San Isidro, San Ramón, Santa Bárbara, Santo Domingo, Goicoechea, Montes de Oca, Moravia y Coronado
	Presenta 2 estaciones climáticas: verano que va de diciembre a abril e invierno de		Los meses de mayor recarga son setiembre y octubre, con valores mayores a los 100 mm
	Tiene una extensión de 482 km ²	Extracción	La capacidad de infiltración es sustancial (al menos 50mm/día)
	La precipitación promedio es de alrededor de 2000 mm por año.		Para el 2006, el SENARA registra una extracción de 9866 l/s anuales
Características	La altura está entre los 500 y los 2700m. La altura máxima se alcanza en el volcán Irazú con 3300m	Recomendaciones	De lo extraído, 62,1% es para el sector doméstico, 30,7% para el industrial, 1,6% para turismo y 5,6% para agrícola
	La sobreexplotación de los recursos hídricos, acompañado de un cambio en el uso del suelo que transforma áreas potenciales para recarga en áreas contruidas, para actividades comerciales e industriales		Establecer restricciones permanentes para la perforación de nuevos pozos
Problemática			Obligar a los usuarios a instalar medidores de consumo
			Generar una base de datos, donde se establezca la cantidad extraída y los usos que se le dan al agua. Y se establecer un medio para comunicar a los usuarios sobre estas normas y demás actividades.

Fuente: elaboración propia apartir de referencias bibliográficas, en especial el informe elaborado por ,el geólogo Roberto Ramírez para el Servicio Nacional de Aguas Subterráneos Riego y Advenimiento para el año 2007

8.2.b Zona de Guanacaste⁷

Generalidades de la zona

Se ubica en el extremo norte del país, es la segunda provincia más extensa de Costa Rica. En cuanto a su potencial económico, se dice que el turismo es una de las actividades más importantes de la zona, pues esta provincia posee un gran atractivo por ser cuna del folklor costarricense, sus playas y clima. En el 2008 Guanacaste contaba con una población mayor a los 350,000 habitantes, los cuales demandan alrededor de 1100 l/s (Plan de Abastecimiento de Agua de Guanacaste y Gestión Integrada de las Aguas Residuales). En lo que se refiere a hidrología, el “Informe general de los mantos acuíferos en Guanacaste” (2008), menciona que es muy variada, se presentan rocas con un potencial hidrogeológico nulo o muy bajo (como el Complejo de Nicoya y la formación Barra Honda), hasta rocas con un potencial muy alto (rocas volcánicas en los Acuíferos de Liberia y Bagaces). Se ubica en Liberia y concretamente en las coordenadas 285.000-302.000 Latitud Norte y 372.000-383.000 Longitud Este: en las hojas cartográficas Monteverde y Curubandé, editadas por el Instituto Geográfico Nacional

Acuífero Bagaces:

Está conformado por 3 miembros, como menciona: formación inferior, media y superior.

Bagaces inferior: según Morera (2000) es una toba columnar de color gris, incluye arenas y arcillas cineríticas, las cuales alternan con lapillis y presentan algunos horizontes de limos, arcillas y gravas de depositación fluvio lacustre. Además, según Plan de Abastecimiento de Agua para Guanacaste “Informe general de los mantos acuíferos en Guanacaste” (2008), se dice que presenta poca permeabilidad y tiene cierta conexión con los aluviones del Valle del Tempisque

⁷ Para el análisis de la zona de Guanacaste se tomo en especial consideración la investigación: Determinación de zonas de recarga mediante la utilización de técnicas isotópicas en los acuíferos de Liberia y Bagaces. Costa Rica, de S. Morera Guillen, Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento, área de aguas subterráneas marzo 2000.

Bagaces Medio: formada por una toba café oscura dura, ignimbrita negra vidriosa, lava vesicular porosa, buena permeabilidad, constituye la zona de mayor producción, tiene un espesor promedio de 200 m, los pozos que captan esta secuencia estratigráfica pueden producir caudales de hasta 189 l/s. Este es permeable en las grietas de enfriamiento y fracturas en las tobas soldadas, ignimbritas y las lavas. La brecha (*Ídem*).

Bagaces Superior: compuesta por tobas rosadas y grises, tobas café claro con fragmentos líticos bien cementados, escasa permeabilidad, su espesor promedio es de 30 m y sus caudales de hasta 3.78 l/s (*Ídem*). Además se menciona que este permite un lento movimiento de las aguas subterráneas, pues es poco permeable.

Según Morera (2000), en la formación Bagaces, los depósitos piroclásticos, lavas y aluviones cuaternarios constituyen el potencial acuífero más importante.

La permeabilidad de las tobas de esta formación en general es muy reducida, pero la circulación de agua subterránea en grietas, fracturas y zonas de contacto de los horizontes de tobas, ignimbritas y lavas es abundante hasta el punto de constituir el acuífero Bagaces en uno de los más importantes.

El Acuífero de Bagaces se recarga principalmente por infiltración directa de la lluvia que cae sobre la Meseta de Santa Rosa, también por percolación vertical del acuífero de la Formación Liberia y en su frontera NE, por flujo lateral de aguas recargadas a través de las formaciones volcánicas del Grupo Aguacate y del volcánico reciente que conforma los edificios volcánicos de la Cordillera (Plan de Abastecimiento de Agua para Guanacaste “Informe general de los mantos acuíferos en Guanacaste” ,2008)

Es el más rico del área y fue descubierto gracias a perforaciones exploratorias profundas que oscilan entre 40 y 200 metros. Los pozos que captan el miembro inferior de la formación en 1975, reportan una capacidad específica de 6.6 l/s/m una transmisividad de 2800m² /día. Mediante pruebas de bombeo realizadas en 1998 se pudo estimar valores de transmisividad de 5000 m² / día y una capacidad específica de 23.6 l/s/m (Morera, 2000).

En cuanto al tema de vulnerabilidad del Acuífero Bagaces, según el estudio de Morera (2000), esta depende de las características del acuífero. Al ser este de una profundidad considerable y además las lavas productoras se encuentran en una capa de toba impermeable, la vulnerabilidad que presenta es relativamente baja.

Acuífero de Liberia

Esta formación contiene más de un 60% de su volumen ocupado por material arcilloso, lo cual reduce grandemente su permeabilidad, la superficie de esta formación, se encuentra generalmente meteorizado a un material areno-arcilloso que absorbe moderadas cantidades de agua, y que permite solo una lenta infiltración, de esta manera, la infiltración depende más de la duración que de la intensidad de la lluvia. La descarga del agua se produce principalmente por flujo hacia los cauces de los ríos que la cortan, los cuales no son abundantes pero se mantiene durante todo el año (*Ídem*).

Se estima que la formación presenta una extensión de 430 km² con una topografía bastante plana. Las características de permeabilidad hacen que este acuífero sea de baja producción. El acuífero es del tipo libre y la infiltración desde la superficie es lenta, las lluvias de los primeros meses de la época lluviosa no alimentan el acuífero, situación que si logran las lluvias de agosto a octubre, además se presenta una recarga lateral muy lenta a través del piedemonte (*Ídem*).

En cuanto a descarga de este acuífero, se han establecido tres formas en que esta se realiza: la primera es por drenaje hacia los ríos, la segunda es por infiltración vertical hacia el acuífero de Bagaces y por extracción de pozos (*Ídem*).

En lo que se refiere a la extracción de pozos, según Morera (2000) en los alrededores de Liberia, desde Cañas Dulces hasta Bagaces, existen centenares de pozos excavados y perforados, los cuales poseen profundidades de hasta 70 metros, y se alimentan de este acuífero. Los caudales máximos obtenidos (1975) son de 1.5 litros por segundo, mientras datos en pozos realizados recientemente (1996-1997) dan valores máximos de extracción de 4 l/s. En los alrededores de Liberia el agua es posible hallarla desde los 4 metros hasta los 28 de profundidad, variación debida al microrelieve local.

Los contaminantes (aguas cloacales, jabonosas y otros tipos de efluentes) tardan corto tiempo en llegar al nivel freático de Liberia, no obstante una vez que llegan a éste las bacterias solo han recorrido muy pocos metros para biodegradarse, por lo que la contaminación no llega al acuífero más importante, el Bagaces ya que se encuentra, está bien protegido por una capa de un espesor tobáceo de 40 metros y más en algunos sitios (Ídem).

Al igual que en la zona del Valle Central, la contaminación es un problema importante en los acuíferos. Por lo tanto se deben de impulsar medidas para prevenir que los desechos producidos por los humanos, industriales o agrícolas afecten la calidad y la cantidad de agua que se encuentra en estos acuíferos. Algunos autores que han realizado estudios sobre el tema, y han proporcionado una serie de recomendaciones al respecto, uno de ellos es Morera (2000) que brinda las recomendaciones que se presentan a continuación:

- ✓ Todo pozo que capte la Formación Bagaces, se encuentre con tubo ciego en la Formación Liberia (o, sea que no la capte) para evitar mezcla de agua contaminada de ésta con agua en buen estado de Bagaces.
- ✓ Mayor coordinación con AyA para realizar una campaña con el fin de no permitir que las personas que utilizan los pozos excavados que captan Liberia lo sigan haciendo o que al menos los cloren con la periodicidad requerida.

Cuadro 8.2. Principales Rasgos de los Acuíferos del Guanacaste

Zona de Guanacaste, acuíferos de Bagaces y Liberia			
Ubicación	La zona de estudio se ubica en Liberia, Cantón N° 1 de la provincia de Guanacaste, y concretamente en las coordenadas 285.000-302.000 Latitud Norte y 372.000-383.000 Longitud Este: en las hojas cartográficas Monteverde y Curubandé, editadas por el Instituto Geográfico Nacional	Recarga	Acuífero de Bagaces: por infiltración directa de la lluvia de la Meseta de Santa Rosa, por percolación vertical del acuífero de la Formación Liberia y por flujo lateral de aguas recargadas a través de las formaciones volcánicas.
			Acuífero Liberia: infiltración desde la superficie es lenta, las lluvias de los primeros meses de la época lluviosa no alimentan el acuífero, pero si logra con las lluvias de agosto a octubre. Se da una recarga lateral muy lenta a través del piedemonte.
Características	Legión del es afectada periódicamente por sequías y en los últimos años el " Fenómeno del niño" ha afectado fuertemente la zona.	Extracción	El acuífero de Bagaces es el más rico del área y fue descubierto gracias a perforaciones exploratorias profundas que oscilan entre 40 y 200 m. En Bagases Medio los pozos que captan esta secuencia estratigráfica pueden producir caudales de hasta 189 l/s
	Para el 2008 Guanacaste contaba con una población mayor a los 350,000 habitantes, los cuales demandan alrededor de 1100 l/s El turismo de una de las actividades más importantes de la zona		En Liberia existen centenares de pozos excavados y perforados, los cuales poseen profundidades de hasta 70 metros se alimentan de este acuífero.
Problemática	Se muestra que la recarga del acuífero Bagaces está ocurriendo, predominantemente, por la infiltración de las aguas del acuífero Liberia por percolación	Recomendaciones	Que todo pozo que capte la Formación Bagaces, se encuentre con tubo ciego en la Formación Liberia (o, sea que no la capte) para evitar mezcla de agua contaminada de ésta con agua en buen estado de Bagaces.
			Coordinar con el AyA para realizar una campaña con el fin de no permitir que personas que utilizan los pozos excavados que captan Liberia lo sigan haciendo o que al menos los cloren con la periodicidad requerida.

Fuente: elaboración propia apartir de referencias bibliográficas

8.3. Acuíferos costeros

8.3.a Acuífero de Banano, Zona de Limón⁸

Generalidades de la zona

Se ubica en la cuenca Limón Sur, alargada en sentido NW-SE: está delimitada al oeste por la Cordillera de Talamanca y el río Reventazón, al norte por el inicio de las tierras bajas a la latitud de Puerto Limón y Siquirres, al sur continúa hacia Panamá y al este se

⁸ Para el análisis de los acuíferos de la zona de Limón se utilizó principalmente el estudio hidrogeológico y de vulnerabilidad del acuífero Moín, Limón de M. Dardilo "Disponibilidad de recursos hídricos y Evaluación del potencial hidrogeológico del acuífero la Bomba, cuenca del río Banano, Limón); así como otros trabajos de referencia.

interna en el Mar Caribe. Estiman una población de aproximadamente 5395 personas, (Dardillo, sin fecha)

La zona de interés se encuentra conformada por las siguientes unidades:

Formación Río Banano: es lateralmente persistente a lo largo de la cuenca y en general mantiene las mismas características: la unidad basal consiste de alternancias irregulares de areniscas y lodolitas.

Formación Limón: incluye los alineamientos a lo largo de la línea del ferrocarril, entre el río Bartolo y Moín y a lo largo de la Quebrada Chocolate. Se considera que la edad de esta formación es pliocénica.

Formación Suretka: Paris (1954, en Campos, 1987), definió a esta formación como conglomerática y piroclástica, e incluso con coladas y brechas basálticas a la base en el área Chirripó-Reventazón

En general para el acuífero, se registra un promedio de lluvia anual de 3570 mm, donde los meses de febrero a marzo, setiembre y octubre son los más secos, además la temperatura promedio varía entre los 25° C y 27° C. Se considera una de las zonas más húmedas de todo el país, pues presenta un constante humedad transportada por el viento alisio desde el mar Caribe. Su el volumen de recarga es de 28,5 millones m³/año, en un área de 35,6 km².

De toda la zona de estudio, se ubica un área de especial interés que incluye las fuentes de Moín, la cual abarca 4,54 km², tiene una recarga 40 504,240 mm/año (Dardilo, *op cit*). Un censo en la zona determinó una población de 5, 396 personas, un caudal promedio de 154 l/s correspondientes a las fuentes de Moín y un caudal de 10 l/s correspondiente a 7 pozos legales y 3 pozos ilegales (Ramos, 2005).

Existen problemas de contaminación de las aguas subterráneas, debido a factores naturales y de origen humano, lo cual provoca complicaciones en temas de salud y de desarrollo de la zona.

Debido a la intensificación de las actividades que se desarrollan en la zona, entre ellas el proceso de urbanización, las agrícolas y hasta mineras, se ha generado una acumulación de contaminantes sobre el subsuelo. El problema es que este tipo de actividades generalmente no reciben un control por parte de las autoridades correspondientes, y cuando este tipo de sustancias excede la capacidad natural de atenuación del subsuelo y estratos suprayacentes, provoca un serio daño al acuífero (Ídem).

Las principales fuentes de contaminación son:

- Dolinas: usados para botar basura o para descargar aguas servidas. Presentan comunicación directa con el acuífero.
- Botaderos de Basura: los cauces de los ríos son utilizados para botar basura de residuos industriales o del uso cotidiano de los que viven en los alrededores de la zona.
- Drenajes de aguas jabonosas: las aguas jabonosas descargan directamente en los ríos.

Dados estos problemas de contaminación que atentan contra el acuífero, se han ido generando una serie de recomendaciones a lo largo del tiempo, entre las que se encuentran:

Que la Municipalidad de Limón se involucre en el Plan de Manejo, para que de esta forma se establezcan estrategias en conjunto con el AyA, con el fin de crear mecanismos que reduzcan la contaminación en los acuíferos.

Además se deben iniciar campañas de capacitación y aprendizaje sobre el cuidado de los recursos, para concientizar a la población sobre el tema.

Y al igual que en la mayoría de los acuíferos, se incentiva a autoridades como AyA y MINAET a comprometerse con la supervisión y control de uso y manejo de los acuíferos de la zona.

Cuadro 8.3. Principales Rasgos del Acuífero de Banano

Zona de Limón, acuífero de Banano			
Ubicación	Se encuentra en la cuenca Limón Sur, alargada en sentido NW-SE: está delimitada al oeste por la Cordillera de Talamanca y el río Reventazón, al norte por el inicio de las tierras bajas	Recarga	El volumen de recarga del acuífero Moín es de 28,5 millones m ³ /año, en un área de 35,6 km ² .
Características	Presenta un promedio de lluvia anual de 3570 mm, donde los meses de febrero hasta marzo, setiembre y octubre que son los más secos; la temperatura promedio varía entre los 25° C y 27° C.	Extracción	El área de especial interés que incluye las fuentes de Moín, la cual abarca 4,54 km ² , tiene una recarga 40 504,240 mm/año.
Problemática	La contaminación de los acuíferos ocurre cuando la carga de contaminantes sobre el subsuelo generado por descargas de actividades urbanas, industriales, agrícolas o mineras	Recomendaciones	Involucrar a la Municipalidad de Limón en el Plan de Manejo con el fin de establecer estrategias conjuntas con instituciones como el AyA para idear mecanismos y campañas contra la contaminación de los acuíferos.
			Establecer programas de capacitación y aprendizaje para la población del lugar, tanto para los empresarios como para los residentes, con el fin de crear conciencia sobre la necesidad de cuidar los acuíferos en pro del bienestar de toda la comunidad.

Fuente: elaboración propia apartir de referencias bibliográficas

8.3.b. Acuífero la Bomba, cuenca del río Banano, zona de Limón

Generalidades de la zona:

Se localiza en la parte baja de la cuenca del río Banano al sur de la ciudad de Limón, desde el poblado la Bomba hasta el sitio conocido como Aguas Zarcas, en la cuenca media y baja del río Banano. Las localidades más importantes son: La Bomba, Beverly, Aguas Zarcas y María Luisa (Alvarado, 2006).

La Bomba constituye la principal fuente subterránea de agua potable para la ciudad de Limón, que para el año 2005 cuenta con una población aproximada de 65 000 habitantes. (Vásquez, 2005).

Algunas características que definen la cuenca son una llanura costera poco desarrollada, altas montañas cerca de la costa y una sedimentación aluvial en la faja costera granulometría muy gruesa como conglomerados y arenas gruesas.

Según Vásquez (2005), la mayor recarga ocurre en el mes de julio y luego de noviembre a enero, además las principales recargas ocurren por infiltración del agua del río, la

lluvia que infiltra, el flujo proveniente de la parte norte y el aporte lateral de la formación Río Banano.

Durante los meses de menor precipitación, la lluvia solo alcanza para abastecer las necesidades de las plantas y los suelos bajan su capacidad de campo pero no llegan a la marchitez.

Los pozos ubicados dentro del acuífero la Bomba tienen capacidad para rendir caudales superiores a los 30 l/s, las extracciones rondan actualmente los 200 l/s (Alvarado, 2006). Según Vásquez (2005) con base en los registros del SENARA y del AyA, existen dentro del área de estudio un total de 47 pozos de los cuales 17 son excavados y 30 perforados; además, solo 18 captan al acuífero la Bomba.

Las entidades encargadas de la protección y uso del recurso hídrico no han logrado realizar la supervisión necesaria para controlar la extracción más allá de lo concedido y en algunos casos hasta extracción ilegal de agua, lo cual genera una disminución de la cantidad del caudal disponible en el acuífero.

Al aumentar el ancho del cauce y disminuir el espesor del material de fondo suben lentamente los niveles de agua subterránea en los pozos de bombeo; lo anterior, ocurre porque aumenta el área de infiltración de agua del río, lo que beneficia de cierta manera al acuífero; sin embargo, ante la gran relación entre el agua de los ríos y los pozos, eventuales combinaciones del agua del río y del lecho o material del fondo afecta los pozos usados para bombeo.

Algunas de las principales recomendaciones que se hace para este acuífero son por ejemplo, llevar un registro de los pozos y realizar mediciones de los mismos para tener un control del bombeo, y así evitar problemas con el abastecimiento. Además se recomienda tener un control más estricto del otorgamiento de permisos de construcción de tanques sépticos o de cualquier actividad que utilice agua del acuífero, con el fin de evitar la contaminación y disminución de los caudales del acuífero (Ídem).

Cuadro 8.4. Principales Rasgos del Acuífero La Bomba

Zona de Limón, acuífero la Bomba			
Ubicación	Se localiza al sur de la ciudad de Limón, desde el poblado la Bomba hasta el sitio conocido como aguas Zarcas, en la cuenca media y baja del río Banano. Las localidades más importantes son: La Bomba, Beverly, Aguas Zarcas y María Luisa	Recarga	La mayor recarga ocurre en el mes de julio y luego de noviembre a enero, además las principales recargas ocurren por infiltración del agua del río, la lluvia que infiltra, el flujo proveniente de la parte norte y el aporte lateral de la formación Río Banano.
Características	Constituye la principal fuente subterránea de agua potable para la ciudad de Limón, que para el año 2005 cuenta con una población aproximada de 65 000 habitantes	Extracción	Los pozos ubicados dentro del acuífero de la Bomba tienen capacidad para rendir caudales superiores a los 30 l/s, las extracciones rondan actualmente los 200 l/s
	Las vías de acceso son transitables durante todo el año. Algunas características que definen la cuenca son una llanura costera poco desarrollada, altas montañas cerca de la costa y una sedimentación aluvial en la faja costera granulometría muy gruesa como conglomerados y arenas gruesas.		Los registros existentes del SENARA y del AyA, existen dentro del área de estudio un total de 47 pozos de los cuales 17 son excavados y 30 perforados; además, solo 18 captan al acuífero la Bomba.
Problemática	Las entidades encargadas de la protección y uso del recurso hídrico no han logrado realizar la supervisión necesaria para controlar la extracción mas allá de lo concedido y en algunos casos hasta extracción ilegal de agua, lo cual genera una disminución de la cantidad del caudal disponible en el acuífero	Recomendaciones	Llevar un registro de los pozos y realizar mediciones de los mismos, para tener un control del bombeo, y así evitar problemas con el abastecimiento.
			Además se recomienda tener un control más estricto del otorgamiento de permisos de construcción de tanques sépticos o de cualquier actividad que utilice agua del acuífero, con el fin de evitar la contaminación y disminución de los caudales del acuífero.

Fuente: elaboración propia apartir de referencias bibliográficas

8.3.c Zona de Puntarenas⁹

Generalidades de la zona

Arredondo (2003) lo ubica localizado en Pacífico Norte, básicamente a la entrada del Golfo de Nicoya, de las hojas cartográficas Barranca, Chapernal y Miramar, escala 1:50 000, editada por el IGN. En esta Zona se encuentra en Acuífero Barranca- El Roble. El acuífero superior se conoce como Barranca, se encuentra en los materiales aluviales del río Barranca y en menor proporción del río Naranjo. El valor de transmisividad reportados es de aproximadamente 1378 m²/día y el coeficiente de almacenamiento es de 0,10. Sus límites exactos no han sido definidos, sin embargo se conoce su existencia como Barranca, el Roble, Hacienda el Mango, Finca Socorrito y Chacarita.

⁹ Arredondo Li, (1995), Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos costeros, Barranca y el roble, Puntarenas, Costa Rica.

El espesor máximo encontrado por medio de perforaciones es de 48m y el mínimo de 12m en el Roble; el espesor aumenta hacia el cauce del Río Barranca y disminuye hacia el oeste y noreste.

El acuífero inferior es confinado y se le ha denominado **El Roble**, de acuerdo con estudios realizados hay indicios de que continúa por debajo del océano hacia el suroeste. La profundidad en que se ha encontrado el acuífero oscila entre los 33 y 54 m.

Ambos acuíferos están separados por un material de carácter tobáceo que actúa como acuitardo, su espesor varía de 1.82 m cerca del cauce del río hasta 30 m inclusive, en los alrededores del Roble y Carrizal. Presenta forma lenticular, de tal manera que al norte de la llanura aluvial y hacia el río Barranca este acuitardo no está presente.

Acuífero Barranca

En cuanto a la infiltración, esta depende del tipo y uso del suelo de cada zona. En la zona este, la capa del suelo es pequeña y en algunos casos nula (Arredondo, 1995), lo que provoca exposición al aluvión, y la disminución en la infiltración puede ser debida principalmente al uso del suelo que probablemente ha provocado compactación, ya que este sector de suelos tiende a ser arcillo-arenoso.

La recarga de este acuífero se presenta de dos formas: por infiltración de precipitación y por aporte lateral, es decir, por el agua que entra al área por flujo horizontal.

Según Arredondo (1995), el caudal extraído por pozos es de 300 l/s, mientras que el caudal total de recarga por infiltración de precipitación es de 154,5 l/s, esto da indicios de que existe otra fuente importante de aporte al acuífero.

Acuífero El Roble

La extensión de este acuífero abarca desde el suroeste del río Barranca hacia el río Carrizal, su profundidad oscila entre 33 y 54 m, tiene espesores que se encuentra entre 6 y 9 m; el nivel del agua tiene un declive de 3 por mil y está sujeto a las fluctuaciones de las mareas (IMTA, 2008).

Con base en el estudio realizado por Naciones Unidas en 1975 se considera que el acuífero El Roble continúa por debajo del océano hacia el suroeste y descarga en esa dirección. La conductividad eléctrica osciló entre 40 000 y 47 000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (Arredondo, 1995), lo cual no es una variación sustancial que indique descarga de agua dulce al mar, lo cual puede deberse a varias razones:

- a) Que la acumulación de sedimentos puede provocar una dispersión y dilución de la descarga, y no permita detectarla.
- b) Que la zona de descarga sea muy localizada y con los puntos medidos no fue posible encontrarla.
- c) Que la descarga sea localizada en la desembocadura del río Barranca y es difícil de diferenciar entre la del río y los acuíferos Barranca y el Roble.
- d) Que la descarga del acuífero no sea suficiente para ser detectada en esas condiciones de salinidad y depósitos de sedimentos.

Se ha venido presentando un cambio en el uso de la tierra en ambos acuíferos, lo cual provoca una disminución de las tierras dedicadas a la agricultura, para dar paso a un desarrollo de infraestructura dedicada al turismo (como restaurantes, hoteles, balnearios, puertos, marinas, etc.) este tipo de actividades requieren de una calidad de agua excelente y de una cantidad muy importante y significativa la cual las instituciones encargadas no pueden suministrar, lo cual nos lleva a la solicitud de gran número de concesiones para perforación de pozos para agua. (Arredondo 2003). Tomando en cuenta que estos acuíferos proporcionan agua al 50% de la población de Gran Puntarenas (IMTA, 2008), se debe tener un especial control sobre los permisos de perforación que se otorgan, pues si esto no se regula puede llegar a provocar una extracción y usos desmedidos del agua proveniente de estos acuíferos.

Por ahora, los análisis bacteriológicos efectuados por el Departamento de Microbiología del Laboratorio Central del AyA no indican contaminación por organismos patógenos en las fuentes de agua subterránea (pozos y manantial). Sin embargo no se debe descartar posibles fuentes de contaminación en el futuro, en especial por auge del turismo que se ha venido dando en la zona en los últimos años.

Al igual que en muchas otras zonas con acuíferos, varios estudios recomiendan la utilización de medidores con el fin de poder tener un control de la cantidad de agua consumida, además se debe realizar un plan de protección y control de las áreas más vulnerables por parte de las instituciones encargadas del recurso, para de esta forma garantizar un uso más razonable y responsable del recurso hídrico.

Cuadro 8.5. Principales Rasgos de los Acuíferos del Puntarenas

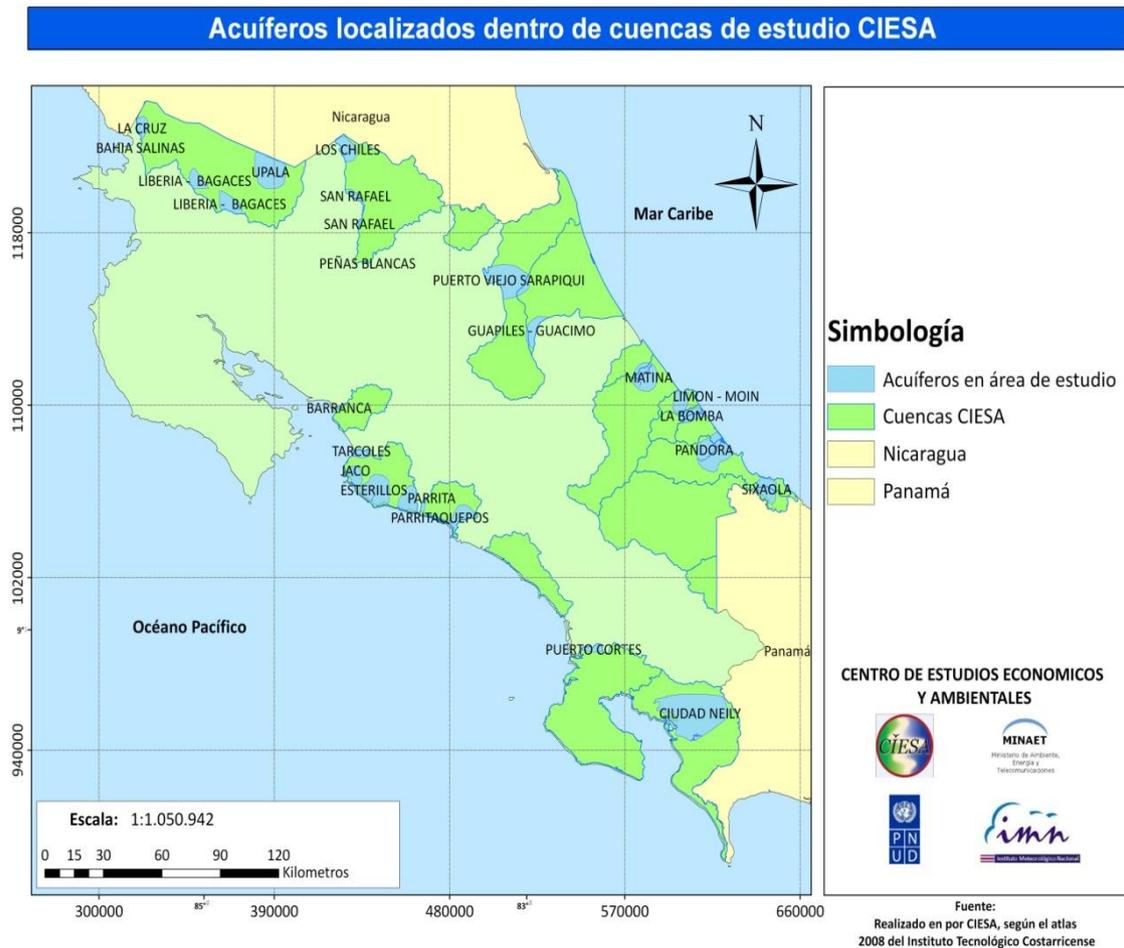
Zona de Puntarenas, acuíferos de Barranca y el Roble			
Ubicación	En el informe realizado por Arredondo (2003) la ubicación del área de estudio se encuentra en el Pacífico norte básicamente a la entrada del Golfo de Nicoya, de las hojas cartográficas Barranca, Chapernal y Miramar.	Recarga	En Barranca, la recarga de este acuífero se da de dos formas: por infiltración de precipitación y por aporte lateral, es decir, por el agua que entra al área por flujo horizontal.
			El roble tiene el nivel del agua tiene un declive de 3 por mil y está sujeto a las fluctuaciones de las mareas
Características	El espesor máximo encontrado por medio de perforaciones es de 48m en la zona entre los pozos BC-25 y BC-26 y el mínimo de 12 metros en el Roble; esto indica que el espesor aumenta hacia el cauce del Río Barranca y disminuye hacia el oeste y noreste	Extracción	En Barranca, el caudal extraído por pozos es de 300 l/s
			La conductividad eléctrica osciló entre 40 000 y 47 000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (Arredondo, 1995), lo cual no es una variación sustancial que indique descarga de agua dulce al mar.
Problemática	Los análisis bacteriológicos efectuados por el Departamento de Microbiología del Laboratorio Central del AyA no indican contaminación por organismos patógenos en las fuentes de agua subterránea (pozos y manantial); sin embargo no se debe descartar posibles fuentes de contaminación en el futuro, en especial por auge del turismo que se ha venido dando en la zona en los últimos años	Recomendaciones	Utilización de medidores con el fin de poder tener un control de la cantidad de agua consumida, además se debe realizar un plan de protección y control de las áreas más vulnerables por parte de las instituciones encargadas del recurso, para de esta forma garantizar un uso más razonable y responsable del recurso hídrico.

Fuente: elaboración propia a partir de referencias bibliográficas

8.4. Protección de los acuíferos dentro de las Cuencas de estudio.

Dentro de las 19 cuencas de estudio se encuentran ubicados algunos acuíferos del país, los cuales se muestran en el siguiente mapa:

Figura 8.2. Costa Rica. Acuíferos localizados dentro de las cuencas de estudio.



Cuencas como Cureña, Changuinola y Barú no poseen acuíferos conocidos. Es importante mencionar que hay cuencas que poseen áreas muy pequeñas de un acuífero, como el caso del acuífero Limón-Moín en la cuenca Matina y que también se ubica en una mínima fracción en la cuenca Banano,; el acuífero la Bomba en la cuenca Moín; acuífero Peñas Blancas en Pocosol, y el acuífero Bahía Salinas en Zapote. Todas esas cuencas poseen menos del 1% del total del acuífero correspondiente. Esto puede deberse en parte a diferencias de zonificación y en otras a que efectivamente el acuífero se ubica en varias cuencas. Por otro lado, existen cuencas que poseen el 100% del acuífero como la cuenca Esquinas que poseen el acuífero Ciudad Neily y Tusubres que posee los acuíferos Jacó y Esterillos.

Lo anterior, se muestra en el siguiente cuadro, donde se expone los acuíferos por cuenca y sus respectivas áreas. También, se muestra el área total de cada acuífero y se realiza una estimación del porcentaje de dicho acuífero que se encuentra en la cuenca de estudio.

Cuadro 8.6. Costa Rica: Porcentaje de participación de las áreas de los acuíferos en cada cuenca en el total del área de cada acuífero.

Cuenca	Acuífero	Área del acuífero en la cuenca, Km2	Area total del Acuífero, km2	% del Acuífero en la Cuenca
Bananito	Pandora	19.41	213.47	9.09%
	La Bomba	25.64	62.28	41.16%
Banano	La Bomba	36.02	62.28	57.84%
	Limón-Moín	0.13	63.31	0.20%
Chirripó	Guapiles-Guacimo	6.83	209.25	3.26%
	Puerto Viejo Sarapiquí	221.02	352.22	62.75%
Damas	Parrita	10.97	142.63	7.69%
	Quepos	77.71	173.31	44.84%
Esquinas	Cuidad Neily	537.73	537.73	100.00%
Jesús María	Barranca	2.49	81.43	3.05%
	Sixaola	39.10	83.14	47.03%
La Estrella	Pandora	193.61	213.47	90.70%
Madre de Dios	Matina	18.61	131.98	14.10%
Matina	Limón-Moín	0.08	63.31	0.13%
	Matina	113.38	131.98	85.90%
Moín	La Bomba	0.62	62.28	1.00%
	Limón-Moín	63.10	63.31	99.67%
Penín. de Osa	Puerto Cortés	25.95	228.57	11.36%
Pocosol	Peñas Blancas	0.39	242.96	0.16%
	San Rafael	31.65	438.97	7.21%
	Los Chiles	78.68	128.69	61.14%
Sixaola	Sixaola	44.03	83.14	52.97%
Tortuguero	Guapiles-Guacimo	61.64	209.25	29.46%
	Puerto Viejo Sarapiquí	23.94	352.22	6.80%
Tusubres	Tárcoles	27.00	56.36	47.91%
	Jacó	49.12	49.12	100.00%
	Esterillos	157.66	157.66	100.00%
	Parrita	86.50	142.63	60.65%
Zapote	Bahía Salinas	0.15	29.67	0.49%
	La Cruz	46.25	68.65	67.37%
	Liberia-Bagaces	137.09	439.82	31.17%
	Upala	204.88	204.88	100.00%

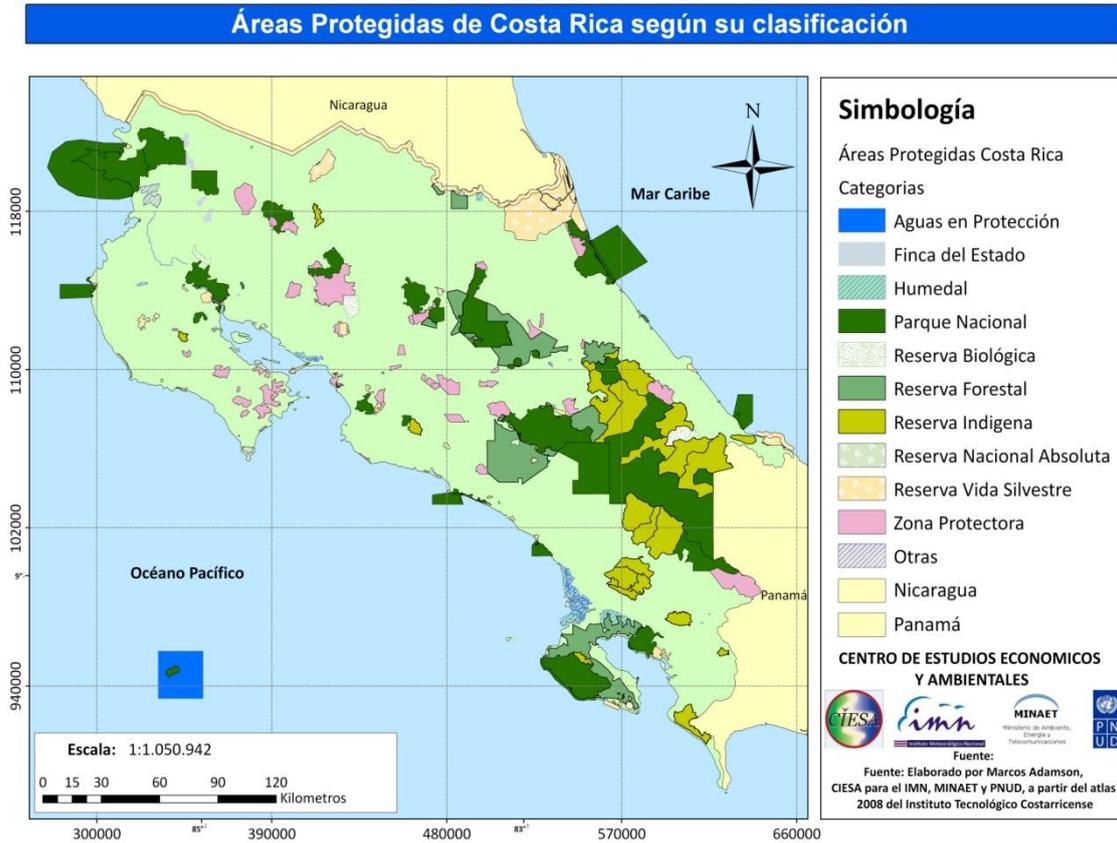
Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA, 2010.

Adicional al análisis de porcentajes de área de los acuíferos por cuencas de estudio, también es fundamental conocer si estas áreas reciben algún tipo de protección, diferente al de Zonas de Restricción de Uso, ya que esa figura ha mostrado ser permeable ante las presiones de las actividades socioeconómicas, y también en la práctica debido a la relativa facilidad de contaminación de los acuíferos por contaminación en pozos o de actividades productivas de las áreas circunvecinas, permitidas por el porcentaje de uso de suelo.

Con ese fin se elaboraron mapas para mostrar las áreas de las cuencas de estudio, el área de los acuíferos y el área de zonas protegidas de Costa Rica.

El primer mapa que se muestra a continuación (figura 8.3) señala cuales son las áreas protegidas de Costa Rica y qué tipo de protección recibe cada una de estas.

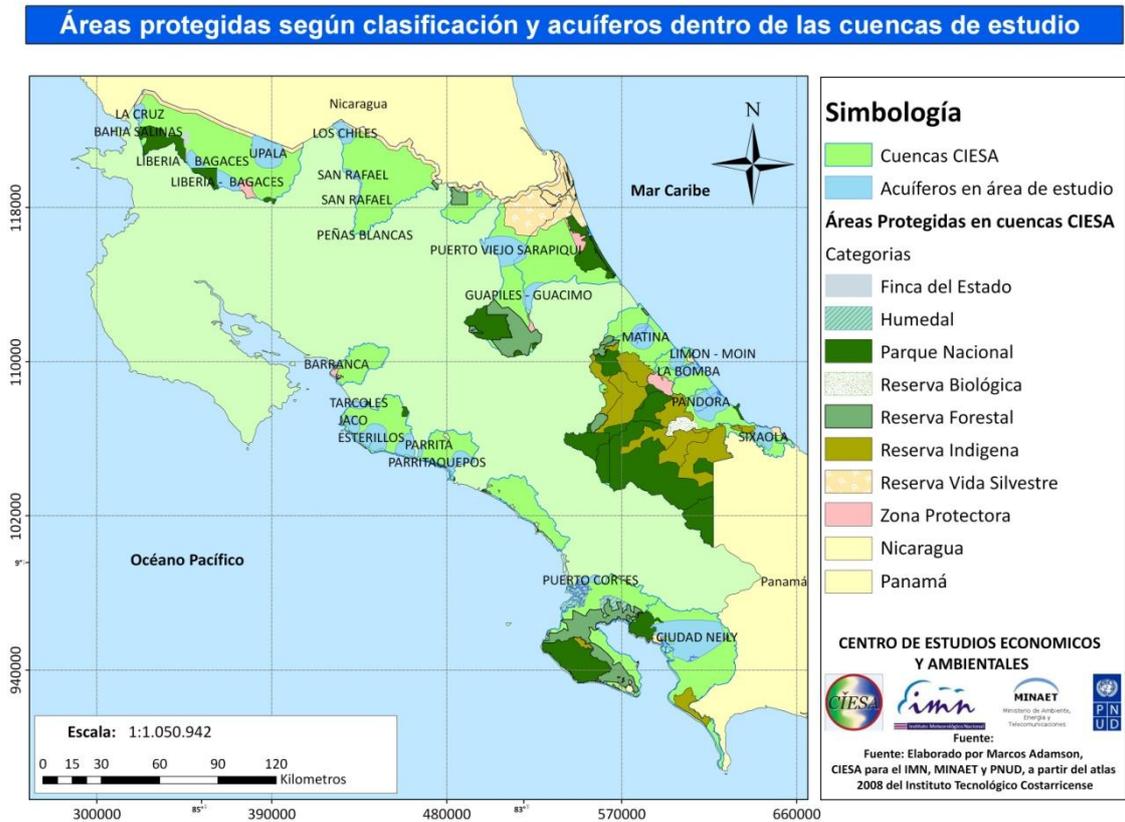
Figura 8.3. Costa Rica: Áreas protegidas según su clasificación



La mayor parte de las costas de Costa Rica no presenta ningún tipo de protección. Si comparamos esta figura con la figura 8.1 mostrada al inicio de este capítulo, se encuentra que una importante fracción de los acuíferos se localiza cerca de zonas costeras. En conclusión, la mayoría de los acuíferos costeros no están cubiertas por alguna figura de protección.

Una combinación de estos mapas se muestra en la figura 8.4

Figura 8.4. Áreas protegidas según su clasificación y acuíferos dentro de las cuencas de estudio.



A pesar de que las cuencas de estudio poseen una fracción importante de áreas de protección, la mayor parte de las áreas de los acuíferos dentro de las cuencas no está resguardada por ninguna área protegida. Para analizar esta situación con más detalle se elaboró un cuadro (cuadro 8.7) que incluye las áreas protegidas que corresponden a acuíferos dentro de las cuencas de estudio.

Cuadro 8.7. Costa Rica: Áreas y participaciones relativas de las cuencas y los acuíferos con zonas protegidas.

Cuenca	Área de la Cuenca	Área de la Cuenca con Protección	Área de Acuífero en Cuenca	Área de acuíferos en la cuenca dentro de un área de protección	% de área protegida total	% de área que es acuífero	% Acuífero protegido respecto al área de la cuenca	% del acuífero que está protegido respecto al área de los acuíferos
Bananito	225	0	45	0.00	0%	20%	0.0%	0%
Banano	207	119	36	0.32	57%	17%	0.2%	1%
Baru	545	16	0	0.00	3%	0%	0.0%	nd
Cureña	360	133	0	0.00	37%	0%	0.0%	nd
Changuinola	254	253	0	0.00	100%	0%	0.0%	0%
Chirripó	2,061	1,368	228	0.00	66%	11%	0.0%	0%
Damas	452	7	89	0.00	2%	20%	0.0%	0%
Esquinas	1,788	313	538	21.94	17%	30%	1.2%	4%
Jesús María	378	21	2	0.08	6%	1%	0%	3%
La Estrella	980	533	233	18.36	54%	24%	1.9%	8%
Madre de Dios	255	25	19	0.00	10%	7%	0.0%	0%
Matina	1,612	1,201	113	0.00	75%	7%	0.0%	0%
Moín	163	9	64	0.00	6%	39%	0.0%	0%
Penín. de Osa	1,962	1,215	26	0.44	62%	1%	0.0%	2%
Pocosol	1,644	171	111	14.80	10%	7%	0.9%	13%
Sixaola	2,310	2,138	44	0.13	93%	2%	0.0%	0%
Tortuguero	1,472	496	86	0.00	34%	6%	0.0%	0%
Tusubres	823	18	320	0.00	2%	39%	0.0%	0%
Zapote	2,451	606	388	62.43	25%	16%	2.5%	16%
Subtotal ^{2/}	16,666	8,019	1,633	56.07	43.3%	12%	0.59%	5%

^{1/} Áreas en Km²

^{2/} Total de las cuencas de estudio

Fuente: Elaborado por Marcos Admasom, CIESA, 2010.

Del anterior cuadro se puede inferir que:

- Siete de las 19 cuencas presentan un área total protegida mayor al 50%. Entre ellas están: Banano, Changuinola, Chirripó, La Estrella, Matina, Península de Osa y Sixaola. Esto es sobresaliente desde el punto de vista de la conservación de los recursos superficiales.
- Existe un pequeño grupo de cuencas que en términos relativos están bien dotadas de acuíferos: Bananito (20%), Esquinas, (30%) La Estrella (24%), Moín (39%) y Tusubres (39%).
- Las cuencas con mayor área protegida de acuíferos protegida son Esquinas, La Estrella y Zapote, con tan solo **1,2%**, **1,9%** y **2,5%** respectivamente. Dichos porcentajes son insignificantes en comparación con el total de área de acuíferos dentro de las cuencas de estudio. A nivel agregado, las cuencas en estudio disponen tan solo con un **0,59%** de acuíferos protegidos respecto al área total del las cuencas.

- Tomando en cuenta todos estos resultados, se puede concluir que las cuencas con mayor área de acuíferos no poseen la mayor protección. Por ejemplo el 39% de área de Tusubres y de Moín es acuífero, pero tan solo el 6% y 2% de sus territorio es área protegidas, y está no cubre ninguna fracción de sus importantes acuíferos.
- Es de esperar que por ejemplo en Changuinola (100%) área protegida y Cureña, existan acuíferos aún por conocer.

En la figura 8.5 se exponen las áreas de acuíferos que se encuentran protegidas en todo el país.

Figura 8.5. Costa Rica: Áreas protegidas de los acuíferos.



Como se ve en este mapa, la protección efectiva, bajo una modalidad de área de conservación, que reciben los acuíferos en todo el país es prácticamente nula. Todo lo anterior, permite concluir que el establecimiento de áreas de protección ha dejado de lado el criterio de conservación de los acervos de acuíferos, y que el resguardo se hizo

considerando tan solo elementos ecosistémicos superficiales. Esta conclusión es alarmante, pues es precisamente el recurso hídrico subterráneo, el que está en interrelación y nutre la flora y fauna superficial. Evidencia también las complejidades analíticas, pues si bien es cierto, se recomienda que la cuenca sea la unidad de análisis, esta se define con criterios geográficos, más que hidrogeolo-gráficos, por lo que los acuíferos intersecan varias cuencas o viceversa.

Las zonas de restricción, se conciben con objeto de regular las perforaciones, con el fin de proteger los acuíferos de su amenaza más importantes, anteriormente actividades productivas, y actualmente los desarrollos de bienes inmuebles y constructoras. Un ejemplo de ello es la zona de restricción que presenta Ramírez (2007, anexo 2), para el caso de zona de restricción para los acuíferos del Valle Central, apunta lo siguiente:

“Restricción de perforación en el Área de Reserva definidas por A y A y el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento, BGS-SENARA (1985). En cuanto a los límites de esta zona, los mismos fueron propuestos por el Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados, actualmente A y A en la Gaceta N°148 del 1° de julio de 1967”

Artículo 2: “El Servicio no autorizará dentro de la reserva que se establece en el Artículo anterior, obras de aprovechamiento de aguas públicas, subterráneas o superficiales, salvo en los casos muy calificados y que las condiciones y limitaciones que la propia Institución determine de conformidad con los fines del presente acuerdo, ...”

Además Ramírez en su anexo 4 expone que: *“Protección Acuífera estará regulada por el Plan de Desarrollo Urbano y sus modificaciones (Gaceta número 119 del 22/06/1982 y Alcance No. 15 a la Gaceta número 66, jueves 7 de abril de 1997).”*

A pesar de la existencia de estas zonas de restricción se han generado episodios y situaciones que han buscado levantar estas restricciones. Cabe decir, que el monitoreo de las actividades ya existentes en esas zonas es limitado, por lo que la existencia de dicha normativa no garantiza el *status quo* de la salud ecosistémica ni la calidad de agua de estos acuíferos.

Bibliografía

Alvarado, M. Juan (2006). Análisis del sistema de respuesta del cuerpo de bomberos de Costa Rica ante la ocurrencia de desastres debidos a fenómenos naturales Trabajo de Graduación.

Arredondo (1994). Aguas subterráneas y fuentes termales. En DENYER, P., KUSSMAUL, S. (eds), 1994: Atlas Geológico Gran Área Metropolitana. Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Arredondo, (1995), Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos costeros, Barranca y el Roble, Puntarenas, Costa Rica. Tesis Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Arredondo, (2003) Estudio de los recursos hídricos en las zonas de Barranca, Chapernal y Miramar. Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento: Área de aguas Subterráneas. San José, Costa Rica.

Dardilo R. Marvin Disponibilidad de recursos hídricos y Evaluación del potencial hidrogeológico del acuífero la Bomba, cuenca del río Banano, Limón, Costa Rica.

EGIRH, (2005). Estrategia para la gestión integrada de recursos hídricos en Costa Rica: Diagnóstico. BID-MINAE-INWAP. Aguilar Enrique, *et al.* San José, Costa Rica.

Losilla, Marcelino y otros (2001). Los Acuíferos Volcánicos y el desarrollo Sostenible en América Latina. Universidad de Costa Rica, San José Costa Rica.

MIVAH Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos y otros (2006). GEO Gran Área Metropolitana del Valle Central de Costa Rica: Perspectivas del Medio ambiente urbano 2006. Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). San José, Costa Rica.

Morera, G. Sigifredo (2000). Determinación de zonas de recarga mediante la utilización de técnicas isotópicas en los acuíferos de Liberia y Bagaces. Costa Rica. Servicio

Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento área de aguas subterráneas. San José, Costa Rica.

Ramírez, Roberto (2007). Recarga Potencial del Acuífero colima y Barva, Valle Central, Costa Rica. Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Advenimiento, San José, Costa Rica.

Ramos, S. Viviana (2005). Estudio Hidrogeológico y Vulnerabilidad del acuífero Moín, Limón, Costa Rica. Tesis de posgrado en Geología, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Plan de abastecimiento de agua Guanacaste y gestión integrada de las aguas Residuales (2008). Plan de Abastecimiento de Agua para Guanacaste “Informe general de los mantos acuíferos en Guanacaste”

Vasquez F. Mauricio (2005). Evaluación del potencial hidrogeológico del acuífero La Bomba, cuenca del río Banano, Limón, Costa Rica. Tesis sometida a consideración de la comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Geología para optar al grado de Magister Scientiae en Geología con énfasis en Manejo de Recursos Hídricos e Hidrogeología. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Universidad Nacional .Proyecto Acuífero Barba.
<http://www.una.ac.cr/hidrologia/proyectos.htm>

9. Demanda de agua en Costa Rica

A continuación, se presenta el consumo histórico y las proyecciones de demanda de agua para Costa Rica y para las cuencas asignadas en este estudio. El consumo de agua estimado es el requerido para las actividades productivas y el consumo de agua humano. El capítulo se divide en 8 secciones:

La primera expone algunas consideraciones sobre las estimaciones de demanda de agua que se realizaron. La segunda describe cual ha sido y pronósticos del comportamiento de la demanda de agua total de país (demanda consuntiva y no consuntiva). La tercera, es similar a la segunda sección, excepto porque la descripción de la demanda de agua se realiza sin tomar en cuenta el sector energía. En la cuarta, se presenta un análisis de la demanda de agua a nivel per cápita. La quinta sección presenta una serie de intensidades económicas hídricas. La sexta expone la demanda de agua total por cada uno de los sectores de uso. La séptima presenta el consumo histórico y proyectado para cada una de las cuencas de estudio. Y la última sección de este capítulo expone el caso de demanda de agua que se extrae de fuente pozos, describe esta demanda a nivel nacional, por los sectores de uso y datos a nivel per cápita.

Estos apartados presentan los productos esperados 2 y 5, y se presentan indicadores (de uso, eficiencia, etc.) con objeto de ir mostrando al lector su utilización, de los cuales serán luego retomados en la sección de propuesta de indicadores. Además, de acuerdo con el producto 8, se analiza la problemática asociada y amenazas que desde la perspectiva de la demanda se muestran como más significativas.

9.1. Consideraciones de fondo de las estimaciones de demanda

Como se indicó, este estudio económico incluye las demandas de agua estimadas que generan las personas y sus actividades socioproductivas asociadas. Es decir, en este caso no se modela las demandas propias para asegurar la sostenibilidad del ecosistema o “caudales ecológicos” mínimos requeridos, ya que este estudio no incorporaba ese componente, y sobrepasaría por tanto el alcance de este trabajo. Además, porque Costa Rica aún no realiza un estudio profundo por cuenca y subcuenca en esa materia.

Es importante recordar que el análisis de estimaciones de demanda se ha modelando con base en información histórica que consolida la información de la base de datos de concesiones del Departamento de Aguas del MINAET, del consumo (volumen) de agua potable *efectivamente* provisto y consumido por el AyA y la ESPH; el consumo (volumen) de agua para riego nacional, este último fue complementado con base en la información del IMTA en su informe de Balance Hídrico Mensual: Oferta y Demanda (2008), y las estimaciones de caudal turbinado, debido a que esta información no fue provista por el ICE.

Por tanto, las demandas que se presentan en estos escenarios (línea base, bajo y alto) tienen como objetivo mostrar a los decisores cuál sería la demanda del país de mantenerse los patrones de uso (consumo) de ese recurso hídrico.

Como se indicó, para el caso de estimados de agua demandada para consumo humano, la información de consumo histórico de agua provista por el AyA y la ESPH se trata del *quantum* efectivamente consumido, y por tanto no incorporan el componente por ineficiencia de distribución el cual según algunos estudios ha sido inferido hasta en un 100% del agua consumida (Cap. 6, EGIRH, 2005).

La especificación detallada del modelo de ecuaciones simultáneas sectorial y de las demandas sectoriales se presenta en el Capítulo 2: Metodología, sección 2.4. A continuación se muestran los resultados principales.

Dos elementos son sustantivos de explicar en este caso:

A diferencia de los estudios previos que intentan estimar demandas de agua, en este caso no se está asumiendo un parámetro o intensidad para *calcularlas* de forma determinística. Los parámetros en este caso se están estimando econométricamente. Ha sido una práctica generalmente aceptada por los hidrólogos, ingenieros e incluso algunos economistas calcular consumos –denominados “demandas” –de agua –por ejemplo véase IMTA (2008); EGIRH (2005), así como los diferentes análisis que utilizan y se re-elaboran a partir de esas informaciones (Astorga, 2009), o estudios de explotación y capacidades de acuíferos o subcuencas o estimaciones de “demandas” puntuales de acueductos (CONCESA, 1999), utilizando parámetros o intensidades presumidas. Las más típicas son: litros/persona, para consumo humano; m³/PIB de un sector para industria; litros/turista para turismo, m³/ha de cultivo irrigado para riego, etc. En esos casos, los estudios de demanda y muchas veces también de oferta, terminan siendo sendas “carpinterías” en hojas electrónicas, las cuales descansan la estimación fundamentalmente sobre esos parámetros asumidos, muchas veces si acaso relegados a indicarse en pies de páginas, lo cual pueden transformarse en “grandes cajas negras de cálculo”.

En esta investigación, no se han presumido esas relaciones para realizar los pronósticos, y por lo tanto no se toman como dados, ni para el consumo humano; agricultura, riego, turismo, etc. *Los mismos son estimados econométricamente con el objeto de contribuir y generar nuevo conocimiento sobre los determinantes de la demanda de agua y que adicionalmente permitan incluso evaluar las presunciones tradicionalmente usadas.*

Aún en el caso de la energía eléctrica, este estudio utilizó el Plan de Expansión del ICE combinado con una regresión econométrica que permite extender el horizonte de planificación al 2030 así como la relación de GWh/hm³ para estimar caudal turbinado. En ese caso, debido a la carencia de información no obtenida de caudales turbinados, el parámetro se estimó con base en los datos históricos nacionales, y no de otros países. Por tanto, la mayoría de demandas de agua en este caso responden a modelos *económicos explicativos*, los cuales pronostican los niveles de consumo requeridos según el nivel de actividad sectorial, medida por el PIB de ese sector, o por una variable real, como la cantidad de turistas.

El segundo, está asociado a la construcción de los escenarios futuros de estimación de demandas:

Lo usual es simplemente asumir metas a las cuales hacer llegar esos parámetros. En la práctica usual esas metas se definen a *priori*, con base en algún parámetro de un país

desarrollado, por ejemplo EGIRH (2005). Sin embargo, desde el punto de vista de la aplicabilidad local, este método es dudoso, ya que detrás del mismo se ocultan los patrones de consumo, conductas, factores educativos, inversión en aprovechamiento hidráulico, dotaciones relativas (ofertas) de agua y por tanto, los mismos dependen enteramente de los excesos relativos de demanda u oferta disponible de agua de esos países de donde provienen.

Por ejemplo, es de esperar que países desarrollados consuman mucho menos agua por persona que países tropicales en desarrollo, como el caso de Costa Rica. El uso de un factor o parámetro externo proveniente de uno de estos países, como meta para proyectar un escenario de un país tropical como Costa Rica puede conducir a un escenario que oculta los patrones de consumo nacionales, que precisamente harían muy difícil lograr esa meta asumida.

En este caso, se ha utilizado escenarios de crecimiento del PIB los cuales en su línea base (4%) refleja la tasa promedio experimentada por la economía costarricense durante más de cuarenta años. En el escenario alto se usa el 5% y en el bajo el 3% de forma sostenida hasta el 2030. De igual forma se han utilizado las proyecciones de población dadas por el INEG y el CCP; la tendencia de crecimiento del turismo nacional y las proyecciones preparadas por el WTI (2008).

Los modelos sectoriales del PIB, a su vez permiten la estimación de las proyecciones de consumo de agua por sector usuario y de esta forma se dispone de un modelo estructurado económico. No se está argumentando que éste es el mejor modelo, simplemente, que desde el punto de la definición de políticas con objeto de mejorar el uso sostenido del recurso hídrico y en los impactos que este tiene sobre la calidad de vida, es necesario profundizar en el componente económico de estimación de demandas e incorporar la modelación económica y estimación econométrica con niveles de significancia estadísticos, del lado de la demanda para lograr algún conocimiento de los fundamentales económicos que explican las demandas de agua con sus particularidades locales, muchas de las cuales son idiosincráticos.

Cuadro 9.1. Costa Rica: Elasticidades ingreso de la demanda de agua sectorial

Aprovechamiento de 24 horas					
Indicador/Sector	Consumo humano per cápita	Turismo ¹	Agricultura	Industria	ComerpiB
n	23	23	23	23	14
R Cuadrado Ajustado	0,980998	0,997809	0,946581	0,904624	0,622200
H-Durbin	0,77054	0,60326	1,284507 ²	-0,61315	-0,88677
Elasticidad de Corto Plazo	1,69806	0,46696	2,87897	0,43731	nd
Elasticidad de Largo Plazo	5,41143	0,69201	nd	2,45524	2,22369
Aprovechamiento 12 horas					
Indicador/Sector	Consumo humano per cápita	Turismo ¹	Agricultura	Industria	ComerpiB
n	23	23	23	23	14
R Cuadrado Ajustado	0,979977	0,997811	0,947939	0,902536	0,622240
H Durbin	0,71848	0,59331	1,328756 ²	-0,65482	-0,88701
Elasticidad de Corto Plazo	1,67309	0,46614	2,87463	0,400650	nd
Elasticidad de Largo Plazo	5,62084	0,69137	nd	2,41143	2,21679

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA, para IMN-MINAET-PNUD, 2009.

^{1/} Es la elasticidad de la demanda de agua del sector turismo ante el número de turistas.

^{2/} Corresponde al estadístico d de Durbin-Watson.

Por tanto, a partir de estas proyecciones es posible inferir –y no asumir- las intensidades resultantes pronosticadas, así como obtener las intensidades simplemente utilizando la información organizada por cuenca. *En sí mismas representan un significativo hallazgo de esta investigación, el cual mostrará las diferencias entre las relaciones de consumo de agua/actividad productivo o consumo humano por persona, etc. entre las cuencas, y que al relacionarlos con los pronósticos, por ejemplo, de población por cuenca, permiten visibilizar importantes diferencias en los patrones de consumo entre las estas, las cuales son sustantivos para el análisis y la GIRH.*

En cuanto a la respuesta de la demanda de agua al crecimiento de la producción sectorial - elasticidad ingreso ó PIB sectorial- de para ambos regímenes, se encontró que (cuadro 9.1.):

El consumo humano per cápita es relativamente elástico respecto al PIB per cápita nacional. Es decir, cuando el PIB per cápita aumenta en 1% el consumo per cápita de agua para consumo humano del país se incrementa en 1.7% en el corto plazo, lo cual ya es un incremento bastante significativo.

Sin embargo, en el largo plazo, un incremento de un 1% del PIB per cápita nacional se traduce en un incremento del orden del 5.4% al 5.6% según sea el aprovechamiento de 12 o 24 horas, respectivamente. *Este hallazgo refleja un patrón de consumo humano per cápita de agua en Costa Rica que escala de manera trepidante y por tanto representa una importante amenaza para las sostenibilidad del recurso. Lo cual se agrava si se acepta que la ineficiencia por distribución (fugas) puede llegar al 100% del consumo humano (EGIRH).*

Bajo ese patrón actual de consumo humano del agua, en el escenario base de crecimiento del PIB (4%) y la trayectoria de población, el PIB per cápita en términos reales (US\$ 2005), crecerá un 80% del 2010 al 2030 (de poco más de \$5, 500 a casi los \$10,000), , y considerando esa elevada elasticidad ingreso del consumo humano, estimulará un crecimiento en la demanda per cápita del agua del 442% respecto a los niveles del 2010. Esto fundamentalmente no se debe a un importante crecimiento de la población, la cual más está relativamente estancada; sino más bien al crecimiento en el *ingreso per cápita* resultado del crecimiento en el poder adquisitivo real de la población.

Por otro lado, la agricultura se muestra relativamente elástica respecto a la producción agrícola en el corto plazo (2.8%). Es de esperar que la elasticidad de largo plazo sea mucho mayor, debido a que la mayoría de procesos de uso de agua en ese sector son extensivos (riego por gravedad, y desvíos de agua mucho más que procesos tecnológicos de irrigación controlada -EGIRH, 2005-).

Debe llamar la atención, en particular los procesos agropecuarios fuertemente ligados a procesos de exportación, a través de plantaciones, las cuales además en algunos casos, como piñeras, helechos, bananeras, y otros, han generado discusión sobre las posibilidades de contaminación del recurso hídrico. Sin embargo, para lograr apuntar en ese sentido se requieren estudios específicos a nivel de estimaciones de demanda por

actividad productiva por subcuenca, y análisis de las tecnologías productivas que se utilizan, y análisis de aguas.¹

La demanda de agua del sector industrial se presenta relativamente inelástica respecto a su producción en el corto plazo pero relativamente elástica en el largo plazo (2.4%), probablemente debido a que en el corto plazo es difícil para el sector industrial modificar su tecnología productiva (acervo de capital). Sin embargo, resulta paradójico que en largo plazo refleje una tendencia que apunta a un crecimiento proporcionalmente mayor en la demanda de agua por unidad de producción. Una posible explicación que amerita una revisión, es el creciente aporte de la agroindustria nacional en los mercados de exportación, los cuales en sus plantas de proceso requieren importantes flujos de agua. Este aspecto podría estar asociado con las elasticidades del sector agrícola.

La demanda de agua de la actividad comercial se presenta como relativamente elástica respecto a su producción. Es importante considerar que una importante cantidad de establecimientos turísticos son clasificados dentro del sector comercial, y cabe esperar que alguna fracción de esta demanda se explique también por la actividad turística.

El Turismo a su vez evidencia una relativa inelasticidad respecto a su producción la cual podría explicarse por lo expuesto anteriormente respecto a la inclusión de demanda para ese fin en el sector comercial, particularmente en las cuencas intensivas en turismo y a diferentes esfuerzos de certificación de turismo bajo prácticas de sostenibilidad ambiental (turismo sostenible del ICT, cadenas de hoteles bajo sellos internacionales, etc.).

9.2. Demanda total de agua incluido el sector energía: histórico y proyecciones

Como se indicó, con base en la información de la demanda histórica se efectuó una modelación econométrica para estimar la demanda de agua total (consuntiva y no consuntiva) para Costa Rica al 2030. Utilizando esa modelación se pronostica la demanda para tres escenarios económicos, según el nivel del Producto Interno Bruto (PIB, en dólares constantes), PIB sectorial, población, etc. En el escenario de crecimiento bajo el PIB crece al 3%; 4% en el base y 5% en el escenario alto.

Lo anterior permite analizar la respuesta de la demanda de agua de Costa Rica al nivel de actividad económica medida por el PIB. La estimación se realizó tanto para un aprovechamiento de 12 horas como de 24 horas, lo cual afecta fundamentalmente solo la información proveniente de la base de datos de concesiones del MINAET, debido a que la información adicional, como ya se indicó fue provista por las instituciones como *volumen efectivamente* consumido de agua.

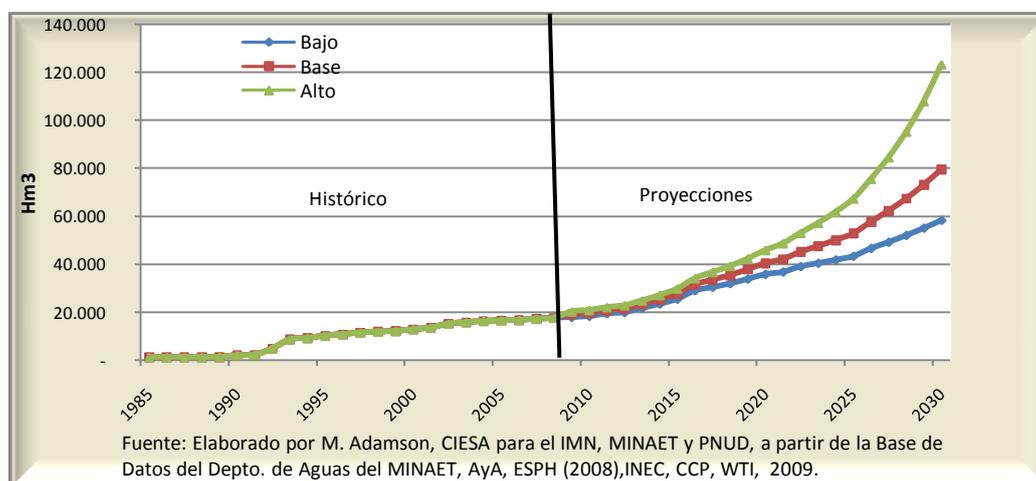
¹ El Documento de Resumen Ejecutivo de la EGIRH (2005) también menciona la importancia del desarrollo de estos estudios en su eje de modernización del marco instrumental y en el de fortalecimiento institucional también está incluido.

Cuadro 9.2. Costa Rica: Demanda Total de Agua Histórica y Proyectada, en hm³ (régimen de aprovechamiento de 12 horas)

	Año	Histórico	Bajo	Base	Alto
Histórica	1995	10.330			
	2005	16.617			
Proyectada	2010		18.414	19.662	20.909
	2020		35.871	40.440	45.884
	2021		36.833	42.126	48.703
	2030		58.362	79.552	123.255
Tasa promedio de crecimiento	1995-2000	5,72%			
	2001-2010		3,65%	4,34%	5,02%
	2011-2020		6,93%	7,51%	8,21%
	2021-2030		5,00%	7,01%	10,42%

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD, a partir de la Base de Datos del Dpto. de Aguas del MINAET (2008), AyA, ESPH, INEC, CCP, WTI; 2009.

Gráfico 9.1. Costa Rica: Histórico y Proyecciones demanda total (consuntivo y no consuntivo) de agua, en hm³. Régimen de aprovechamiento de 12 horas.



Bajo un aprovechamiento de 12 horas, la información histórica muestra que en 1995 Costa Rica utilizó (consumió) en total poco más de 10 mil hm³ para desarrollar sus actividades socioeconómicas. Tan solo una década después, la demanda total (consuntiva y no consuntiva) de agua se incrementó un 61% (cuadro 9.2 y gráfico 9.1, detalles anuales se muestran en el cuadro 9.1.1 A del anexo digital 9.1.A.).

Tomando en cuenta que el último dato histórico (2008) fue de alrededor de 18 mil hm³, bajo el escenario base (“*business as usual*”), los modelos estimados con elevados niveles de significancia estadística (véase Cap. 2 de metodología), pronostican que para el 2020 que ese consumo se habrá más que duplicado, ubicándose la demanda total de agua de Costa Rica por encima de los 40 mil hm³.

En ese mismo escenario, tan solo diez años después (2030), de continuarse con el patrón de uso actual de recurso hídrico, se proyecta que el consumo de agua de Costa Rica prácticamente se duplicaría de nuevo, ubicándose cerca de los 80 mil hm³. Es decir, si se compara con el consumo de 1995 para el 2030 la estimación de demanda de agua de Costa Rica se habrá ***casi multiplicado ocho veces***. Si se compara con la demanda esperada para el 2010, ***se cuadruplicaría***.

¿Qué sucede cuando el PIB crece al 5% (escenario alto) y la población sigue la trayectoria base?

Las estimaciones indican que para el 2020 la demanda total de agua se habría multiplicado 4 veces aproximadamente, respecto al consumo de 1995. Sin embargo, en este escenario de crecimiento alto (5%), **la demanda total de agua de Costa Rica para el 2030 multiplicaría por poco más de seis veces la demanda del 2010, y no por cuatro como en el escenario base.**

Algunas relaciones importantes que se encontraron son:

Las tasas de crecimiento (cuadro 9.2) muestran la profundidad del impacto que ejerce el crecimiento económico sostenido en el PIB sobre la demanda nacional total de agua (según escenario):

La demanda total de agua, muestra una tendencia de crecimiento promedio anual histórica del 6%.

Para el periodo 2011-2020 en el escenario base el PIB, crece al 4%; pero la demanda total de agua resultante crecería a un ritmo del 7.5% anual, la cual se ubica en 7% durante el 2021-2030.

La situación se agrava si el crecimiento sostenido del PIB es del 5% (escenario alto): en el periodo 2020-2030 la demanda total de agua crecería a la alarmante tasa del 10.4% anual.²

Aún en el escenario de bajo crecimiento económico (3%) la demanda total de agua crecería al 5% anual, la cual es ya de por sí una alta tasa de crecimiento.

En resumen la demanda agregada de agua de Costa Rica muestra una elevada tasa de crecimiento, la cual se asocia a una importante sensibilidad al crecimiento de la actividad económica (PIB). *Esa problemática refleja importantes problemas y amenazas (retos) para la GIRH con miras a satisfacer las demandas futuras de agua.* Se encuentran dos grandes conjuntos de explicaciones de fondo:

- El primero es que el agua es un insumo indispensable en la actividad productiva: (riego, agro en general, industria, comercio, turismo, caudal turbinado demandado para la producción de energía, piscicultura, etc.). En vista de que Costa Rica es un país con una estructura productiva relativamente abierta a la exportación (de bienes y también de servicios *in situ* como el turismo), conforme la producción nacional (PIB) ha crecido, la demanda de agua requerida como insumo ha mostrado crecer más rápidamente. De continuarse con este patrón, las proyecciones alertan con crecimientos en demanda muy importantes. Esto se asocia a la tecnología utilizada en las actividades productivas y prácticas de aprovechamiento del recurso hídrico (esquemas de riego por gravedad, carencia de control y medición sobre concesiones, tecnologías productivas extensivas en agua obsoletas en la industria nacional en general, etc.).

² Si se compara con otras tendencias de crecimiento espectacular, esta supera aún incluso la mostrada por la flotilla vehicular (8%) en periodos de auge (véase Adamson, M. 2008).

- El segundo conjunto de razones se relaciona con que conforme crece el PIB per cápita, el consumo humano de agua potable per cápita históricamente ha crecido más que proporcionalmente en Costa Rica como ya se explicó anteriormente. De nuevo, de mantenerse estos patrones de consumo de agua, se encuentra una “urbanización del consumo total de agua per cápita”. Los patrones de consumo de agua, tanto de las cuencas centrales, como la del Tárcoles; así como en las que antaño fueron rurales y ahora pueden incluso ser más cosmopolitas que las cuencas centrales, resultado de un acelerado turismo y de la Inversión Extranjera Directa (IED), a través de construcción de complejos habitacionales para el mercado de pensionados y rentistas, como en la cuenca de Península de Nicoya, están mostrando relaciones de consumo de agua potable por persona que crecen a velocidades vertiginosas.
- Todo indica que ante un mayor poder adquisitivo, y la intensificación de las actividades económicas, que el consumo de agua per cápita se comporta como un *bien superior*, el cual responde mucho más que proporcionalmente al crecimiento de ingreso per cápita. La explicación para ese comportamiento está asociado a que más personas acceden a viviendas con más baños, tinas, jacuzzis, piscinas, cuartos con lavadoras mecanizadas, irrigación de zonas verdes urbanas con agua potable, lavado de vehículos con agua potable sin seguir prácticas de uso racional, entre otros. Estos comportamiento, más característicos de las urbes donde el precio relativo del agua no racionaliza el uso del agua, pareciera se están generalizado hacia otras cuencas. Mientras el ingreso per cápita creció en promedio anual durante el 2000-8 un 3% el consumo humano per cápita lo hizo en por encima del 8% (cuadro 9.3).

Cuadro 9.3. Costa Rica: Consumo humano per cápita (Consumo Humano m³/habitante) y PIB per cápita (dólares constantes/habitante).

	Año	PIB	Regimen de 12 horas	Régimen de 24 horas
Histórica	2000	4.189	107	142
	2005	4.714	104	164
	2008	5.448	107	172
Tasas de crecimiento promedio anual	2000-2008	2,95%	8,23%	8,76%

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD, a partir de la Base de Datos del Dpto. de Aguas del MINAET (2008), AyA, ESPH, INEC, CCP, 2009.

Los resultados para un aprovechamiento de 24 horas, no varían significativamente respecto a los anteriores, estos se muestran en el cuadro 9.4 (detalles anuales en cuadro 9.1.2 A anexo digital 9.1.A.), debido a que como se explicó una importante cantidad de datos del consumo utilizados en la modelación de proyecciones incluía el volumen efectivamente consumido (m³). Como ya se señaló, el consumo, en la mayoría de los sectores no fue estimado con base en parámetros indirectos,³ sino con base en de fuentes

³ Por ejemplo la EGIRH (2005) en sus proyecciones de agua utiliza para estimar el consumo humano supone una intensidad de consumo de 250 litros/persona de igual forma asume un parámetro de m³/ \$1000 de PIB industrial, en el caso de riego, asume una relación de m³/hectárea y en el de hidroelectricidad supone un parámetro de m³/kwh. En ese caso, los parámetros supuestos fueron sensibilizados para obtener varios escenarios.

primarias de volumen como dato real registrado, o de estudios que utilizaron fuentes primarias, como el caso del estudio del IMTA (2008). En este caso, las proyecciones indican que la demanda total (consuntiva y no consuntiva) de agua de Costa Rica al 2030, *sería un 17% mayor en el escenario base; y un 24% en el escenario alto respecto al aprovechamiento de 12 horas*. Como es de esperar, las tasas de crecimiento aumentan cerca de 1%.

Cuadro 9.4. Costa Rica: Demanda total (consuntiva y no consuntiva) de agua (histórico y proyecciones, aprovechamiento de 24 horas, hm³).

	Año	Histórico	Bajo	Base	Alto
Histórica	1995	10.376			
	2005	17.185			
Proyectada	2010		19.290	20.411	21.667
	2020		38.180	43.569	50.278
	2021		39.385	45.735	53.991
	2030		64.671	92.819	152.501
Tasa promedio de crecimiento	1995-2000	6,08%			
	2001-2010		3,89%	4,49%	5,15%
	2011-2020		7,10%	7,91%	8,81%
	2021-2030		5,42%	7,87%	11,77%

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD, a partir de la Base de Datos del Dpto. de Aguas del MINAET (2008), AyA, ESPH, INEC, CCP, WTI; 2009.

Al comparar estos resultados con los obtenidos por otros estudios que han seguido métodos indirectos de estimación, se encuentra que los resultados para los consumos totales históricos son bastante similares. Por ejemplo, la EGIRH (2005) estimó para el 2003 un consumo total nacional de agua (consuntivo y no consuntivo) de 22.3 Km³, lo cual está ligeramente por encima del dato de 16 km³ que se obtiene a través de este estudio (aprovechamiento de 12 horas), y más bien aparece como relativamente conservador el estimado de demanda total de agua obtenido en este estudio.

9.3. Demanda total de agua excluido el sector de energía: histórico y proyecciones

Como parte del análisis se decidió analizar el comportamiento que tiene la demanda de agua sin el sector energía. La mayoría del agua utilizada en la producción de hidroenergía puede ser reutilizada (consumo de agua no consuntivo) por la población una vez retornada. Esto se denomina un uso no consuntivo.⁴ Es tema delicado, porque si se desea conocer el agua que se requiere en total, la demanda no consuntiva debe considerarse, ya que efectivamente se requiere que esté 100% disponible cuando vaya a realizarse la hidrogenación.⁵

En este sentido, también se estima la demanda consuntiva con objeto de conocer el agua que efectivamente se consume. Los cuadros 9.5 y 9.6 muestran estos resultados (el anexo digital 9.1.A presenta el detalle anual).

⁴ En la escala de valores económicos existen valores de uso y valores de no uso. Dentro de la primera categoría, se subdividen en consuntivos y no consuntivos. En el segundo grupo se encuentran los de opción, legado y existencia. Cuando el balance hídrico es total (superficial y subterráneo) una fracción mayoritaria del riego por gravedad se considera no consuntivo. (Adamson, M. 1994).

⁵ En este caso, no se considera no consuntivo porque se trata de un balance de escorrentía superficial anual, y la mayoría de riego, como el caso del DRAFT se realiza por canal y por gravedad.

Cuadro 9.5. Costa Rica: Demanda de agua sin sector energía histórica y proyectada (régimen de aprovechamiento de 12 horas, hm³)

	Año	Histórico	Bajo	Base	Alto
	1995	314			
	2005	2.924			
Proyectada	2010		4.169	4.193	4.218
	2020		9.375	11.756	15.012
	2021		10.182	13.180	17.462
	2030		21.772	39.915	80.571
Tasas de crecimiento promedio	1995-2000	61,13%			
	2001-2010		9,52%	9,58%	9,64%
	2011-2020		8,44%	10,86%	13,55%
	2021-2030		8,79%	13,00%	18,30%

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD, a partir de la Base de Datos del Dpto. de Aguas del MINAET (2008), AyA, ESPH, INEC, CCP, WTI; 2009.

Cuadro 9.6. Costa Rica: Demanda de agua sin sector energía histórica y proyectada (aprovechamiento de 24 horas, hm³)

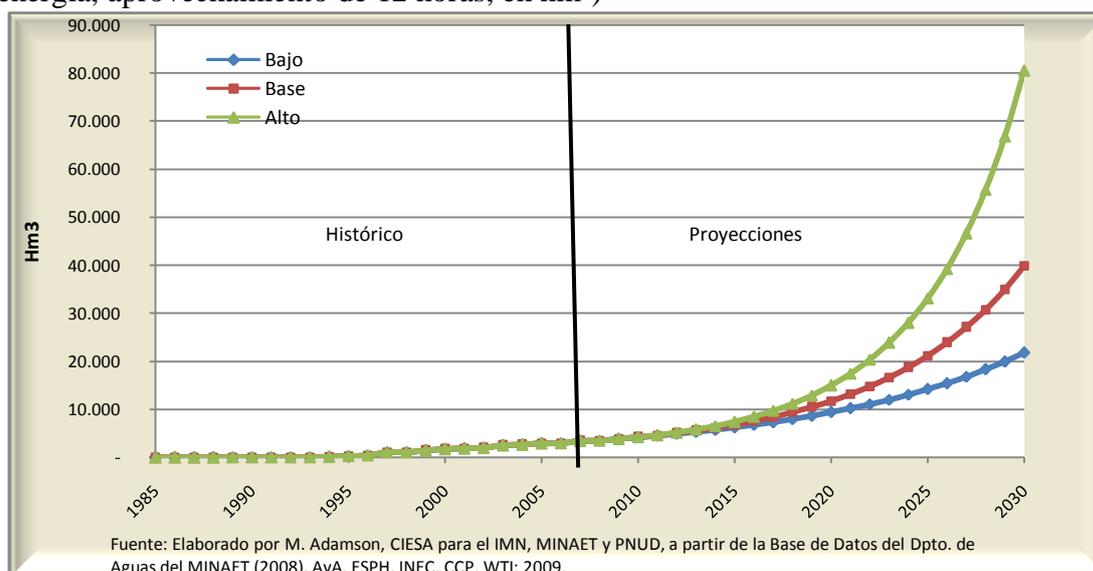
	Año	Histórico	Bajo	Base	Alto
Histórica	1995	360			
	2005	3.492			
Proyectada	2010		5.045	4.943	4.976
	2020		11.684	14.884	19.406
	2021		12.733	16.789	22.750
	2030		28.081	53.182	109.817
Tasas de crecimiento promedio	1995-2000	59,69%			
	2001-2010		9,81%	9,57%	9,65%
	2011-2020		8,76%	11,66%	14,59%
	2021-2030		9,17%	13,58%	18,93%

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD, a partir de la Base de Datos del Dpto. de Aguas del MINAET (2008), AyA, ESPH, INEC, CCP, WTI; 2009.

La demanda total consuntiva de agua en el 2010 se ubicaría cerca de los 5 Km³ para el 2010; 15 Km³ para el 2020 y 53 Km³ para el 2030 (en un régimen de aprovechamiento de 12 horas). Si se comparan las tasas de crecimiento de la demanda de agua presentada en los anteriores cuadros con las de la demanda total de agua, se encuentra que, las demandas consuntivas de agua de Costa Rica crecen a una significativa mayor velocidad que la demanda no consuntiva.

Al excluir el sector energía la tendencia de crecimiento de la demanda se suaviza. Es decir, no aparecen las fluctuaciones en las trayectorias temporales de demanda, lo cual se explica por la demanda escalonada de agua para caudal por turbinar que genera el Plan de Expansión de energía del ICE, el cual muestra inversiones que generan capacidades instaladas, y por tanto demandas, escalonados en el tiempo.

Gráfico 9.2. Costa Rica: Histórico y proyecciones de demanda de agua consuntiva (sin energía, aprovechamiento de 12 horas, en hm³)



9.4. Consumo total per cápita de agua (consuntivo y no consuntivo)

El consumo de agua total per cápita de Costa Rica, ofrece un dato sobre la cantidad de agua que en promedio por habitante fue utilizada en el desarrollo de todas las actividades socioeconómicas del país. Es por tanto, un indicador, si bien imperfecto, que muestra la demanda total de agua que se necesita esté disponible en promedio por habitante, para el desarrollo de toda la dinámica nacional socio-productiva, dadas sus prácticas de consumo humano, infraestructura y tecnologías coadyuvantes de uso productivo del agua.

Los datos históricos develan la problemática de un desbocado crecimiento en el *consumo total de agua per cápita de Costa Rica* (ver cuadro 9.7 y gráficos 9.3 y 9.4):

- Basándose en el régimen de aprovechamiento de 12 horas con energía, para 1990 el país requirió un total de agua por encima de 706 m³/persona. Cifra que casi se *quintuplicó* para el 2000 (3.321,08 m³/persona). Los modelos estiman que esa cifra se ubicará en 4.348 m³/persona en el 2010. ***Es decir el consumo total (consuntivo y no consuntivo) per cápita se habría multiplicado casi 6 veces en tan solo dos décadas a partir de 1990.***
- Los pronósticos de los modelos bajo un *aprovechamiento de 12 horas con energía*, en el escenario base, es decir, manteniendo esa tendencia histórica, confirman el llamado de amenaza que, sobre la sostenibilidad del recurso hídrico y continuidad de provisión de agua, imponen los desbordados patrones y niveles de *consumo total* por habitante: de prevalecer esos patrones de consumo de agua en Costa Rica, ***para el 2030 el consumo total per cápita de agua de Costa Rica será poco más de cuatro veces el del 2010***, ubicándose cerca de los, 14 mil m³/persona.

- En el escenario alto, esa cifra se habrá casi quintuplicado (respecto al 2010) ubicándose en poco más de 22 mil m³/persona.
- En escenario de crecimiento pesimista (3% anual), se ubicaría en 10,6 mil m³/persona, lo que implicaría poco más de dos veces y media el consumo estimado para el 2010.
- En el escenario base, bajo un aprovechamiento de 24 horas, para el 2030 el consumo total per cápita sería un **13% mayor** que en régimen de aprovechamiento de 12 horas.

A pesar de que poco más del 80% del agua total utilizada históricamente representa caudal turbinado, y por tanto es un uso *no consuntivo*, como ya se indicó, para lograr generar la energía demandada por el sistema socioeconómico nacional, es crítico que esa agua *esté efectivamente disponible* en los ríos para ese propósito. No existe ninguna razón a priori que asegure que así vaya efectivamente a suceder, y por esa razón debe estimarse ese consumo y considerarse como prioritario la GIRH que posibilite esa provisión, como apunta el resumen de la EGIRH (2005) en su eje de soporte al desarrollo económico, el bienestar social y la armonía con el ambiente.

Cuadro 9.7. Costa Rica: Demanda total per cápita de agua (m³/hab.) y PIB per cápita (USD constantes del 2005/hab.) histórica y proyectada (incluido sector energía, aprovechamiento de 12 horas).

	Año	Histórico		Bajo		Base		Alto	
		PIBperc	Dem_perc	PIBperc	Dem_perc	PIBperc	Dem_perc	PIBperc	Dem_perc
Histórica	1995	3.715	2.996						
	2005	4.189	3.321						
Proyectada	2010			5.637	4.072	5.747	4.348	5.858	4.624
	2020			6.796	7.116	7.631	8.022	8.560	9.102
	2021			6.928	7.232	7.855	8.271	8.896	9.562
	2030			8.344	10.578	10.320	14.419	12.739	22.339
Tasa de crecimiento promedio	1995-2000	2,24%	3,14%						
	2001-2010			3,04%	2,10%	3,24%	2,77%	3,43%	3,45%
	2011-2020			1,89%	5,78%	2,88%	6,35%	3,87%	7,04%
	2021-2030			2,07%	4,06%	3,07%	6,05%	4,06%	9,43%

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD, a partir de la Base de Datos del Dpto. de Aguas del MINAET (2008), AyA, ESPH, INEC, CCP, WTI; 2009.

Gráfico 9.3. Costa Rica: Consumo total per cápita histórico y proyectado (aprovechamiento de 12 horas, en m³)

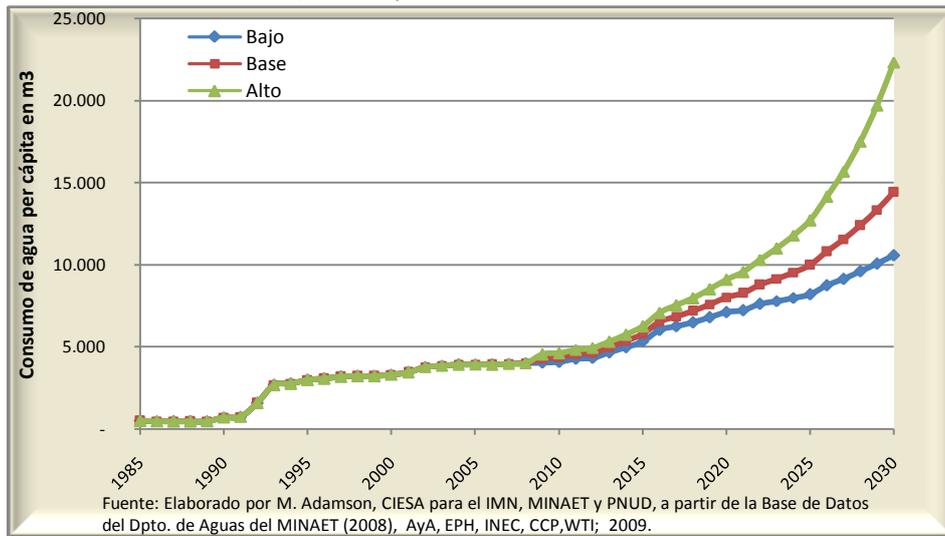
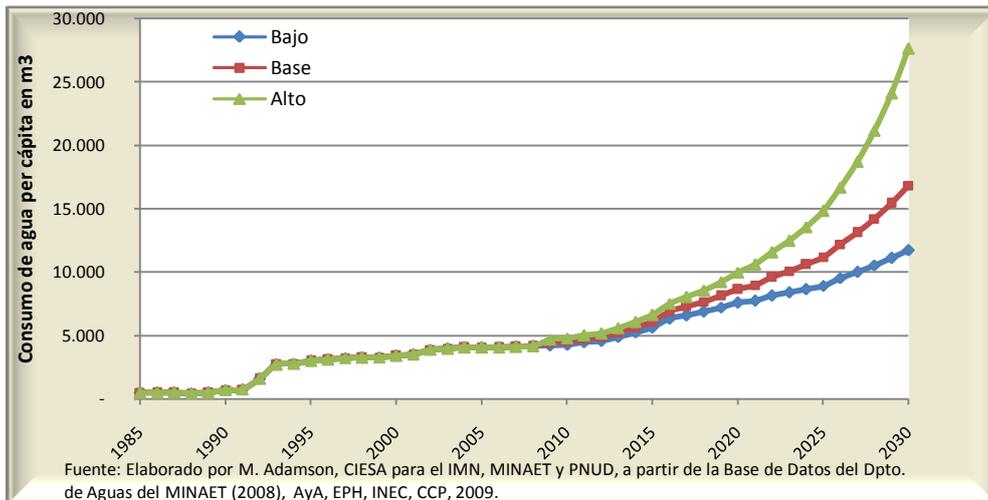


Gráfico 9.4. Costa Rica: Consumo total per cápita histórico y proyectado (aprovechamiento de 24 horas, en m³)



Las demandas per cápita de agua sin incluir el sector energía (aprovechamiento de 12 horas) se presentan en el cuadro 9.8 por escenario.

Cuadro 9.8. Costa Rica: Demanda total per cápita de agua (m³/hab.) y PIB per cápita (USD constantes del 2005/hab.) histórica y proyectada (excluido sector energía, aprovechamiento de 12 horas).

	Año	Histórico		Bajo		Base		Alto	
		PIBperc	Demanperc	PIBperc	Demanperc	PIBperc	Demanperc	PIBperc	Demanperc
Histórica	1995	3.715	91						
	2005	4.189	693						
Proyectada	2010			5.637	922	5.747	927	5.858	933
	2020			6.796	1.999	7.631	2.588	8.560	3.428
	2021			6.928	2.150	7.855	2.877	8.896	3.962
	2030			8.344	3.946	10.320	7.235	12.739	14.603
Tasas de crecimiento	1995-2000	2,24%	57,13%						
	2001-2010			3,04%	7,88%	3,24%	7,94%	3,43%	8,00%
	2011-2020			1,89%	7,27%	2,88%	9,66%	3,87%	12,32%
	2021-2030			2,07%	7,81%	3,07%	11,99%	4,06%	17,24%

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD, a partir de la Base de Datos del Dpto. de Aguas del MINAET (2008), AyA, ESPH, INEC, CCP, WTI; 2009.

Como es de esperar los niveles de demanda per cápita son sustantivamente menores para todos los años y escenarios. Para 1995, según los registros existentes, el país tan solo demandó 91 m³/persona (aprovechamiento de 12 horas) para usos diferentes al energético. Esta demanda per cápita se multiplicó casi siete veces, llegando a 693 m³/persona para el 2000. La demanda per cápita sin energía creció más rápido que la demanda per cápita con energía. Par el año 2010 se puede esperar una demanda total consuntiva 10 veces mayor (922 m³/persona) que la de 1995, este crecimiento continuará siendo más acelerado que la demanda total per cápita total (consuntiva más no consuntiva).

Lo anterior, evidencia la problemática de un patrón creciente de consumo humano y de otros sectores como el comercio. Durante el periodo 1995-2005, la demanda per cápita consuntiva creció en promedio anual poco menos de un 60%. Esa tasa de crecimiento son menores al 12% en el escenario base al 2030; pero sin embargo, siguen siendo considerablemente altas, por encima del 7% mientras que el PIB per cápita apenas si crece por encima del 1.8% y menos del 3% en el escenario alto. La trayectoria completa de la demanda per cápita para cada uno de los escenarios se muestra en los siguientes gráficos.

Gráfico 9.5. Costa Rica: Consumo total per cápita histórico y proyectado, en m³ (excluyendo sector energía). Aprovechamiento de 12 horas.

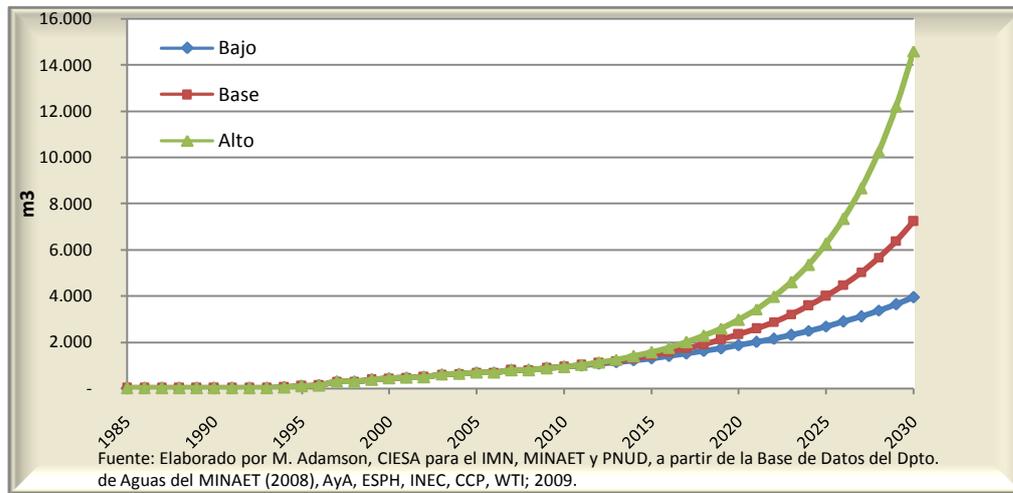
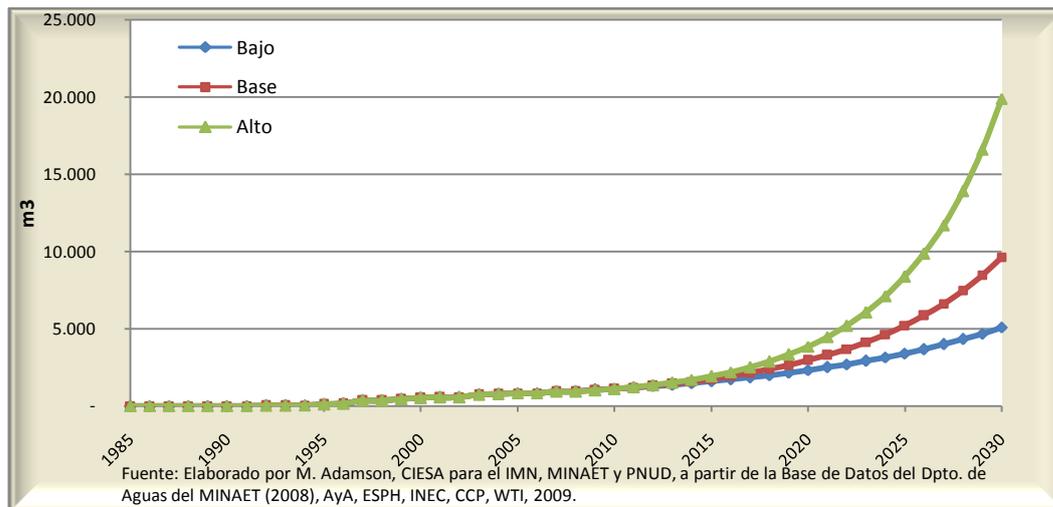


Gráfico 9.6. Costa Rica: Consumo total per cápita histórico y proyectado, en m³ (excluyendo sector energía). Aprovechamiento de 24 horas.



Al igual que en el caso de la demanda total, en vista de que la demanda de agua por energía está determinada por el Plan de Expansión (ICE), la demanda consuntiva per cápita muestra una trayectoria más suavizada, debido a la exclusión de esta primera (la serie de datos per cápita anuales de la sección anterior se pueden ver en el cuadro 9.2.1 del anexo digital 9.2 A).

9.5. Intensidades económicas hídricas

Este acápite presenta un análisis sobre algunas intensidades económicas hídricas relevantes para el análisis de problemática y amenazas.

9.5.a. Consumo per cápita vs PIB per cápita

Como se indicó, el análisis de problemática y las proyecciones muestran que el consumo total, consuntivo y no consuntivo de agua per cápita de Costa Rica crecerá a una velocidad promedio anual del 7% a partir del 2010-2030, la cual duplica la tasa de crecimiento del PIB per cápita (véase gráficos 9.7 y 9.8).

Gráfico 9.7. Costa Rica: Consumo de agua (m^3 /habitante, aprovechamiento de 12 horas) y PIB per cápita (USD constantes del 2005/habitante). Escenario base.

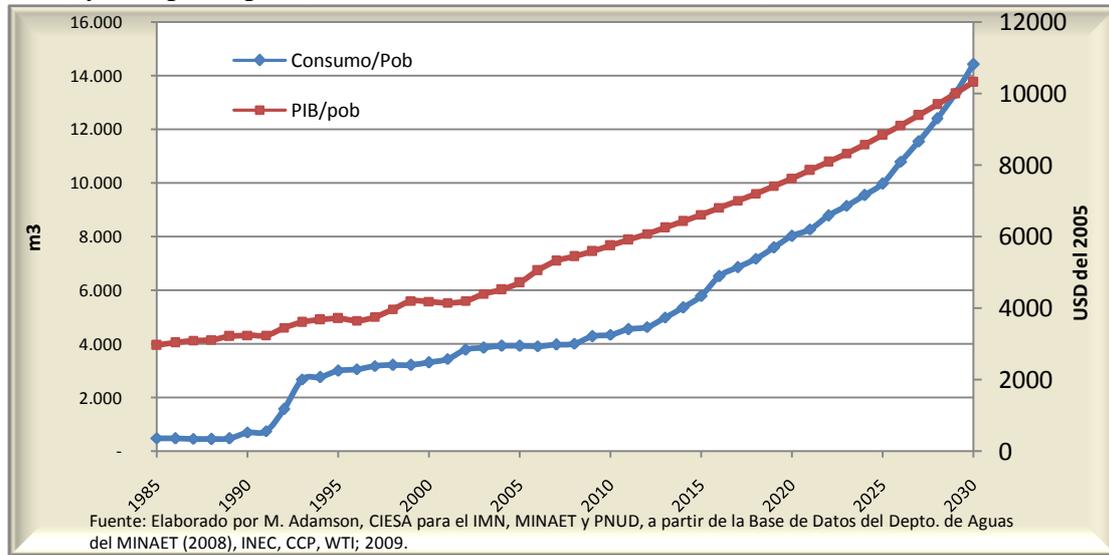
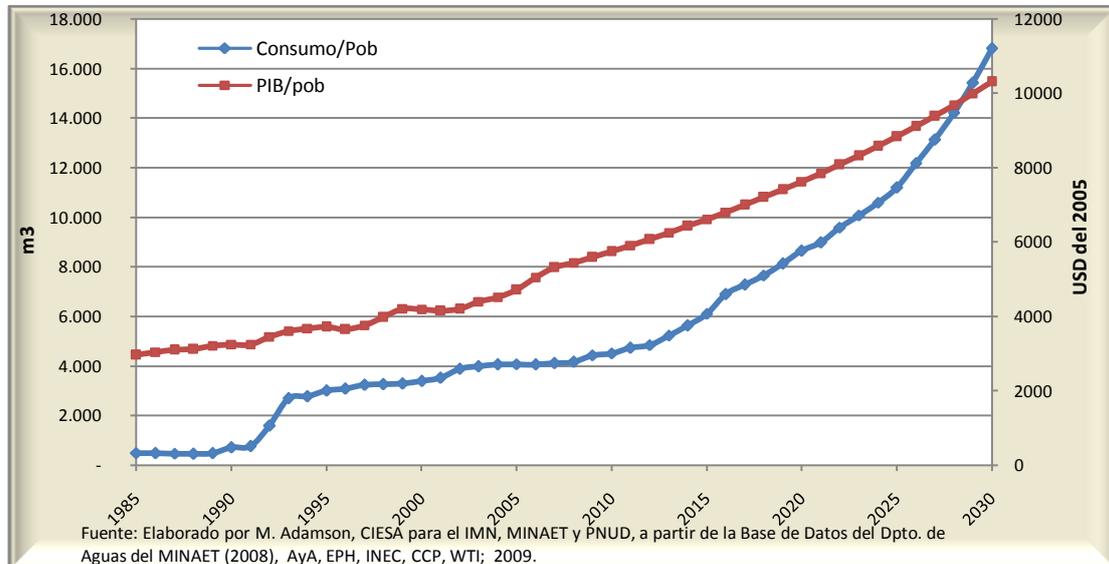


Gráfico 9.8. Costa Rica: Consumo total de agua per cápita (m^3 /habitante, aprovechamiento de 24 horas) y PIB per cápita (USD constantes del 2005/habitante). Escenario base.



Por su parte, cuando se excluye el sector energía, la tasa de crecimiento el consumo per cápita de agua consuntivo (sin sector energía) es mucho mayor a la del crecimiento del PIB per cápita (véase los gráficos 9.9 y 9.10).

Gráfico 9.9. Costa Rica: Consumo total de agua per cápita sin energía (m³/habitante, aprovechamiento de 12 horas) y PIB per cápita (USD constantes de 2005/habitante). Escenario Base.

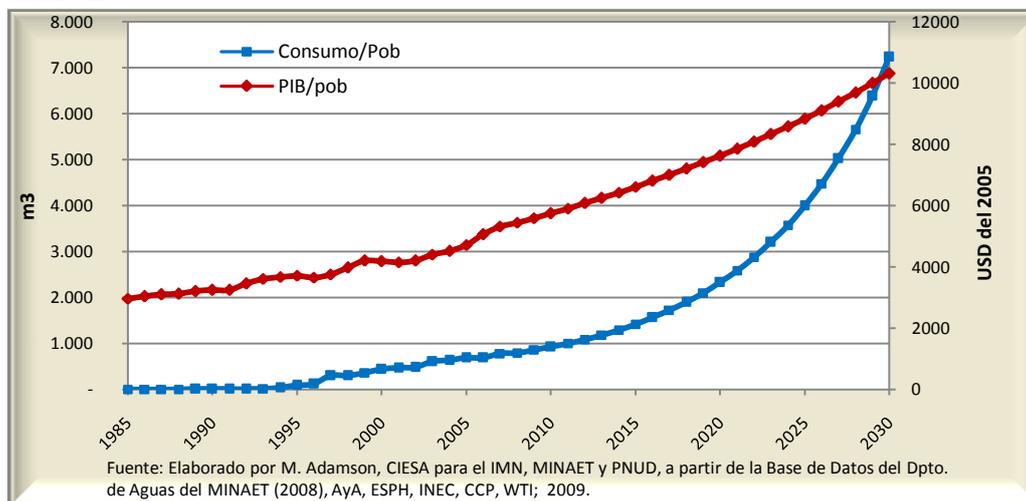
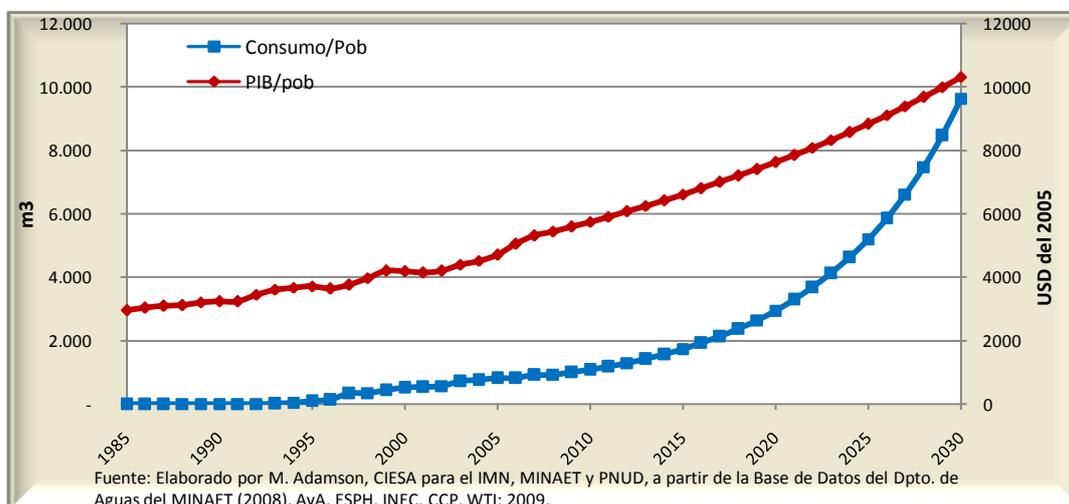


Gráfico 9.10. Costa Rica: Consumo total de agua per cápita sin energía (m³/habitante, aprovechamiento de 24 horas) y PIB per cápita (USD constantes de 2005/habitante). Escenario base.



9.5.b. Consumo de agua/PIB total

Por otro lado, la razón del consumo total de agua a PIB real (gráficos 9.11 y 9.12), ofrece una intensidad que permite analizar la eficiencia total del uso total del agua por unidad de producción agregada nacional. Entre mayor sea esa cifra indica que el país disminuye la eficiencia del uso de agua por unidad (millón de dólares constantes) de PIB generado. En este caso, esa relación se presenta en hm³/millón PIB real (USD del

2005) para cada uno de los 3 escenarios, y para los regímenes de aprovechamiento de 12 y 24 horas.

Gráfico 9.11. Costa Rica: Consumo total de agua (hm³) por millón de PIB (millones de USD del 2005). Régimen de aprovechamiento 12 horas.

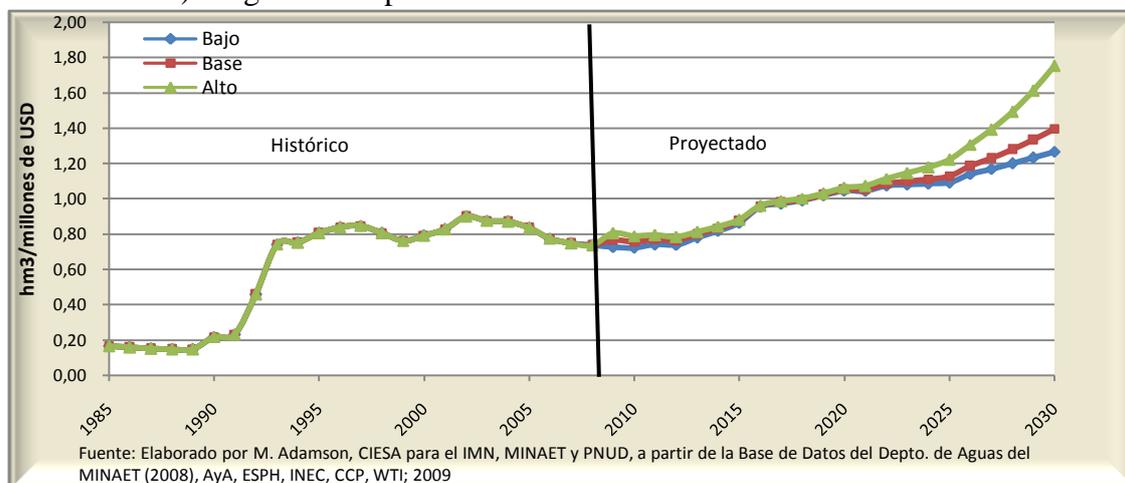
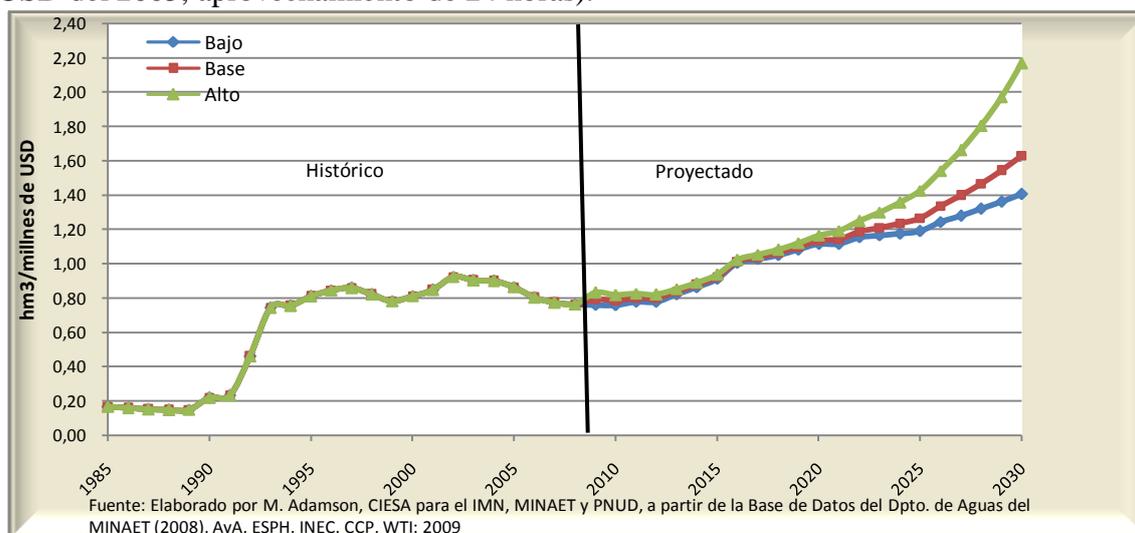


Gráfico 9.12. Costa Rica: Relación del consumo total de agua a PIB (hm³/millones de USD del 2005, aprovechamiento de 24 horas).



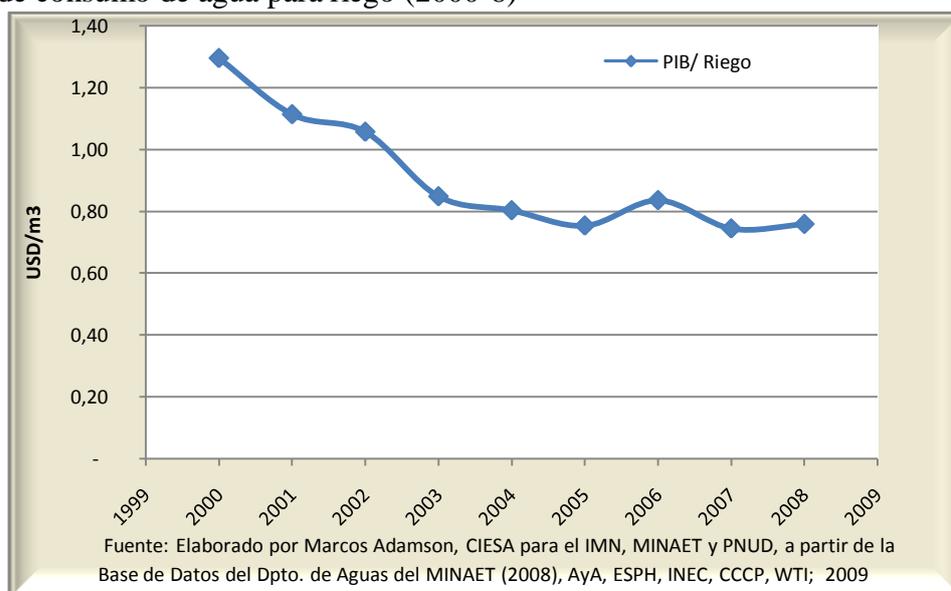
La mayor parte de todo el periodo prevalece una tendencia creciente e importante en la relación de total de agua demanda por millón de PIB (desde 0,2 hm³/millón de PIB hasta cerca de 1,5 hectómetros por millón). Durante la década del 2000, prevaleció una reducción en la relación hm³/PIB, principalmente debido a que los registros de estimados de agua prácticamente se mantuvieron constantes alrededor de los 15 mil hm³, lo cual probablemente está afectado por registros incompletos de agua consumida. Sin embargo, los modelos pronostican prácticamente una duplicación de esa relación al 2030 de **0.8 a cerca de 1.4 hm³/millón (constante) de USD de PIB** (caso base, régimen de aprovechamiento de 12 horas), lo cual debe alertar sobre las prácticas y tecnologías productivas extensivas en el uso de agua por unidad de PIB, así como los patrones de consumo humano de agua potable.

En el caso de la demanda sin el sector energía, se observa que la tendencia es siempre creciente. Esto se explica precisamente por las economías de escala de la entrada en vigencia de los proyectos hidroeléctricos, los cuales permiten incrementar el aprovechamiento de la planta instalada, lo que genera en el caso de la relación demanda total/PIB periodos de reducción de este indicador. Al no estar considerado en este caso la demanda de agua para generación, se elimina esa posibilidad, mostrándose que en los demás sectores usuarios no hay economías de escala en el uso del agua por millón de PIB, por lo que la tendencia es siempre creciente (ver gráficos 9.3.1 A y 9.3.2 A del anexo 9.3A). Los modelos pronostican un incremento de poco menos de 0.2 hm³/millón de USD de PIB en el 2000 a 0.7 hm³/millón de USD de PIB al 2030, lo que implica que dicha relación se incrementará cerca de 7 veces (caso base, régimen de aprovechamiento de 12 horas). Es decir la relación de demanda en hm³ a PIB crece mucho más rápido si se excluye el sector energía del consumo total de agua, lo cual se explica por las importantes elasticidades ingreso sectoriales (en consumo humano, riego, agricultura, etc.). Los resultados de intensidad para el caso de 24 horas no varían de forma importante.

9.5.c. PIB agrícola /Consumo de agua para riego

Al analizar la relación que existe entre el PIB de la agricultura y la cantidad de agua requerida para el riego, es posible observar que esta relación ha venido decreciendo levemente en los últimos años (ver gráfico 9.13). Esto quiere decir, que cada m³ de agua ha estado generando cada vez menos dólares al valor agregado de la agricultura. Esta relación a decrecido 1,5 veces desde el 2000, si continúa este ritmo de decrecimiento, el aporte que genera cada m³ de agua gastado en riego puede llegar a ser completamente insignificante para la economía del sector agrícola.

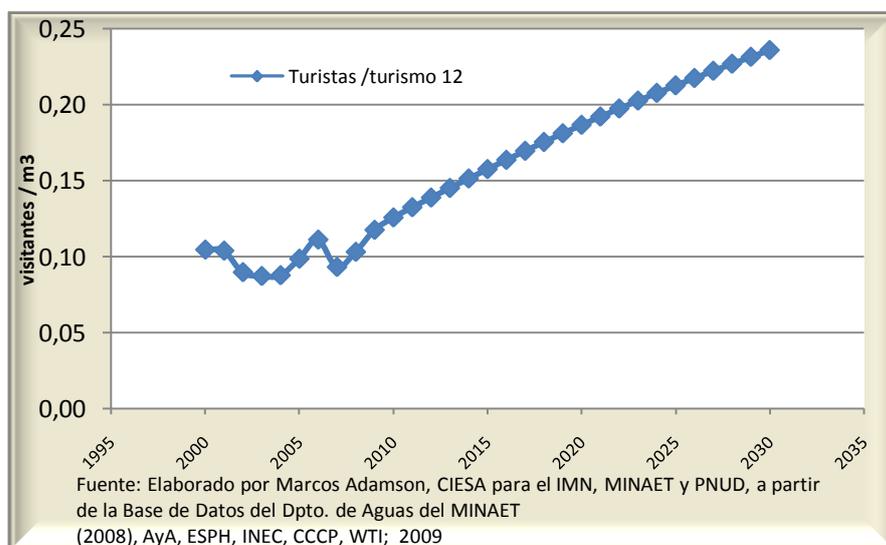
Gráfico 9.13. Costa Rica. Razón del PIB agrícola (USD constantes del 2005) por m³ de consumo de agua para riego (2000-8)



9.5.d. Turistas/demanda de agua del sector turismo

En este caso, el gráfico 9.14 presenta la evolución histórica y la proyección de la relación entre el número de visitantes y la cantidad de agua utilizada en el sector turismo, para un régimen de aprovechamiento de 12 horas. Dicha relación muestra que a lo largo del tiempo cada m³ de agua demandado por turismo está supliendo a un mayor número de turistas al año. Lo que puede indicar que el número de turistas que visitan Costa Rica durante un año está creciendo más rápido que la demanda registrada de agua de dicho sector.

Gráfico 9.14. Costa Rica: Evolución histórica y proyectada de la tasa entre el número de turistas y consumo de agua en sector turismo (m³).

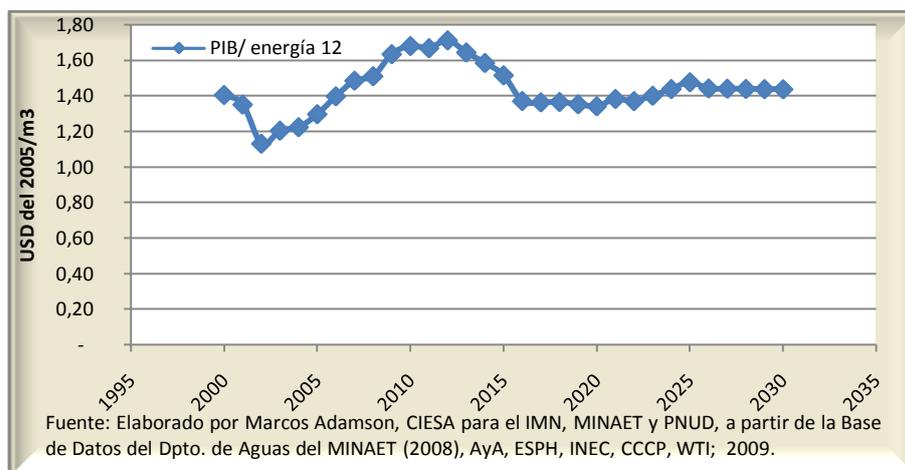


Sin embargo, en este sector se puede dudar de los registros porque en zonas costeras, mucho del comercio atiende al turismo, y sin embargo es agua que se concesiona para fines de comercio, cuando en realidad atiende al turismo. Este traslape también se presenta la construcción de cabinas, desarrollos urbanísticos y otros, cuya agua se registra para consumo humano y no para turismo, y esos sitios, la gran mayoría de veces, son rentados para visitantes turistas, más que a residentes permanentes.

9.5.e. PIB de la economía/ Consumo de agua en el sector energía

Una de las razones más significativas de analizar es la que existe entre el PIB de la economía y la demanda de agua del sector energía, pues este sector es uno de los más importantes, pues históricamente representa cerca del 80% del agua consumida por el país. El gráfico 9.15 muestra dicha relación, en él se puede observar cuanto genera un m³ de agua de hidrogenación en el PIB total de la economía (en dólares constantes). Estas cifras representan un estimado promedio del valor agregado de un m³ de agua de hidrogenación en la infraestructura de ICE, dentro de la economía nacional. A nivel histórico el valor más bajo que se ha dado fue en el 2002 con 1,13 USD/m³, mientras que para el periodo 2009 -2030 se estima que la relación oscilará entre 1,34 USD/m³ en el 2020 a 1,17 USD/m³ en el 2012.

Gráfico 9.15. Costa Rica: PIB Total (USD constantes del 2005) por unidad de consumo de agua del sector energía (m³, 2000-8)



9.6. Demanda de agua por sector: histórico y proyecciones

Esta sección presenta la distribución del total de agua demanda del país en cada uno de los sectores de uso (consumo humano, agricultura, industria comercio turismo y energía). Se analiza la participación de cada sector en el total de agua consumida y se describe cual ha sido la evolución en esos sectores.

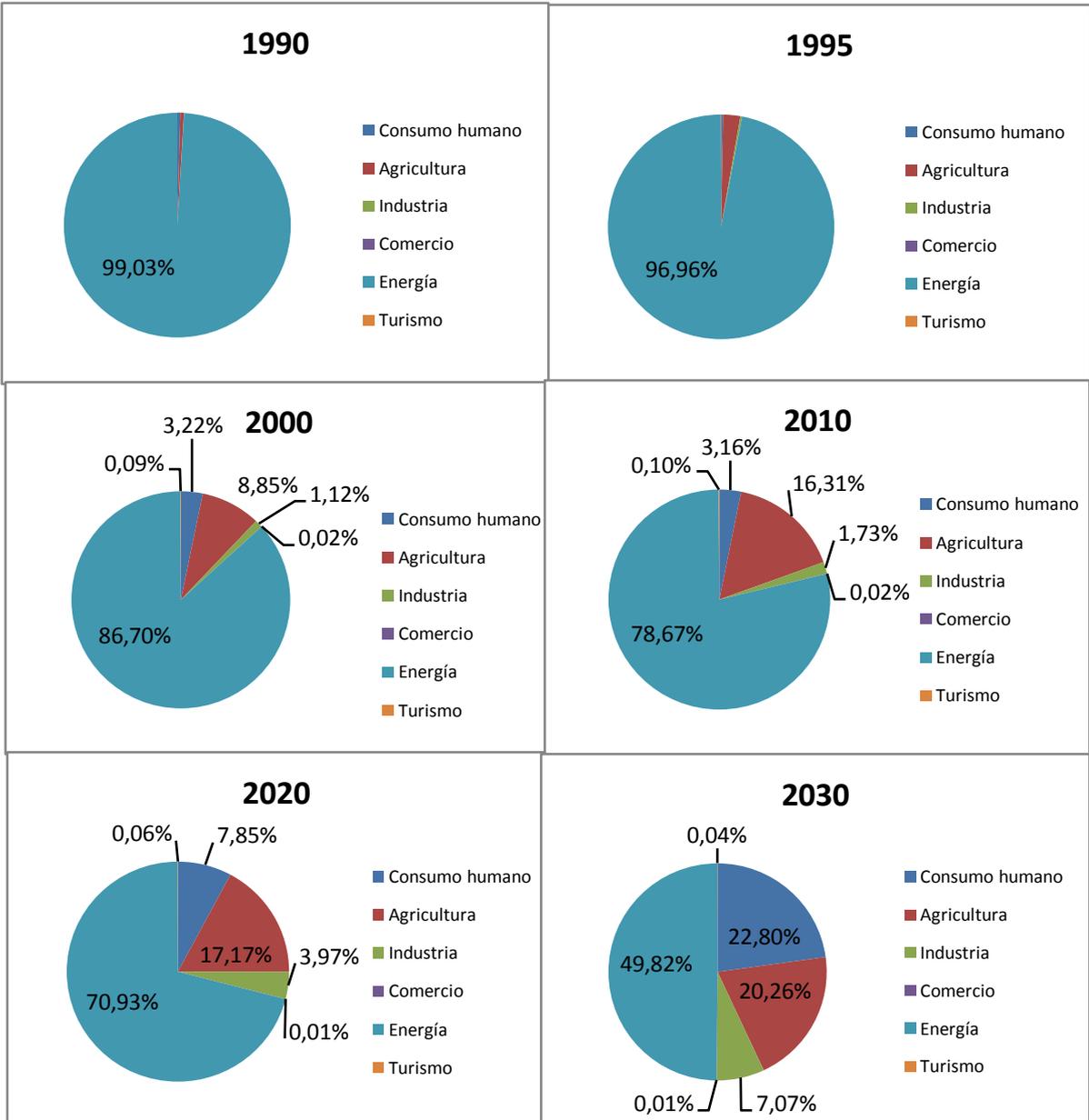
9.6.a. Demanda total de agua por sector de uso

Las estimaciones, bajo cualquiera de los dos regímenes de aprovechamiento, evidencian una evolución de consumo total de agua por sector productivo muy similar. A partir de los datos existentes y compilados, se observa que durante la década de los noventa el mayor uso del agua se concentró en el sector energía, mientras que el consumo registrado de los otros sectores era prácticamente insignificante. Esta situación se mantuvo hasta la primera mitad de los noventa y principios del presente siglo, a partir del cual los sectores como el agrícola, consumo humano e industria empezaron a ganar una mayor contribución relativa en la demanda total de agua. Es importante considerar que debido a la relativa poca información histórica es posible que algunos de los sectores se estén subestimando durante las décadas del 80 y 90.

Según las proyecciones la tendencia que presentan los sectores de consumo humano, agricultura e industria se mantiene hasta el 2030, donde la participación relativa en el uso de agua por aparte del sector energía se reduce casi a la mitad, dándole paso a una mayor proporción del uso del agua a los otros sectores usuarios; particularmente ocupando una mayor fracción de la demanda total el agua para consumo humano y agrícola. De esa forma, y de acuerdo con los registros, en el 2000 un 87% de la demanda total de agua se utilizó en hidrogenación; ese estima en un 78%, 70% para el 2020 y para el 2030 los modelos pronostican que esa contribución se habrá reducido al 50%, conforme los otros sectores, particularmente la agricultura y el consumo humano, incrementan su demanda.

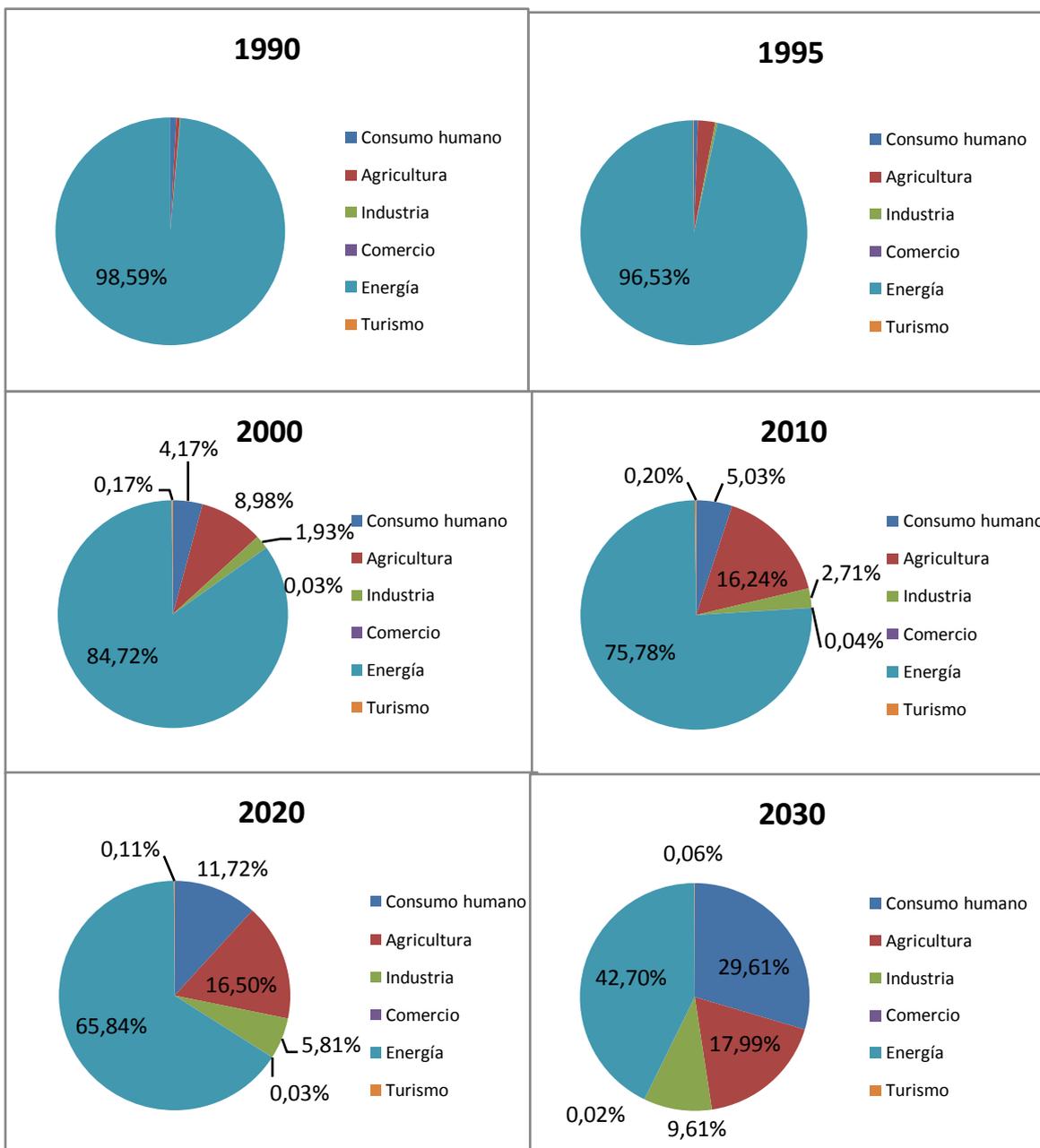
Lo anterior evidencia una importante modificación de la estructura de la demanda de agua por sector usuario: conforme la economía (PIB) crezca la demanda de agua para hidrogenación crecerá más lento que las demanda de consumo humano, así como las demandas de agua para atender la producción agrícola. Esto puede parecer razonable en esta economía fundamentalmente exportadora agroindustrial, excluyendo la exportación de microprocesadores. Los gráficos 9.16 (aprovechamiento de 12horas) y 9.17 (aprovechamiento de 24 horas) muestran la evolución de la participación de cada sector de uso para el escenario base durante los años 1990, 1995, 2000, 2010, 2020 y 2030.

Gráfico 9.16. Costa Rica: Evolución de la participación relativa de los sectores. Estimación en régimen de de aprovechamiento 12 horas, escenario base, en m³.



Fuente: Elaborado por CIESA para el IMN, MINAET y PNUD, a partir de la Base de Datos del Dpto. de Aguas del MINAET (2008), AyA, ESPH, INEC, CCP, WTI; 2009.

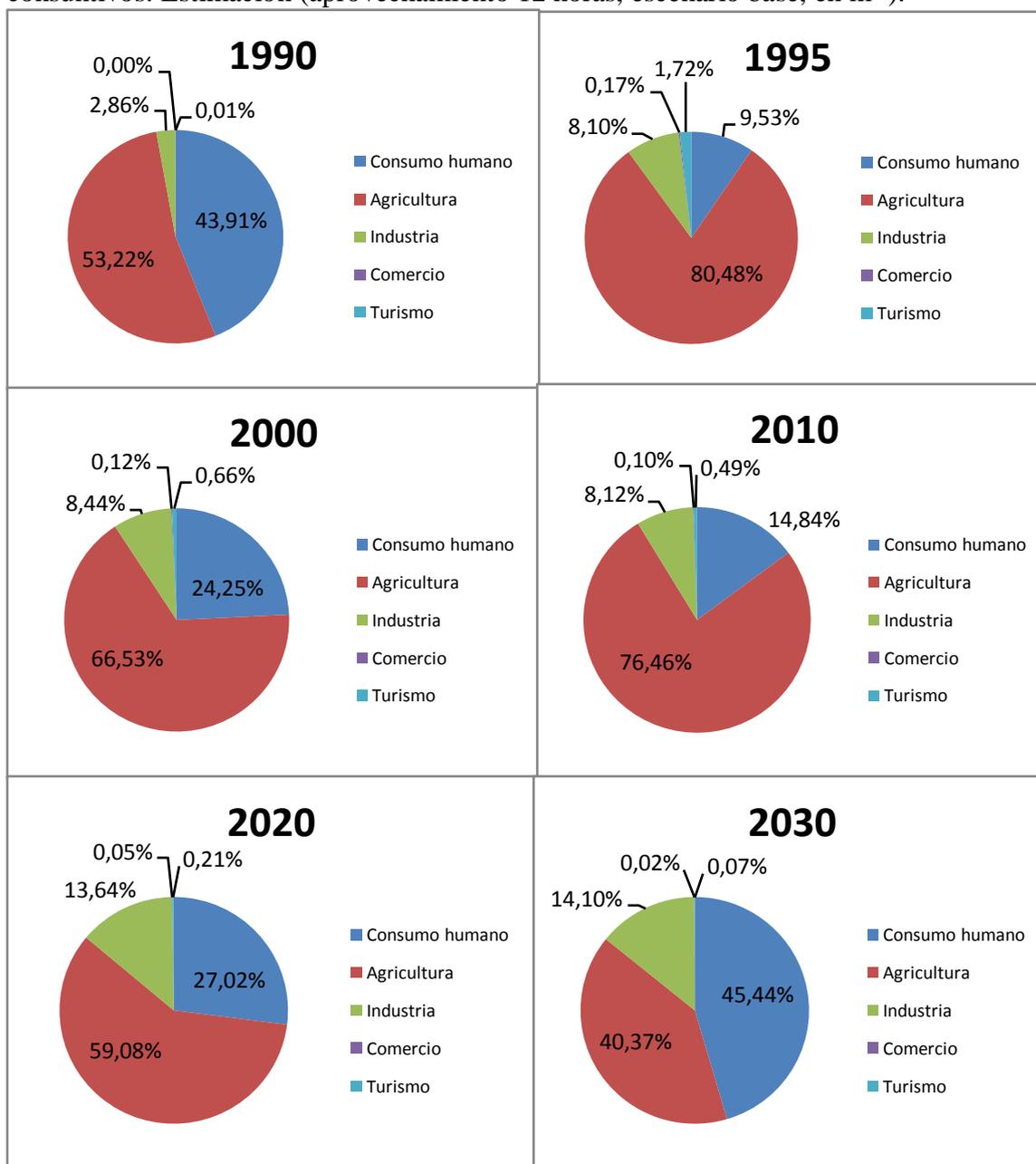
Gráfico 9.17. Costa Rica: Evolución de la participación relativa de los sectores. Estimación en régimen de de aprovechamiento 24 horas, escenario base, en m³.



Fuente: Elaborado por CIESA para el IMN, MINAET y PNUD, a partir de la Base de Datos del Dpto. de Aguas del MINAET (2008), AyA, ESPH, INEC, CCP, WTI; 2009.

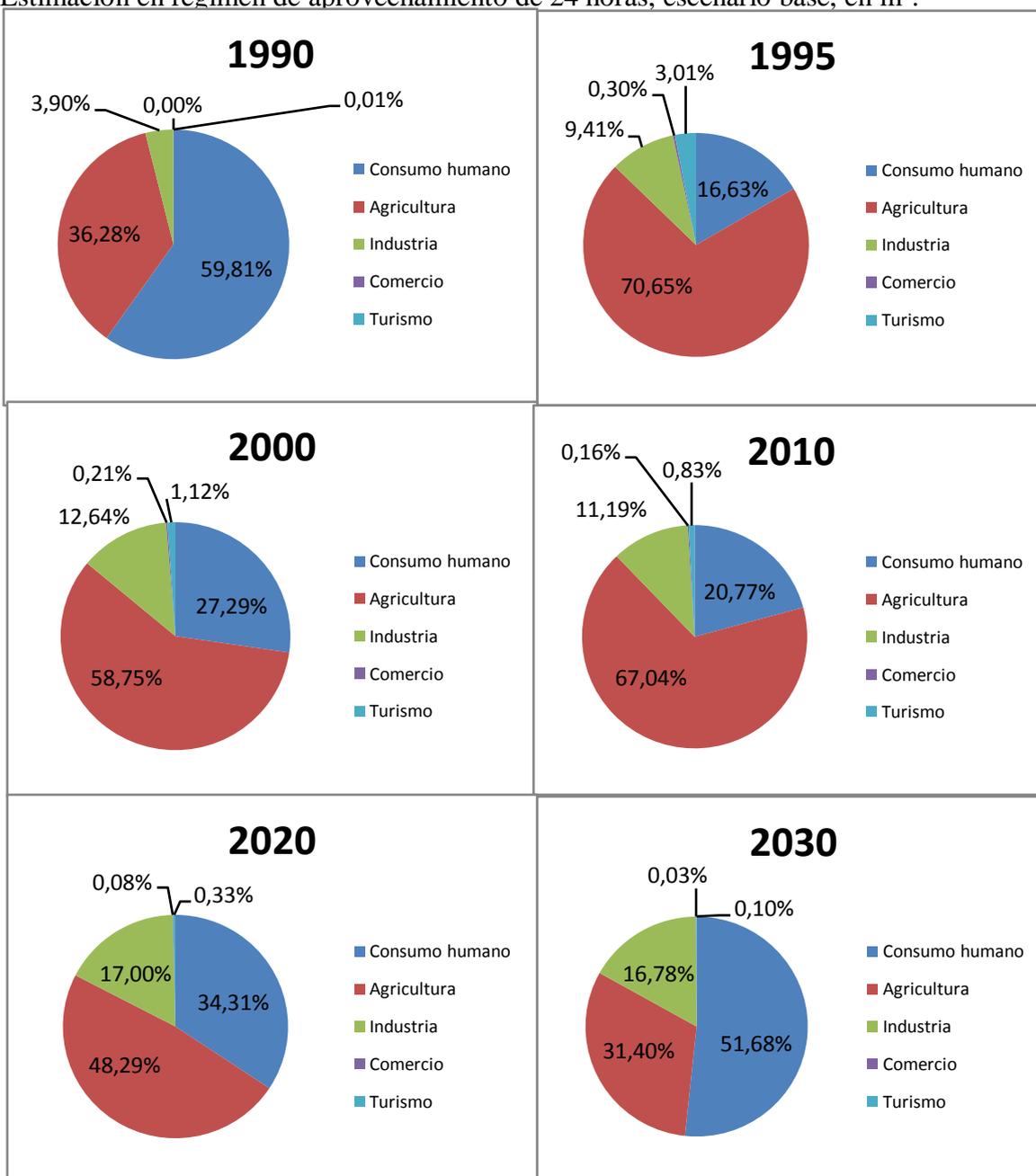
Debido a que la demanda de agua del sector energía contribuye con una importante mayoría, en el total de agua demandada del país, es posible que crecimiento del resto de los sectores no se observe con claridad en los gráficos anteriores. Al excluir el sector energía, es posible ver más detalladamente la contribución relativa de los demás demandas por sectores de uso. En los gráficos que se presentan a continuación se presenta la participación relativa de cada uno de los sectores (excepto energía) a lo largo del periodo de estudio.

Gráfico 9.18. Costa Rica: Evolución de la participación relativa de los sectores consuntivos. Estimación (aprovechamiento 12 horas, escenario base, en m³).



Fuente: Elaborado por CIESA para el IMN, MINAET y PNUD, a partir de la Base de Datos del Dpto. de Aguas del MINAET (2008), AyA, ESPH, INEC, CCP, WTI; 2009.

Gráficos 9.19. Costa Rica: Evolución de la participación relativa de los sectores. Estimación en régimen de aprovechamiento de 24 horas, escenario base, en m³.



Fuente: Elaborado por CIESA para el IMN, MINAET y PNUD, a partir de la Base de Datos del Dpto. de Aguas del MINAET (2008), AyA, ESPH, INEC, CCP, WTI; 2009.

Inicialmente la agricultura fue el sector que generaba la mayor demanda de agua, después del sector de hidrogenación (a excepción del año 1990, año para el cual la disponibilidad relativa de información era menor). Sin embargo, conforme pasaron los años, el consumo humano creció a un ritmo acelerado. Para el año 2020, los pronósticos indican que la contribución relativa de ese sector en la demanda se triplicará respecto a 1995 (aprovechamiento de 12 horas), mientras que para el año 2030 prácticamente se quintuplicaría, y la agricultura se ubicaría en segundo lugar. A

su vez, el sector industrial adquirirá mayor participación relativa, la cual se duplicaría del 1995 al 2030.

La evolución de la demanda de agua se puede observar también en los siguientes gráficos 9.20 y 9.21, y 9.22 y 9.23: la tasa de crecimiento de los sectores como el de consumo humano y agricultura es mayor que la tasa de crecimiento del sector de energía. Además, el consumo de agua de los sectores comercio y turismo no representa una fracción significativa en la demanda total de agua, sin embargo, es importante mencionar que dichos sectores si presentan un crecimiento significativo aunque menor que los otros sectores (los cuadros del anexo 9.1.A, muestran la proyecciones de demanda total de agua por año por sector según aprovechamiento y escenario).

Gráfico 9.20. Costa Rica: Evolución de la demanda total de agua por sectores en hm³ (escenario base, aprovechamiento de 12 horas)

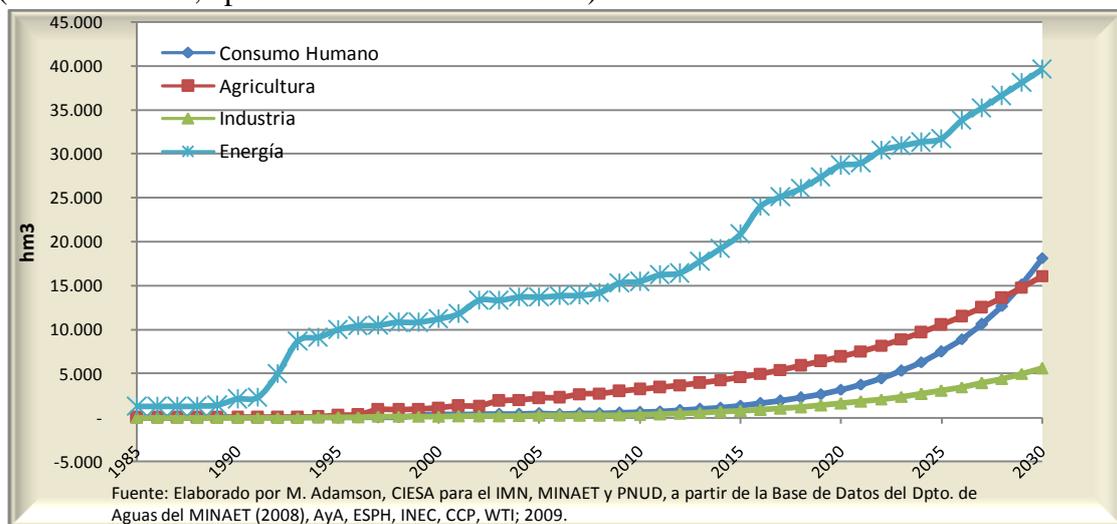


Gráfico 9.21. Costa Rica: Evolución de la demanda total de agua del sector comercio y turismo (hm³, escenario base, aprovechamiento 12 horas)

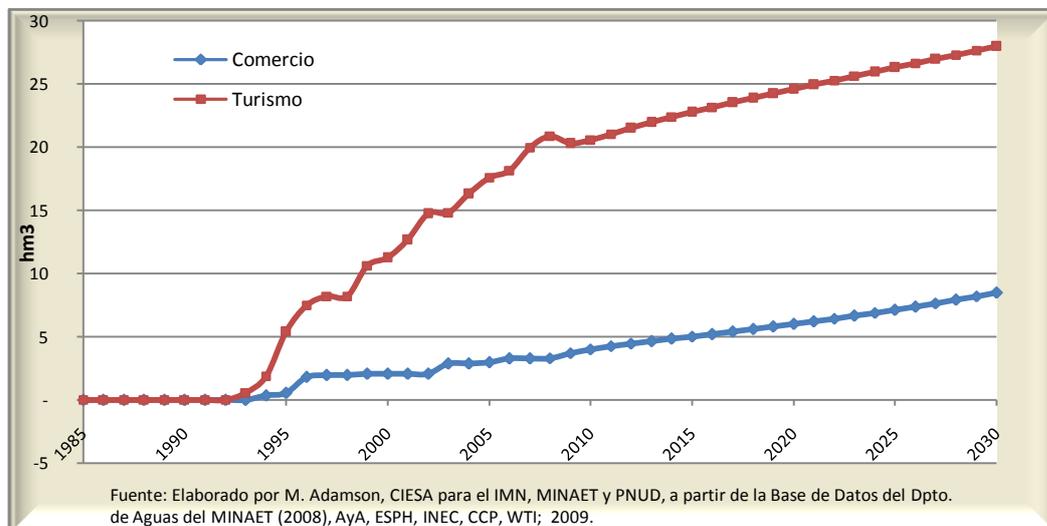


Gráfico 9.22. Costa Rica: Evolución de la demanda de agua por sectores (hm³, escenario base, aprovechamiento de 24 horas).

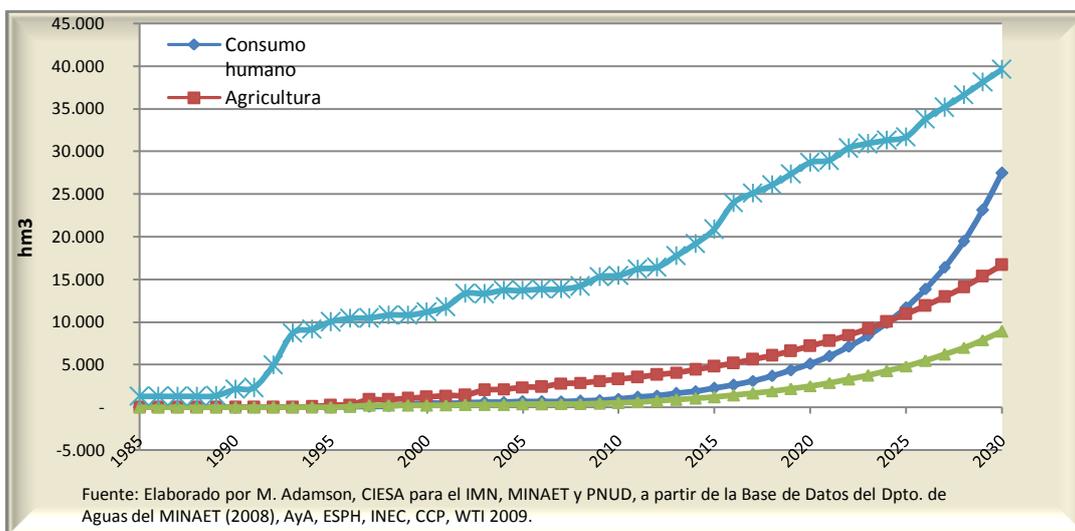
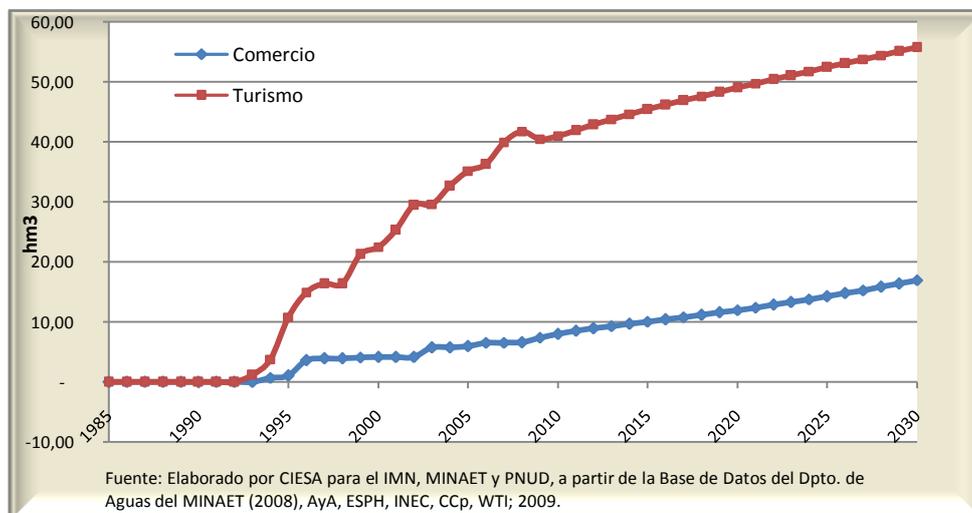


Gráfico 9.23. Costa Rica: Evolución de la demanda total de agua por sector comercio y turismo en hm³ (escenario base, aprovechamiento de 24 horas).



Los cuadros 9.9 y 9.10 presentan los datos de demanda en hm³ y las tasas de crecimiento de cada uno de los sectores de uso. Esta información confirma lo indicado anteriormente: las mayores tasas de crecimiento la presentan los sectores de consumo humano, agricultura e industria.

Cuadro 9.9. Costa Rica: Demandas de agua por sector de uso (hm³, aprovechamiento de 12 horas)

	Año	Consumo humano	Agricultura	Industria	Comercio	Energía	Turismo
Histórica	1995	30	252	25	1	10.016	5
	2005	439	2.229	236	3	13.693	18
Proyectada	2010	622	3.206	340	4	15.468	21
	2020	3.176	6.945	1.603	6	28.684	25
	2021	3.766	7.547	1.835	6	28.946	25
	2030	18.137	16.116	5.626	8	39.637	28
Tasas de crecimiento	1995-2000	77,89%	61,47%	63,5%	51,48%	3,50%	45,11%
	2001-2010	4,39%	11,35%	9,09%	7,34%	3,36%	6,36%
	2011-2020	17,71%	8,04%	16,77%	4,11%	6,43%	1,80%
	2021-2030	19,03%	8,78%	13,38%	3,54%	3,30%	1,29%

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD, a partir de la Base de Datos del Dpto. de Aguas del MINAET (2008), AyA, ESPH, INEC, CCP, WTI; 2009.

Cuadro 9.10. Costa Rica: Demandas de agua por sector de uso (hm³, aprovechamiento de 24 horas)

	Año	Consumo humano	Agricultura	Industria	Comercio	Energía	Turismo
Histórica	1995	60	254	34	1	10.016	11
	2005	692	2.367	393	6	13.693	35
Proyectada	2010	1.027	3.314	553	8	15.468	41
	2020	5.106	7.187	2.530	12	28.684	49
	2021	6.021	7.811	2.895	12	28.946	50
	2030	27.487	16.698	8.924	17	39.637	56
Tasas de crecimiento	1995-2000	61,13%	61,83%	75,47%	51,48%	3,50%	45,11%
	2001-2010	6,70%	11,40%	8,24%	7,34%	3,36%	6,33%
	2011-2020	17,40%	8,05%	16,42%	4,11%	6,43%	1,80%
	2021-2030	18,33%	8,80%	13,44%	3,54%	3,30%	1,29%

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD, a partir de la Base de Datos del Dpto. de Aguas del MINAET (2008), AyA, ESPH, INEC, CCP, WTI; 2009.

Los principales resultados para el escenario base (aprovechamiento 24 horas) muestran que:

- ✓ El *consumo de energía* para el 2010 se ubica en 15.5 mil hm³ y los modelos indican que casi se duplicará para el 2020; creciendo un poco más lento durante la década 2020-30, ubicándose la demanda cerca de los 39 mil hm³. Esto explica porque la importancia relativa que cobran otros sectores.
- ✓ El *consumo humano* para el 2010 se estima en mil hm³, una década posterior (2020) los modelos pronostican una quintuplicación del mismo, ubicándose en los 5 mil hm³; para nuevamente quintuplicarse en la siguiente década ubicándose en los 27.5 mil hm³.
- ✓ La *agricultura* demandará poco más de 3 mil hm³ en el 2010; cifra que se incrementa en poco más del doble para el 2020, y para el 2030 de nuevo se vuelve a más que duplicar ubicándose la demanda en los 16.7 mil hm³.
- ✓ El *turismo* incrementará su demanda cerca de un 37% del 2010 al 2030 (56 hm³). Esta demanda, en particular al estar focalizada principalmente en zonas costeras, con acuíferos ya algunos en situación comprometida (Resumen de EGIRH, 2005) por intrusión salina, contaminación o exceso de demanda debe llamar la atención.

- ✓ El **comercio** demandará cerca de 8 hm³ en el 2010, y para el 2030 habrá multiplicado por poco más de dos veces su nivel de demanda.
- ✓ La **industria** quintuplicará su consumo durante la década 2010-20, y durante la década 2020-30 nuevamente lo multiplicará poco más de tres veces, ubicándose la demanda en 9 mil hm³.

9.6.b. Demanda por sector en cada una de las cuencas

Los porcentajes de participación de los diferentes sectores en cada una de las cuencas analizadas al año 2008 se muestran en los cuadros 9.11 y 9.12, según aprovechamiento (los cuadros del anexo digital 9.4 A presentan los porcentajes de participación de los años históricos y los valores absolutos de demanda de agua histórica para cada cuenca). Además, se presentan los gráficos 9.24 y 9.25, que reflejan estas participaciones para ayudar a visualizar la distribución por sector en cada una de las cuencas (solo se presenta el gráfico de 12 horas, ya que los porcentajes de participación entre ambos regímenes son relativamente similares).

Cuadro 9.11. Costa Rica: Distribución relativa promedio (2005-8) de las demandas de agua por sector en cada una de las cuencas (aprovechamiento de 12 horas)

Cuenca	Consumo humano	Agricultura	Industria	Comercio	Energía	Turismo	Total
Bananito	85,74%	9,37%	4,89%	0,00%	0,00%	0,00%	100%
Banano	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100%
Barú	41,96%	26,71%	0,00%	0,00%	27,67%	3,66%	100%
Chirripó	0,90%	5,15%	0,15%	0,00%	93,79%	0,00%	100%
Damas	0,80%	98,32%	0,83%	0,00%	0,00%	0,06%	100%
Esquinas	43,32%	52,36%	4,21%	0,00%	0,00%	0,11%	100%
Jesús María	28,95%	67,30%	1,94%	0,00%	0,00%	1,81%	100%
La Estrella	15,25%	83,33%	0,00%	0,00%	0,00%	1,42%	100%
Madre de Dios	73,41%	0,00%	26,59%	0,00%	0,00%	0,00%	100%
Matina	54,95%	0,50%	42,52%	2,03%	0,00%	0,00%	100%
Moín	15,65%	0,00%	84,33%	0,03%	0,00%	0,00%	100%
Península de Osa	44,33%	54,18%	0,00%	0,00%	0,00%	1,49%	100%
Pocosol	84,36%	1,57%	14,07%	0,00%	0,00%	0,00%	100%
Sixaola	15,00%	0,00%	85,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100%
Tortuguero	62,89%	0,08%	36,93%	0,00%	0,00%	0,10%	100%
Tusubres	39,19%	41,40%	0,17%	0,17%	0,00%	19,07%	100%
Zapote	0,23%	1,77%	0,00%	0,00%	98,00%	0,00%	100%
Otras Cuencas	3,35%	7,47%	2,13%	0,00%	86,91%	0,14%	100%
Total cuencas de estudio	2,55%	15,18%	1,35%	0,02%	80,78%	0,11%	100%

Resaltan datos relevantes

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD, a partir de la Base de Datos del Dpto. de Aguas del MINAET (2008), AyA, ESPH, INEC, CCP, WTI; 2009.

Cuadro 9.12. Costa Rica: Distribución relativa promedio (2005-2008) de las demandas de agua por sector en cada una de las cuencas (aprovechamiento de 24 horas)

Cuenca	Consumo humano	Agricultura	Industria	Comercio	Energía	Turismo	Total
Bananito	90%	5%	5%	0%	0%	0%	100%
Banano	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Barú	57%	19%	0%	0%	19%	5%	100%
Chirripó	1%	10%	0%	0%	89%	0%	100%
Damas	2%	97%	2%	0%	0%	0%	100%
Esquinas	53%	40%	6%	0%	0%	0%	100%
Jesús María	34%	59%	3%	0%	0%	3%	100%
La Estrella	30%	67%	0%	0%	0%	3%	100%
Madre de Dios	68%	0%	32%	0%	0%	0%	100%
Matina	52%	0%	46%	2%	0%	0%	100%
Moín	9%	0%	91%	0%	0%	0%	100%
Península de Osa	52%	45%	0%	0%	0%	2%	100%
Pocosol	82%	2%	16%	0%	0%	0%	100%
Sixaola	15%	0%	85%	0%	0%	0%	100%
Tortuguero	59%	0%	41%	0%	0%	0%	100%
Tusubres	45%	29%	0%	0%	0%	26%	100%
Zapote	0%	2%	0%	0%	98%	0%	100%
Otras Cuencas	5%	9%	4%	0%	82%	0%	100%
Total cuencas de estudio	4%	15%	2%	0%	78%	0%	100%

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD, a partir de la Base de Datos del Dpto. de Aguas del MINAET (2008), AyA, ESPH, INEC, CCP, WTI; 2009.

Gráfico 9.24. Costa Rica: Distribución relativa promedio (2005-2008) de las demandas de agua por sector en cada una de las cuencas (aprovechamiento de 12 horas).

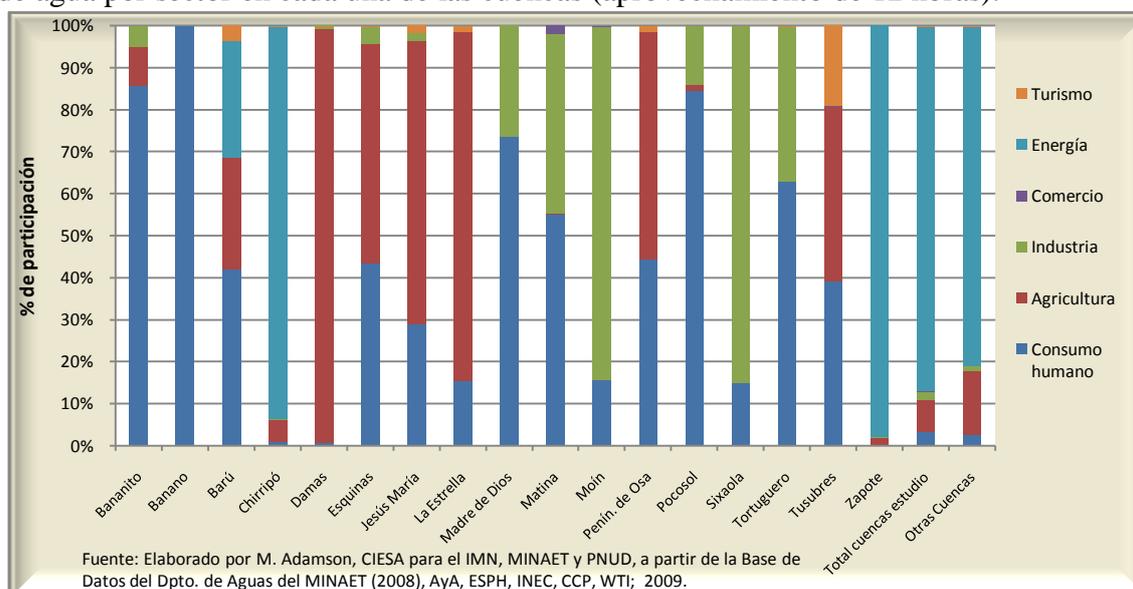
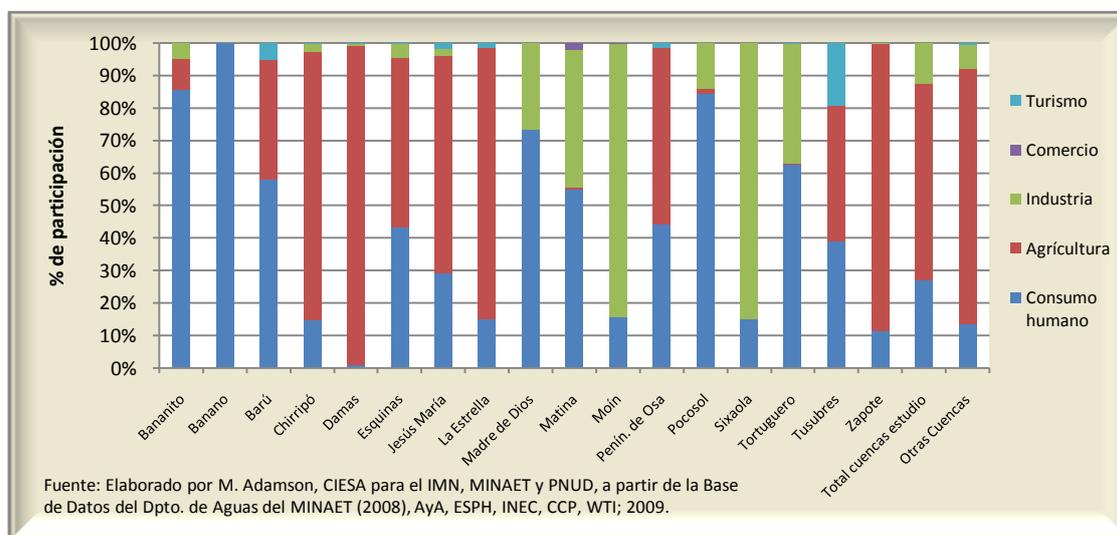


Gráfico 9.25. Costa Rica: Distribución relativa promedio (2005-2008) de las demandas de agua por sector (excluyendo energía) en cada una de las cuencas (aprovechamiento de 12 horas)



Según los estimados, para el 2010, este grupo de cuencas objeto de estudio aglutinan una población estimada de 601, 380 personas. El residual de otras cuencas 3, 929, 827 habitantes, lo que representa un 13% de la población total estimada para el 2010. De igual forma, al 2010, este grupo de cuencas generaban el 8% de la demanda de agua que realiza el país.

Con respecto a la distribución por sector de uso, se encontró que las cuencas objeto de estudio consumen dedican una menor fracción (24% menos) de su demanda total de agua a para consumo humano que el resto de las cuencas del país (Otras Cuencas, en el cuadro); pero , dedican prácticamente el doble de la proporción de agua a actividades agrícolas; dedican casi la mitad del fracción de agua total que dedican las Otras Cuencas a actividades industriales, y casi la misma proporción en los sectores energético y turismo. En suma, las cuencas objeto de estudio se muestran mucho más intensivas en demanda del sector agrícola la demanda el sector energético, y menor intensiva en consumo humano de agua e industrial.

De forma agregada (subtotal cuencas de estudio), la mayor fracción de la demanda de agua es generada por los sectores de energía (80,7), le sigue la demandan de agua para uso agropecuario (15%) y consumo humano (2.5%).

Sin embargo, se encontró que las demandas tienden a especializarse por cuenca. Es decir, en algunas cuencas predomina la demanda fundamentalmente para uno o dos sectores:

- ✓ Para consumo humano, por ejemplo, la cuenca Bananito, Banano, Pocosal Madre de Dios, Tortuguero y Matina. Las tres primeras son cuencas relativamente poco pobladas, y en la segunda, según estudios (Oreamuno, R, 2004), con poca presión de cambio de uso de suelo agropecuario, y con mayor en la primera. Se sospecha acá

problemas de imputación de consumos de poblaciones atendidas por Banano (Moín y cercanías) por la oferta hídrica de Banano.

- ✓ En el caso de Tortuguero y Matina con poco más del 40% de su demanda de agua dedicada a la industria y el resto a consumo humano, con una población de 40,219 habitantes, y Tortuguero con un 40% de su agua destinada a la actividad industrial y el resto al consumo humano, con una importante población de 108,493 habitantes; y Esquinas que dedica mayoritariamente su demanda de agua a consumo humano, agricultura. Por lo que se observa que en general son cuenca bimodales en términos de sectores de uso de agua.
- ✓ Tortuguero y Matina si son cuencas con mayores poblaciones (según los estimados, poco más de 108 mil habitantes la primera y poco más de 40 mil la segunda para el 2010).
- ✓ En otras cuencas, predomina la especialización de la demanda para generación hidroeléctrica, es el caso de las cuencas de Chirripó (65,265 habitantes) y Zapote (51,917 habitantes).
- ✓ Además, un grupo presenta una mayor concentración de la demanda proveniente del sector agrícola (Damas, la Estrella y Jesús María, cuencas con poblaciones relativamente bajas, se estima para el 2010 una población conjunta de 78, 997 persona.
- ✓ La industria intensiva en agua se localiza principalmente en Moín y Sixaola, la primera con estimado de población al 2010 de 63, 425 habitantes y la segunda con 23,390.
- ✓ La demanda de agua que genera el turismo se concentra fundamentalmente en Tusubres, la cual es una cuenca con una intensa actividad turística (zonas de Punta Leona, Jacó, Esterillos, etc.), con una población residente de 28, 177 habitantes. Sin embargo, esta cuenca se está convirtiendo en un polo de atracción de población y se estima que para el 2030, su población se incrementará en un 57%, ubicándose en 44, 232 habitantes, y además con una población turística flotante en ascenso demandando agua. En este caso, la fracción de demanda dedicada a consumo humano es de un 40%, y debido al importante traslape en el registro de agua para consumo humano y turismo, es de esperar que una buena fracción de esa agua se dirija también a satisfacer necesidades del sector turismo.
- ✓ El caso de Barú es interesante pues dedica fundamentalmente su demanda de agua a consumo humano (42%), agricultura (27%), energía un (28%) y una mínima fracción a turismo, por lo que con una población estimada al 2010 de tan solo 8,581 habitantes, evidencia una estructura productiva diversificada en el uso de agua.

La razón de esta especialización de la demanda en el consumo de agua responde a las ventajas comparativas de cada cuenca con relación al aprovechamiento del recurso hídrico y al desarrollo económico relativo intersectorial. Lastimosamente, el país no dispone de cuentas nacionales por cuenca, para analizar esos fundamentos. Las cuencas dotadas con un mayor caudal, tradicionalmente se demanda mayoritariamente para hidrogenación, si la distancia lo permite y/o para la exportación entre cuencas de agua

(p.ej. Banano); aquellas donde la aptitud de la tierra y sector agrícola predominan, reflejarán una demanda preferente en ese sector, y las cuencas donde esos sectores no son tan importantes, se refleja una concentración de la demanda para el consumo humano, industria; y aquellas cuencas con una costa turística reflejarán ese sector en su estructura de demanda de agua, como es el caso de Tusubres.

En resumen, en este grupo de cuencas, hay algunas que en función de su demanda de agua se muestran como intensivamente dedicadas a la agricultura, otras a la industria, otras al turismo, y algunas diversifican más su estructura productiva combinando industria y algunas actividades agropecuarias y otras son productoras de hidroenergía, fundamentalmente.

Bajo un escenario base (business as usual) es de esperar que la distribución relativa sectorial por cuenca mostrada en el gráfico anterior se mantenga relativamente constante, salvo el caso en que se presente algún choque externo (alguna política hídrica restrictiva, alguna explosión demográfica no prevista, incremento fuera de la tendencia en turismo, un crecimiento alejado de la proyección del plan de expansión de la generación hidroeléctrica, un crecimiento fuera del patrón en algún sector agropecuario como un surgimiento de un sector agroexportador intensivo en agua u otros).

No solo es importante analizar la distribución histórica de cada uno de los sectores de uso en las cuencas de estudio, si no también es fundamental conocer que sectores están creciendo y en qué medida lo están haciendo. Para este fin se elaboró el siguiente cuadro que resume las tasas de crecimiento promedio (2005-2008) por cada uno de los sectores estudiados.

Cuadro 9.13. Costa Rica: Tasas de crecimiento promedio de la demanda por sector y cuenca (periodo 2005-2008, aprovechamiento de 12 horas).

Cuenca	Consumo humano	Agricultura	Industria	Comercio	Energía	Turismo	Total
Bananito	0.43%	nd	0%	nd	nd	nd	6%
Banano	0.02%	nd	nd	nd	nd	nd	0.02%
Barú	13%	1%	nd	nd	0%	29%	6%
Chirripó	3%	0.4%	0%	nd	0%	0%	0.041%
Damas	2%	8%	7%	nd	nd	1%	8%
Esquinas	-0.43%	0.35%	0.20%	nd	nd	117%	-0.02%
Jesús María	5%	5%	85%	nd	nd	21%	6%
La Estrella	25%	0%	nd	nd	nd	28%	223%
Madre de Dios	3%	nd	14%	nd	nd	nd	5%
Matina	14%	0%	7%	0%	nd	nd	11%
Moín	1%	nd	0.1%	0%	nd	nd	0.1%
Península de Osa	21%	2%	nd	nd	nd	7%	7%
Pocosol	2%	0%	nd	nd	nd	nd	34%
Sixaola	0%	nd	0%	nd	nd	nd	0%
Tortuguero	9%	0%	0%	nd	nd	0%	5%
Tusubres	16%	8%	0%	0%	nd	3%	9%
Zapote	5%	0.32%	0%	nd	0%	nd	0.02%
Total cuencas de estudio	3%	5%	1%	10%	0%	5%	0.42%
Otras Cuencas	3%	9%	6%	3%	1%	7%	2%

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD, a partir de la Base de Datos del Dpto. de Aguas del MINAET(2008), AyA, ESPH, INEC, CCP, WTI; 2009.

Resultados sobre la *dinámica* de la demanda de agua:

La mayor tasa de crecimiento total por cuenca, la presenta La Estrella. Sin embargo, es importante mencionar que para el año 2006 los registros históricos de agua de los sectores de consumo humano y turismo se duplican con respecto al año anterior, lo cual afecta significativamente esta tasa de crecimiento promedio.

Las cuencas con mayor tasa de crecimiento de las demandas totales de agua son: Pocosol (34%), Matina (11%) y Tusubres (9%). En el caso de Pocosol, su tasa es mucho mayor que las tasas de sus sectores de uso, esto se debe a que para el último año histórico (2008) aparece por vez primera en el registro, consumo de agua en el sector industrial. Esto incrementa de manera importante el consumo de agua total casi al doble con respecto al 2007, y por lo tanto, la tasa de crecimiento promedio del periodo 2007-08 se afectada, considerablemente.

El sector comercial, que en total no representa un consumo importante en el total, muestra la mayor tasa de crecimiento (10%); seguido por las demandas de los sectores agricultura y turismo (5%).

Las cuencas que presentan las mayores tasas de crecimiento de la demanda de agua por consumo humano son: La Estrella, Tusubres y Península de Osa. Tasas todas de crecimiento considerables. Ese es un resultado esperable para cuencas como Península de Osa, Tusubres, en las cuales el turismo está incrementándose aceleradamente, así como los procesos de urbanización, por medio de condominios, y la renta de habitaciones por parte de locales, la cual generalmente solicita concesión para consumo humano, como ya se indicó.

La demanda de agua para actividades agropecuarias ha crecido a una mayor velocidad en las cuencas Tusubres y Damas.

La demanda de agua para la industria muestra una acelerada tasa de crecimiento del 85% en las cuencas de Jesús María y Madre de Dios, en las cuales es esperable que industria incremente la cantidad demandada de agua.

Aunque al parecer el sector comercial no ha crecido en ninguna de las cuencas, a nivel agregado este crece un 10% debido a que partir del 2005 Tusubres empezó a registrar por primera vez datos en este sector, y por lo tanto la tasa de crecimiento entre el 2004-2005 para el subtotal de cuencas de estudio aumenta 40%, lo que se traduce en un promedio para el periodo 2005-2008 de 10%. Esto corrobora que Tusubres, es una cuenca fundamentalmente turística en franco crecimiento del sector comercial-turístico y con alguna actividad agropecuaria probablemente de pobladores originales de las partes altas de la cuenca.

Las demandas de agua para uso energético prácticamente no han crecido en las cuencas que poseen este sector. En el caso agregado de las cuencas de estudio, la demanda del sector energía ha crecido levemente a un 1%.

Las demandas en el sector turismo han crecido aceleradamente en Esquinas, Barú, La Estrella, y Jesús María. El caso de Esquinas presenta una tasa de crecimiento muy alta debido a que en el año 2006 se empezaron a registrar 5 veces más información sobre

consumo de agua en este sector, lo que altera significativamente su tasa de crecimiento promedio. Todo parece indicar que el turismo inicia una aparición creciente (o al menos en términos de registro) en esas cuencas.

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para IMN-MINAET-PNUD; 2010.

9.6.c. Algunas consideraciones sobre la demanda de agua por turismo

Existe un argumento bastante generalizado (prensa, comunidades, instituciones relacionadas al recurso hídrico) que presume que la demanda de agua que ejerce el sector turístico es significativa. Además, se cree que podría estar compitiendo con el consumo de agua humano. La misma solicitud de analizar específicamente este sector en este estudio, refleja esa percepción.

Al respecto debe indicarse que el enfoque seguido –reiteradamente- en algunos estudios previos para analizar esta situación ha sido incompleto. La mayoría (véase por ejemplo EGIRH (2005, pág. 45) se concentra en comparar la demanda del sector turismo con la demanda total nacional de agua, y por ende deducen que la primera es una fracción muy pequeña porcentualmente respecto a la demanda total.

Sin embargo, en esta materia no se puede emitir criterio hasta no disponer de estudios localizados. Lo relevante no es comparar la demanda total por turismo con la demanda total de agua nacional. Cuando un turista o un operador turístico demanda agua, no compite por esa agua con todo el país. Compite con el agua disponible de su localidad. Por lo tanto, si se presentan localidades con alta intensidad de explotación turística, donde se concentran fracciones importantes de la demanda total de agua por turismo, la **comparación relevante** es cuánto representa esa demanda de agua por turismo/día/persona, con respecto a la demanda/día/persona de esa localidad, y en **cuánto se disminuye la disponibilidad de agua de esa localidad** al atender la demanda del sector turismo.

Zonas intensivas en turismo, particularmente en la costa, han efectivamente reflejado conflictos de agua por esa situación (EGIRH, 2005). Por tanto, la conclusión lógica es indicar que el análisis de demanda de agua del sector turismo requiere un análisis de demanda local, que entre otros aspectos permita determinar el impacto que esa demanda genera en las disponibilidades de esas localidades. Es de esperar que en esos análisis, efectivamente sí se encuentren localidades que reflejan excesos importantes de demanda de agua (sobre la oferta) generadas por el sector turismo, e incluso que están generando y agravando problemas de disponibilidad de agua, que son los que precisamente se dejan ver en la prensa. **En resumen, no solo se requiere estudios de afectación de la disponibilidad, sino que debe analizarse a nivel de estudios económicos de demanda y oferta de agua por localidad.**

Lo anterior se puede ejemplificar con el caso de Tusubres, la cual muestra una tasa de crecimiento de la población importante (4%) , y a pesar que la tasa de crecimiento es del 3% en la demanda de agua para turismo, quizás reflejando problemas de infraestructura hidráulica, la prensa repetidamente ha mostrado que en esa cuenca la demanda de agua por turismo es una problemática asociada al auge del sector de bienes

inmuebles y desarrollos habitacionales costeros con importantes niveles de inversión (zona de Punta Leona, Jacó y alrededores).

Sin un estudio económico de excedentes del consumidor por sector usuario que reflejen los beneficios económicos que derivan cada sector, no es factible evaluar e internalizar la externalidad negativa que está generando el empuje de demanda de un sector particular sobre los acervos y calidades del capital hídrico. La internalización está incluida en la EGIRH (2005), sin embargo se hace necesario para lograrlo no solo recomendar estudios tradicionales de quantum de agua disponible. Se requieren conocer las relaciones de excedentes de consumidor derivados del consumo de agua por sector, para lograr generar con la participación del sector privado la sostenibilidad financiera que postuló la EGIRH. Solo con esos excedentes de consumidor estimados y la información de costos del agua, es factible diseñar la estrategia financiera sostenible planteada por la EGIRH (2005).

9.6.d. Demanda de agua para consumo humano

La demanda para consumo humano es una de las más importantes, pues de esta dependen las personas para satisfacer sus necesidades básicas de agua potable, limpieza e higiene, preparación de alimentos, etc. Teniendo en cuenta los problemas de obtención de datos históricos ya referidos que no permitieron estimar una demanda mensual por cuencas, se compara el consumo humano per cápita en las cuencas para cada uno de los regímenes de aprovechamiento.

El régimen de aprovechamiento de 12 horas muestra al 2008 (cuadro 9.14) un consumo per cápita de 107 m³/persona para Costa Rica. Otros estudios han asumido alguna relación de consumo per cápita y con base en porcentajes de incremento o reducción hacen llegar ese dato a un valor meta. Por ejemplo la EGIRH, (2005) postuló un consumo de 182.5 m³/persona/año incluyendo la ineficiencia de distribución que estiman en un 50% de esa cifra.

Debe recordarse que una importante cantidad de registros de consumo de agua históricos muestran agua efectivamente consumida (volumen). De forma que entre estos dos valores podría esperarse que se situara el consumo per cápita nacional de agua. Claro está, es de esperar que un sistema de aprovechamiento no supla las 24 horas agua para consumo humano incluso tampoco 12 horas. Sin embargo, también debe considerarse el elemento de la ineficiencia del sistema que puede llegar incluso al 100% del agua consumida. Estas que son dos fuerzas que operan en sentido opuesto y en algún grado se contrarrestan

Dos aspectos son importantes de resaltar en estos datos:

Es muy probable que debido a problemas de registro y disponibilidad de información, los primeros años del cuadro 9.14; el consumo per cápita esté subestimado. Sin embargo, a partir del 1990 la serie muestra una tendencia más estable, en cualquiera de los dos regímenes de aprovechamiento, para ejemplificarlo, se realiza la siguiente caracterización con base en el de 12 horas:

- ✓ Durante la primera mitad década del 90 (1991-95) la demanda de agua para consumo humano creció de manera sostenida, y para 1995 el consumo humano de agua por persona se había multiplicado casi tres veces respecto al de 1990.
- ✓ Durante la segunda mitad de la década de 90 (1995-99) el consumo humano de agua per cápita de agua se multiplicó siete veces respecto a nivel de 1995.
- ✓ Durante la primera la década el 2000 se muestra un crecimiento menos acelerado, creciendo del 2001-08 un 16% en ese periodo. para ubicarse el consumo humano de agua per cápita en el 2008 cerca de los **107m³/persona** (régimen de aprovechamiento de 12 horas) y en 172 m³/persona (régimen de 24 horas).
- ✓ Los modelos indican la fuerte relación entre el ingreso per cápita y el consumo per cápita de agua para consumo humano (para un régimen de 12 horas la elasticidad ingreso de corto plazo es de 1,67 mientras que de largo plazo es de 5,62. Para un régimen de 24 horas la elasticidad ingreso de corto es de 1,69 y la de largo es de 5,41). Por tanto, a pesar de que la población costarricense muestra una tasa de crecimiento relativamente moderada, no así el ingreso per cápita.
- ✓ ***De mantenerse estos patrones de consumo humano de agua, las proyecciones son verdaderamente alarmantes: Para el 2020 el consumo per cápita se habrá multiplicado casi cuatro veces respecto al estimado para el 2011, ubicándose en los 630 m³/persona. Para el 2030, bajo los patrones de consumo, se habrá multiplicado poco más de 4,4 veces respecto al del 2021, localizándose explosivamente en un exorbitante nivel superior a los 3.287m³/persona.***

Cuadro 9.14. Costa Rica: Consumo per cápita de agua humano histórico, en m³ /persona al año (según aprovechamiento).

Año	Régimen 24 horas	Régimen 12 horas	Año	Régimen 24 horas	Régimen 12 horas
1985	0,07	0,04	1997	24,29	12,14
1986	0,38	0,19	1998	37,81	18,91
1987	1,83	0,92	1999	92,93	60,29
1988	2,53	1,26	2000	141,70	107,10
1989	5,64	2,82	2001	126,06	91,12
1990	6,00	3,00	2002	141,25	91,90
1991	6,22	3,11	2003	143,21	93,49
1992	7,05	3,53	2004	157,72	99,37
1993	7,18	3,59	2005	163,84	104,08
1994	11,41	5,71	2006	162,70	101,38
1995	17,35	8,67	2007	166,40	104,13
1996	22,29	11,14	2008	172,42	106,64

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD, a partir de la Base de Datos del Dpto. de Aguas del MINAET (2008), AyA, ESPH, INEC, CCP; 2009.

Cuadro 9.15. Costa Rica: Estimación de consumo humano de agua per cápita por escenario (en m³/persona/año, según aprovechamiento).

Año	Regimen de 24 horas			Regimen de 12 horas		
	Bajo	Base	Alto	Bajo	Base	Alto
2009	216,33	197,69	197,69	120,71	120,71	120,71
2010	237,60	227,06	230,78	135,40	137,61	139,83
2011	261,09	261,52	273,19	151,16	157,91	164,89
2012	287,28	302,11	326,85	168,36	182,23	197,10
2013	316,51	349,86	394,08	187,30	211,23	237,95
2014	349,12	405,93	477,75	208,22	245,65	289,35
2015	385,47	471,71	581,53	231,44	286,40	353,70
2016	426,02	548,88	709,98	257,27	334,60	434,09
2017	471,12	639,22	868,57	286,00	391,46	534,22
2018	521,23	744,89	1.064,08	317,94	458,44	658,71
2019	576,88	868,44	1.304,96	353,49	537,29	813,39
2020	638,70	1.012,93	1.601,65	393,08	630,10	1.005,50
2021	707,48	1.182,11	1.967,39	437,25	739,46	1.244,25
2022	784,24	1.380,58	2.418,87	486,70	868,53	1.541,36
2023	870,03	1.613,72	2.976,84	542,15	1.021,09	1.911,50
2024	966,11	1.888,04	3.667,31	604,46	1.201,65	2.373,20
2025	1.073,91	2.211,30	4.522,93	674,62	1.415,72	2.949,92
2026	1.195,23	2.593,18	5.585,44	753,88	1.670,10	3.671,80
2027	1.332,13	3.045,28	6.907,43	843,63	1.973,05	4.577,13
2028	1.487,09	3.581,97	8.556,25	945,60	2.334,82	5.715,32
2029	1.662,92	4.220,47	10.616,96	1.061,75	2.767,79	7.149,26
2030	1.862,97	4.981,97	13.198,39	1.194,42	3.287,29	8.960,07

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD, a partir de la Base de Datos del Dpto. de Aguas del MINAET (2008), AyA, ESPH, INEC, CCP; 2009.

El crecimiento en el consumo per cápita de agua es bastante acelerado (en ambos regímenes), esto se puede explicar, cómo se mencionó anteriormente, por la urbanización de consumo de agua potable y su intensa relación con el PIB per cápita.

Para poder apreciar mejor este consumo per cápita a nivel de cada una de las cuencas se elaboraron una serie de mapas del escenario base, para los años 2000 y 2008 en ambos regímenes de aprovechamiento, los cuales se presentan a continuación. ***Es importante tener en cuenta que los colores muestran la población por cuenca.*** En ese sentido los colores están directamente asociados a las poblaciones de cada año respectivo (ver simbología). Los dígitos al interior del círculo representan el número de cada cuenca; mientras que el valor en negrita representa el consumo humano de agua per cápita de cada cuenca.

Figura 9.1. Costa Rica: Consumo humano per cápita de agua y población por cuencas de estudio, para el 2000 (m^3 /persona, en régimen de aprovechamiento de 12 horas).

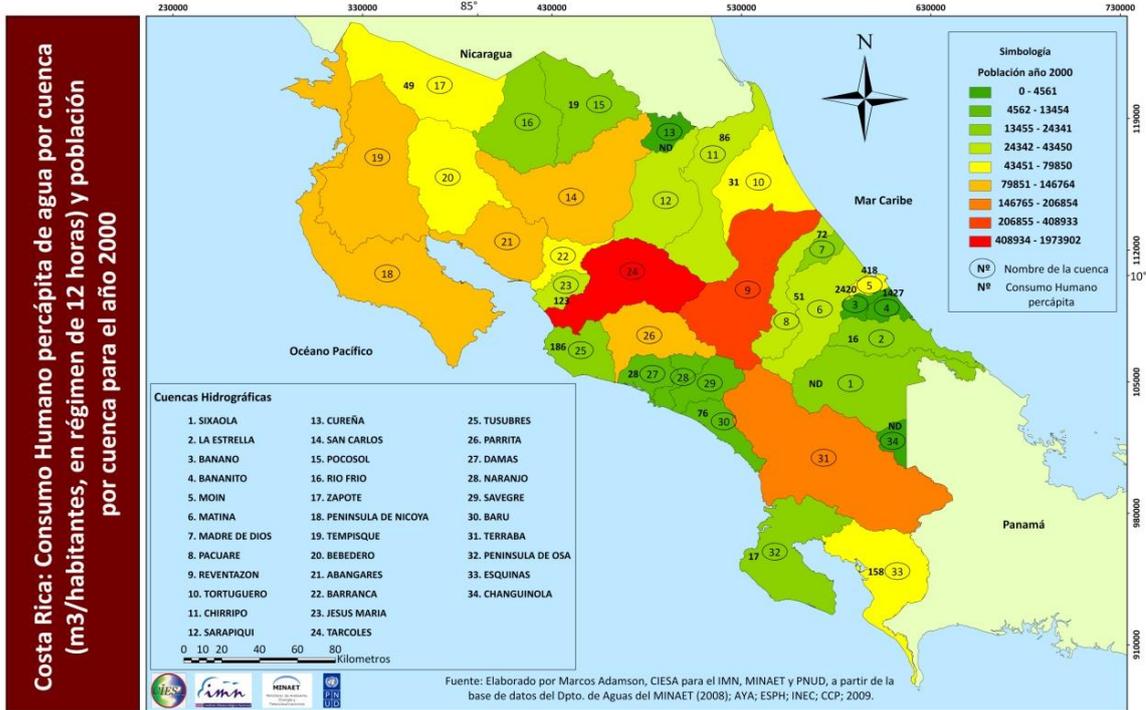


Figura 9.2. Costa Rica: Consumo humano per cápita de agua por cuencas de estudio, m^3 /persona, en régimen de aprovechamiento de 24 horas) y población por cuenca para el año 2000.

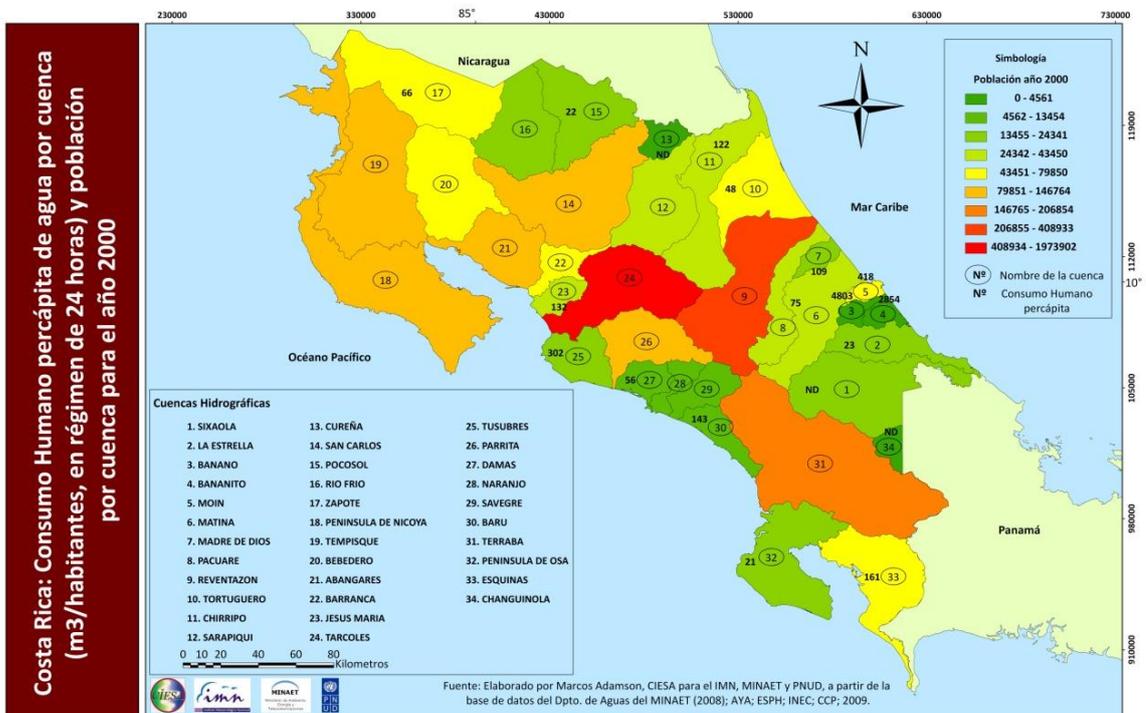


Figura 9.3. Costa Rica: Consumo humano per cápita de agua por cuencas de estudio, m^3 /persona, en régimen de aprovechamiento de 12 horas) y población por cuenca para el año 2008.

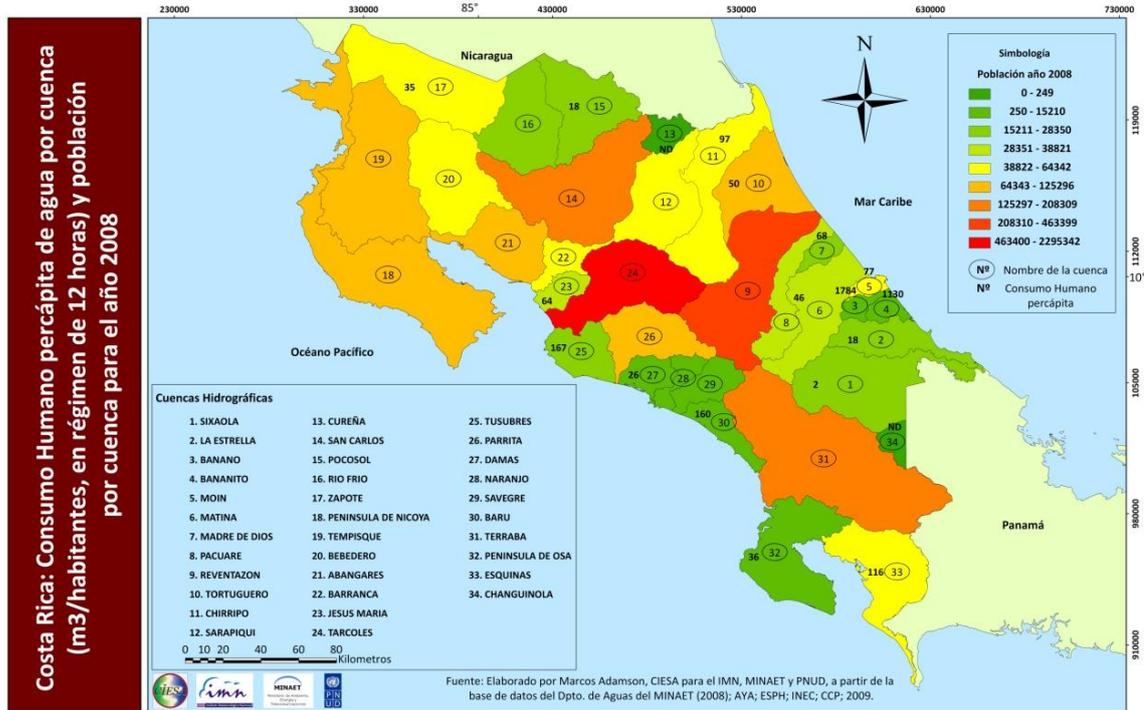
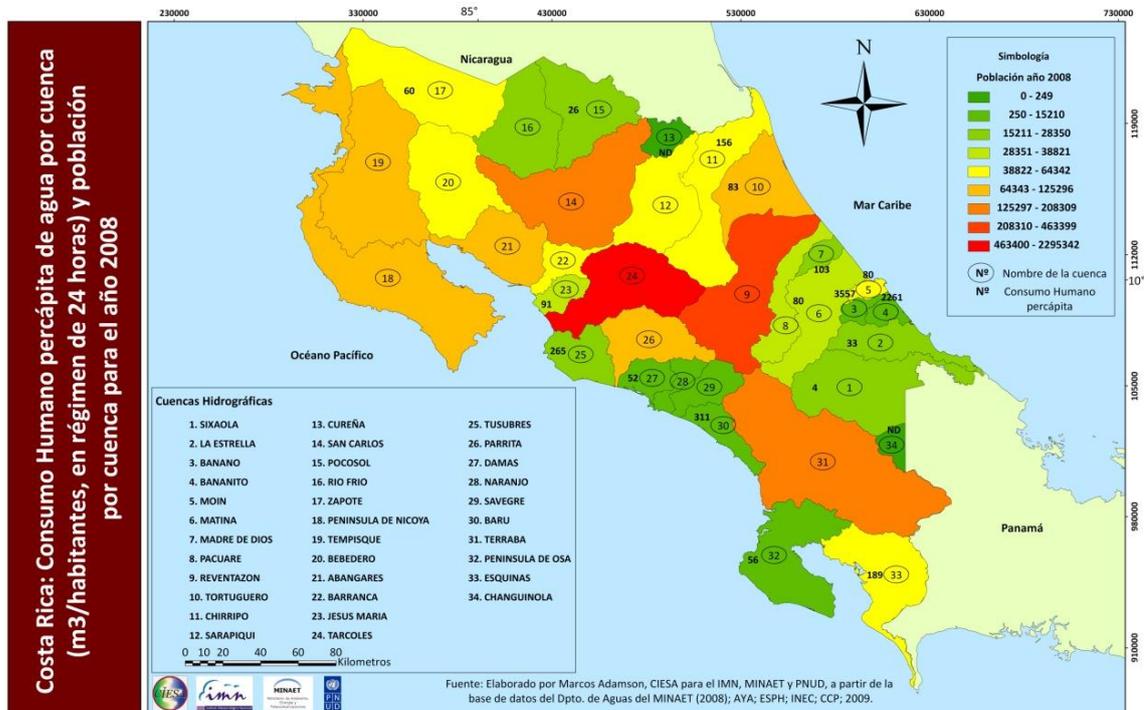


Figura 9.4. Costa Rica: Consumo humano per cápita de agua y población por cuencas de estudio para el año 2008 (m^3 /persona, aprovechamiento de 24 horas).



De los mapas anteriores, es posible observar algunos valores extremos, como son los casos de La Estrella, Península de Osa y Pocosol en el 2000 y los casos de Sixaola, La Estrella y Pocosol en el 2008, que presentan datos per cápita de consumo humano muy bajos. Mientras que las cuencas de Banano y Bananito presentan niveles de consumo humano per cápita elevados para ambos años y en ambos regímenes. Esto como se indicó anteriormente se puede deber a imputación inadecuada de agua consumida, debida a exportación de agua entre cuencas, como es el caso de Banano.

¿Qué tan certeros pueden ser estos escenarios de consumo de agua humana per cápita?

La bondad de un modelo depende en buena medida de su capacidad predictiva. En este caso, las comparaciones con otros estudios que han utilizado otros parámetros parecen indicar que el modelo reproduce niveles bastante similares de proyecciones logradas a través de cifras indirectas como es el caso del estudio de EGIRH (2005) para las primeras proyecciones.

En estudios de series de tiempo es de esperar que conforme se aleja el horizonte de pronóstico la varianza se incremente y el intervalo de pronóstico de la esperanza matemática tienda a ensancharse.

En este caso, los estadísticos de bondad del modelo indican que no hay autocorrelación y el nivel de ajuste (R^2 ajustado) es bastante aceptable (ver Cuadro 9.1 al inicio del capítulo). Por tanto, estos pronósticos deben interpretarse desde el punto de vista en el cual, la evidencia empírica existente señala, *con un alto nivel de significancia estadística, que de continuarse con los patrones históricos de consumo de agua per cápita, en el escenario de crecimiento moderado del PIB per cápita, los niveles de demanda per cápita de agua para uso humano de Costa Rica tenderán a ser explosivos, y por tanto difícilmente sostenibles desde un punto de vista ambiental.*

Lamentablemente, los resultados agregados a nivel de país, parecen reflejar una cultura que toma el agua para consumo humano como un recurso libre y no escaso. Probablemente debido a la percepción de abundancia relativa que se asocia a la importante dotación de agua que vive el país durante una mayoría de los meses del año en que llueve, lo cual sin embargo parece estar cambiando recientemente. Sin embargo, este patrón claramente representa una fuerte amenaza para la gestión integral del recurso hídrico.

Esta situación debe alertar particularmente a las autoridades relacionadas con el aseguramiento de la sostenibilidad del servicio público de agua potable, en lo que a su regulación (ARESEP y ccesionarios) se refiere. Pero no solo en el nivel tarifario como mecanismo de racionamiento. Además, amerita una práctica fuerte de Regulación Preventiva, con campañas de educación y monitoreo en las diferentes urbes y localidades.

Debe alertar al MINAET y su Jerarca como rector del recurso agua, de cara a los problemas que se avecinan bajo el escenario actual, la amenaza del calentamiento global y los eventuales periodos de escasez que podrían generarse, que se verían fuertemente agravados por estos patrones de consumo. El cambio no se logrará sin *políticas*

efectivas dirigidas hacia la incorporación de incentivos y comando y control, para lograr detener la escalada y el “proceso de urbanización del patrón de consumo de agua” para uso humano (tales como los que focalizan sobre volúmenes racionales de agua en los tanques sanitarios; tipos de detergentes; maquinaria y tecnologías de lavado automático diverso de ropa, etc.).

Amerita la revisión de los procesos acelerados de urbanización del consumo de agua potable para *fines diferentes al consumo humano* en las urbes (lavado de vehículos, riego de zonas verdes, tecnología de maquinas de lavado de ropa, piscinas, yacuisis, entre otros) y una participación activa de las Municipalidades en particular en los procesos de inspección de construcciones y remodelación con objeto de definir la fuente del agua utilizada en la construcción.

9.7. Demanda total (consuntiva y no consuntiva) para cada las cuencas analizadas

Adicional al análisis del total de agua demanda para el país y por sectores de uso, se realizó una estimación y estudio de la demanda de agua para cada una de las 19 cuencas de estudio.

Los principales resultados se presentan en el cuadro 9.16, para el año base (los datos de cada año según escenario por cuenca se encuentran en los cuadros del anexo digital 9.5.A). Se encontró que unas pocas cuencas concentran la mayoría de la demanda en esta zona de estudio: la gran mayoría (cerca del 93%) de la demanda histórica en estas cuencas se concentra en Zapote. Chirripó, las cuales aportan conjuntamente un 88% de la demanda total; luego sigue Damas (3.5%) y Moín (3%) en el 2010.

Cuadro 9.16. Costa Rica: Demanda de agua histórica y proyectada por cuenca (escenario base, aprovechamiento de 12 y 24 horas), en hm³.

Régimen de aprovechamiento de 12 horas											
	Año	Bananito	Banano	Barú	Chirripó	Damas	Esquinas	Jesús María	La Estrella	Madre de Dios	Matina
	2000	6	11	2	39	32	20	4	0	1	2
	2005	6	11	3	626	50	16	6	3	2	2
Proyectada	2010	11	19	4	720	61	23	9	3	3	4
	2020	32	54	11	1,399	172	63	24	9	8	11
	2021	36	61	12	1,433	193	71	27	10	9	13
	2030	109	184	33	2,313	584	215	83	30	27	38
Tasas de Crecimiento Promedio	2001-2010	7.51%	7.07%	7.75%	150.17%	7.08%	2.57%	15.97%	98.21%	8.09%	7.18%
	2011-2020	10.86%	10.86%	10.03%	6.92%	10.86%	10.86%	10.86%	10.86%	10.86%	10.86%
	2021-2030	13.00%	13.00%	11.93%	5.17%	13.00%	13.00%	13.00%	13.00%	13.00%	13.00%
	Año	Moín	Penín. Osa	Pocosol	Sixaola	Tortuguero	Tusubres	Zapote	Subtotal	Otras Cuencas	Total País
	2000	51	1	0	0	5	5	390	571	12,347	12,918
	2005	31	1	0	0	7	8	790	1,562	15,056	16,617
Proyectada	2010	52	2	1	1	13	14	881	1,820	17,841	19,662
	2020	146	5	2	2	36	40	1,653	3,667	36,773	40,440
	2021	163	6	3	2	41	44	1,674	3,796	38,330	42,126
	2030	495	17	8	5	123	134	2,397	6,796	72,756	79,552
Tasas de Crecimiento Promedio	2001-2010	2.31%	10.30%	14.08%	8.96%	10.90%	10.98%	11.43%	15.15%	3.81%	4.34%
	2011-2020	10.86%	10.86%	10.86%	10.86%	10.86%	10.86%	6.55%	7.29%	7.54%	7.51%
	2021-2030	13.00%	13.00%	13.00%	13.00%	13.00%	13.00%	3.80%	6.38%	7.07%	7.01%
Régimen de aprovechamiento de 24 horas											
	Año	Bananito	Banano	Barú	Chirripó	Damas	Esquinas	Jesús María	La Estrella	Madre de Dios	Matina
Histórica	2000	12	22	3	73	33	21	4	1	2	4
	2005	12	22	4	662	51	21	7	2	3	4
Proyectada	2010	13	23	5	732	72	27	10	4	3	5
	2020	41	69	13	1,449	218	80	31	11	10	14
	2021	46	77	14	1,491	246	90	35	13	12	16
	2030	145	245	43	2,526	778	287	111	41	37	51
Tasas de Crecimiento Promedio	2001-2010	1.41%	0.45%	6.35%	80.92%	8.81%	4.47%	14.62%	45.39%	3.91%	3.91%
	2011-2020	11.66%	11.66%	10.82%	7.11%	11.66%	11.66%	11.66%	11.66%	11.66%	11.66%
	2021-2030	13.58%	13.58%	12.68%	5.73%	13.58%	13.58%	13.58%	13.58%	13.58%	13.58%
	Año	Moín	Penín. Osa	Pocosol	Sixaola	Tortuguero	Tusubres	Zapote	Subtotal	Otras Cuencas	Total País
Histórica	2000	77	1	1	1	9	8	391	661	12,558	13,219
	2005	57	1	0	1	13	12	791	1,662	15,523	17,185
Proyectada	2010	61	2	1	1	15	17	884	1,875	18,536	20,411
	2020	185	6	3	2	46	50	1,668	3,895	39,673	43,569
	2021	208	7	3	2	52	56	1,691	4,060	41,675	45,735
	2030	659	23	11	7	164	179	2,461	7,765	85,054	92,819
Tasas de Crecimiento Promedio	2001-2010	-1.85%	10.10%	17.76%	2.26%	5.94%	7.66%	11.42%	13.25%	4.03%	4.49%
	2011-2020	11.66%	11.66%	11.66%	11.66%	11.66%	11.66%	6.60%	7.62%	7.94%	7.91%
	2021-2030	13.58%	13.58%	13.58%	13.58%	13.58%	13.58%	3.98%	7.16%	7.94%	7.87%

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD, a partir de la Base de Datos del Dpto. de Aguas del MINAET (2008), Aya, ESPH, INEC, CCP, WTI; 2009.

Las estimaciones muestran que en conjunto las cuencas de estudio (subtotal en el cuadro, aprovechamiento de 12 horas), ejercieron una demanda total en el 2000 de 571 hm³, la cual para el 2005 se había casi triplicado y para el 2020 se estima se habrá multiplicado cerca de 6,5 veces. Para el 2030 se estima que en conjunto estas cuencas hayan duplicado la demanda del 2020, ubicándose la demanda en 6,8 mil hm³. ***En términos relativos, en el 200 la demanda de estas 19 cuencas representaba tan solo el 4.4% de la demanda hídrica total del país. Para el 2005 esa proporción ya se había incrementado a 9%.***

Para un aprovechamiento de 12 horas, los consumos más importantes son los siguientes por cuenca:

Zapote presenta el mayor consumo de agua, con 884 hm³ en el 2010, la cual se utiliza principalmente en el sector energía, y el escenario base estima que esa demanda casi se triplicará al 2030.

En segunda posición se ubica la Cuenca del Chirripó con 732 hm³ en el 2010, y en el escenario base se pronostica una duplicación para el 2020.

En tercero lugar aparece la cuenca Damas, con 61 hm³ consumidos en el 2010 y una triplicación de la demanda para el 2020. El sector agrícola de esa cuenca concentra casi un 98% e incrementó su demanda histórica entre el 2005-2008 a una tasa anual del 8%.

En el caso de la cuenca Cureña, esta no presenta datos de consumo de agua registrados en ninguna de las bases de datos utilizadas. Changuinola no reporta población, ni concesiones, por lo que su demanda conocida es igual a cero.

Fuente: Marcos Adamson; CIESA para el IMN, MINAET y PNUD, 2009.

Es importante conocer cuál es la demanda de agua de estas cuencas al excluir el sector energía, pues como se mencionó anteriormente, el agua utilizada en este sector puede volver a ser utilizada en otros usos; por lo que la demanda de agua efectiva podría ser menor. Es necesario aclarar, que debido a que históricamente el agua de la mayor parte de las cuencas de estudio no es utilizada para hidrogenación, la participación de dichas cuencas en el sector energía es 0%, por lo tanto la demanda presentada en los cuadros 9.16 y 9.17 es la misma. Este es el caso de Banano, Bananito, Damas, Esquinas, Jesús María, La Estrella, Madre de Dios, Matina, Moín, Península de Osa, Pocosol, Sixaola, Tortuguero y Tusubres.

Las demandas por cuencas sin energía se presenta en el siguiente cuadro (los datos de cada año según escenario para cada una de las cuencas, se encuentran en los cuadros del anexo digital 9.5.A):

Cuadro 9.17. Costa Rica: Demanda de agua (sin energía) histórica y proyectada por cuenca (escenario base, aprovechamiento de 12 y 24 horas, en hm³).

Régimen de aprovechamiento de 12 horas										
	Año	Bananito	Banano	Barú	Chirripó	Damas	Esquinas	Jesús María	La Estrella	Madre de Dios
Histórica	2000	6	11	1	36	32	20	4	0	1
	2005	6	11	2	39	50	16	6	3	2
Proyectada	2010	11	19	3	67	61	23	9	3	3
	2020	32	54	9	189	172	63	24	9	8
	2021	36	61	10	212	193	71	27	10	9
	2030	109	184	30	641	584	215	83	30	27
Tasas de Crecimiento Promedio	2001-2010	7.51%	7.07%	10.84%	7.53%	7.08%	2.57%	15.97%	98.21%	8.09%
	2011-2020	10.86%	10.86%	10.86%	10.86%	10.86%	10.86%	10.86%	10.86%	10.86%
	2021-2030	13.00%	13.00%	13.00%	13.00%	13.00%	13.00%	13.00%	13.00%	13.00%
Régimen de aprovechamiento de 24 horas										
	Año	Matina	Moín	Penín. Osa	Pocosol	Sixaola	Tortuguero	Tusubres	Zapote	Otras Cuencas
Histórica	2000	2	51	1	0	0	5	5	16	1,524
	2005	2	31	1	0	0	7	8	16	2,724
Proyectada	2010	4	52	2	1	1	13	14	20	3,887
	2020	11	146	5	2	2	36	40	56	10,897
	2021	13	163	6	3	2	41	44	63	12,217
	2030	38	495	17	8	5	123	134	191	36,999
Tasas de Crecimiento Promedio	2001-2010	7.18%	2.31%	10.30%	14.08%	8.96%	10.90%	10.98%	2.23%	10.11%
	2011-2020	10.86%	10.86%	10.86%	10.86%	10.86%	10.86%	10.86%	10.86%	10.86%
	2021-2030	13.00%	13.00%	13.00%	13.00%	13.00%	13.00%	13.00%	13.00%	13.00%
Régimen de aprovechamiento de 24 horas										
	Año	Bananito	Banano	Barú	Chirripó	Damas	Esquinas	Jesús María	La Estrella	Madre de Dios
Histórica	2000	12	22	2	70	33	21	4	1	2
	2005	12	22	3	75	51	21	7	2	3
Proyectada	2010	13	23	4	79	72	27	10	4	3
	2020	41	69	11	239	218	80	31	11	10
	2021	46	77	13	270	246	90	35	13	12
	2030	145	245	40	854	778	287	111	41	37
Tasas de Crecimiento Promedio	2001-2010	1.41%	0.45%	8.25%	1.32%	8.81%	4.47%	14.62%	45.39%	3.91%
	2011-2020	11.66%	11.66%	11.66%	11.66%	11.66%	11.66%	11.66%	11.66%	11.66%
	2021-2030	13.58%	13.58%	13.58%	13.58%	13.58%	13.58%	13.58%	13.58%	13.58%
	Año	Matina	Moín	Península de C	Pocosol	Sixaola	Tortuguero	Tusubres	Zapote	Otras Cuencas
Histórica	2000	4	77	1	1	1	9	8	18	1,736
	2005	4	57	1	0	1	13	12	17	3,191
Proyectada	2010	5	61	2	1	1	15	17	24	4,582
	2020	14	185	6	3	2	46	50	71	13,797
	2021	16	208	7	3	2	52	56	81	15,562
	2030	51	659	23	11	7	164	179	255	49,297
Tasas de Crecimiento Promedio	2001-2010	3.91%	-1.85%	10.10%	17.76%	2.26%	5.94%	7.66%	3.30%	10.46%
	2011-2020	11.66%	11.66%	11.66%	11.66%	11.66%	11.66%	11.66%	11.66%	11.66%
	2021-2030	13.58%	13.58%	13.58%	13.58%	13.58%	13.58%	13.58%	13.58%	13.58%

Fuente: Elaborado por M. Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD, a partir de la Base de Datos del Dpto. de Aguas del MINAET (2008), AyA, ESPH, INEC, CCP, WTI; 2009.

La demanda consuntiva de agua de estas 19 cuencas ascendió en el 2010 a 303 hm³. Este subconjunto de cuencas contribuye con un 7% de de la demanda consuntiva de agua del país, y como ya se había indicado aporta un 13% de la población nacional. Como se indicó las demandas de agua se reducen sustancialmente en Zapote y Chirripó al excluir la demanda requerida para hidrogenación.

Es relevante analizar el nivel de demanda per cápita en cada cuenca, con el fin de ofrecer un estimado del agua que en promedio por habitante se requiere para el desarrollo de todas las actividades socioeconómicas por cuenca. Para las cuencas que no pertenecen a este estudio se utilizó el componente de usos de consumo presentado

por el IMTA (2008) para el año 2000 en representación de la demanda de estas cuencas (ver cuadro 9.18), pues este componente es el que más se “asemeja” a la metodología usada por CIESA para calcular la demanda efectiva de agua por cuenca (debe tenerse en cuenta las consideraciones metodológicas señaladas en la sección de disponibilidades). Es importante considerar que el estudio realizado por el IMTA no expresa explícitamente el régimen de aprovechamiento de agua que utilizan para sus mediciones de demanda finalmente reportadas a nivel consolidado. Para el resto de los mapas (2010, 2020 y 2030) no fue posible indicar la demanda per cápita de las cuencas que no pertenecen a este estudio pues no se encuentran disponibles a partir del informe del IMTA. El siguiente cuadro muestra el estimado de demandas per cápita para el resto de cuencas.

Cuadro 9.18. Costa Rica: Demanda de agua en hm³, para las cuencas del estudio del IMTA (2008)

Cuenca	Usos de consumo, hm ³ /año
Abangares	85.85
Barranca	11.53
Frío	0.25
Grande de Tárcoles	3433.10
Grande de Térraba	862.60
Naranjo	13.52
Pacuare	18.55
Parrita	174.90
Pen. Nicoya a	12.69
Pen. Nicoya b	7.80
Reventazón	2550.50
San Carlos Lago	71.05
San Carlos 2	3015.86
Sarapiquí ¹	2954.42
Savegre	0.24
Tempisque- Bebedero	6008.77
Total	19221.63

¹ Tomado de los Anexos del Informe del IMTA para el año 2000

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA, a partir de datos del informe del IMTA (2008), y población por cuenca de CIESA (2009).

Por otro lado, CIESA considerando relevante analizar los patrones de consumo per cápita en cada cuenca, a pesar de no haber sido solicitado en los productos facilitó alguna información de su base de datos de estimados de población por cuenca. Esto por cuanto desde hace tiempo se menciona la importancia de realizar análisis per cápita por cuenca en la GIRH; pero hasta el momento todos los análisis que se realizan en términos absolutos y en el mejor de los casos se argumentan estimados de población, de algunos cantones o grupos de estos, dentro de las cuencas o escasamente para la cuenca del Tárcoles, indicando que tiene cerca de la mitad de la población del país (ver metodología, capítulo 2).

A continuación, se presentan los mapas de demanda per cápita (consuntiva y no consuntiva) para cada una de las cuencas del país (aprovechamiento de 12 horas) (los mapas que corresponden a la demanda per cápita del régimen de aprovechamiento de 24 se encuentran en el anexo digital 9.6.A), los colores representan la cantidad absoluta de población. Al igual que en los anteriores mapas de este capítulo los colores están directamente asociados al tamaño absoluto de las poblaciones de cada año respectivo (ver simbología), los dígitos encerrados en un círculo representan el número de cada

cuenca, mientras que el valor en **negrita** representa la demanda de agua per cápita de cada cuenca.

Figura 9.5. Costa Rica: Población y demanda de agua per cápita por cuenca (m³/habitante, incluyendo sector energía, aprovechamiento de 12 horas) para el año 1995.

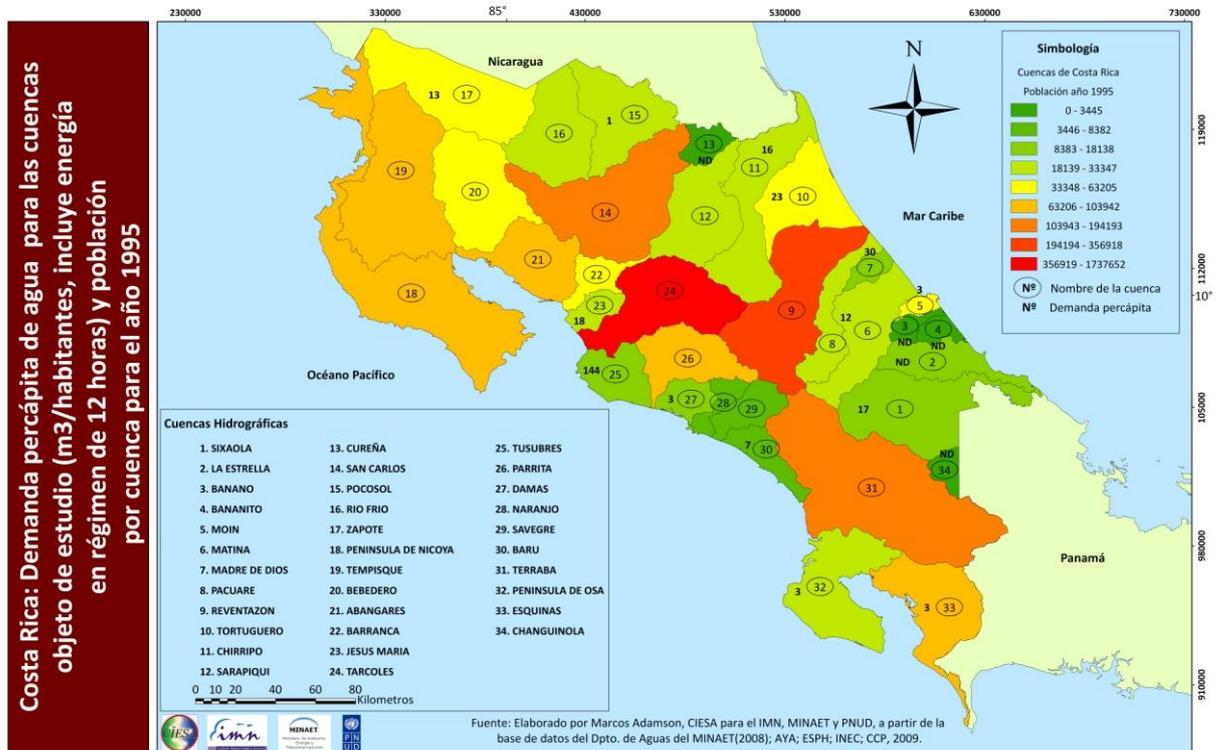


Figura 9.6. Costa Rica: Población y demanda total de agua per cápita por cuenca (m³/habitante, incluyendo sector energía aprovechamiento de 12 horas), para el año 2000.

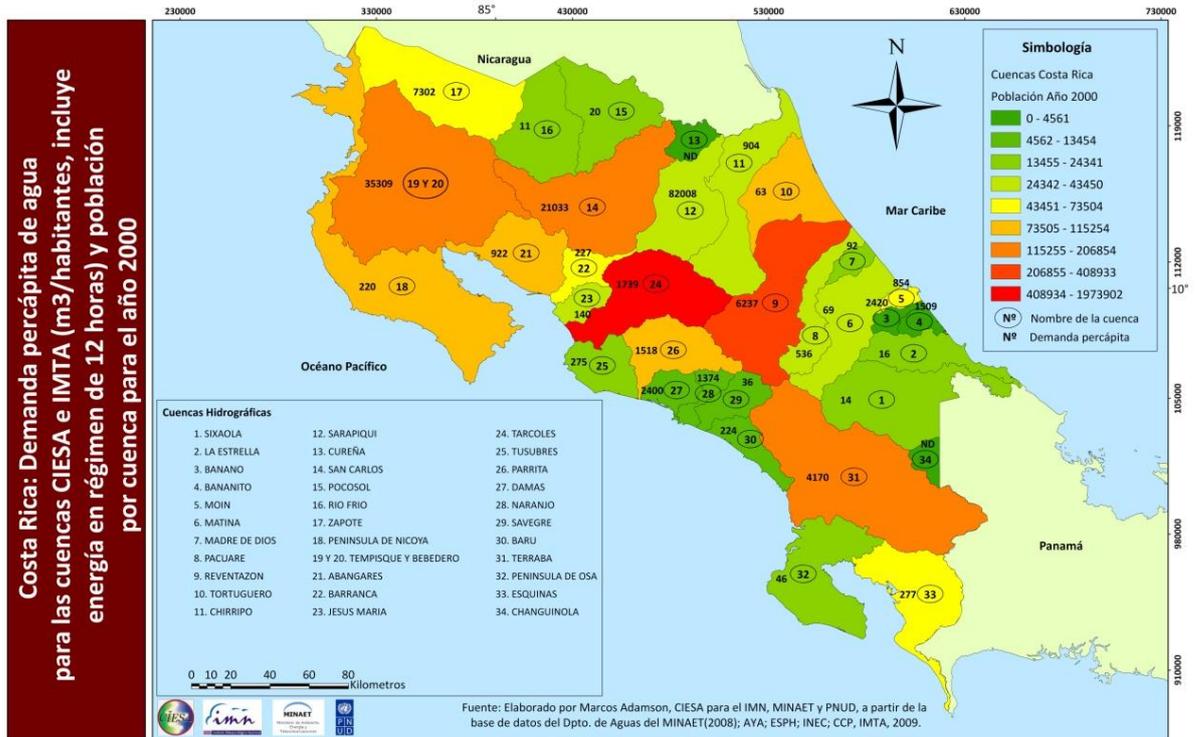


Figura 9.7. Costa Rica: Población y demanda de agua per cápita por cuenca (m³/habitante, incluyendo sector energía, aprovechamiento de 12 horas, escenario base) para el año 2010.

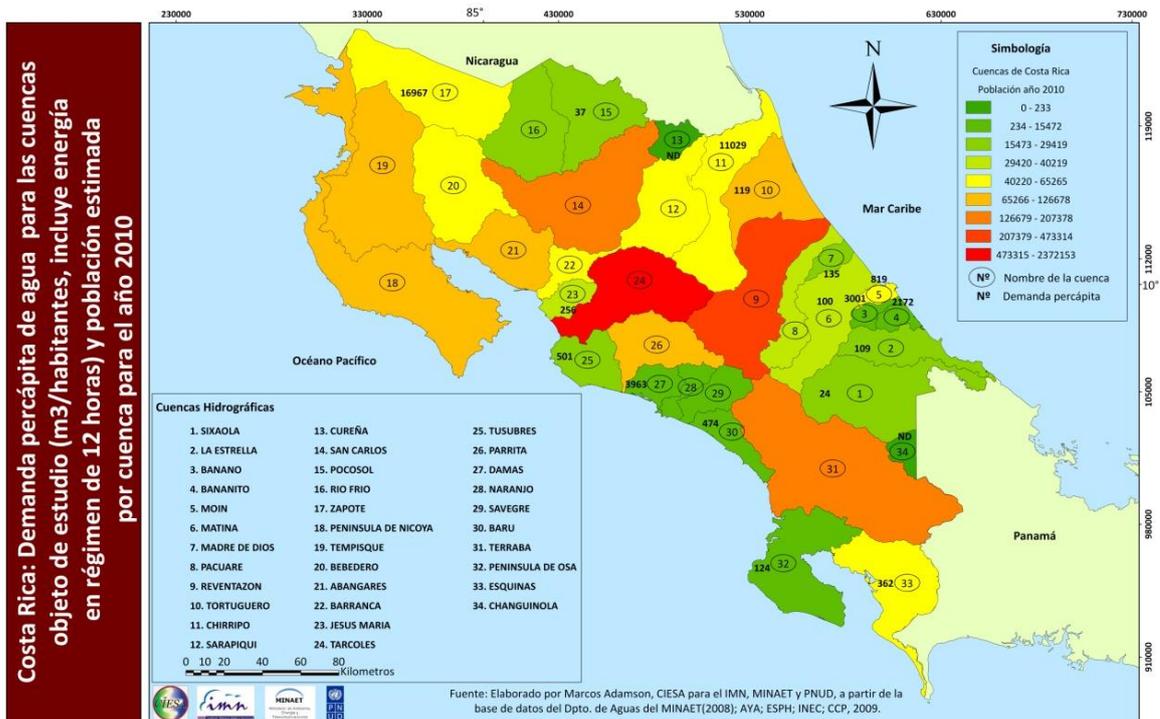


Figura 9.8. Costa Rica: Población y demanda de agua per cápita por cuenca (m³/habitante, incluyendo sector energía, aprovechamiento de 12 horas, escenario base) para el año 2020.

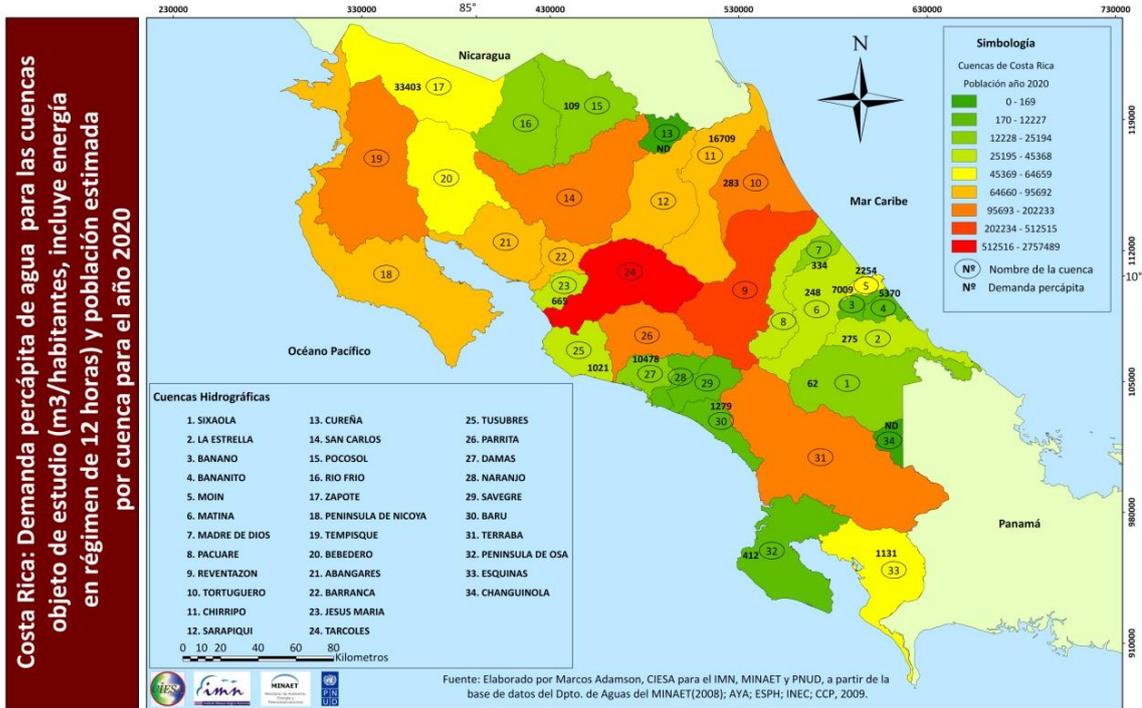
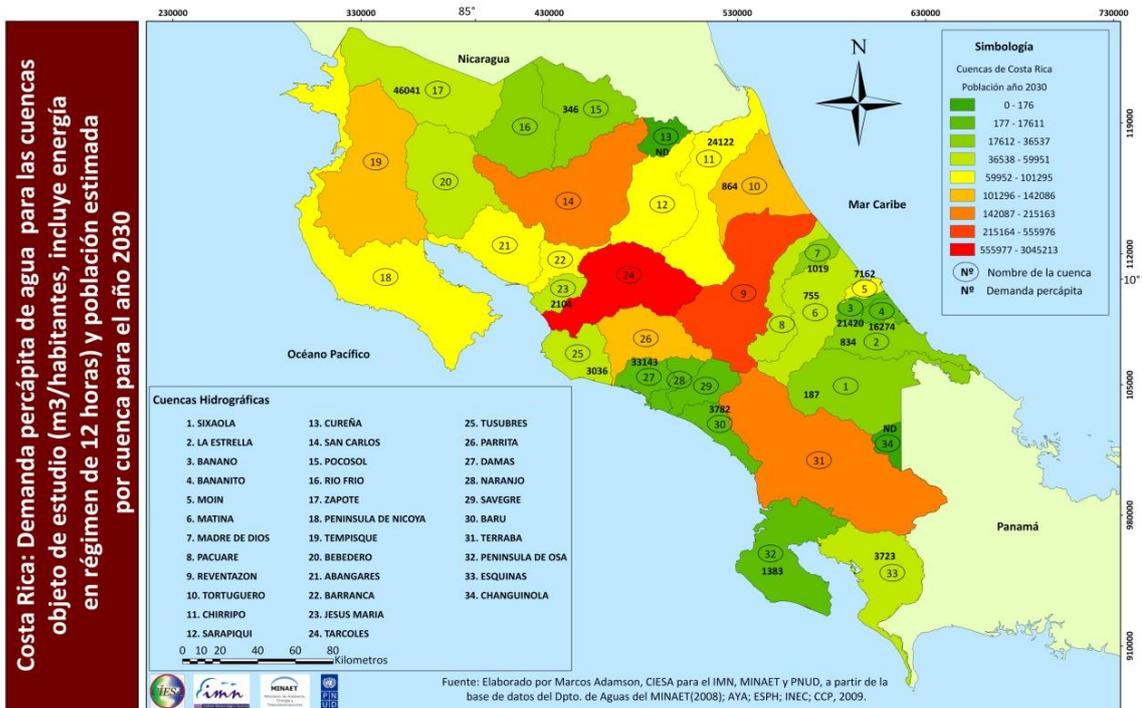


Figura 9.9. Costa Rica: Población y demanda de agua per cápita por cuenca (m³/habitante, incluyendo sector energía, aprovechamiento de 12 horas, escenario base) para el año 2030.



Para poder analizar de manera más exacta los mapas anteriores, en el cuadro 9.19 se indican los valores históricos y proyectados de población para esos años.

Cuadro 9.19. Costa Rica: Población histórica y proyectada por cuenca.

Costa Rica. Población Histórica y Proyectada												
Año	Abangares	Bananito	Banano	Barranca	Barú	Bebedero	Chirripó	Cureña	Damas	Esquinas	Jesús María	La Estrella
1995	87.442	3.074	3.445	42.551	8.269	51.065	33.347	457	11.518	76.969	25.295	18.138
2000	93.163	3.926	4.561	50.833	8.771	55.309	43.450	368	13.454	73.504	28.963	22.610
2010	95.431	5.254	6.447	63.903	8.581	57.076	65.265	233	15.472	62.347	34.106	29.419
2020	95.692	5.958	7.739	71.629	8.266	56.802	83.714	169	16.406	55.993	36.849	32.579
2030	101.295	6.675	8.599	78.051	8.626	59.951	95.895	176	17.611	57.773	39.518	36.537
Tasa de Crecimiento Promedio												
2000-2010	0%	3%	4%	2%	0%	0%	4%	0%	2%	-2%	2%	3%
2011-2020	0%	1%	2%	1%	0%	0%	3%	0%	1%	-1%	1%	1%
2021-2030	1%	1%	1%	1%	0%	1%	1%	0%	1%	0%	1%	1%
Año	Madre de Dios	Matina	Moín	Naranjo	Pacuare	Parrita	Pen. Nicoya	Pen. Osa	Pocosol	Reventazón	Río Frio	San Carlos
1995	12.720	26.058	53.245	8.382	30.825	103.114	89.008	20.579	23.779	356.918	21.401	126.174
2000	16.108	31.611	59.440	9.839	34.637	115.254	93.135	18.832	24.341	408.933	22.887	146.764
2010	21.359	40.219	63.475	11.539	37.646	126.678	91.746	14.466	22.993	473.314	23.964	174.170
2020	24.187	45.368	64.659	12.218	38.347	129.651	89.210	12.227	21.731	512.515	24.216	188.594
2030	26.881	50.680	69.097	13.227	41.757	138.321	91.665	12.357	23.329	555.976	25.795	206.277
Tasa de Crecimiento Promedio												
2000-2010	3%	3%	1%	2%	1%	1%	0%	-3%	-1%	2%	1%	2%
2011-2020	1%	1%	0%	1%	0%	0%	0%	-2%	-1%	1%	0%	1%
2021-2030	1%	1%	1%	1%	1%	1%	0%	0%	1%	1%	1%	1%
Año	Sarapiquí	Savegre	Sixola	Tárcoles	Tempisque	Térraba	Tortuguero	Tusubres	Zapote	Subtotal cuencas de estudio	Subtotal otras cuencas	Total
1995	26.987	5.981	15.690	1.737.652	103.942	194.193	63.205	15.823	50.632	461.786	2.985.635	3.447.878
2000	36.026	6.576	18.883	1.973.902	114.867	206.854	79.850	18.979	53.373	520.656	3.368.979	3.890.003
2010	56.841	6.867	23.390	2.372.153	122.121	207.378	108.493	28.177	51.917	601.380	3.920.827	4.522.440
2020	74.406	6.787	25.194	2.757.489	124.493	202.233	127.652	38.728	49.473	656.723	4.384.282	5.041.174
2030	86.433	7.223	28.448	3.045.213	130.602	215.163	142.086	44.232	52.063	720.407	4.796.949	5.517.532
Tasa de Crecimiento Promedio												
2000-2010	5%	1%	2%	2%	1%	0%	3%	4%	0%	2%	2%	2%
2011-2020	3%	0%	1%	2%	0%	0%	2%	3%	0%	1%	1%	1%
2021-2030	2%	1%	1%	1%	0%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%

Fuente: Marcos Adamson, Rafael Arce, CIESA, 2009

El análisis de población de Adamson y Arce (CIESA, 2009) por cuenca evidencia que:

Las estimaciones indican que la cuenca del Tárcoles con poco más de 2.3 millones de habitantes en el 2010, incrementará a 2.7 millones en el 2020 y a poco más de 3 millones para el 2030.

Le sigue la cuenca de Reventazón, que de 0.4 millones incrementará a poco más de 0.55 millones para el 2030.

Le siguen la cuenca del Térraba, San Carlos, Tortuguero, Tempisque, Parrita, Chirripó y Península de Nicoya.

Fuente: Marcos Adamson y Rafael Arce, CIESA. 2009.

Los mayores valores de demandas per cápita se presentan en las cuencas hidrogeneradoras, como es de esperar. Además, la gran mayoría de las cuencas objeto de estudio de CIESA muestran crecimientos importantes en las demandas totales per cápita.

Con respecto a las cuencas de estudio, los mapas anteriores a partir del 2000 denotan datos per cápita muy elevados en algunas de las cuencas. Se puede observar cuencas como Zapote y Chirripó, cuyos valores son relativamente más altos que el resto de las cuencas de estudio, seguidas de Damas, Banano y Bananito, esta tendencia se mantiene prácticamente durante todo el periodo proyectado.

Es importante aclarar para el 2000 Chirripó no se encuentra entre los valores más altos de demanda per cápita, pues fue a partir del 2001 que el registro de uso de agua para hidrogenación de esa cuenca sufre un aumento significativo (este es el sector más importante para esta cuenca). Es a partir de ese año que la cuenca del Chirripó empieza a conformar parte del grupo de las cuencas con demanda total y per cápita más elevadas.

Las cuencas Zapote y Chirripó poseen aproximadamente un 1% y un 1,5% de la población total del país respectivamente, mientras que sus demandas totales representan alrededor del 4% y 3,5% del total de agua demandada del país. Lo cual hace que sus demandas per cápita sean relativamente altas.

Sixaola y Pocosal presentan demandas per cápita muy bajas en comparación con el resto de cuencas. Cada una de estas cuencas representa aproximadamente 0.5% de la población mientras que sus demandas constituyen un 0.004% y un 0.016% de la demanda total de agua de Costa Rica. Esto indica que aunque estas poseen demandas y poblaciones muy pequeñas, la proporción de sus habitantes es relativamente mayor a la de sus demandas, por lo que las demandas per cápita son relativamente más pequeñas.

En cuanto al resto de cuencas, se puede decir que presentan demandas precipitas relativamente más altas que las cuencas en estudio, sin embargo realizar una comparación entre las cuencas de CIESA y las del IMTA, sería bastante complicado debido a los problemas descritos con anterioridad. Las cuencas con mayores datos per cápita son: Sarapiquí, Tempisque- Bebedero y San Carlos.

Es interesante anotar que con los datos de demanda absoluta proyectados por el IMTA la cuenca del Tárcoles, triplicará su consumo per cápita de agua.

Para el caso de la demanda sin el sector energía también se elaboran mapas de demanda per cápita. Sin embargo no se presenta para las otras cuencas fuera del estudio de CIESA, debido a que no fue posible obtener la data a partir del reporte del IMTA (2008).

Figura 9.10. Costa Rica: Población y demanda de agua per cápita consuntiva para las cuencas de estudio (m^3 /habitante, excluyendo sector energía, aprovechamiento de 12 horas) para el año 1995.

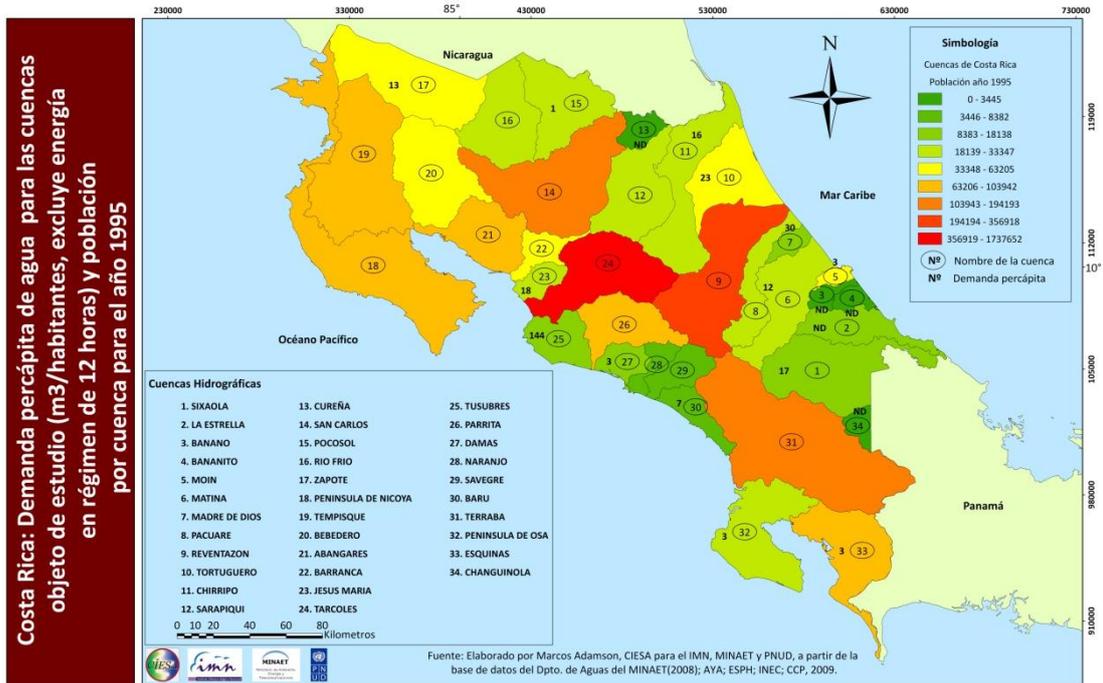


Figura 9.11. Costa Rica: Población y demanda de agua per cápita consuntiva para las cuencas de estudio (m^3 /habitante, excluyendo sector energía, régimen de aprovechamiento de 12 horas) para el año 2000.

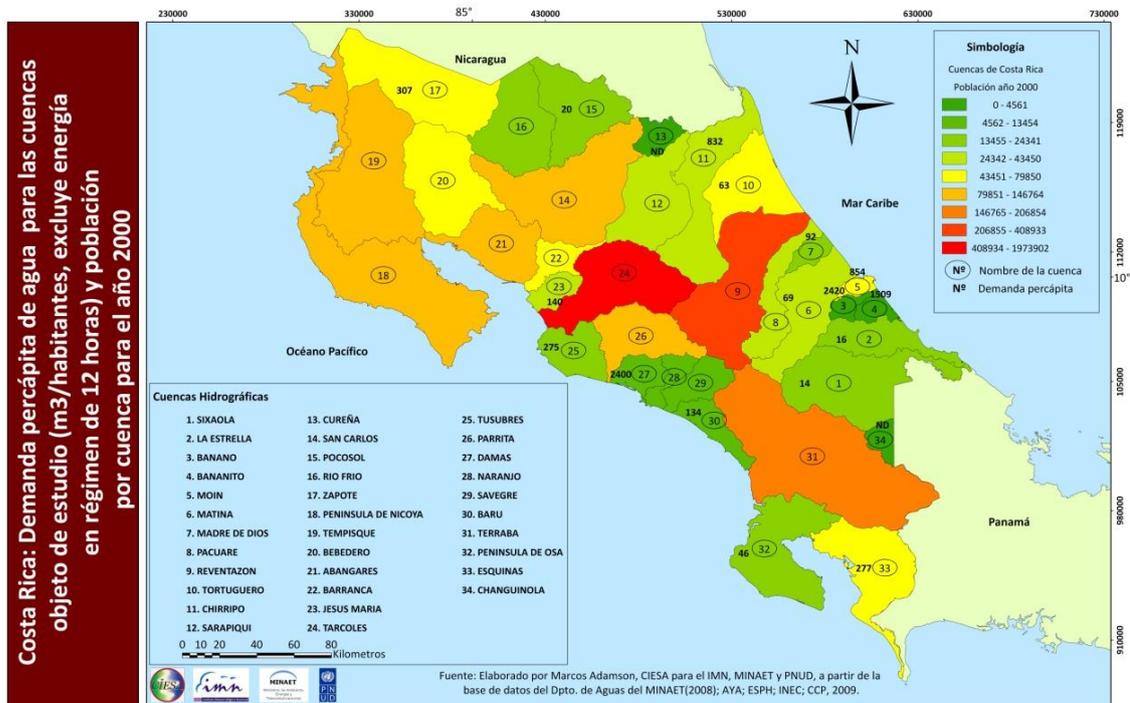


Figura 9.12. Costa Rica: Costa Rica: Población y demanda de agua per cápita consuntiva para las cuencas de estudio (m³/habitante, excluyendo sector energía, aprovechamiento de 12 horas, escenario base) para el año 2010.

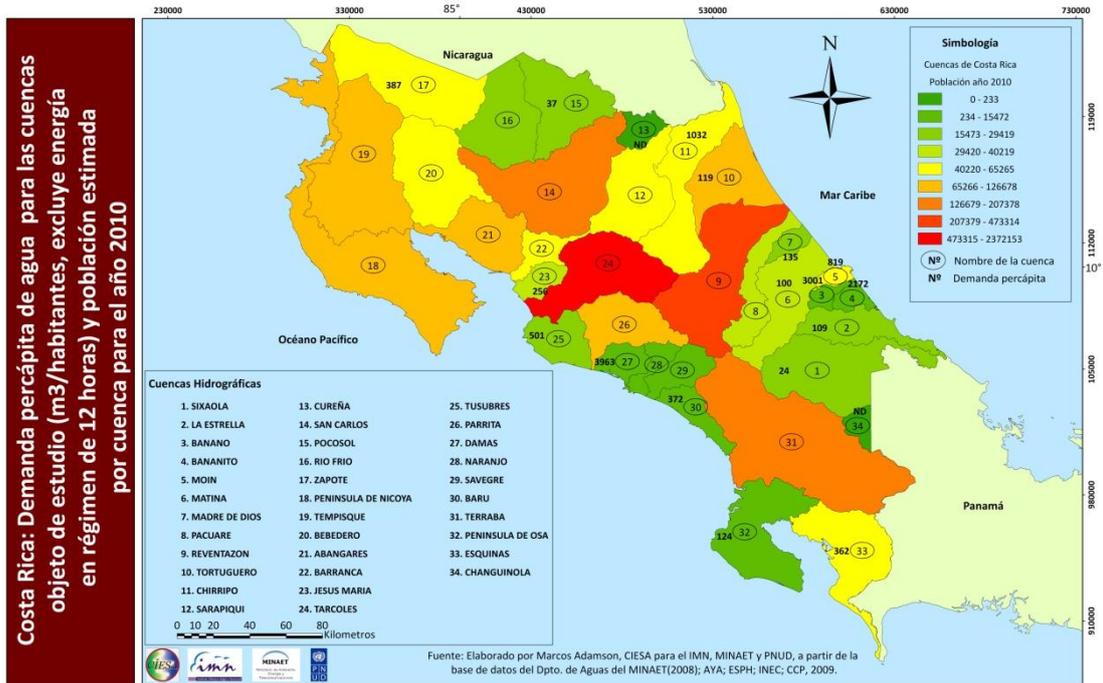


Figura 9.13. Costa Rica: Costa Rica: Población y demanda de agua per cápita consuntiva para las cuencas de estudio (m³/habitante, excluyendo sector energía, aprovechamiento de 12 horas, escenario base) para el año 2020.

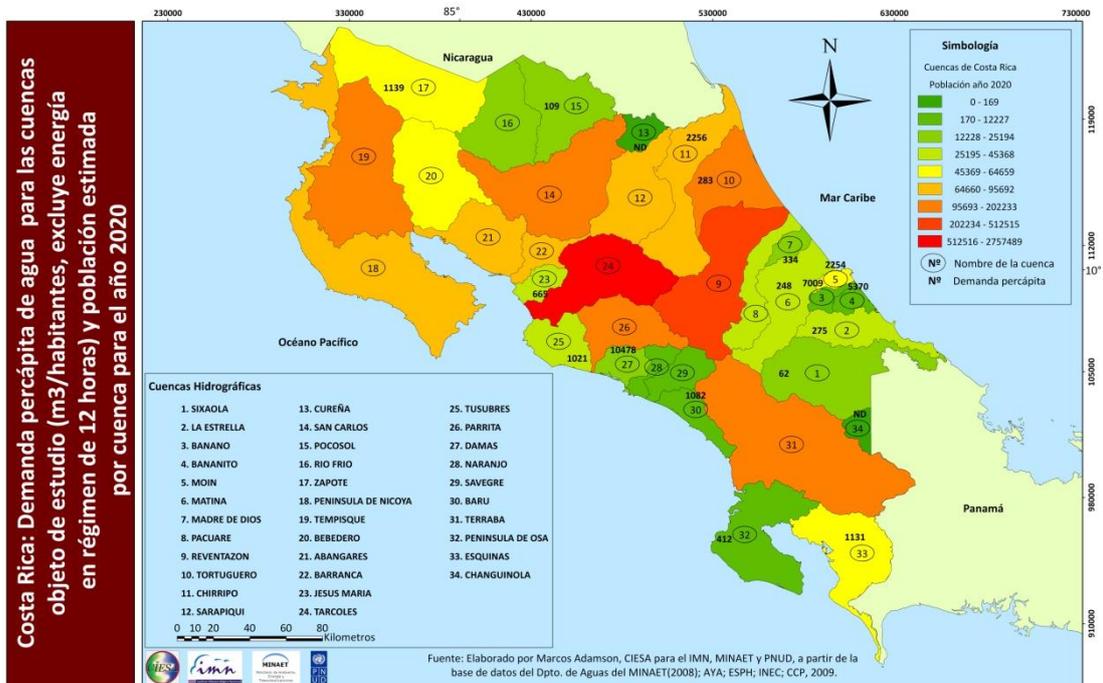
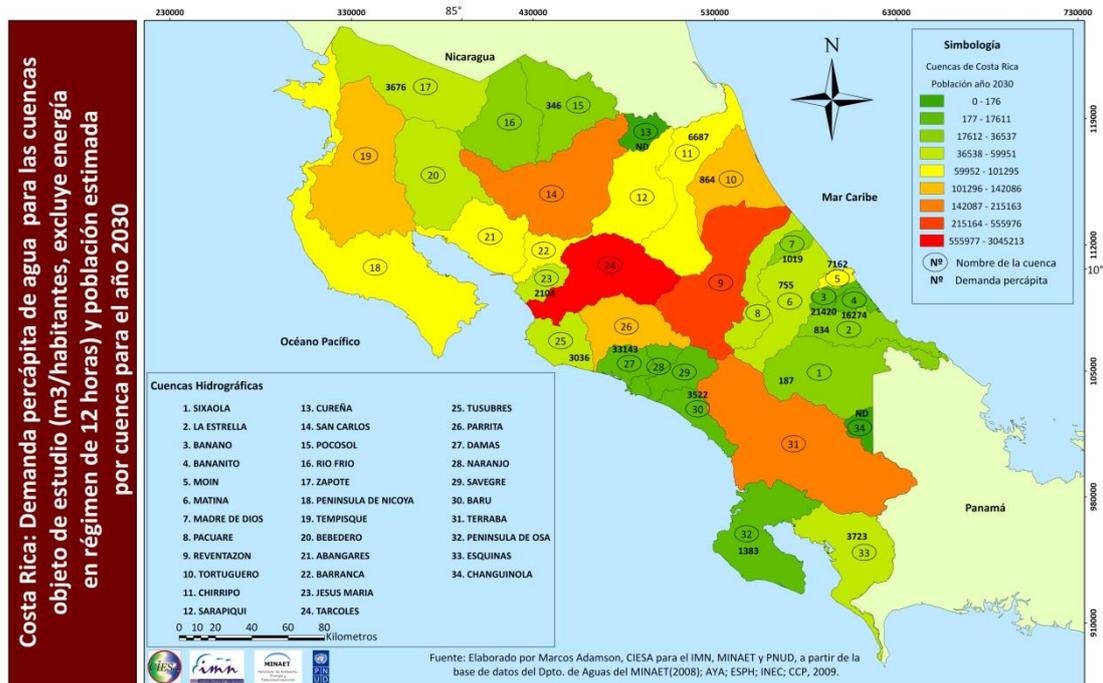


Figura 9.14. Costa Rica: Demanda de agua per cápita para las cuencas de estudio (m³/habitante, excluyendo sector energía), para un régimen de aprovechamiento de 12 horas (escenario base) y población estimada por cuenca para el año 2030.



Al excluir la demanda de agua para la hidrogenación, las per cápita aparecen con los mayores niveles de consumo per cápita, las cuencas de: Damas, Banano y Bananito, pues estas no poseen sector energía, por lo cual sus demandas per cápita son las mismas incluyendo o excluyendo dicho sector, y ya se había indicado que estas cuencas es esperable una imputación del consumo de Moín, el cual de por sí ya presenta un crecimiento significativo de la demanda no consuntivo. Zapote y Chirripó, reducen sensiblemente el consumo per cápita al excluir el agua requerida en hidrogenación.

9.8. Una Estimación sobre la extracción de agua de pozos de las cuencas objeto de estudio

Debido a que existe una importante discusión sobre la extracción de agua subterránea, CIESA consideró oportuno, adicionar una nota, a manera de disgresión, sobre la demanda de agua de fuentes extraída mediante pozos. Esto como es sabido no se factible de hacer directamente de la información nacional, debido a que las Bases de datos del AyA, ESPH no fueron suplidas por fuente. Por tanto, con utilizando la base de datos Departamento de Aguas del MINAET, la cual no incluye toda la información sobre consumo de agua, se estimó una distribución relativa de demanda por fuente, ya fuese subterránea o superficial. Este parámetro se aplicó a la base de datos completa de demanda de agua para Costa Rica, que si incluye AyA, ESPH, etc. al año 2008,

explicada en el primer apartado de este capítulo. Con la incertidumbre existente sobre la cantidad de pozos, este acápite debe considerarse solo como referencia.

9.8.a. Extracción anual

Cuadro 9.20. Costa Rica: Aproximación del consumo de agua total según fuente subterránea o superficial (en hm³), datos acumulados hasta el 2008.

Cuenca	12h		24h	
	Subterránea	Superficial	Subterránea	Superficial
Bananito	0,55	6,9	1,0	12,4
Banano	4,90	6,0	9,8	12,0
Barú	0,20	2,9	0,3	4,3
Chirripó	1,92	623,7	2,0	660,1
Damas	0,80	49,2	0,8	50,0
Esquinas	0,89	15,9	1,2	21,0
Jesús María	2,05	5,2	2,4	6,1
Estrella	1,10	1,8	1,0	1,6
Madre de Dios	1,89	0,0	3,1	0,0
Matina	2,61	0,4	4,8	0,7
Moín	0,57	30,3	1,1	56,1
Penín. de Osa	0	1,3	0,0	1,6
Pocosol	0,2	0,8	0,3	1,4
Sixaola	0,3	0,0	0,5	0,1
Tortuguero	5,3	2,8	9,4	4,9
Tusubres	4,0	6,6	5,8	9,6
Zapote	0,0	789,6	0,03	791,3
Subtotal	27	1.544	44	1.633
Otras Cuencas	374,3	15.764,4	386,3	16.266,4
Total País	412,9	17.296,7	427,3	17.902,2

Fuente: Elaborado por Marco Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD, a partir de la Base de Datos del Dpto. de Aguas del MINAET (2008), AyA, ESPH, INEC, CCP, WTI; 2009.

Tusubres es la cuenca con mayor nivel de extracción de agua utilizando pozos, bastante por encima del nivel nacional. Le sigue Tortuguero, Banano, Matina y Jesús María. En el caso de Tusubres, conviene tener en cuenta que los acuíferos de esa zona son costeros en su mayoría y sometidos a un importante cambio de uso de suelo con una intensa actividad turística, lo que puede estar indicando potenciales o actuales problemas de contaminación e intrusión salina a los acuíferos.

Cuadro 9.21. Costa Rica: Consumo de agua total per cápita según fuente subterránea o superficial (m³/habitante), datos acumulados hasta el 2008.

Cuenca	Población del 2008	Aprovechamiento 12horas		Aprovechamiento 24horas	
		Subterránea	Superficial	Subterránea	Superficial
Bananito	5.040	109	1.361	197	2.467
Banano	6.129	800	984	1.595	1.962
Barú	8.645	24	337	35	497
Chirripó	61.008	31	10.224	33	10.819
Damas	15.210	52	3.235	53	3.289
Esquinas	64.342	14	247	18	327
Jesús María	33.268	62	157	73	185
Estrella	28.350	39	65	35	58
Madre de Dios	20.520	92	0	151	0
Matina	38.821	67	10	124	19
Moín	63.153	9	480	17	888
Península de Osa	15.163	0	85	0	107
Pocosol	23.321	7	34	13	60
Sixaola	22.746	12	2	24	4
Tortuguero	103.580	51	27	91	47
Tusubres	26.060	154	255	222	368
Zapote	52.489	1	15.043	1	15.075
Subtotal	587.845	0	0	0	0
Otras Cuencas	3.822.248	98	4.124	101	4.256
Total País	4.410.093	93,62	3.922,06	96,90	4.059,36

Fuente: Elaborado por Marco Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD, a partir de la Base de Datos del Dpto. de Aguas del MINAET (2008), AyA, ESPH, INEC, CCP, WTI; 2009.

El cuadro 9.21 muestra el consumo total per cápita. En este grupo de cuencas, Tusubres muestra el mayor nivel de consumo por habitante (154 m³/persona), después de Banano. En este caso, se ha argumentado que la información parece reflejar sobre-imputación de consumo del agua de banano, cuyas fuentes suplen a Moín en conjunto con el de Bananito, según sea requerido por la demanda o contingencia natural (inundación, sismo, etc.). Esta cercanía entre estas dos cuencas y la infraestructura hidráulica existente, evidencia grados de libertad, para diferir espacialmente el impacto de los desastres, en ese caso. Lo cual es un valioso ejemplo, a considerar respecto a la GAM, la cual necesita diversificar el origen de su agua para usos consuntivos.

Del total de cuencas analizadas, solo cuatro (Madre de Dios, Matina, Tortuguero y Sixaola) utilizan los pozos como fuente primaria, estas cuencas presentan porcentajes mayores al 65% en la utilización de dicha fuente. La cuenca Madre de Dios, la cual el 100% de su demanda de agua es provista por fuentes subterráneas, mientras que cuencas como Península de Osa no extraen agua de pozos, toda su demanda es satisfecha por fuentes superficiales.

Además, se realizó un análisis de la extracción anual de cada una de las cuencas como porcentaje del total de agua extraída acumulada al 2008. La participación relativa de las

17 cuencas en el consumo de agua total del país proveniente de solamente de pozos, representa un porcentaje inferior al 15% del total de extracción nacional. Es decir, la mayor parte del agua proveniente de pozos es extraída en las restantes cuencas de Costa Rica (cuadro 9.22).

Cuadro 9.22. Costa Rica: Extracción anual como porcentaje del total de agua extraída por pozos, hasta el 2008.

Cuenca	Banano	Banito	Barú	Chirripó	Damas	Esquinas	Jesus María	Estrella	Madre de Dios	Matina
Participación	3,5%	0,4%	0,1%	0,7%	0,3%	0,4%	0,7%	0,3%	0,9%	1,6%
Cuenca	Moín	Penín. Osa	Pocosol	Sixaola	Tortuguero	Tusubres	Zapote	Otras Cuencas	Total País	
Participación	0,3%	0,0%	0,1%	0,2%	3,0%	1,8%	0,0%	85,7%	100,0%	

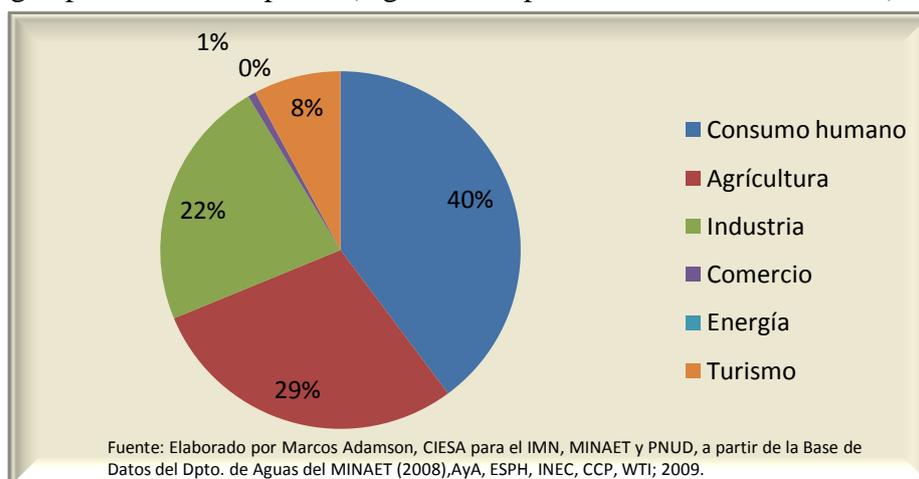
Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA para el IMN, MINAET y PNUD, a partir de la Base de Datos del Dpto. de Aguas del MINAET (2008), Aya, ESPH, INEC, CCP, WTI; 2009.

9.8.b. Extracción por sectores de Uso

Como parte del estudio se procedió a realizar una estimación de cuanta extracción de agua utiliza cada sector de uso, para cada una de las 17 cuencas solicitadas que presentan alguna información.

El total de agua que proviene de pozos registrado al año 2008 para Costa Rica es de 140 hm³ en el régimen de bombeo de 12 horas y de 280 hm³ en el régimen de bombeo de 24 horas, y se utiliza principalmente en dos sectores: consumo humano y agricultura, los cuales abarcan alrededor del 69% de toda el agua proveniente de pozos. El tercer sector que más utiliza este tipo de fuente es la industria: alrededor de un 22%; y el resto del agua de pozos es demanda en sectores de uso como el turismo, comercio y energía. En el gráfico 9.26 se presenta la estimación de esa demanda de agua extraída por pozos por sector de uso.

Gráfico 9.26. Costa Rica: Participación relativa de los sectores de usos en el total de agua proveniente de pozos (régimen de aprovechamiento de 12 horas), al año 2008.



En este caso, el agua de pozos para cada una de las cuencas solicitadas se utiliza mayoritariamente para consumo humano. El siguiente cuadro muestra los resultados de participación relativa de cada uno de los sectores de usos en el total de agua extraída por la vía de pozos para cada una de las cuencas de estudio, hasta el 2008.

Cuadro 9.23. Costa Rica: Participación de la demanda por sector usuario en el total de agua de pozos, por cuenca y total país, al 2008.

Cuenca	Consumo humano	Agricultura	Industria	Comercio	Energía	Turismo	Total
Banano	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Banito	35%	0%	65%	0%	0%	0%	100%
Barú	20%	21%	0%	0%	0%	59%	100%
Chirripó	26%	8%	66%	0%	0%	0%	100%
Damas	33%	0%	66%	0%	0%	1%	100%
Esquinas	69%	0%	31%	0%	0%	0%	100%
Jesus María	42%	26%	20%	0%	0%	12%	100%
Estrella	91%	0%	0%	0%	0%	9%	100%
Madre de Dios	59%	1%	40%	0%	0%	0%	100%
Matina	61%	0%	37%	2%	0%	0%	100%
Moín	36%	0%	62%	2%	0%	0%	100%
Península de Osa	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pocosol	94%	6%	0%	0%	0%	0%	100%
Sixaola	0%	0%	100%	0%	0%	0%	100%
Tortuguero	37%	0%	62%	0%	0%	0%	100%
Tusubres	15%	7%	0%	1%	0%	78%	100%
Zapote	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Otras Cuencas	37%	33%	21%	1%	0%	7%	100%
Total País	40%	29%	23%	1%	0%	8%	100%

Fuente: Elaborado por CIESA para el IMN, MINAET y PNUD, a partir de la Base de Datos del Dpto. de Aguas del MINAET (2008), AyA, ESPH, INEC, CCP, WTI; 2009.

Se puede observar importantes diferencias entre cuencas, respecto a sector demandante de la extracción de agua por pozos:

Cuencas como Banano y Zapote utilizan toda la extracción por la vía de pozos para el sector de consumo humano.

Un grupo de de cuencas de estudio cuencas utilizan su extracción en su mayoría para la industria y en segundo lugar se encuentra el consumo humano, seguido de la agricultura.

Otro grupo de cuencas, utilizan mayoritariamente el agua de pozos en el sector de consumo humano, seguido de la agricultura y en tercer lugar la industria.

Bibliografía

Adamson, M. (1994). Valoración y Políticas de Conservación de la Biodiversidad. Rev. Ciencias Económicas, Universidad de Costa Rica, Vol. XIV, No.1. San José, Costa Rica.

Adamson, M. (2008), CIESA para IMN-MINAET-PNUD-GEF Informe Final. Evaluación de necesidades tecnológicas en relación con la mitigación al cambio climático en Costa Rica. SCN. 2008. San José, Costa Rica.

Adamson, M. y R. Arce, (2009). Propuesta metodológica y resultados de la estimación de la población de Costa Rica por cuencas, histórico y proyecciones. Documento de circulación interna, CIESA. Primer Borrador. San José, Costa Rica.

Astorga, Yamilet (2009). Decimo quinto informe Estado de la Nación en desarrollo humano sostenible: situación del Recurso Hídrico. Estado de la Nación. San José, Costa Rica.

CONCESA (Consultores Centroamericanos en ingeniería S.A.), (2009). Estimación de la demanda de agua para consumo humano en el acueducto de Miramar de Montes de Oro. CONCESA. San José, Costa Rica.

EGIRH, (2005). Estrategia para la gestión integrada de recursos hídricos en Costa Rica: Diagnóstico. BID-MINAE-INWAP. Aguilar Enrique, *et al.* San José, Costa Rica.

EGIRH, (2005). Estrategia para la Gestión Integrada de los Recurso Hídricos de Costa Rica. Estrategia Hídrica. Política Hídrica Nacional. MINAE. San José, Costa Rica

EGIRH, (2005). Estrategia para la Gestión Integrada de los Recurso Hídricos de Costa Rica: Resumen Ejecutivo. MINAE. San José, Costa Rica

IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua), (2008). Balances Hídricos Mensuales de Oferta y Demanda. IMTA. San José, Costa Rica.

Oreamuno, R. (2005). Estudios de casos. Estrategia para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Costa Rica. Rio Tárcoles, Tempisque, Savegre y *Banano*. MINAE. San José, Costa Rica

Anexo 9.1A: digital (ver archivos digitales adjuntos)

Anexo 9.2 A: digital (ver archivos digitales adjuntos)

Anexo 9.3 A

Gráfico 9.3.1A. Costa Rica: Consumo total (sin sector energía) de agua (hm³) por millón de PIB (millones de USD del 2005). Aprovechamiento de 12 horas.

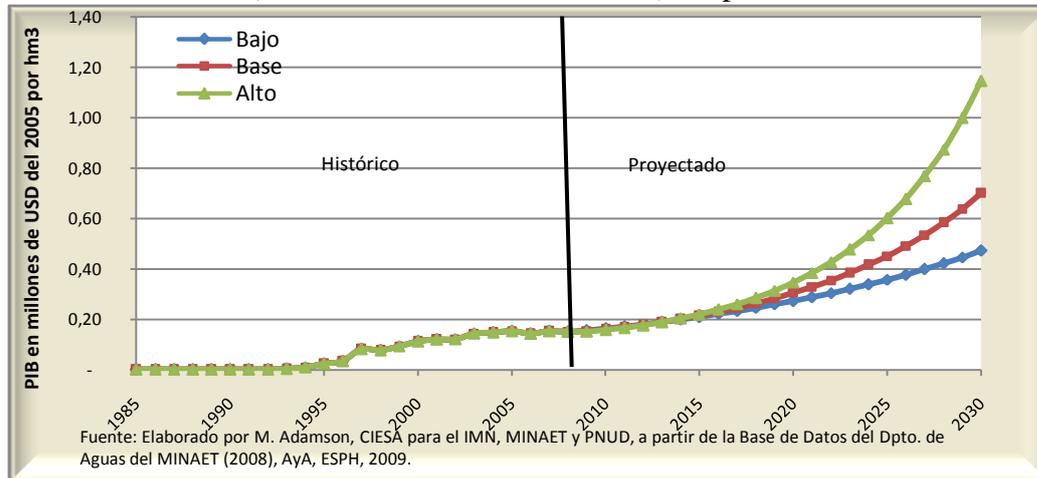
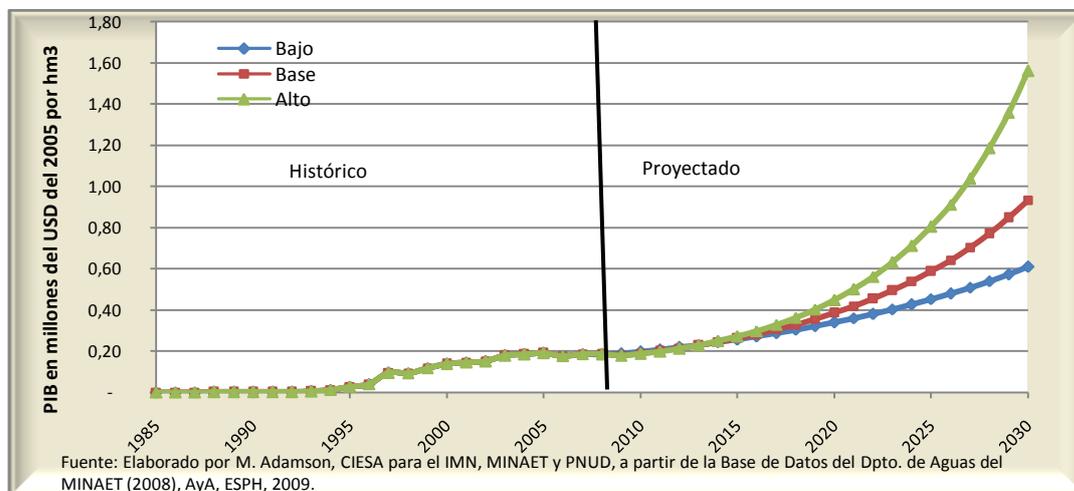


Gráfico 9.3.2 A. Costa Rica: Consumo total (sin sector energía) de agua (hm³) por millón de PIB (millones de USD del 2005). Aprovechamiento de 24 horas.



Anexo 9.4.A: digital (ver archivos digitales adjuntos)

Anexo 9.5.A: digital (ver archivos digitales adjuntos)

Anexo 9.6.A: digital (ver archivos digitales adjuntos)

SECCIÓN II:

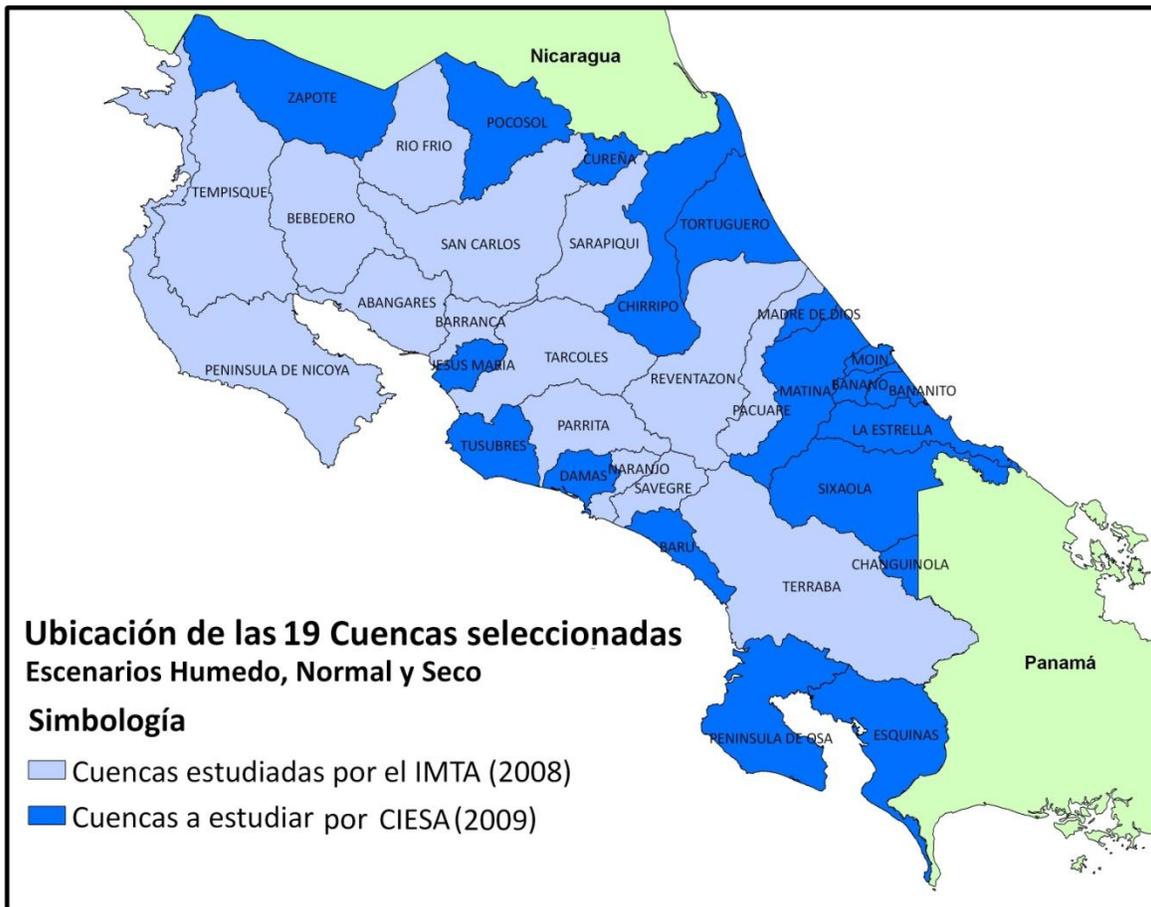
ESTIMACIÓN DE BALANCES HÍDRICOS

10. Generalidades y Aspectos Metodológicos

10.1. Consideraciones iniciales:

La figura 10.1. muestra la ubicación de las 19 cuencas que son objeto de estudio en esta consultoría y que corresponden a las cuencas restantes del país que no fueron incluidas en el análisis de las 15 cuencas prioritarias realizado por el IMTA en el año 2008.

Figura 10.1. Cuencas objeto de estudio en esta consultoría.



Fuente: Elaboración propia

Este grupo de cuencas en particular, se diferencian de las prioritarias principalmente en que desde el punto de vista económico y social tiene un menor desarrollo y mantienen poca conectividad con las zonas económicamente activas del país o se encuentran distantes de la Gran Área Metropolitana.

Por otro lado, es ampliamente reconocido el gran potencial de estas cuencas para que en un futuro muy cercano crezca la actividad eco-turística sostenible, aprovechando que no existe la contaminación de los acuíferos y la poca o mínima alteración de estas cuencas.

Desde el punto de vista del potencial del recurso hídrico, y ante la creciente población en las 15 cuencas prioritarias, es importante estimar la disponibilidad de agua en las cuencas restantes para evaluar la factibilidad de exportar recurso limpio hacia cuencas vecinas que adolecen problemas ambientales, o para establecer nuevas actividades humanas en estas cuencas que en otros sitios ya no es factible por una sobre demanda sobre los acuíferos existentes.

Las decisiones que el país tome con respecto al uso de su territorio deberían de la mano con la capacidad de cada zona geográfica de absorber esos cambios, por eso se debe anticipar cuál es la disponibilidad del recurso hídrico en cada zona y así establecer las medidas que aseguren la sostenibilidad de los futuros asentamientos o cambios en el uso del suelo a introducir en la cuenca.

10.2. El balance hídrico como herramienta de planificación:

La estimación del oferta hídrica en una cuenca hidrográfica por un lado y su contraste con los requerimientos de agua para las diversas actividades del ser humano en esa región geográfica, permiten determinar la situación actual de la disponibilidad del recurso hídrico.

Este análisis se convierte en la línea base y primer paso en el planeamiento del manejo sostenible de los recursos hídricos del país. La toma de decisiones por parte de la administración central en los próximos años en aspectos sociales, económicos, energéticos, ambientales, etc.; requiere de este tipo de información, la cual debe poseer un margen razonable de certeza para que las decisiones sean bien informadas y con credibilidad. Esto acrecienta su relevancia si se adiciona la alta vulnerabilidad a la que estarán expuestas las fuentes hídricas del país de cara al calentamiento global.

Es por esa razón, que si se considera la coyuntura actual del cambio climático que está ocurriendo en todo el planeta, el disponer de un método que permita determinar el potencial hídrico y la disponibilidad de una cuenca tanto en condiciones normales como en escenarios extremos (pero normales en la coyuntura del cambio climático), es el punto inicial para realizar los análisis sub-siguientes que permitan perfilar alternativas a los tomadores de decisiones.

Cobra mayor relevancia si el método presenta ventajas respecto a la capacidad del mismo para obtener resultados utilizando maneras relativamente más directas que representan un importante ahorro en costos y tiempo si se comparan con las metodologías tradicionalmente utilizadas, y precisamente esa es la ventaja del método que se utiliza en este estudio.

10.3. Metodologías tradicionales aceptadas para el balance hídrico de una cuenca:

La UNESCO junto a la OMM, han sido las entidades a nivel internacional que más han impulsado la uniformización de las metodologías para la estimación de los recursos hídricos. Con el objetivo de lograr cierto grado de uniformidad en las metodologías aplicadas entre países, ya en 1988 ambas organizaciones habían emitido en forma de manuales, lineamientos internacionalmente desarrollados para la Evaluación de los Recursos Hídricos (ERH, Ref. 4).

Por medio de la aplicación de estos lineamientos a proyectos pilotos, y gracias a la retroalimentación de los diferentes países, mejoras se han venido introduciendo a este documento hasta que en el 2006, la OMM y el Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe (PHI-LAC) presentaron el Documento Técnico No.4: *“Evaluación de los recursos hídricos. Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas. PHI-LAC.”* (Ref. 5)

En la actualidad, esta es la metodología de referencia para la estimación de Balances Hídricos en Latinoamérica.

Debido a falta de información especialmente en la parte subterránea, una adaptación de dicha metodología fue empleada por el IMTA en su estudio de balances hídricos en 15 cuencas prioritarias en Costa Rica (Ref. 3). Para la estimación de la disponibilidad de agua, el IMTA aplicó la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, SEMARNAT, 2002. (Ref.6)

11. Consideraciones de la calidad de la información y alternativa metodológica

11.1. Factibilidad de aplicar metodologías tradicionales a las 19 cuencas:

11.1.a. Estimación de la oferta hídrica

En concordancia con el menor desarrollo social y económico de estas cuencas, la información hidrometeorológica disponible en esas zonas es extremadamente escasa, a tal grado que los requerimientos mínimos de cantidad, calidad y tipo de información hidrometeorológica e hidrogeológica necesarios para implementación de las metodologías tradicionales como las de la UNESCO, no permiten su aplicación.

Muchas variables de entrada requeridas por la metodología de la UNESCO para estimar los diferentes subcomponentes del balance hídrico tanto superficial como subterráneo son inexistentes y no se tiene una forma de estimarlos con un mínimo de certeza, de manera que el error que se tiene en las diferentes variables estimadas pueden sumar o compensar el error total del resultado final.

En lo relativo al balance de aguas superficiales, en estas 19 cuencas, no existe información suficiente que permitan inferir sobre la capacidad de infiltración de los suelos o la infiltración de la lluvia en la cuenca. Las estaciones meteorológicas con datos de precipitación, temperatura y radiación solar son escasísimas, dejando grandes extensiones de las cuencas sin cubrir. En muchos casos, estas zonas tienen orografías muy variables y aunado al efecto del viento, presentan patrones climáticos con una alta variabilidad espacial y temporal.

En la parte subterránea, la incertidumbre es aún mayor porque no hay datos sobre las características de los acuíferos, variación de niveles, extensión horizontal ni vertical, ni mucho menos cuantificación de los volúmenes de entrada y salida. Esta situación también ocurre parcialmente con las 15 cuencas analizadas por el IMTA, y que requirieron hacer simplificaciones mayores con respecto al almacenamiento.

11.1.b. Cuantificación y determinación de los usos del agua:

En lo relativo a la información referente a los diversos destinos que se le da al agua, en estas cuencas, la información también es escasa, sin embargo esta puede inferirse razonablemente por comparación con otras zonas que si tienen registro, y en las que se desarrolla tipos y patrones de consumo similares. En todo caso, para estas cuencas en los que prácticamente no hay generación hidroeléctrica, se sabe con antelación que el consumo específico de agua (por ejemplo en unidades de m³/km² de cuenca) es mucho menor al respectivo volumen de la escorrentía, y por

lo tanto en la práctica, su incertidumbre en la estimación de la disponibilidad es bastante pequeña.

11.2. Propuesta Metodológica para el Balance Hídrico en las 19 Cuencas:

11.2.a. Cualidades requeridas del método a utilizar:

De acuerdo a todo lo expuesto y considerando las características de estas cuencas, es necesario estimar la oferta hídrica con una metodología que tenga las siguientes cualidades:

1. Que sea capaz directa o indirectamente de modelar cuantitativamente y con un alto grado de certeza, las pérdidas que ocurren en una cuenca que permitan obtener estimados de escurrimiento superficial con un mínimo de información.
2. Que los datos de entrada de la metodología estén disponibles con un grado de certeza razonable, o que al menos puedan ser inferidos con base en análisis previos o a través de la experiencia que se ha logrado obtener en el estudio del clima del país usando tecnología espacial, y que permitan dar coherencia y robustez en el contexto regional.
3. Dicha metodología debe ser compacta y coherente conceptualmente para así lograr consistencia en los resultados.
4. Debe tener la flexibilidad suficiente para ser aplicable para la variedad de tipos de clima y coberturas vegetales que se encuentran en las cuencas a estudiar en todo el país.

11.2.b. Método Indirecto basado en el movimiento del agua en asociaciones climáticas:

Esta metodología permite hacer el análisis de la oferta hídrica anual (escurrimiento medio anual) de una cuenca y está basada en los planteamientos de Holdridge (Ref.2), quien luego de analizar una gran cantidad de datos de temperatura, vapor de agua cerca de la superficie, etc., logró explicar satisfactoriamente por medio de diagramas y nomogramas, cómo se asocia el movimiento del agua en una cuenca en las regiones climáticas y zonas de vida respectivas.

La metodología para realizar el balance hídrico, y en específico la manera de implementar matemáticamente los nomogramas fue concretada en 1983 por Rodríguez (Ref. 1), del Departamento de Estudios Especiales del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

Rodríguez determinó la bondad de la metodología para estimar el escurrimiento promedio anual, la cual permite obtener un grado de exactitud mayor al 95% si la información básica es correcta. Esta conclusión se desprende luego de aplicarse la metodología a 8 cuencas distintas y utilizándose los valores promedio de la cuenca como lo son la elevación media de la cuenca

(Em) derivada de la curva hipsométrica y la Precipitación Promedio Anual (PPA) obtenida de las isoyetas de boletines hidrológicos considerando el periodo total de registro de las estaciones.

El valor de escorrentía obtenido se comparó con el valor promedio de todo el periodo de registro de las mediciones en las respectivas estaciones hidrométricas de cada cuenca.

Exceptuando la cuenca Río Macho, en que el porcentaje de error ascendía al 13%, el restante de las cuencas presentó en promedio un error del 4.75%. Los errores superiores al 5% se piensa que ocurren por que el valor de la Precipitación Media de la cuenca presenta deficiencias en su estimación y por lo tanto no es lo suficientemente representativo, o por el efecto de captación de humedad al condensarse el agua entre las hojas de los árboles en zonas altas (condensación foliar).

En términos generales, la lógica del método se basa en los descubrimientos de Holdridge que permiten estimar la cantidad de agua que se libera a la atmósfera, así como la que queda libre en la superficie en función del tipo de zona de vida que predomina en ese lugar.

La ocurrencia de los distintos tipos de zona de vida, quedan definidas básicamente por el régimen pluvial y por la bio-temperatura (T_b). Estos dos parámetros definen por lo tanto el tipo de vegetación, y a partir de esta, se pueden determinar las pérdidas de agua en la cuenca por evapotranspiración e intercepción.

Sólo en el caso de cuencas muy alteradas con grandes extensiones sin la vegetación nativa, la estimación del balance hídrico por este método puede ser inadecuada. El hecho de que Holdridge haya podido determinar los rangos de precipitación y de bio-temperatura para los que determinada zona de vida prevalece y a la vez conocer la respectiva cantidad de agua que esta zona emite a la atmósfera anualmente, simplifica grandemente la realización del balance hídrico.

Este método indirecto permite obviar el tedioso requerimiento de tener que estimar la evapotranspiración y la intercepción de forma separada, y como en el caso de estas cuencas con un muy alto grado de incertidumbre si se utilizara los métodos tradicionales.

i- Explicación del Método:

La ecuación del balance hídrico superficial a nivel anual con la que se implementa el método de Holdridge, es la siguiente:

$$Esc = PPT - EVT_R + (S_1 - S_2) \quad (11.1)$$

donde

Esc: Escorrentía media anual
PPT: Precipitación Media Anual
EVT_R: Evapotranspiración Real Media Anual
(S₁ - S₂): Cambio neto en el almacenamiento

Como se mencionó anteriormente, en esta ecuación no se incluye las pérdidas por Intercepción porque en el caso de esta metodología, su efecto ya está incluido en la estimación del EVT_R .

Para nuestros efectos, el término (S_1-S_2) se refiere a la diferencia de almacenamiento de agua que ocurre en la cuenca al inicio y al final del periodo de análisis. Este puede ser positivo si el almacenamiento al final del año es mayor, o negativo si el almacenamiento final es menor al inicial, respectivamente. La variable almacenamiento incluye tanto el que ocurre superficialmente como subterráneamente.

El almacenamiento superficial puede aumentar o disminuir acorde a la variación de volumen en lagos o represas, mientras que el subterráneo puede aumentar por el volumen de agua que se infiltra en la cuenca de estudio y entra a formar parte de las aguas subterráneas, o por entradas de agua subterránea desde cuencas adyacentes. De igual forma, este volumen de almacenamiento subterráneo se ve disminuido si hay salidas de agua subterránea hacia cuencas adyacentes, o a la superficie por medio de nacientes o por bombeo dentro de la misma cuenca de estudio.

De acuerdo al razonamiento de Rodríguez, si la metodología se aplica para las condiciones promedio considerando un tiempo lo suficientemente largo (muchos años), como para que los valores S_1 y S_2 representen las condiciones promedio, entonces bajo estas condiciones, y dado que los almacenamientos S_1 y S_2 , corresponden al mismo mes de cada año, entonces en promedio sus valores son iguales y por lo tanto el término (S_1-S_2) tiende a cero. De esta manera la ecuación (11.1) se reduce a la ecuación (11.2).

$$ESC = PPT - EVT_R \quad (11.2)$$

La ecuación 11.2 se cumple para las condiciones promedio de la cuenca y para un año específico, la condición de que un volumen igual al volumen infiltrado a lo largo del año va a escurrir como parte del caudal base posteriormente hacia la parte más baja de la cuenca. La información requerida es a partir de los valores anuales de lluvia y la evapotranspiración real.

Como la lluvia (precipitación areal) es un dato de de entrada, el método de Holdridge en realidad es un método para estimar indirectamente la EVT_R basándose en las correlaciones observadas entre las asociaciones climáticas, las características físicas del terreno (suelos, tipo de cobertura vegetal, elevación) y los movimientos de agua en la superficie terrestre como funciones naturales.

Holdridge propone el uso de un nomograma que predice el tipo de zona de vida a partir de la precipitación promedio anual (PPT), y de la bio-temperatura (T_b), para la cual se asocia unos valores evaporación desde la superficie del suelo y hojas en la vegetación, así como la transpiración de las plantas. Esta información es la que se determina matemáticamente para poder incluirlo en la estimación de la oferta hídrica potencial de una cuenca.

Calculo de la Bio-temperatura:

La T_b se define como la temperatura media anual calculada de manera que todos los valores horarios por debajo de 0°C y por encima de 30°C se consideran como cero. Esto da como resultado que la bio-temperatura en climas muy calientes o muy fríos, es menor que la temperatura media del ambiente (T_a).

En los climas moderados, donde $0^\circ\text{C} < T_a < 30^\circ\text{C}$, ambas temperaturas son iguales, y esto ocurre en la mayoría de la superficie del país. En las partes costeras, así como en las partes más altas de las montañas de Talamanca es necesario recalcular los promedios.

$$T_b = \frac{\sum T_a \Delta t_b}{T},$$

donde

$T_a(t)$: Valor horario de la Temperatura del aire (11.3)

T_b : Bio-temperatura

$T(\text{horas}) = 24 \times 365$, equivale a un año.

$\Delta t_b = 1$ hora, tal que $0^\circ\text{C} \leq T_a(t) \leq 30^\circ\text{C}$

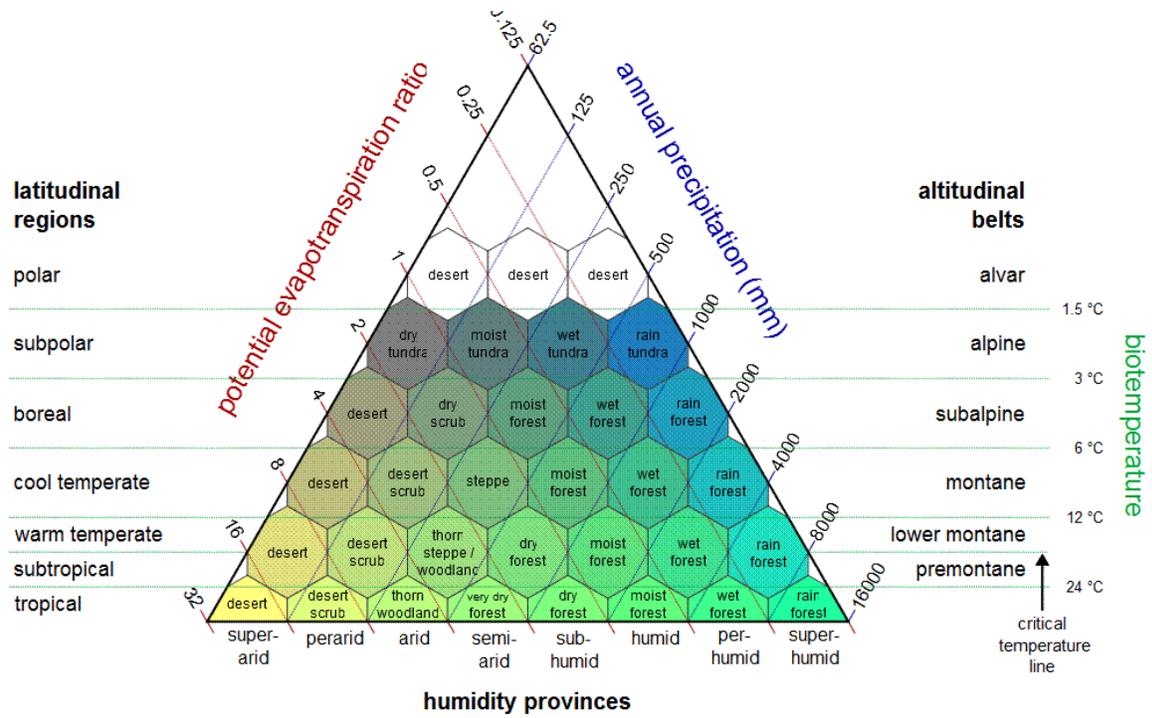
Calculo de la Evapotranspiración Potencial (EVT_p):

Holdridge calcula la EVT_p a partir de la bio-temperatura de la siguiente forma:

$$EVT_p = 58.93 * T_b \quad (11.4)$$

La constante 58.93 es la constante de la EVT_p para $T_b = 1^\circ\text{C}$. Los diagramas de las zonas de vida y movimientos del agua en asociaciones climáticas de Holdridge se muestran en los gráficos 11.1 y 11.2.

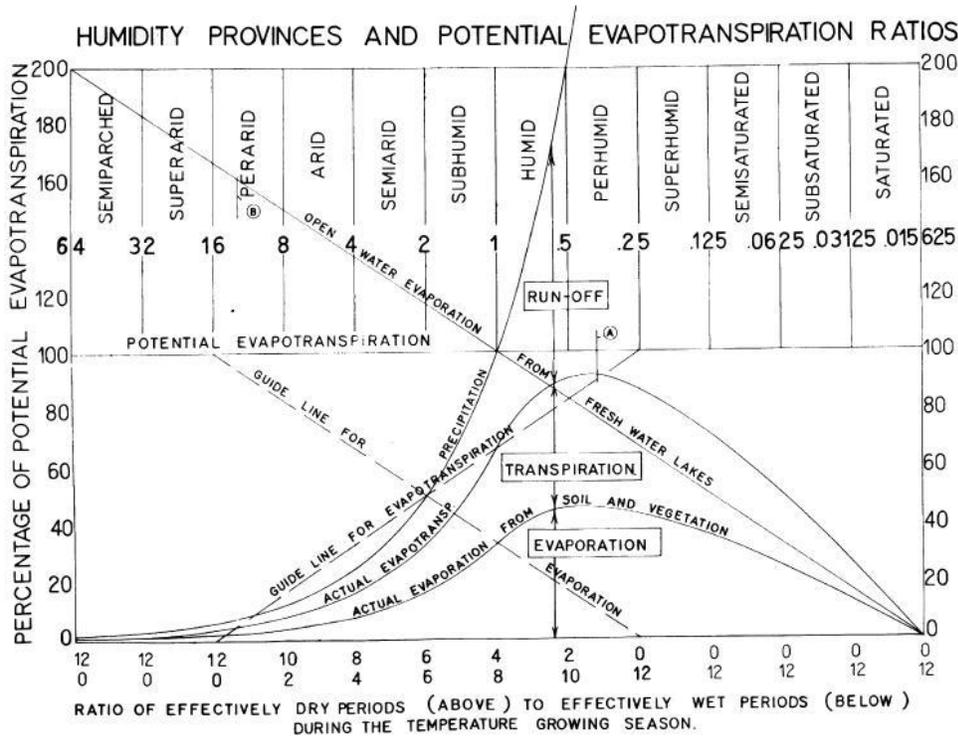
Gráfico 11.1: Diagrama de Zonas de vida de Holdridge.



Fuente: Tomado de la Ref.2

Gráfico 11.2: Vapor de Agua en la atmósfera. Por Holdridge.

FIGURE 6 WATER MOVEMENTS IN CLIMATIC ASSOCIATIONS



Fuente: Tomado de Ref.2.

Calculo de la Evapotranspiración Real (EVT_R):

A efectos de estimar la Evapotranspiración Real, se expresan la EVT_P y EVT_R como radios. A la primera relación se le denomina Relación de Escorrentía (Re), y a la segunda se le denomina con la letra “F”, quedando matemáticamente definidas de la siguiente manera:

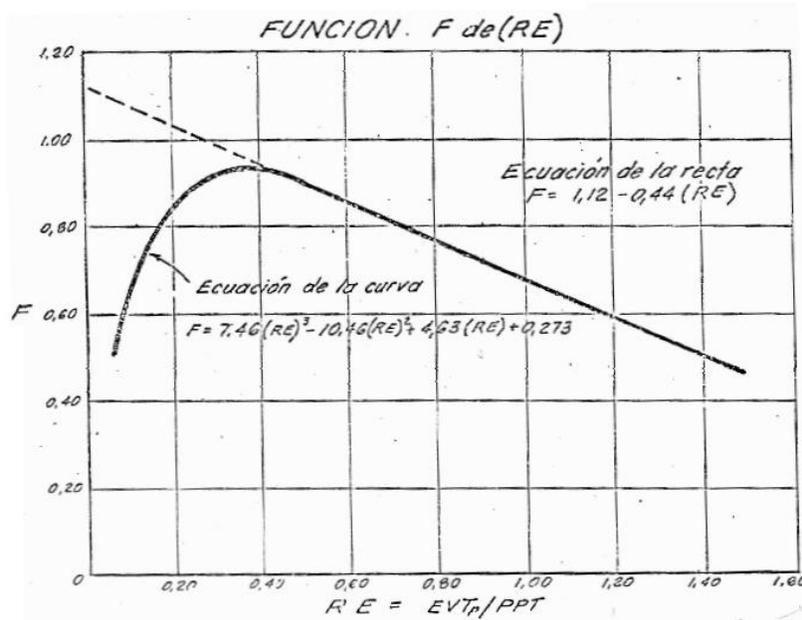
$$Re = \frac{EVT_P}{PPT} \quad y \quad F = \frac{EVT_R}{EVT_P} \quad (11.5a \text{ y } 11.5b)$$

El gráfico 11.3 muestra la relación existente entre la EVTR y EVT_P, y que se puede aproximar matemáticamente por:

$$Si \ Re \leq 0.41: \quad F = 7.46 \ Re^3 - 10.46 \ Re^2 + 4.63 \ Re + 0.273$$

$$Si \ Re > 0.41: \quad F = 1.12 - 0.44 \ Re$$

Gráfico 113: Variación de F en función de Re.



Fuente: Tomado de la Ref.1.

El valor de la Evapotranspiración Real se obtiene estimando el valor de F, y despejando EVTR de la ecuación 11.5b.

El gráfico 11.3, expresa que la EVT_R como máximo puede representar aproximadamente un 93% de la EVT_P , esto ocurre cuando EVT_P equivale a un 40% de la precipitación promedio anual ($Re \approx 0.4$) o en otras palabras cuando la PPT es un 250% de la EVT_P .

Para $Re > 0.4$, o lo que es equivalente a zonas con menor precipitación y más calientes, la reducción de la humedad del ambiente y del suelo, limitan la cantidad de agua que puede ser evaporada desde la superficie del suelo y transpirada por las plantas. En estas condiciones limitadas de humedad, la EVT_R representa un porcentaje cada vez menor con respecto a la EVT_P (EVT_P sólo es función de la T_b).

Para $Re < 0.4$, o lo que es equivalente a zonas con mucho más precipitación, el efecto neto del exceso de agua en el ambiente provoca un descenso en la temperatura ambiente, de manera que la EVT_R represente un porcentaje cada vez menor con respecto a la EVT_P (F disminuye). Esto es un indicativo de que el coeficiente de escorrentía tiende a aumentar.

Calculo de la Escorrentía anual:

Finalmente, el valor del escurrimiento anual Esc, se obtiene resolviendo la ecuación (11.2).

Para el cálculo de la Temperatura Ambiente (T_a):

En la implementación de la metodología realizada por Rodríguez, la temperatura ambiente es requerida porque a partir de esta se puede estimar la Bio-temperatura (T_b). Rodríguez (1983) generó curvas de *gradiente térmico con una corrección por la precipitación local* que permite obtener la temperatura ambiente en cualquier parte de la cuenca. La ecuación (11.6.5) define la relación entre estas variables:

$$T_a = 27.55 - 0.00045 * PPT - 0.0055 * E \quad (11.6)$$

Donde:

T_a= Temperatura del aire media anual

PPT: Precipitación Anual

E: Elevación en msnm.

11.3. Consideraciones finales del capítulo

En este capítulo se hace una pequeña introducción sobre la importancia de los balances hídricos, así como los requerimientos normales para su implementación.

También presenta la justificación de porque es necesario buscar una alternativa metodológica para poder hacer la estimación del balance hídrico en las cuencas de interés de este estudio. Se puntualiza sobre las características que esta alternativa metodológica debe tener para poder completar o estimar de un modo diferente las variables básicas requeridas para obtener el balance hídrico.

Con este análisis se pretende determinar la oferta potencial de una cuenca en condiciones de escasez o abundancia de la precipitación.

Este capítulo ha mostrado las expresiones matemáticas y las suposiciones del método seleccionado para estimar indirectamente el balance hídrico de una cuenca que permite estimarlo con sólo dos variables de entrada: la elevación y la precipitación promedio anual.

12. Adaptación de la metodología de Holdridge en un sistema de información geográfica (SIG)

12.1. Ventajas de la plataforma SIG para la estimación de balances hídricos con la metodología de Holdridge

La reducción del error en las estimaciones realizadas por el ICE puede lograrse si en lugar de estimar valores medios de precipitación y elevación para escalas de la cuenca o sub-cuencas, se consideran áreas mucho más pequeñas, y a las que se les pueda asignar una elevación y precipitación representativa.

De esta forma, se puede estimar el escurrimiento de cada una de estas pequeñas áreas o CELDAS para luego sumarlas y así obtener el total de escurrimiento de la cuenca de interés. Entre más pequeña es la unidad de área considerada, mejor exactitud se logra en la determinación de la zona de vida y por lo tanto del volumen de agua neto que escurriría de ese sector.

Además de la reducción del error aumentando la resolución, el procesamiento con SIG no provee un único dato de salida, sino una explicación/distribución espacial de las variables intermedias del proceso, como lo son la Temperatura Ambiente (T_a), Bio-temperatura (T_b), Evapotranspiración Potencial (EVT_P), Evapotranspiración Real (EVT_R), la Relación de Escorrentía (Re), y finalmente la Escorrentía Anual (Esc).

Esta información se puede utilizar como herramienta para definir y priorizar futuras acciones de manejo o de instrumentación, así como para la protección de zonas particulares de las cuencas.

Así mismo, la presentación de la información en formato SIG, permite con operaciones muy sencillas obtener los valores de escorrentía para sub-cuencas, simplemente indicando al programa el contorno dentro de la cuenca en la que se requiere hacer la suma de los escurrimientos individuales de las celdas.

La posibilidad de convertir imágenes vectoriales a imágenes rasterizadas, permite transformar información como lo es la delimitación de la cuenca y curvas de nivel a imágenes compuestas por celdas o píxeles, en los que se almacena un dato numérico que permite aplicar operaciones matemáticas para ir generando mapas con nueva información.

12.2. Implementación en las 19 cuencas:

Como se vio en el apartado anterior, la metodología de Holdridge requiere información de elevación y precipitación, y bajo el esquema del SIG, esta información debe asignarse a cada una de las celdas en las que se va a sub-dividir cada cuenca.

Para la implementación se seleccionó un tamaño de celda o pixel cuadrado de 28.5 m de lado. Se digitalizaron los límites de las cuencas de interés, sus ríos principales, así como las curvas de nivel que permitieron generar los modelos de elevación digital. Esto con base en las Hojas Cartográficas en escala 1:50000 del Instituto Geográfico Nacional.

Toda esta información fue cambiada a formato Raster, se asignó el valor de elevación promedio a cada celda que conforma la cuenca. Con esta información ya es posible estimar la T_b y la EVT_p en cada celda de la cuenca.

En las zonas bajas donde la temperatura ambiente fácilmente supera los 30 °C, se sigue en parte las recomendaciones del informe de Rodríguez, para elevaciones de 300 msnm o menos, se considera que la Bio-temperatura está dos grados por debajo de la temperatura ambiente. Entre los 300 msnm y 500 msnm, se asigna una zona de transición en que la corrección de la T_b disminuye de - 2 °C a 0 °C, respectivamente.

12.2.a. Adaptación y modificación de la metodología:

A diferencia del estudio del IMTA (2008), y por las razones esbozadas en el apartado 11.1.a sobre la escasez y no simultaneidad de los registros en la mayoría de las estaciones en las cuencas objeto de este estudio, no es posible obtener una estimación concienzuda de la distribución espacial de la precipitación promedio de la cuenca que permita aplicar la metodología como fue originalmente diseñada: para las condiciones promedio de la cuenca.

Como un ejemplo se muestra el cuadro 12. 1., que resume la precipitación anual de las estaciones de lluvia de interés para las cuencas de la Península de Osa y río Esquinas. Ambas cuencas cubren una extensión de 3754 km², y hasta el año 2000 sólo había registros de 2 a 4 estaciones meteorológicas. La información es tan limitada que no se puede intentar corregir los valores faltantes o incompletos por técnicas de curvas de doble masa o similares.

A partir de este año se han colocado más estaciones pero con registros anuales incompletos y en general la cobertura de estas permanece muy limitada. En esta figura, las casillas con fondo rosado y números en rojo indican que los registros son incompletos.

Aunque en las otras cuencas a estudiar se cuenta con mejores coberturas de estaciones de lluvia en comparación al ejemplo citado, la no simultaneidad de los periodos de registro es lo usual, teniéndose registros muy recientes que contrastan con estaciones muy viejas con anterioridad a los años 80.

Cuadro 12.1. Ejemplo de cantidad y calidad de información de lluvia para las cuencas Península de Osa y Esquinas.

Año	Boruca	Cajón Boruca	INA Río Claro	Coto 47	Rincon de Osa	El Roble	100-611	100-617	Los Patos	El Bonito	100-627	100-629	Chorro la Cuesta	Vereh Laurel
1941														
1942					2422.3									
1943					5253.2									
1944					4449.1									
1945					2552									
1946					435.2									
1947					0									
1948					3028.8									
1949					4285									
1950				3538.2	5161.1									
1951				4563	3613.6									
1952				3760.5	3143.6									
1953				3662.2	2395.2									
1954				5118.2	5148.3									
1955				4503.3	4528.4									
1956				4768	3702.4									
1957				3136.4	33.5									
1958				3671.2										
1959				3534										
1960				4670.4										
1961				4380.1		3264.2								
1962				4079.5		2658.9								
1963				4329.5		2386.1								
1964				4119.2		2756.7								
1965				3104.4		2950.7								
1966				3716.8		3041.1								
1967				4402.8		3027.3								
1968				3810.8		2849.8								
1969				3388		3503.6								
1970				4422.1										
1971				5099.5										
1972				4181.9										
1973				4917.9										
1974				4595										
1975				5181.7										
1976				2663.5										
1977				2550										
1978				4052.8										
1979				4036.5										
1980				4761.8										
1981	5579.7	3185.9												
1982	3773.9	2355.8												
1983	4050.3	2355.4												
1984	5646.7	2902.2		3486.9										
1985	2916.0	2371.1	4979.9	3852.1										
1986	2658.6	2104.4	5044.8	3871										
1987	2513.8	2543.8	4288.6	3924.9										
1988	4428.7	3888.0	5816.3	4464.2										
1989	1834.1	2288.8	4233.1	3694.9										
1990	2506.5	2511.1	5326.7	4046.2										
1991	1212.4	1946.9	3712.7	3657.5										
1992	1029.1	1886.8	3815.8	3648.5										
1993	1227.8	2972.9	5228	4116.6										
1994	1065.6	1873.4	4444.8	4137.1										
1995	1194.4	3133.3	4855	3636										
1996	1833.9	2519.2	5417.2	4501										
1997	1059.1	1902.3	3827.3	3035.4										
1998	1925.0	3104.9	4866.5	4284.3										
1999	2624.5	3748.2	3888.1	4611.7	2009.2	2924.1	6346.2							
2000	2263.0	2006.1	4465.5	3979.5	3697.2	1389.7	6118.3							
2001	2059.7	2808.2	4828.1	4401.9	3191.6	2403	5625							
2002	546.9	2401.2	4570.3	3181.7	3337	1882.2	4169.4		3222.7	3664				
2003	2219.4	3731.1	5575.9	4129.2	1967.9	0	5639.9	4886.8	4625.5	3156.8	3161.4			
2004	1315.2	2051.0	4831.8	4039.4	6411.9	6129.8	5629.2	4926	4887.1	3502	5623.4	2538.1	2340.1	2173.4
2005	1429.3	3933.4	5575.5	4071.7	6511.4	2974.2	8349.4	7126.7	6409.3	6264.4	5480.7	3028.6	2385	2562.7
2006			5059.4	4427.4	2963.6	2070.2	5198.8	4830.4	4363.2	4971.2	4350.3	4900.7	2763.4	2232.2
2007			5136.6	4248.3	4888.5	4089.2	7310.3	7431.1	4588.4	5748.6	5947.6	6660.8	4013.4	2522.3
2008			4818.5	3644.2	474.7		3343.2	3903.6	3529		3872.4	6827	1604.5	934.9
Prom	2446	2679	4886	4024	4193	2882	6623	5817	4534	6661	5331	6045	4013	2842

Probablemente en algunas cuencas se podría utilizar los promedios de precipitación anual para cada estación aunque los periodos de registro sean de años diferentes, este procedimiento tiene un inconveniente: Los gráficos 12.1.-12.4 muestran la variación anual del escurrimiento en las diferentes regiones climáticas del país para el periodo 1981-2005, se hace evidente que a partir de 1982 y hasta 1995 ocurrió en todo el país un periodo de déficit de precipitación/escurrimiento que contrasta con el periodo 1996-2005 que fue sostenidamente más húmedo.

Estas tendencias se reflejan en distintos grados en todo el país y probablemente son el resultado de forzantes climáticos a una escala continental o a nivel global. Dependiendo del periodo de registro de cada estación, los datos de lluvia van a estar sesgados por estos patrones multianuales.

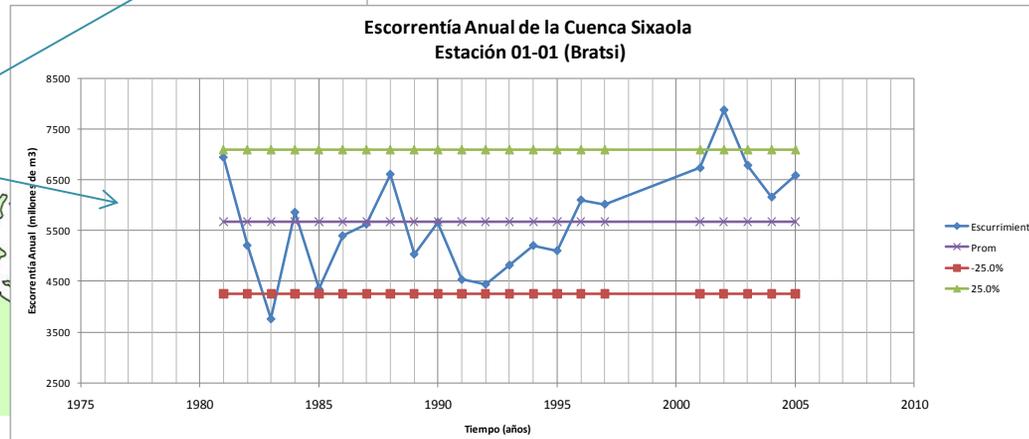
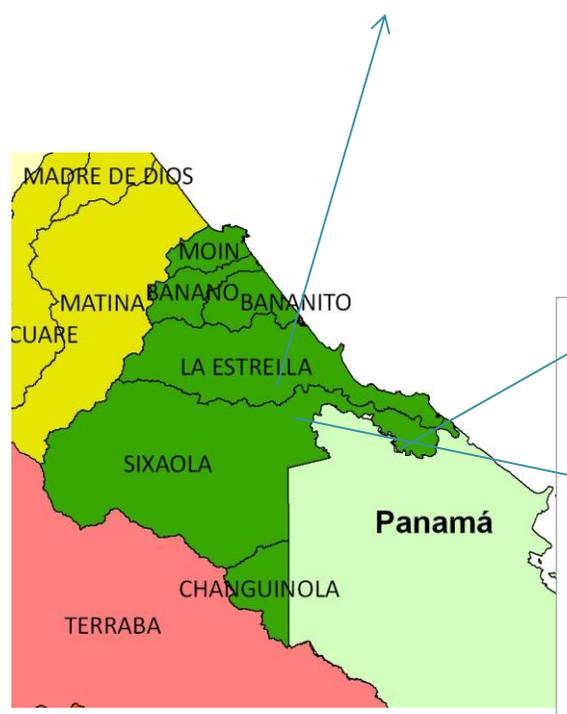
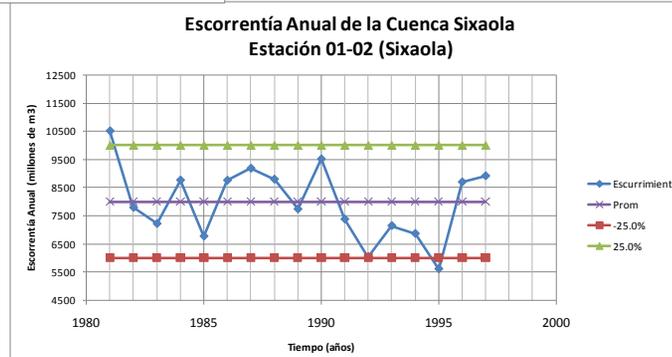
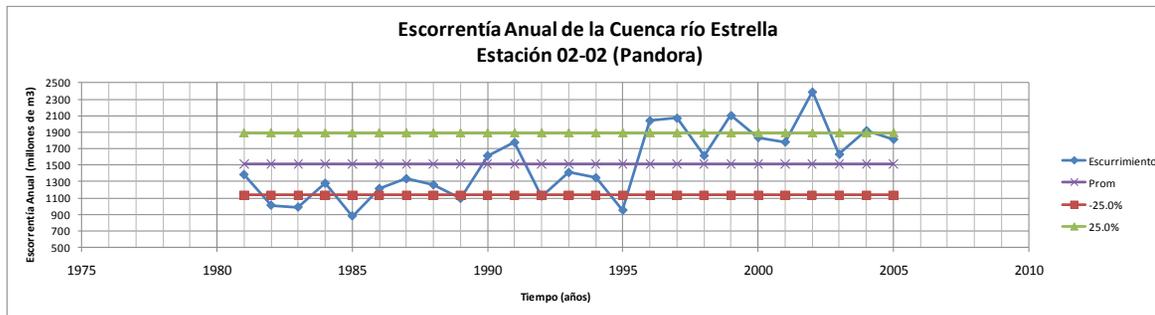


Gráfico 12.1. Variaciones anuales en el escurrimiento en estaciones hidrométricas en el Caribe Sur. Fuente ICE Fuente: Departamento de Estudios Básicos, Instituto Costarricense de Electricidad.

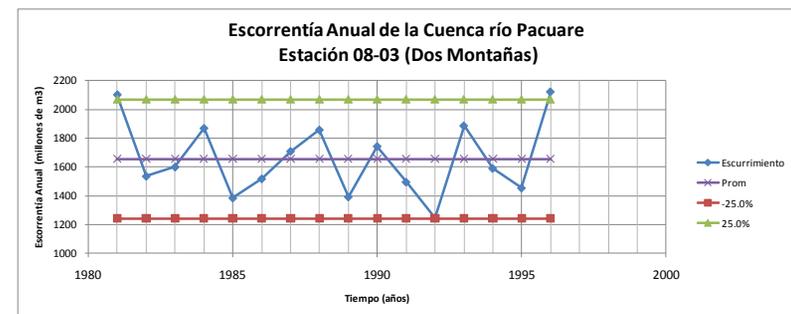
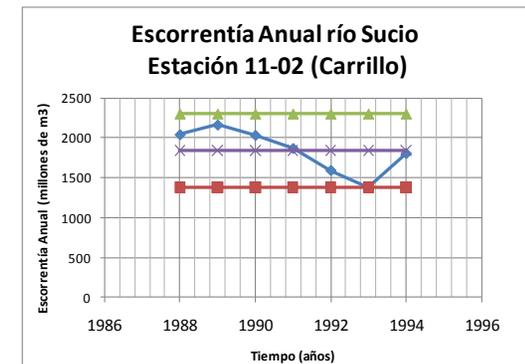
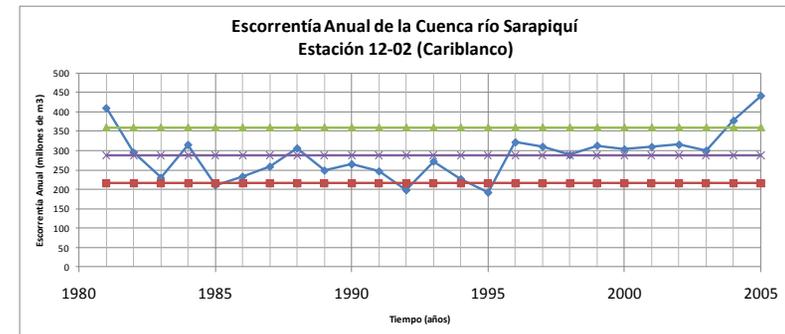
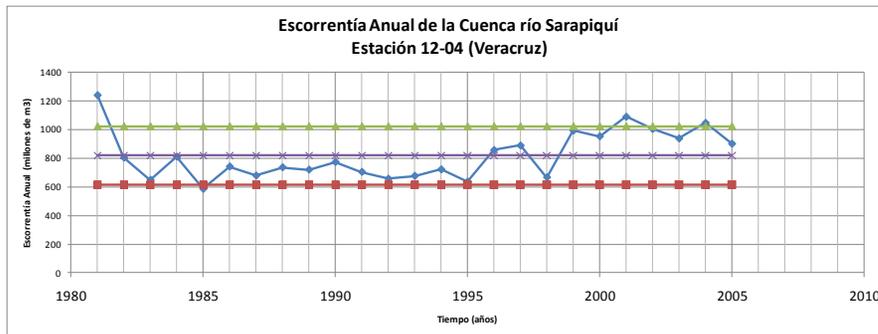


Gráfico 12.2. Variaciones anuales en el escurrimiento en estaciones hidrométricas en el Caribe Norte y Zona Norte.
 Fuente: Departamento de Estudios Básicos, Instituto Costarricense de Electricidad.

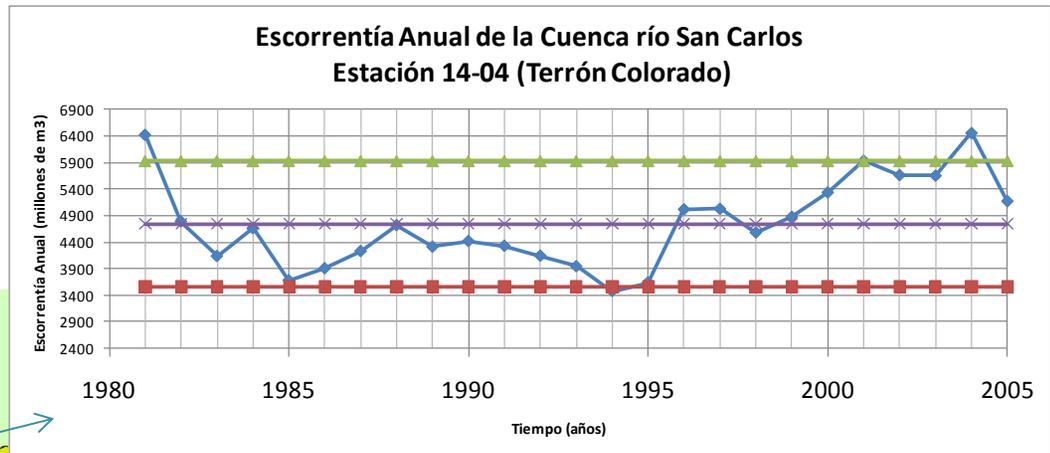
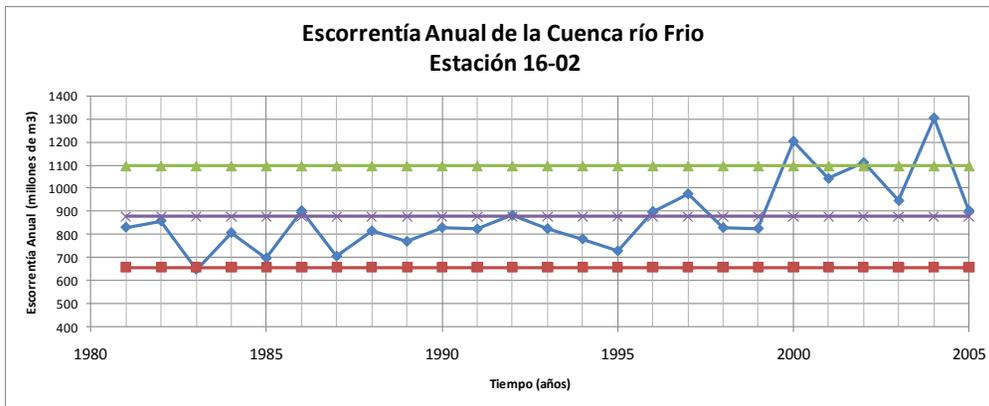


Gráfico 12.3. Variaciones anuales en el escurrimento en estaciones hidrométricas en la Zona Norte.
Fuente: Departamento de Estudios Básicos, Instituto Costarricense de Electricidad.

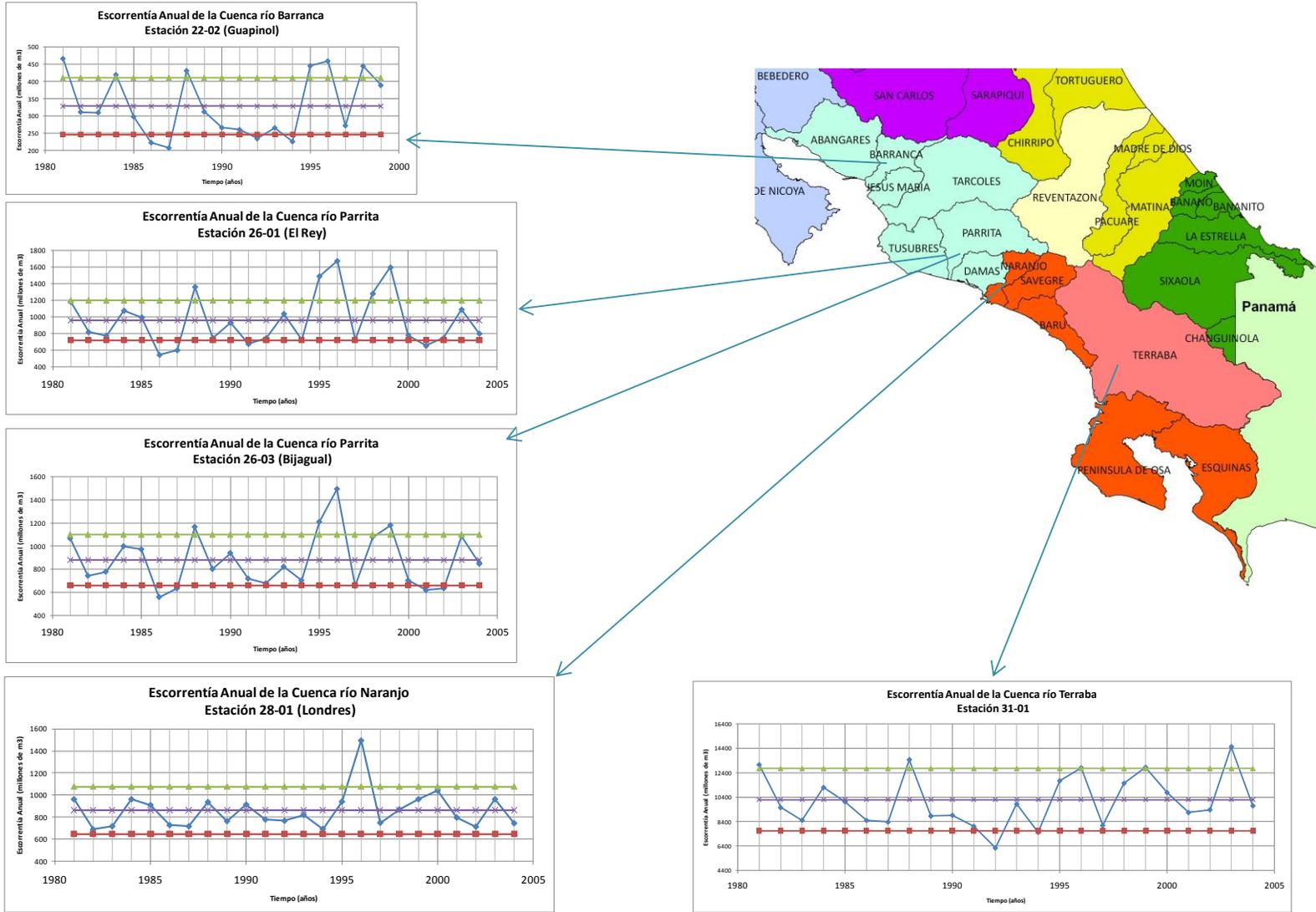


Gráfico 12.4. Variaciones anuales en el escurrimiento en estaciones hidrométricas en el Pacífico Central y Sur.
 Fuente: Elaboración propia y Departamento de Estudios Básicos, Instituto Costarricense de Electricidad.

12.2.b. Selección de escenarios:

A efectos de cumplir con los requerimientos del contrato de realizar las estimaciones de oferta hídrica potencial para los escenarios normal, seco y lluvioso, y dado que se carece de la cobertura de estaciones de lluvia con la longitud de registros de lluvia lo suficientemente representativa para poder estimar las condiciones promedio de la cuenca, se propone el siguiente procedimiento:

1. Utilizar los datos de escurrimiento del país como referencia para determinar los años que se pueden considerar como años secos, normales y húmedos, para cada región climática. Los escenarios extremos se consideran como desviaciones cercanas a un $\pm 25\%$ con respecto al promedio.
2. Para cada escenario, escoger el año en el que coincidan la mayoría de las estaciones disponibles con información completa o casi completa. Utilizar estos datos para elaborar manualmente las isoyetas anuales que se asumirán representativas de dicho escenario para posteriormente aplicar la metodología de Holdridge.

Inicialmente la selección de los años escenario se intentó realizar con base en los registros de precipitación de las estaciones más importantes del país, sin embargo sólo en el caso de estaciones ubicadas en núcleos lluviosos muy bien definidos (por ejemplo Montura en la cuenca Chirripó), es que se observó correlación entre la precipitación anual de esa estación y el escurrimiento anual.

En general, la información de las estaciones de lluvia es puntual y sigue un comportamiento temporal diferente a la precipitación areal, ya que esta última resulta de la influencia de todos los microclimas que coexisten e interactúan en una cuenca de forma muy dinámica y particular que resultan de los patrones de viento y el efecto de la orografía.

En contraste, el escurrimiento es una variable que integra la respuesta de toda la cuenca a la precipitación y provee certeza sobre si un año fue abundante o no en términos de precipitación areal.

En los gráficos 12.1-12.4 anteriores, se muestran con diferentes colores los grupos de cuencas que se consideran pertenecen a las diferentes zonas climáticas. Como tales, las cuencas dentro de cada grupo se asumen que presentan el mismo patrón de escurrimiento tanto a nivel anual como a nivel mensual.

Por ejemplo de acuerdo a los registros, tanto en la zona Norte, como el Caribe Sur y Norte, los años 1985 y 1995 presentaron un déficit cercano al 25% con respecto al promedio, por lo tanto cualquiera de los dos serviría como escenario seco para estas cuencas, sin embargo para cada cuenca se selecciona el año que tenga la mayor cantidad de estaciones con la información completa para ese año y con mejor cobertura.

De igual forma, para la cuenca Jesús María, es conveniente considerar los años 1986, 1989 y 1995 como escenarios seco, normal y húmedo, respectivamente; para Tusubres 1992, 1993 y 1995; en el caso de Damas 1997, 1993 y 1996, respectivamente.

En algunos casos es más difícil definir los años escenarios, por ejemplo el Caribe Sur, al igual que el Pacífico Sur, tiene grandes extensiones de terreno con muy poca información de lluvia, registros muy incompletos y poca simultaneidad, esto obliga a utilizar años no tan representativos de las condiciones extremas pero que existe relativamente más información.

Por ejemplo para el Caribe Sur, se seleccionaron los años 1984 y 2004 como escenarios normal y lluvioso, respectivamente; el primer caso lo refleja claramente la estación de Bratsi (01-01) en la cuenca Sixaola, mientras que el segundo lo refleja la estación de Pandora (02-01) en la cuenca del río Estrella, sin embargo estos dos escenarios pueden resultar no tan extremos en las restantes cuencas del Caribe Sur.

Este es un ejemplo claro de la variabilidad en el patrón de escurrimiento entre cuencas adyacentes para un mismo año que se debe principalmente a la diferencia de escalas: la cuenca del río La Estrella es prácticamente una cuenca de litoral con elevaciones máximas moderadas, mientras que la cuenca del río Sixaola es más amplia, tiene una mayor extensión tierra adentro y con elevaciones mayores que la del río La Estrella, por lo que su escurrimiento responde a una mayor variedad de eventos climáticos, que La Estrella puede no percibir.

Cuadro 12.2: Años-escenario seleccionados usando como criterio el escurrimiento anual, según la cobertura de regiones climáticas indicada en los gráficos 2.3.1-2.3.4

AÑOS ESCENARIOS SEGÚN CRITERIO DE ESCURRIMIENTO					
Número	CUENCAS	LLUVIOSOS (+25%)	NORMALES	SECOS (-25%)	Región Climática
1	Sixaola	2004	1984	1985	Caribe Sur
2	La Estrella	2004	1984	1985	Caribe Sur
3	Banano	2004	1984	1985	Caribe Sur
4	Bananito	2004	1984	1985	Caribe Sur
5	Moín	2004	1984	1985	Caribe Sur
6	Matina	2002	1998	1995	Caribe Norte
7	Madre de Dios	2002	1998	1995	Caribe Norte
10	Tortuguero	1981	1984	1985	Caribe Norte
11	Chirripó Norte	2002	1990	1995	Caribe Norte
13	Cureña	2004	1988	1985	Zona Norte
15	Pocosol	2004	1992	1985	Zona Norte
17	Zapote	2004	1992	1985	Zona Norte
23	Jesús María	1995	1989	1986	Pacífico Central
25	Tusubres	1995	1993	1992	Pacífico Central
27	Damas	1996	1993	1997	Pacífico Central
30	Barú	1996	2000	1994	Pacífico Sur
32	Península de Osa	1999	2000	1997	Pacífico Sur
33	Esquinas	1999	2000	1997	Pacífico Sur
34	Changuinola	2004	1984	1985	Caribe Sur

El cuadro 12.2: resume los años-escenario seleccionados usando como criterio el escurrimiento anual, según la cobertura de regiones climáticas indicada en los gráficos 12.1-12.4

12.2.c. Limitaciones de la metodología:

La suposición de que el término $(S_1 - S_2)$ en la ecuación (11.1) tiende a cero para los años-escenario permanece razonable sólo si suponemos que la condición de almacenamiento (S_2) al final del año analizado es similar a la condición al inicio del año del análisis (S_1). En otras palabras, la suposición es válida cuando el año de análisis ha estado precedido por al menos un año con un patrón similar, como sucede por causa de influencias con varios años de duración como El Niño o la Niña en varias zonas del país.

Si esta condición no se cumple en la realidad, tenemos lo siguiente: en el caso de que se consideren los resultados de un escenario seco, pero en la realidad el año anterior fue normal o muy lluvioso, entonces como S_1 va a ser mayor que S_2 , la estimación de escurrimiento podría estar siendo sub-estimada para el año de análisis.

Por el contrario, si se consideran los resultados de un escenario lluvioso, pero en la realidad el año anterior fue seco ($S_1 < S_2$), entonces la estimación de escurrimiento podría estar siendo sobre-estimada, ya que en la realidad, parte del volumen de precipitación del año de análisis va a utilizarse para reponer el almacenamiento deficitario del año anterior (los caudales base registrados ese año van a ser inferiores al promedio).

El porcentaje de sobre o sub-estimación en estos casos, va a depender principalmente de qué tan diferente fue el año anterior al escenario usado, y a la capacidad de almacenamiento (superficial y subterráneo) de la cuenca con respecto al volumen anual precipitado.

A efectos de verificar que tan significativo puede ser el porcentaje de discordancia debido al desconocimiento en la variación del almacenamiento en la cuenca, en el capítulo siguiente se comparan los resultados de aplicar esta metodología contra valores reales medidos en tres cuencas de la vertiente atlántica, una en la vertiente pacífica y otra en la zona norte y aplicadas a años particulares consecutivos o no, y que se consideran representativos de los tres escenarios.

12.2.d. Interpolación espacial de la lluvia anual de cada año escenario:

La obtención de valores de escurrimiento confiables con este método, depende casi en su totalidad del acierto que se logre a la hora de estimar la distribución espacial de la lluvia anual sobre cada cuenca. (Esto, asumiendo que la variación del almacenamiento es pequeña)

Como se ilustró en el apartado 12.2.a, las estaciones de lluvia disponibles se encuentran muy separadas, con accidentes orográficos entre sí, y frecuentemente con periodos de registro muy cortos e interrumpidos. Así mismo, las distribuciones espaciales de lluvia varían a lo largo del año, lo que dificulta identificar núcleos de alta o baja pluviosidad en las cuencas con poco registro.

Las zonas más críticas con estos inconvenientes corresponden a las cuencas de las regiones Zona Norte, Caribe Sur y Pacífico Sur. En estos sectores en particular, se observan muy pocas estaciones y periodos de registro muy cortos e incompletos lo que no permite obtener valores promedio confiables.

Con el afán de poder conocer al menos el orden de magnitud de la lluvia anual en muchas zonas que no estaban cubiertas por estaciones más permanentes, para esta consultoría se hizo una solicitud significativa de datos de estaciones con una existencia efímera que pertenecen a instituciones como el IMN, ICE, ICAA, e inclusive empresas privadas.

Por acuerdo con la contraparte del IMN, se acordó utilizar además de los datos puntuales de las estaciones del IMN disponibles, el Atlas Meteorológico más reciente generado por la institución para usarlo como referencia para el trazado de las isoyetas en el SIG.

El trazado y digitalización de las isoyetas en el SIG, se hizo respetando los valores de lluvia puntuales de las estaciones disponibles para el año escenario bajo consideración, y respetando la tendencia regional en cuanto a la orientación general y magnitud de las curvas, así como manteniendo en lo posible la ubicación de núcleos lluviosos, depresiones, etc.

El Instituto Meteorológico Nacional revisó y supervisó la confección de las isoyetas elaboradas, guiándose en muchos casos por la experiencia desarrollada por el Instituto gracias a la tecnología de sensores remotos que permiten extrapolar la magnitud de la lluvia y ubicar núcleos lluviosos en zonas no instrumentadas.

12.2.e. Obtención de los balances hídricos a nivel mensual:

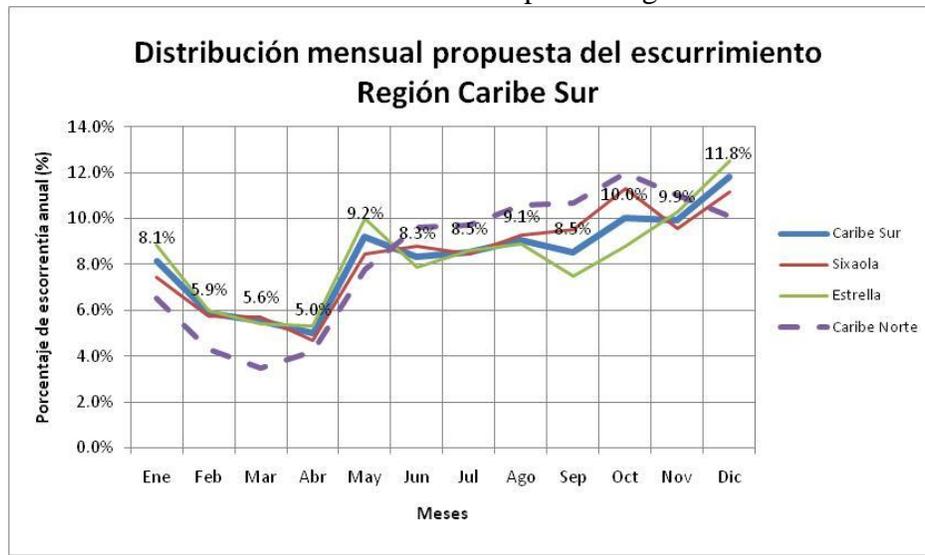
La obtención de los mapas de escurrimiento a nivel mensual para cada cuenca se hará siguiendo el procedimiento recomendado por Rodríguez, que consiste en la factorización del mapa de escurrimiento anual por el porcentaje mensual correspondiente a la zona climática a la pertenece la cuenca bajo análisis.

Debido a que los porcentajes de factorización fueron derivados directamente de mediciones de escurrimiento en cuencas representativas de las diferentes zonas climáticas del país, el efecto de la variación mensual en el almacenamiento de la cuenca ya está incluido en esta forma de cálculo, y por lo tanto brinda un aproximación bastante confiable del año escenario bajo análisis para el que se asume la distribución mensual promedio del escurrimiento.

Los gráficos 12.5-12.9 muestran la distribución mensual del escurrimiento para las diferentes regiones climáticas del país que se consideran en este estudio. La línea gruesa indica la distribución promedio asignada, y las otras líneas ilustran las distribuciones promedio registradas en estaciones medidoras de caudal de las cuencas indicadas. Los porcentajes mostrados son los recomendados por Rodríguez (1983) y se resumen en el cuadro 12.3.

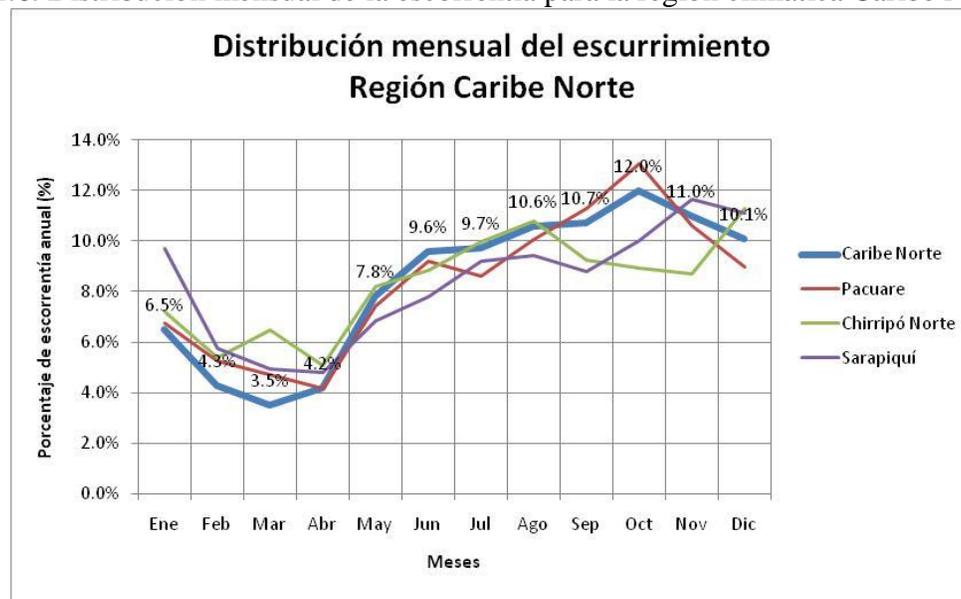
Se introduce la siguiente modificación: la distribución que originalmente se recomendaba para la zona atlántica en general se le asignó a la región Caribe Norte, mientras que para la región Caribe Sur, se proponen utilizar los porcentajes mostrados en el gráfico 12.5, ya que como se observa en esta figura, la distribución asignada a la zona atlántica en general, subestima la escorrentía para los meses de enero a mayo, y sobre-estima para los meses siguientes (ver línea morada discontinua en el gráfico 12.5).

Gráfico 12.5. Distribución mensual de la escorrentía para la región climática Caribe Sur.



Fuente: Elaboración propia

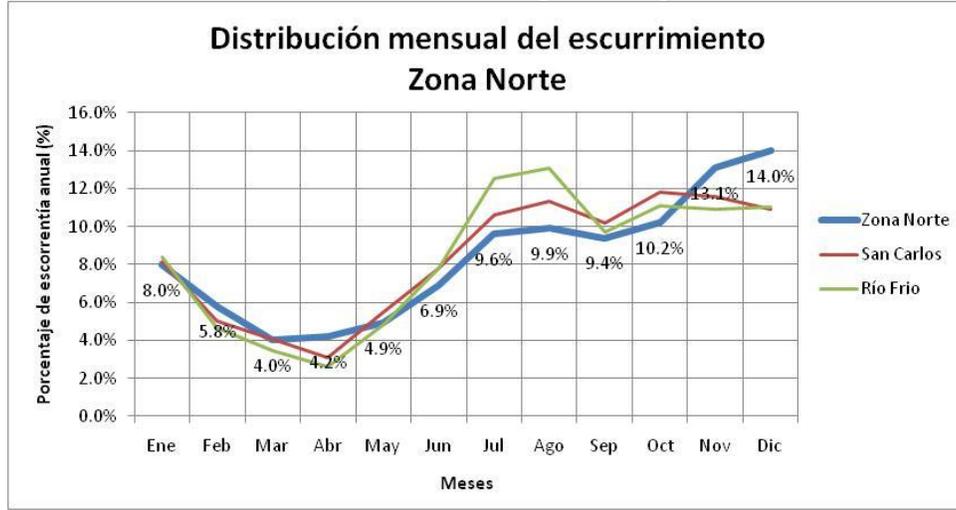
Gráfico 12.6. Distribución mensual de la escorrentía para la región climática Caribe Norte



Fuente: Elaboración propia

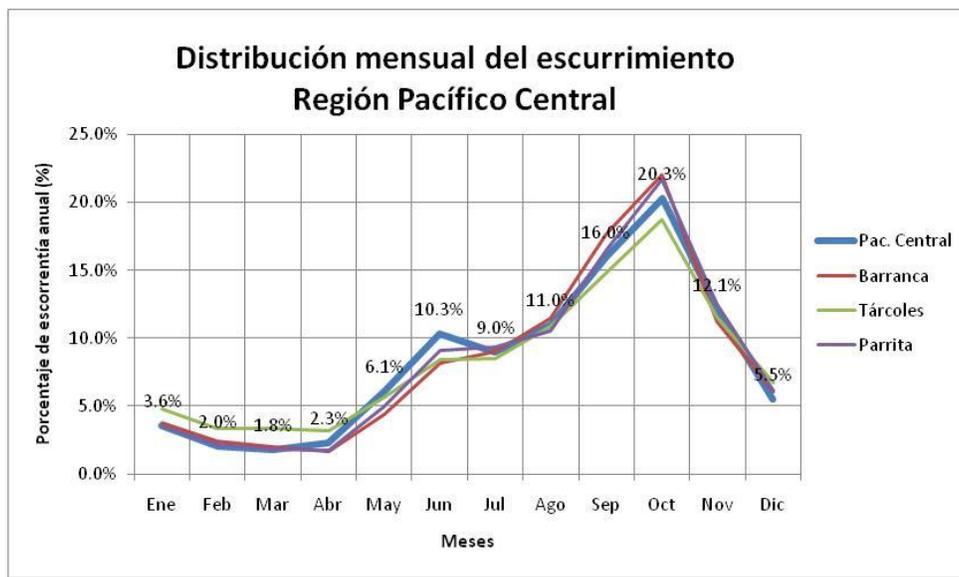
Estos nuevos porcentajes se obtuvieron como promedio de las distribuciones mensuales registradas en la estación 02-02 Pandora y 01-01 Sixaola, en los ríos Estrella y Sixaola, respectivamente.

Gráfico 12.7. Distribución mensual de la escorrentía para la región climática Zona Norte



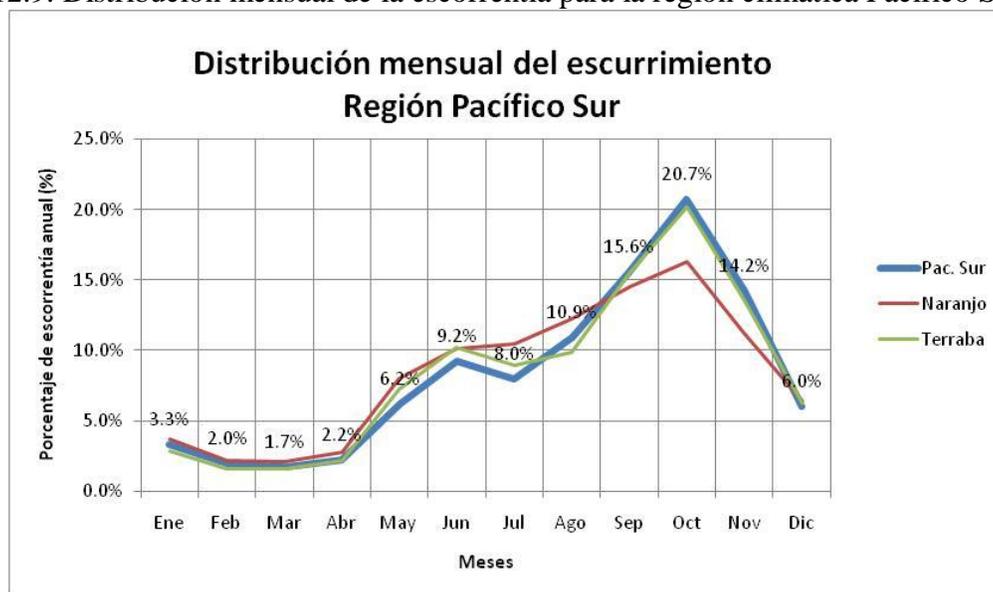
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 12.8. Distribución mensual de la escorrentía para la región climática Pacífico Central



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 12.9. Distribución mensual de la escorrentía para la región climática Pacífico Sur



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 12.3: Porcentajes de distribución mensual del escurrimiento por región climática

Región Climática	Porcentajes del escurrimiento anual												Suma
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Zona Norte	8	5.8	4	4.2	4.9	6.9	9.6	9.9	9.4	10.2	13.1	14	100
Caribe Norte	6.5	4.3	3.5	4.2	7.8	9.6	9.7	10.6	10.7	12	11	10	100
Caribe Sur*	8.1	5.9	5.6	5.0	9.2	8.3	8.5	9.1	8.5	10.0	9.9	11.8	100
Pacífico Norte	6	3.8	3.2	2.8	3.8	7.8	7	8.5	18.3	18.7	11.6	8.5	100
Pacífico Central	3.6	2	1.8	2.3	6.1	10.3	9	11	16	20.3	12.1	5.5	100
Pacífico Sur	3.3	2	1.7	2.2	6.2	9.2	8	10.9	15.6	20.7	14.2	6	100

Fuente: Rodríguez 1983.

*Propuesto por CIESA 2009.

12.3 Consideraciones finales del capítulo

Debido a la imposibilidad de aplicar la metodología a condiciones promedio, y en su lugar se deben utilizar años escenario específicos, las variaciones netas en el almacenamiento del año bajo análisis con respecto al año anterior implican que el caudal base en el año bajo análisis varíe por encima o por debajo del caudal base promedio de la cuenca, de manera que al compararse los resultados del modelo con las mediciones de caudal de ese año específico, pueden ocurrir diferencias proporcionales o iguales a esa diferencia de almacenamiento (asumiendo que la distribución de lluvias es la correcta).

En otras palabras, desde el punto de vista práctico, lo que el modelo reporta es la esorrentía anual para un año típico dentro de una secuencia de años que cumplen con el escenario seleccionado. Suponiendo que la información de lluvia es la correcta, la única condición teórica para considerar el resultado preciso, es que el almacenamiento al inicio del periodo de análisis sea idéntico al del final.

Para verificar que tanto puede afectar este aspecto, en el capítulo 13 se evalúa la exactitud de esta metodología aplicada a 17 años escenario en 5 cuencas/subcuencas que poseen niveles de cobertura de información de lluvia y caudal desde muy buenos (Cuenca del Pacuare) hasta deficientes (La Estrella).

13. Evaluación de la bondad del método en cuencas seleccionadas de diferentes regiones climáticas

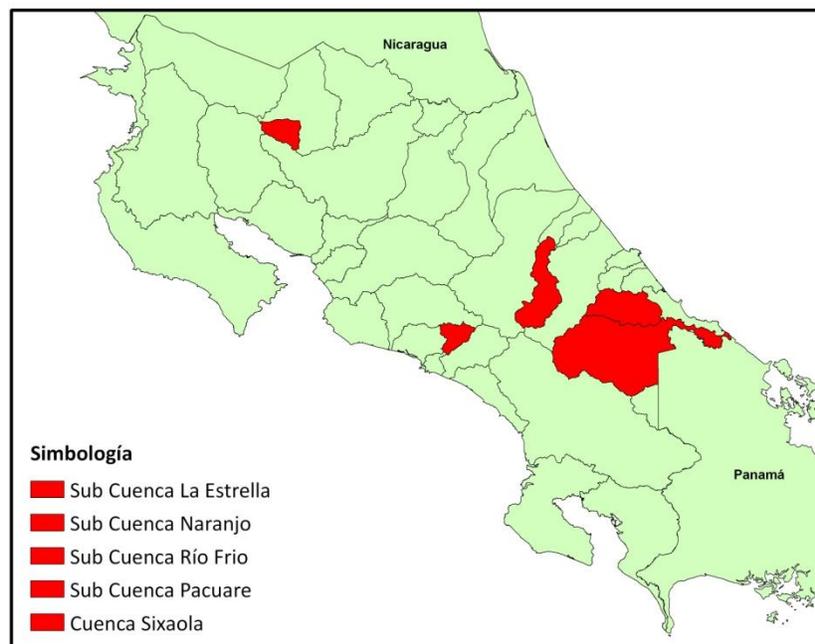
13.1. Cuencas consideradas para la validación:

De las 19 cuencas, sólo las cuencas de los ríos Sixaola y La Estrella de la región climática Caribe Sur, tienen estaciones medidoras de caudal que permitirían evaluar directamente los resultados de los balances hídricos utilizando esta metodología.

A efectos de hacer la evaluación en otras zonas, la metodología se aplicó a las sub-cuencas que tributan a varias estaciones hidrológicas del ICE que cuentan con una buena cobertura de información de lluvia. La figura 13.1 muestra la ubicación de las cuencas consideradas para la validación, y el cuadro 13.1 resume la información sobre las estaciones hidrológicas consideradas, los años escenarios seleccionados y las áreas tributarias respectivas.

En el caso de la cuenca del río Sixaola, el área de acuerdo al ICE (Ref. 10) es de 2705 km² hasta la estación de 01-01 en Sixaola, esta incluye una porción de la cuenca que pertenece a territorio panameño. Como el análisis se hace a la porción de la cuenca en territorio nacional que es de 2310 km², para efectos de comparación de resultados, las mediciones de caudal registradas en la estación de Sixaola van a ser corregidas por el porcentaje que representa el área costarricense.

Figura 13.1. Ubicación de cuencas y sub-cuencas usadas en la validación de la metodología.



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 13.1: Cuencas seleccionadas para la evaluación de la metodología

Número de cuenca	Nombre	Región Climática	Estación hidrométrica	Área tributaria (km ²)	Años escenario (S, N y H)
1	Sixaola	Caribe Sur	01-01 Sixaola (ICE) 01-02 Bratsi (ICE)	2120.5 2705.7	1985, 1984 y 2004
2	La Estrella	Caribe Sur	02-02 Pandora (ICE)	634.5	A) 1988, 1994 B) 1985, 1984 y 2004
8	Dos Montañas	Caribe Norte	08-03 Dos Montañas (ICE)	651.8	1995, 1994 y 1996
16	Río Frío	Zona Norte	16-02 Guatuso (ICE)	253.4	1985, 1992 y 2004
28	Río Naranjo	Transición Pacífico Central-Sur	28-01 Londres (ICE)	210.2	1994, 1988 y 2004

13.2. Ejemplo de los productos y secuencia de cálculo para la cuenca del río Pacuare:

A continuación se hace una descripción del procedimiento para generar los mapas de escorrentía para la cuenca del río Pacuare, considerando solamente el área tributaria hasta la estación 08-03, Dos Montañas del ICE.

13.2.a. Modelo de elevación digital

Las figura 13.2 muestra el modelo de elevación digital convertido a una matriz de celdas (rasterización), con cada una de ellas almacenando el valor numérico correspondiente a la elevación.

Como este análisis es una verificación contra valores de escurrimiento medidos, no se considera el 100% de la cuenca, sino sólo el área tributaria hasta la estación Dos Montañas del ICE.

13.2.b. Trazado de isoyetas e interpolación de la lluvia para los años escenario:

La figura 13.3 muestra la interpolación de las isoyetas trazadas según los valores de lluvia anual para el año 1994 que se considera como un año normal para esta cuenca. Fuera de los límites de la cuenca se aprecia el mapa de isoyetas de lluvia promedio anual más reciente desarrollado por el IMN, y que sirve de contexto sobre la distribución regional en los alrededores de la cuenca.

13.2.c. Estimación de la Evapotranspiración Potencial (EVT_P):

La figura 13.4. muestra el mapa resultante de EVT_P, luego de aplicar las ecuaciones (11.5), (11.3) y (11.4), y haciendo previamente la corrección para Tb para las zonas debajo de los 500 msnm.

13.2.d. Estimación de la Evapotranspiración Real (EVT_R):

La figura 13.5. muestra el mapa resultante de EVT_R. Para obtenerlo, se debió generar el mapa de Relación de Escorrentía (ecuación 11.5a), a partir del cual se puede generar el mapa del valor F (Ver gráfico 13.3), para luego resolver para EVT_R desde la ecuación 11.5b.

12.2.e. Estimación del Escurrimiento Total Anual (ESC):

La figura 13.6. muestra el mapa final de escurrimiento ESC para el año 1994, resultante de resolver la ecuación del balance hídrico (11.2). Cada celda de este mapa tiene el valor numérico que representa la altura en milímetros (mm) de agua que escurre en un año desde el área que esa celda representa.

Para facilitar la suma de todos los escurrimientos de todas las celdas, se efectúa un análisis de frecuencia en toda la cuenca. Para obtener el escurrimiento medio anual se utiliza la siguiente fórmula:

$$Esc \left(m^3 / s \right) = \frac{\sum_{n=1}^k (\bar{x}_n * F_n)}{1000} * \frac{Ac}{365 * 86400} \quad (6)$$

donde:

k : Número de rangos del análisis de frecuencia

\bar{X}_n : Valor medio del rango de escorrentía *n*, en mm

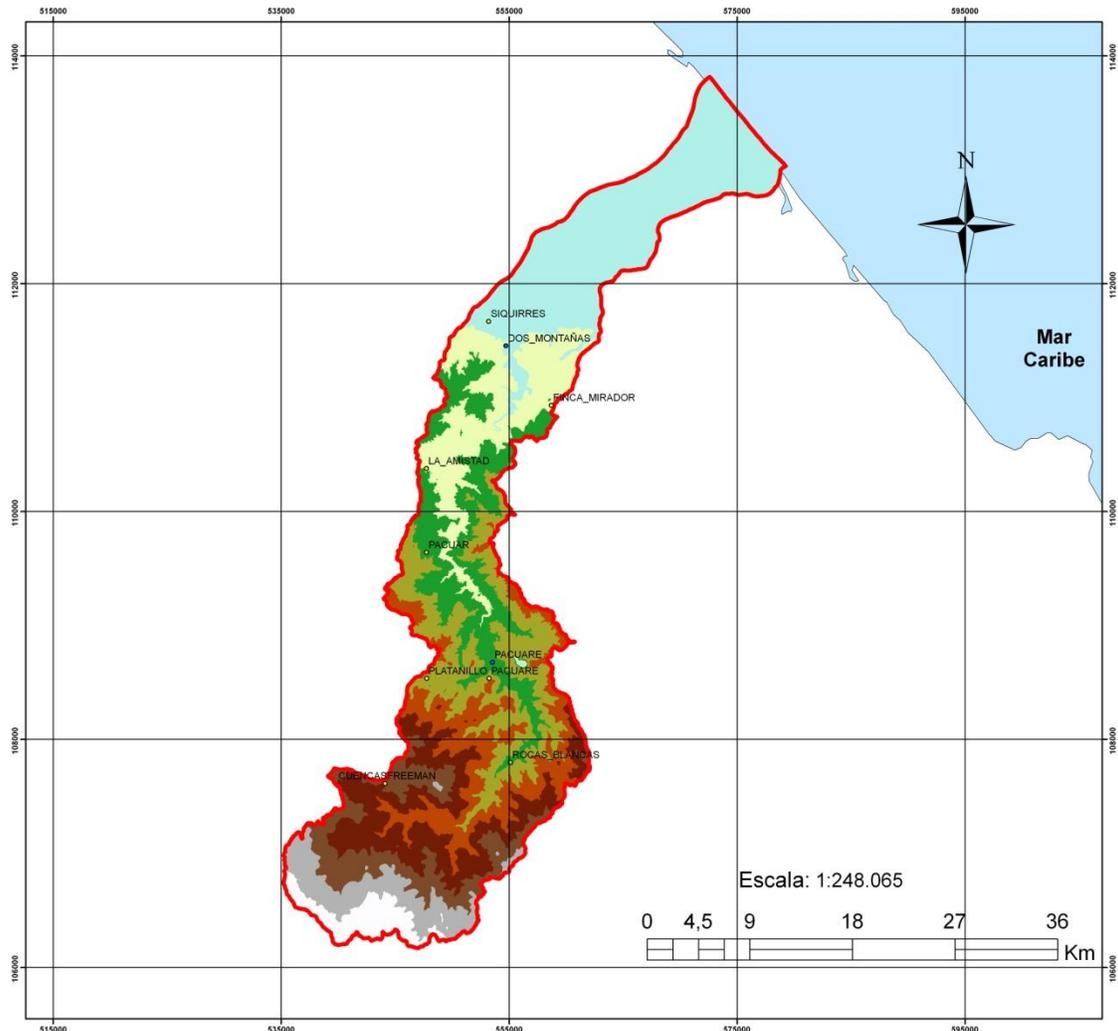
F_n : Número de celdas en el rango *n*

Ac : Área de la celda en m²

El gráfico 13.7 muestra el histograma correspondiente al mapa de escorrentía de la figura 2.4.6. El eje horizontal representa los rangos de frecuencia, y el eje vertical representa el número de celdas que caen en cada rango de escorrentía. A mayor número de rangos (número *k*), la estimación será más precisa. Para los cálculos, Arcgis genera un total de 256 rangos.

El cuadro 13.2 ilustra lo datos generados del análisis de frecuencia

Figura 13.2. Mapa de elevación digital y estaciones meteorológicas de la cuenca río Pacuare.



Simbología	
•	Estaciones Hidrológicas
◦	Estaciones de Lluvia
	Área de Estudio
Cuenca Pacuare	
Altitud m.s.n.m.	
	2.509,001 - 3.129
	2.072,001 - 2.509
	1.731,001 - 2.072
	1.422,001 - 1.731
	1.110,001 - 1.422
	813,0001 - 1.110
	520,0001 - 813
	202,0001 - 520
	0 - 202

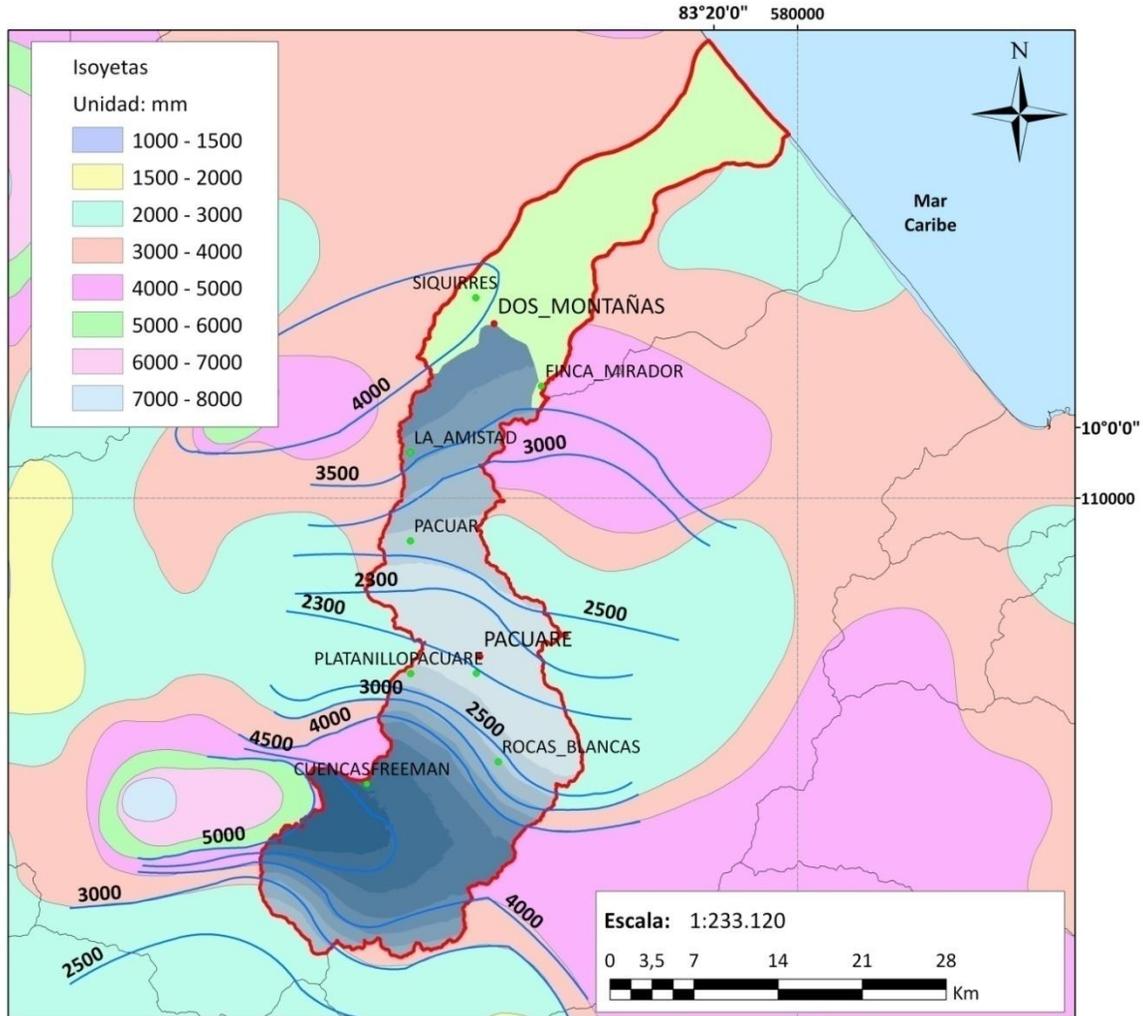
**Cuenca del Río Pacuare:
topografía, estaciones de
lluvia e hidrológicas
validación del método Holdridge**

Elaborado por: CIESA. 2009
Fuente: Unidad de Estudios Básicos ICE,
Balance Hídrico 1970 - 2002



Fuente: Elaboración propia

Figura 13.3. Mapa de Isoyetas e Interpolación de la Precipitación.
Escenario Normal año 1994. Cuenca Río Pacuare 1994



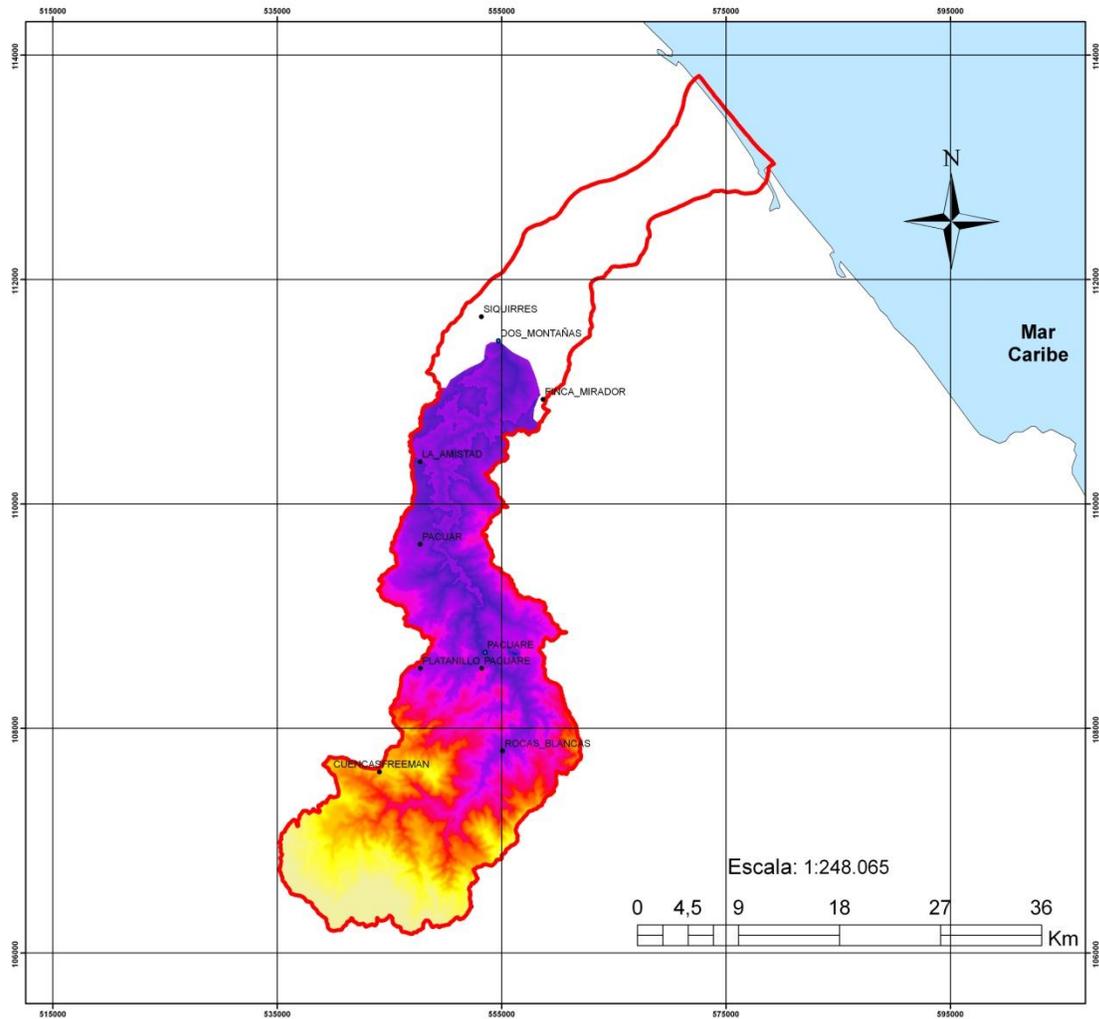
Simbología	
— Isoyetas	Cuenca Río Pacuare
• Estaciones Hidrológicas	Precipitación mm
• Estaciones de Lluvia	2.231,8 - 2.453,8
▭ Área de Estudio	2.453,9 - 2.771,1
	2.771,2 - 3.120
	3.120,1 - 3.447,8
	3.447,9 - 3.722,7
	3.722,8 - 3.987,1
	3.987,2 - 4.272,6
	4.272,7 - 4.547,5
	4.547,6 - 4.928,2

Cuenca del Río Pacuare:
Precipitación anual 1994
Interpolación Kriging Ordinario
Escenario Normal
validación del método Holdridge

Fuente:
Isoyetas elaboradas por J. Masís, CIESA 2009;
Atlas Meteorológico IMN 2008.



Figura 13.4. Distribución de la evapotranspiración potencial calculada.
Cuenca río Pacuare. Año 1994



Simbología

- Estaciones Hidrológicas
- Estaciones de Lluvia
- ▭ Área de Estudio

ETP Pacuare 1994
Rango mm

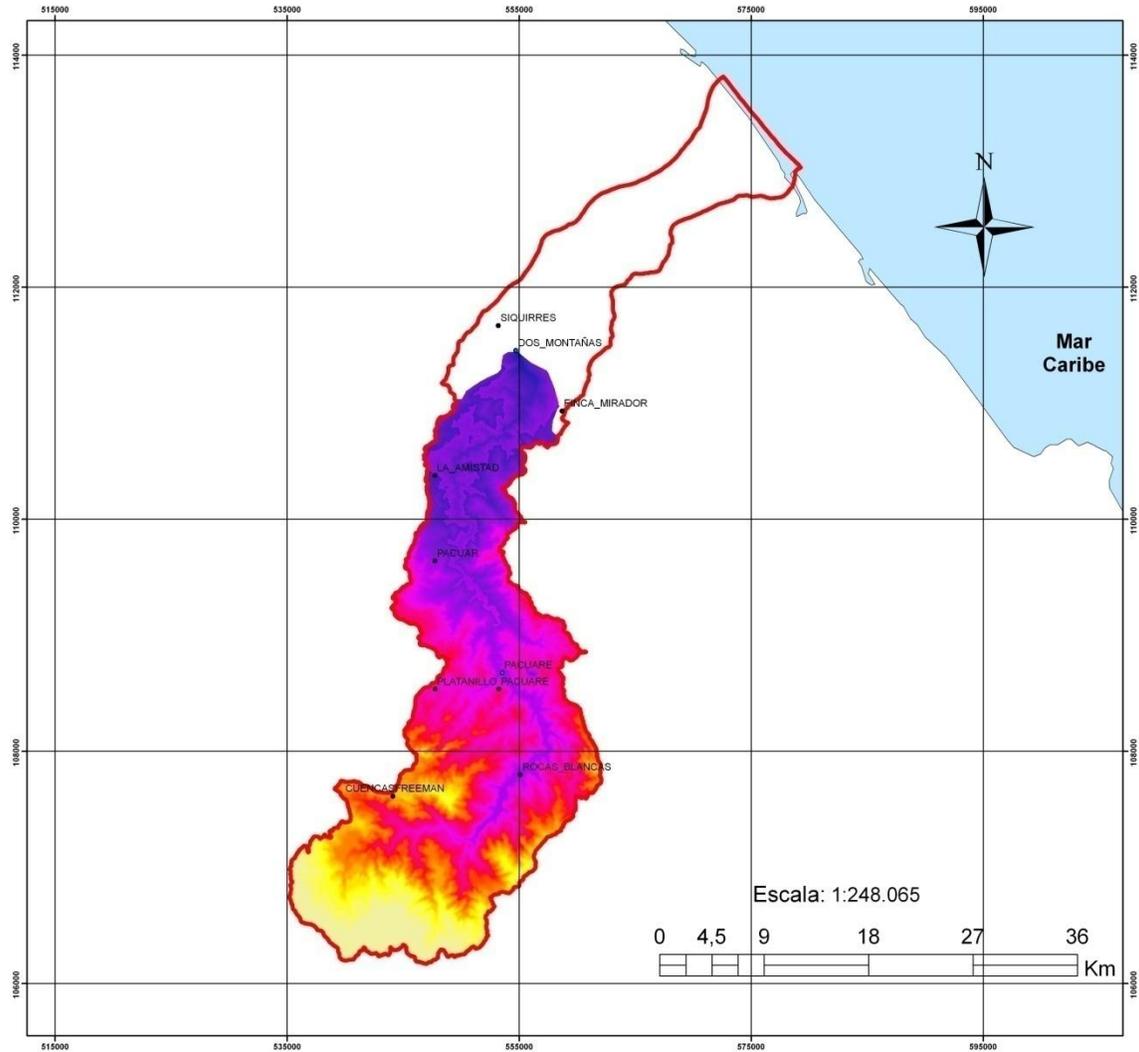
Mayor : 1443,429077
Menor : 484,422668

**Cuenca del Río Pacuare:
evapotranspiración Potencial
anual, año 1994
Validación del método
Holdridge**

Elaborado por: CIESA. 2009
Fuente: elaboración propia



Figura 13.5. Distribución de la evapotranspiración real.
Cuenca río Pacuare. Año 1994



Simbología

- Estaciones Hidrológicas
- Estaciones de Lluvia
- ▭ Área de Estudio

ETR Pacuare 1994

Rango

Mayor : 1319,972900

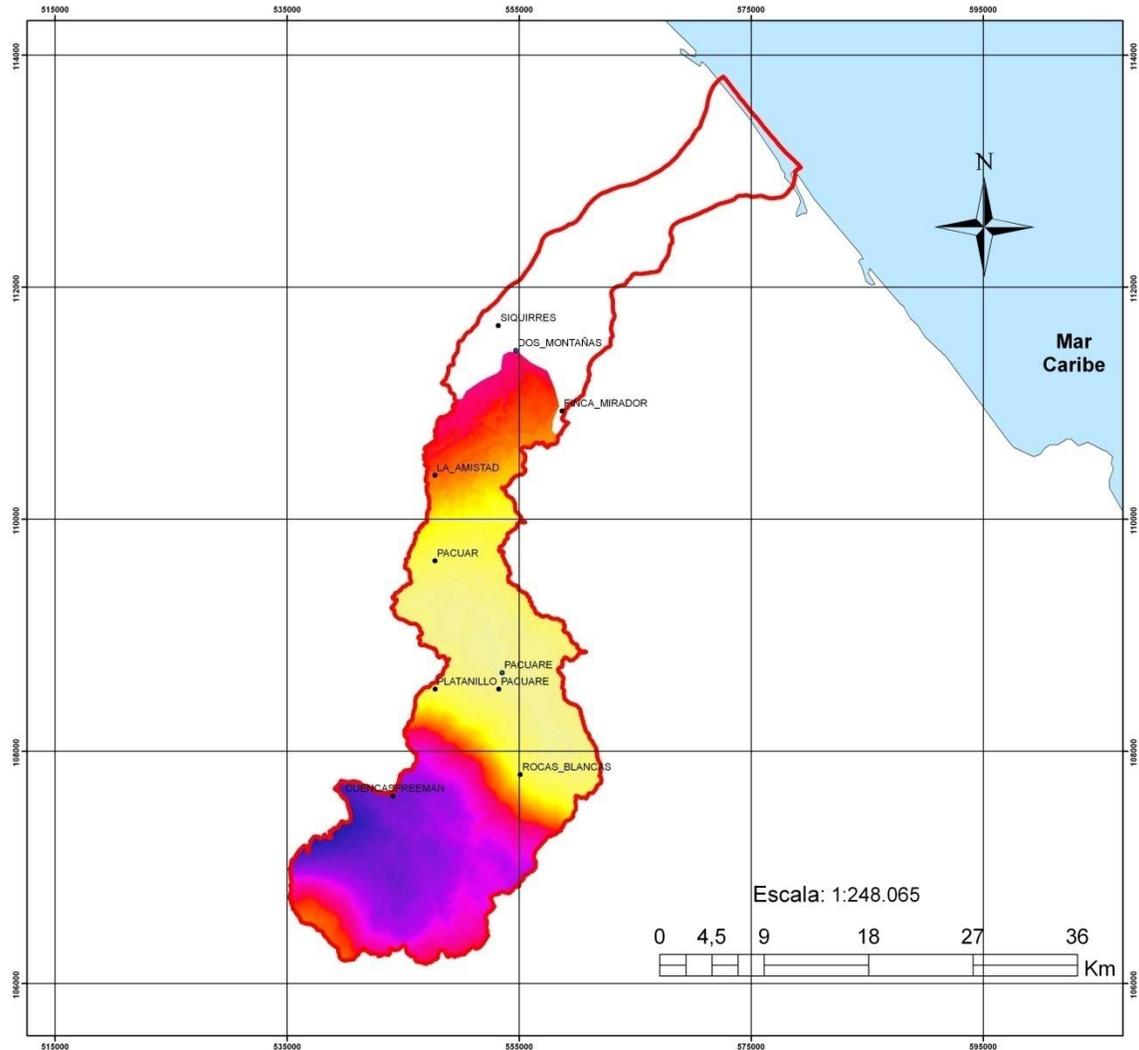
Menor : 520,638550

**Cuenca del Río Pacuare:
evapotranspiración real
anual, año 1994
Validación del método
Holdridge**

Elaborado por: CIESA. 2009
Fuente: elaboración propia



Figura 13.6. Distribución de la escorrentía anual calculada.
Cuenca río Pacuare. Año 1994.



Simbología

- Estaciones Hidrológicas
- Estaciones de Lluvia
- ▭ Área de Estudio

Escorrentia Pacuare 1994

Rango mm

Mayor : 4029,38

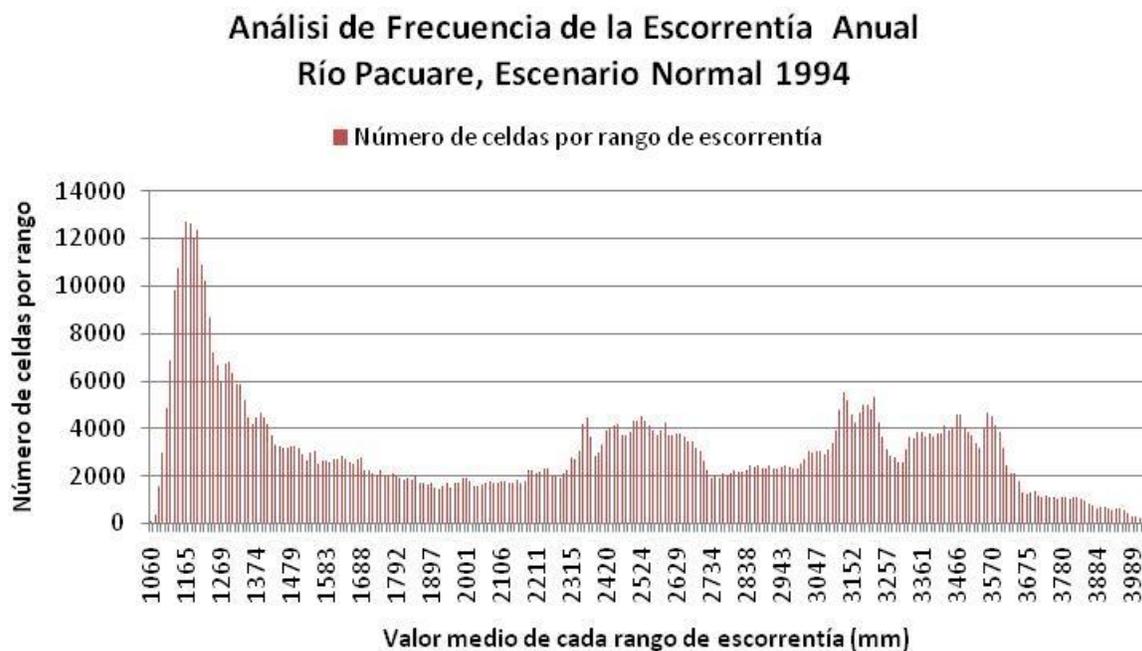
Menor : 1054,35

**Cuenca del Río Pacuare:
escorrentia anual, año 1994
Validación del método
Holdridge**

Elaborado por: CIESA. 2009
Fuente: elaboración propia



Gráfico 13.1: Histograma o número de celdas por rango de escurrimiento
Cuenca río Pacuare a la altura de la estación 08-03 Dos Montañas del ICE.



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 13.2: Ejemplo del análisis de frecuencia.

Fuente: Elaboración propia

Rangos de Escorrentía (mm)		Número de celdas de un total de 803730	Porcentaje del total (%)
Min	Max		
1054	1066	83	0.01
1066	1078	383	0.05
1078	1089	1563	0.19
1089	1101	2960	0.37
1101	1112	4843	0.60
1112	1124	6861	0.85
1124	1136	9816	1.22
1136	1147	10758	1.34
1147	1159	12030	1.50
1159	1171	12670	1.58
1171	1182	12617	1.57
1182	1194	12031	1.50
1194	1205	12373	1.54
1205	1217	10874	1.35

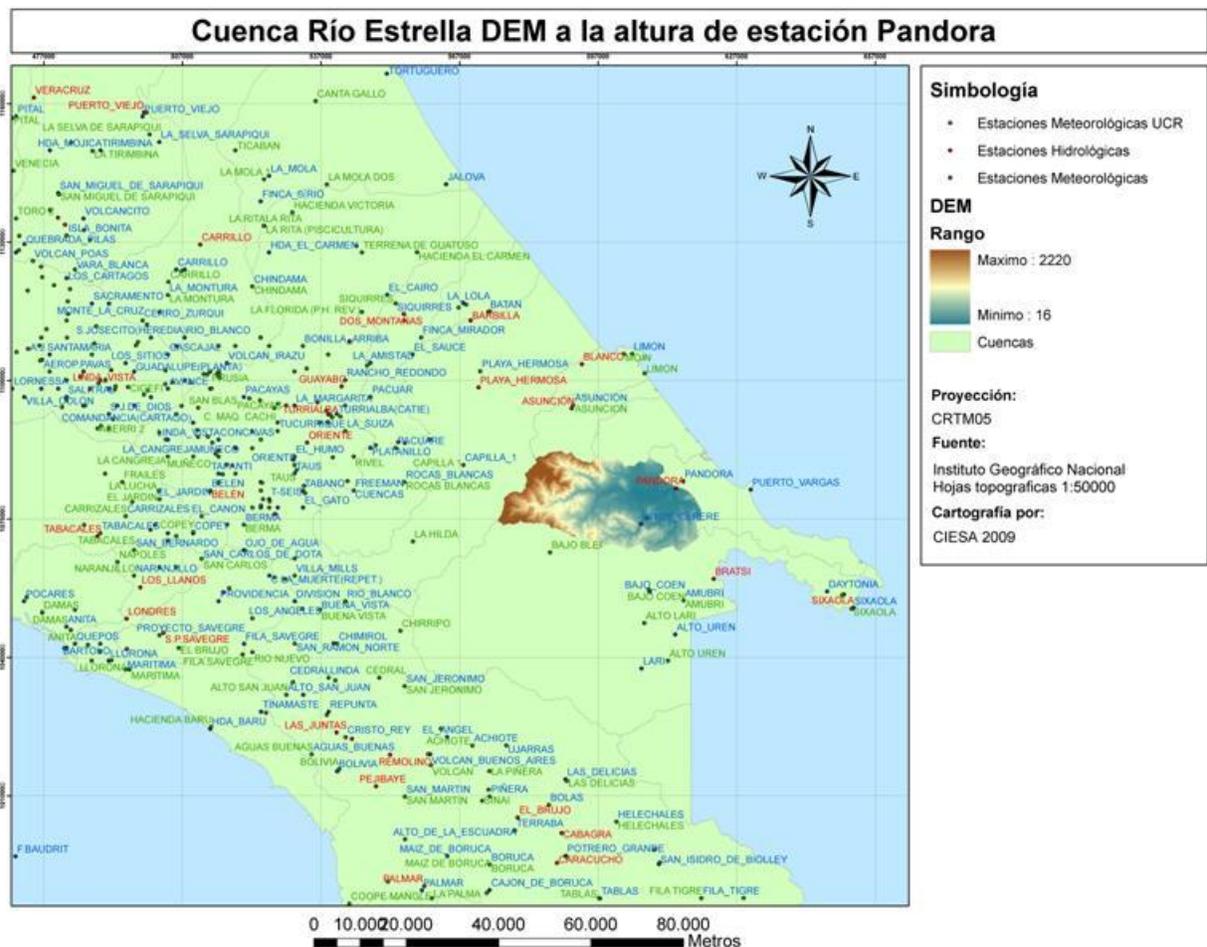
13.3. Ejemplo de los productos y secuencia de cálculo para otras cuencas:

13.3.a. Caso cuenca del río La Estrella:

En el caso del río la Estrella, además de los escenarios indicados en el cuadro 12.2 para toda la cuenca, también se aplicó a la porción de la cuenca que tributa hasta la estación hidrométrica de Pandora (02-02), para el año seco 1988 y el año normal 2004. Ver figura 13.7.

A diferencia de la cuenca del Pacuare, en esta cuenca la incertidumbre en el trazado de las isoyetas es mucho mayor por cuanto las estaciones de lluvia se encuentran en zonas bajas o costeras, y en las zonas montañosas es inexistente la información. Así mismo existe el problema de la no simultaneidad de los periodos de registro

Figura 13.7: Modelo de elevación digital, cuenca río Estrella a la altura de la estación hidrométrica Pandora(02-20) del ICE.



Fuente: Elaboración propia

La figura 13.8 muestra para la zona climática del Caribe Sur, el trazado de las isoyetas con base en los escasos valores puntuales disponibles y en las isoyetas medias del Atlas meteorológico del 2008.

Figura 13.8: Isoyetas digitalizadas para el Caribe Sur, escenario normal, año 1994.



Como el año 1994 es similar a las condiciones promedio, las curvas se trazaron muy similares al Atlas meteorológico, pero siempre respetando el efecto de los valores puntuales disponibles.

13.3.b. Caso cuencas de los ríos Frío y Naranjo:

Las figuras 13.9-13.12 muestran los mapas resultantes de la interpolación de la precipitación y la distribución de escorrentía de los escenarios normales respectivos de las sub-cuencas de río Frío y Naranjo.

Para los escenarios seco y lluvioso, el patrón de isoyetas se varió de acuerdo a la información disponible pero manteniéndose el patrón regional de las curvas y reduciendo la magnitud de las isoyetas.

Figura 13.9: Isoyetas digitalizadas e interpoladas usando el método de Kriging Ordinario para la sub-cuenca del río Frío hasta la estación hidrológica 16-02 Guatuso, escenario normal, 1994.

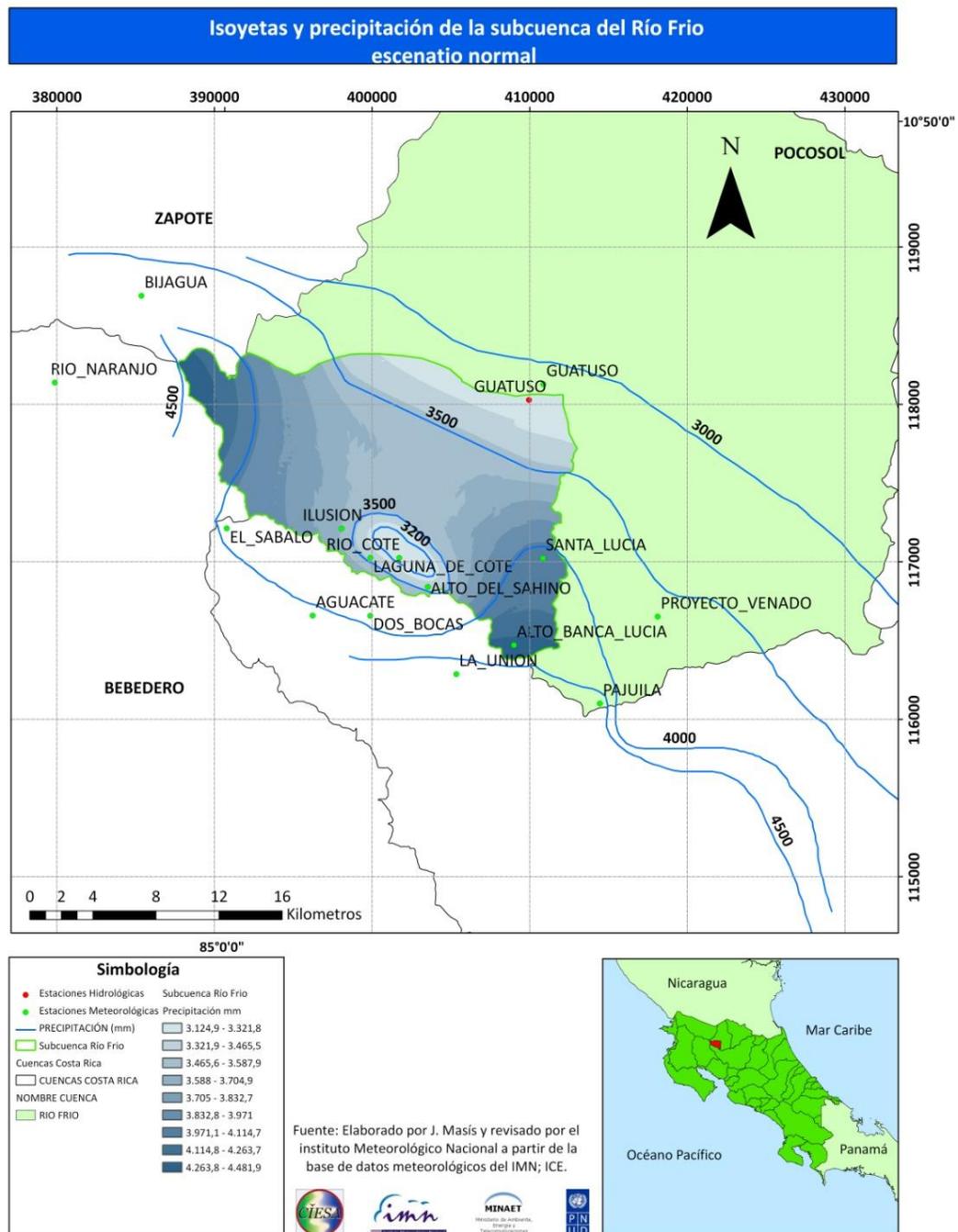


Figura 13.10: Mapa de escorrentía para la subcuenca del río Frío, escenario normal, año 1994.

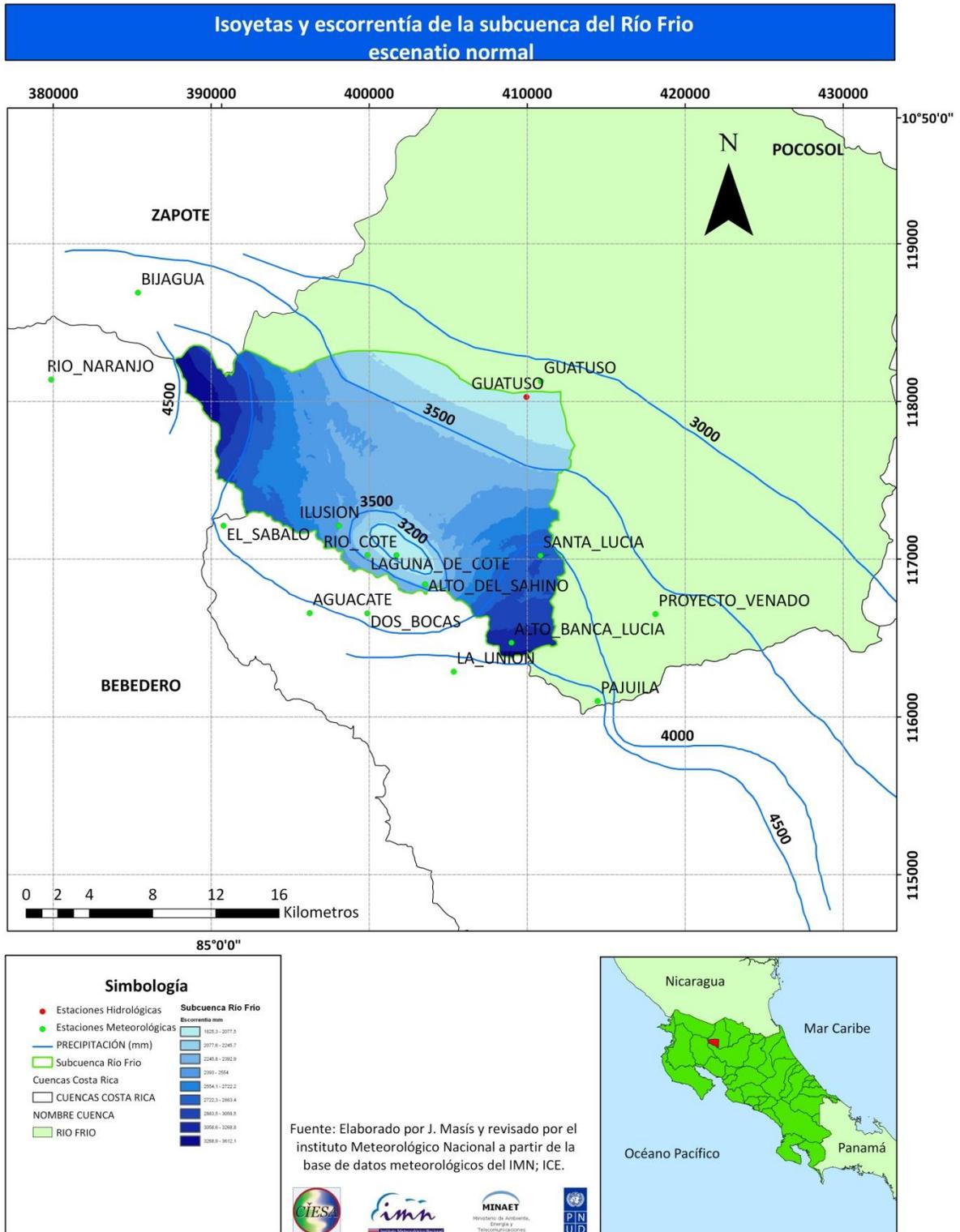


Figura 13.11: Isoyetas digitalizadas para la subcuenca del río Naranjo hasta la estación hidrológica Londres, escenario normal, año 1993.

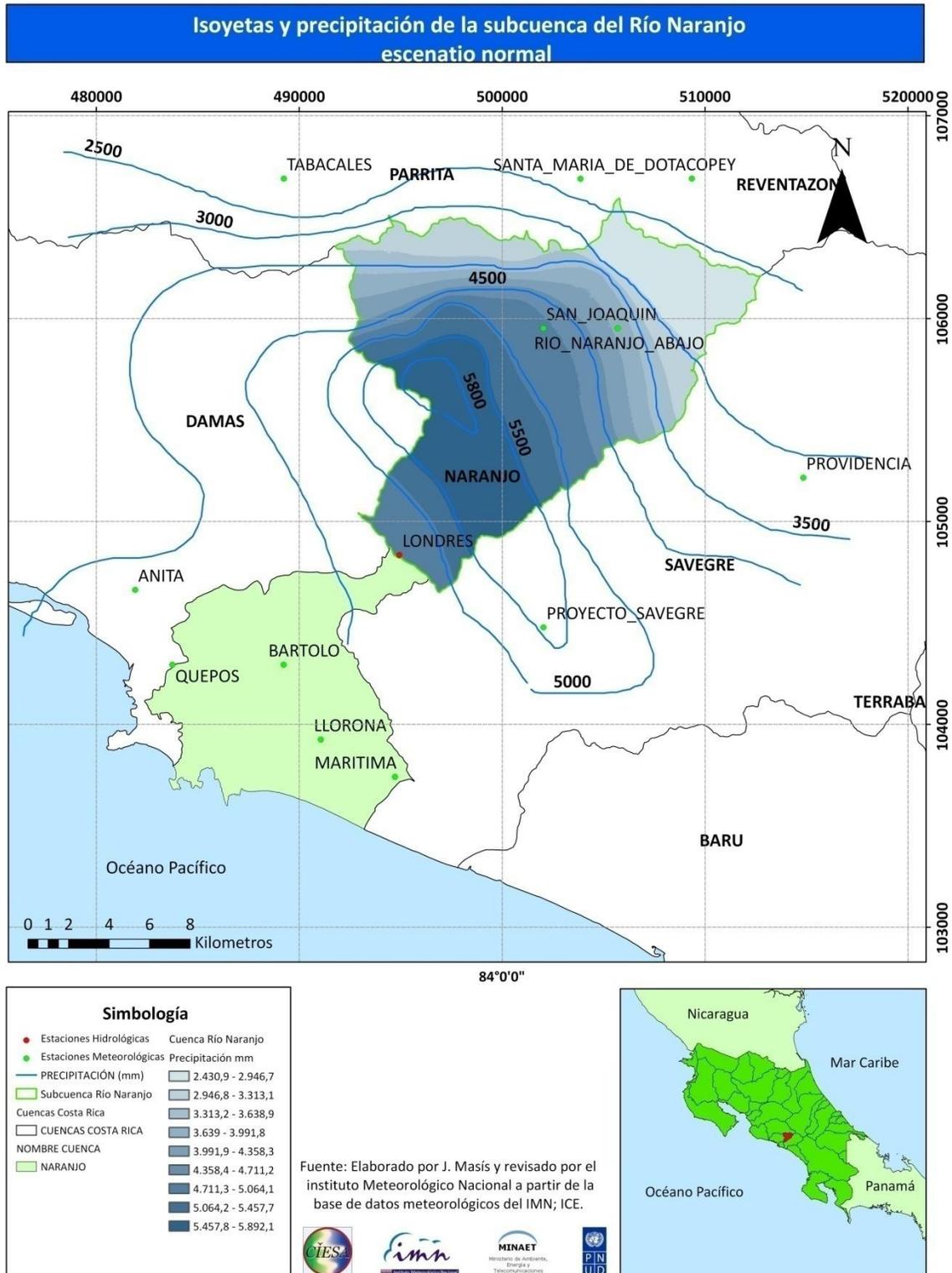
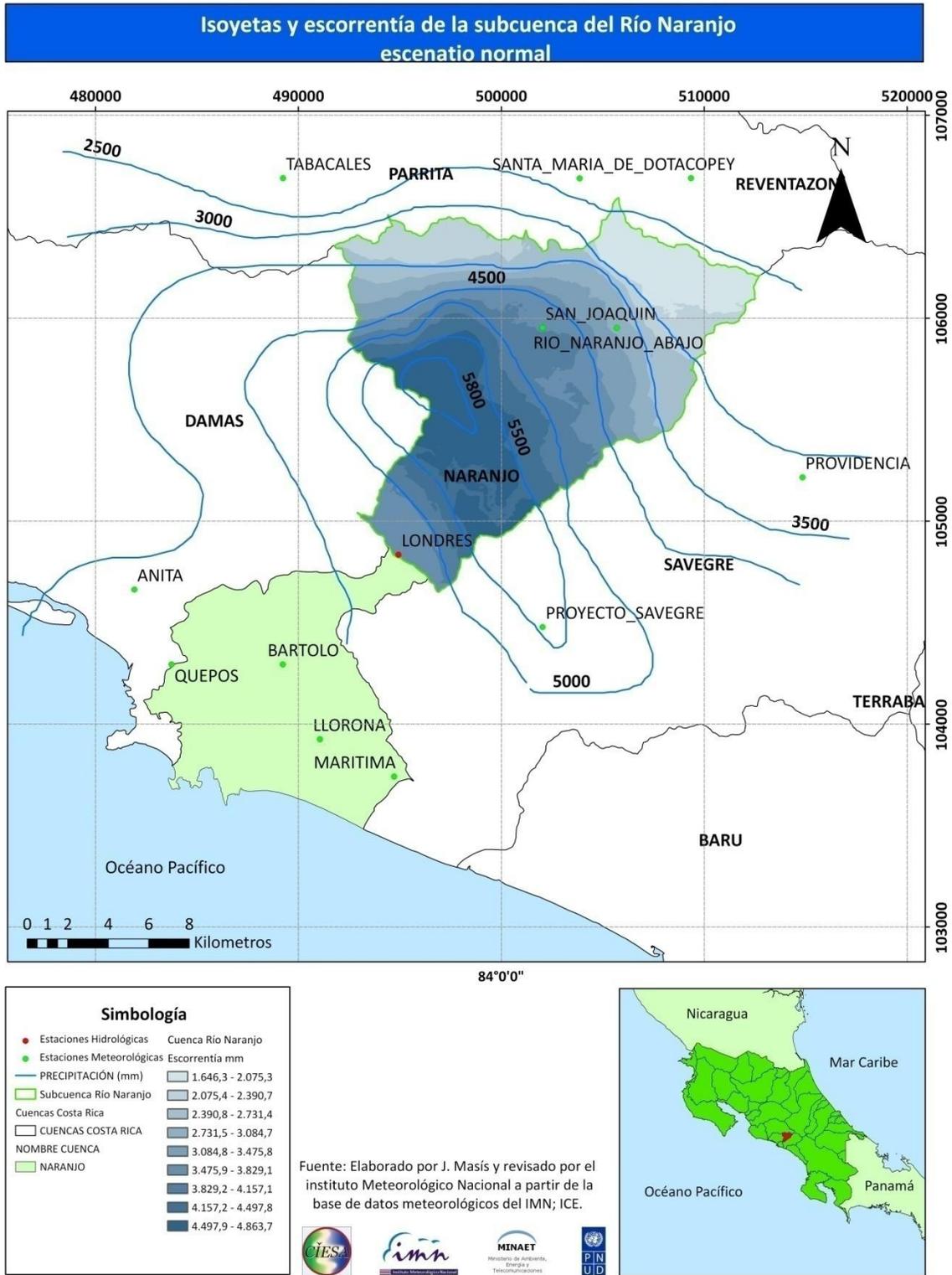


Figura 13.12: Mapa de escorrentía para la cuenca del río Naranjo, escenario normal, año 1993



13.4. Evaluación de los resultados:

El cuadro 13.3., muestra la información y resultados de los escenarios que se utilizaron para evaluar la metodología propuesta. El cuadro muestra para cada cuenca: La estación hidrológica que se utiliza para la comparación, el área de la cuenca en km² considerada en el análisis y el área tributaria de la estación hidrológica. La tercera columna indica los años escenario utilizados para la comparación, los valores de caudal observados y ajustados por una razón de áreas para que sean equivalentes al área del análisis.

Los datos que tienen un asterisco (*) indica que el análisis se hizo usando sólo la subcuenca que corresponde a la estación hidrológica, por lo cual no hay que hacer correcciones por área para comparar los resultados.

En el caso de Sixaola y la Estrella, la comparación se hace utilizando los resultados del balance hídrico sobre toda la cuenca (en Sixaola, sólo la parte costarricense), y de igual forma, los valores observados en las estaciones hidrológicas deben ser proporcionados al área total de la cuenca analizada. A continuación se presenta una discusión de los resultados:

Cuadro 13.3: Resultados obtenidos de la evaluación del método de Holdridge.

Nombre	Estación hidrométrica	Área cuenca analizada / Área Tributaria de la estación de caudal (km ² /km ²)	Años escenario (S, N y H)	Esc. Obser. Extrapolada (m ³ /s)	Escorrentía Calculada. (m ³ /s)	Error Porcentual
Sixaola	01-01 Sixaola (ICE)	2310/2705.7	S:1985 N:1984 LL:2004	183.4	151.7	-17.3
				237.5	214.6	-9.6
	---	249.6		---		
	01-02 Bratsi (ICE)	2310/2120.5		150.4	151.6	0.9
				202.5	214.6	6.0
				212.8	249.6	17.3
La Estrella	02-02 Pandora (ICE)	634.5/634.5*	S:1988	39.9	40.2	0.6
			N:1994	42.7	46.9	9.9
	980/634.5	S:1985	43.1	45.1	4.7	
			N:1984	62.6	62.6	0.1
			LL:2004	94.0	97.2	3.4
Pacuare	08-03 Dos Montañas (ICE)	651.8/651.8*	S:1995	50.4	49.4	-2.1
			N:1994	46.1	45.9	-0.3
			LL:1996	67.3	65.4	-2.8
Río Frío	16-02 Guatuso (ICE)	253.4/253.4*	S:1985	22.1	15.4 (32.5)	-30.4 (47.0)
			N:1992	28.0	19.2 (43.0)	-31.5 (53.1)
			LL:2004	41.3	26.0 (61.6)	-37.5 (49.2)
Río Naranjo	28-01 Londres (ICE)	210.2/210.2*	S:1997	26.0	23.6	-9.2
			N:1993	23.7	22.3	-5.7
			LL:1996	47.5	36.04	-24.1
					Promedio	-6.71%

* Se consideran las subcuencas tributarias a la estación hidrológica respectiva.

Fuente: Elaboración propia

Caso cuenca del río Pacuare:

El cuadro 13.3 resume los resultados obtenidos para la cuenca del río Pacuare, aplicados a los años 1994, 1995 y 1996. Con referencia al gráfico 12.1, los dos primeros años pueden en realidad considerarse como secos (periodo “seco” 1982-1995, ver sección 12.2.b). El año 1996 podría considerarse un año ligeramente húmedo para el Caribe Norte.

Esta cuenca por su forma y por su potencial para generación hidroeléctrica, tiene una muy buena cobertura de estaciones de lluvia hasta la estación de caudal Dos Montañas, lo que permite elaborar mapas de isoyetas muy precisos. La máxima discrepancia obtenida en la escorrentía estimada es de solamente un -2.8%, lo que indica que para los tres escenarios el modelo logró estimar con gran exactitud el único término incierto de la ecuación de balance (12.2): la evaporación real anual.

Al obtenerse una exactitud muy buena en tres años consecutivos esto podría indicar la resiliencia que tiene la cuenca del río Pacuare a los cambios de precipitación año a año (una gran capacidad de almacenamiento pero que siempre está al límite de la capacidad) descargando toda la precipitación que le entra en el año porque ya no hay capacidad de almacenamiento, o por el contrario, que su almacenamiento tanto superficial como subterráneo es despreciable comparado con el volumen de precipitación anual y por lo tanto casi no hay retención subterránea.

Caso cuenca del río La Estrella:

Para este caso, el análisis se hizo tanto a la sub-cuenca tributaria hasta la estación hidrológica de Pandora, como a la cuenca completa, todos con años-escenario distintos. Para el primer caso, los porcentajes de errores fueron 0.6 y 9.9%, y para el caso de la cuenca completa (Capítulo 14) menores a 4.7%.

A pesar de que la información de lluvia está muy dispersa en el Caribe Sur, y los periodos de registro presentan poca simultaneidad, es evidente que los mapas de isoyetas estimados son bastante razonables dados los bajos porcentajes de error para cada uno de los 5 escenarios.

Como en el caso de Pacuare, también en este caso pareciera que el cambio neto de almacenamiento anual no juega un papel muy importante.

Caso cuenca del río Sixaola:

Para este río se utilizaron los datos hidrológicos de la estaciones Bratsi y Sixaola para la comparación con los resultados del análisis de la parte de la cuenca que se ubica en territorio nacional. Esta cuenca quizá es la más difícil de acertar, ya que las partes media y alta de esta cuenca se encuentran sin información.

Las isoyetas se trazaron considerando la concentración y elevación máxima de los núcleos nubosos que aparecen en la fotografía satelital, así como otros medios técnicos que permiten inferir la forma de las diferentes isoyetas.

El máximo error en valor absoluto asciende a 17.3%, siendo los promedios 8.1%, y 13.5% cuando comparados con las mediciones en Sixaola y Bratsi, respectivamente. Debido a la incertidumbre asociada a la precipitación de entrada, no se puede evaluar cualitativamente el papel del almacenamiento en los años-escenario seleccionados. En este análisis se observaron discordancias entre las estaciones de Bratsi y Sixaola.

Caso cuenca del río Naranjo:

En la cuenca del río Naranjo existe un núcleo lluvioso que para cada uno de los escenarios presenta grandes variaciones no sólo en la magnitud de la lluvia, pero también en su extensión. La presencia de gradientes de lluvia muy acentuados, lo pequeña de esta subcuenca y la relativa dispersión de las estaciones de lluvia dificulta la generación de isoyetas a un nivel de confiabilidad alto.

Escenario lluvioso: En este caso resalta el error para el año lluvioso 1996, el error se incrementa a -24.1%. En el caso de las cuencas en la vertiente pacífica es más fácil inferir cuando el almacenamiento puede estar afectando el porcentaje de error.

Para dar un explicación a esta “anomalía”, el cuadro 13.4 muestra los escurrimientos mensuales de la estación Londres, los años escenario se indican con los colores amarillo (seco), azul (normal) y verde (lluvioso); también se indican los meses en que el escurrimiento está significativamente por debajo (amarillo claro) o por encima (verde claro) del promedio de ese mes.

Como se sabe, en esa región la precipitación en el periodo enero-abril es casi nula, y el escurrimiento de esos meses corresponde a estiaje, o agua infiltrada el año anterior. De manera que el estiaje (1995-1996) estuvo muy por encima del estiaje promedio, mientras que el estiaje 1996-1997 se puede considerar normal. El patrón de estiaje queda prácticamente definido por el escurrimiento del mes de diciembre, el cual en 1995 fue muy abundante mientras que en 1996 fue normal.

Como los caudales de estiaje son proporcionales al almacenamiento subterráneo, podemos decir que ($S_{1996} > S_{1997}$). Como la lluvia ocurre desde mayo hasta noviembre-diciembre solamente, y como el modelo de Holdridge sólo contabiliza la escorrentía proveniente de la precipitación del año actual y no del anterior, la estimación está subestimada cuando se compara con el registro anual que incluye el estiaje que proviene de la precipitación del año anterior.

Si no se considera el volumen de estiaje de los meses enero-abril, así como el 50% del mes de mayo, entonces el error de la estimación pasa de un -24.1% a un -9%.

Escenario seco: Si se comparan los estiajes 1996-1997, con 1997-1998, se tiene la misma situación anterior: ($S_{1997} > S_{1998}$), pero en un grado mucho menor, y de allí que el error de subestimación sea menor al escenario lluvioso.

Escenario normal: Los estiajes 1992-1993, con 1993-1994, aunque ambos están por debajo del promedio, son muy similares ($S_{1993} \approx S_{1994}$) y por lo tanto el error está casi dentro de lo normal para esta metodología.

Cuadro 13.4: Valores de escurrimiento mensual en m^3/s medidos en la estación 28-03 Londres, en la cuenca del río Naranjo.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio Ponderado
1991	17.7	7.95	5.75	9.2	22.5	35.4	33.2	33.4	36.9	42.8	30.8	19.1	24.66
1992	9.2	7.71	4.88	5.75	10.5	33.2	30	28.1	53.8	51.7	36.4	19.6	24.28
1993	8.56	6.11	5.83	8.57	27.2	23.3	25.2	40.9	59.8	50	33.7	21.4	25.98
1994	9.95	5.33	4.95	7.03	16.2	20.8	22.7	36.1	37.1	45.1	40.2	16.5	21.92
1995	8.88	5.87	6.78	14.7	24	33	33.4	51.4	53.4	61.5	32.7	30.1	29.80
1996	24.1	12.5	10.9	23.0	48.1	50.1	66.1	72.4	74.9	113.4	51.7	19.3	47.5
1997	14.3	11.2	6.5	6.7	26.9	47.3	19.9	17.3	32.6	40.2	40.0	21.6	23.7
1998	10.7	5.5	5.6	5.5	13.8	15.0	39.5	32.1	50.2	61.5	52.8	36.6	27.5
Promedio	11.9	7.8	6.7	9.2	25.7	33.7	33.7	39.4	48.3	52.3	37.3	20.6	

	Escenario Seco
	Escenario Normal
	Escenario Lluvioso

	Escorrentía sobre el promedio
	Escorrentía bajo el promedio

Caso cuenca del río Frío:

En esta subcuenca se tiene información de lluvias en su límite sur, y sólo una estación (Ilusión) dentro de sus límites. Existen otras estaciones alejadas hacia el oeste, norte y este. Por los valores de las estaciones es claro que hay grandes gradientes, debido a lo pequeña de la cuenca y con poca información de lluvia en esa escala, se reporta un error de subestimación que es muy consistente para los 3 escenarios que en promedio es de -33.3%.

Se hizo un segundo intento de trazado de las isoyetas introduciendo más lluvia para la cuenca, obteniéndose los valores entre paréntesis que exceden en más de un 50% los valores observados.

De manera que en casos como este, en que la distribución espacial presenta fuertes gradientes de lluvia, y la información es incierta por baja densidad de estaciones con respecto al área de la cuenca, entonces se requiere de otros criterios para mejorar el trazado de las isoyetas.

13.5. Consideraciones finales del capítulo

El cuadro 13.3. muestra que para los 17 escenarios evaluados, el error general es de -6.71%, y de -1.8 % si se excluyera el caso particular del río Frío.

Se ha demostrado que para una cuenca con muy buena cobertura de estaciones de lluvia y partiendo de que el modelo de elevación digital tiene un buen nivel de detalle, los errores disminuyen por debajo del 5%.

Los escenarios aplicados al río Naranjo ilustran muy bien las condiciones en las que el modelo compara bien con los registros de caudal, y cuando no es así.

Se ha ilustrado que independientemente de si los estiajes de dos años consecutivos son bajos o altos con respecto al patrón de estiaje promedio, mientras ambos sean similares, el porcentaje de error tiende a bajar. En el caso contrario, cuando los patrones de estiaje son numéricamente muy diferentes, entonces el error aumenta.

Lo anterior ocurre independientemente de si se utiliza como base el año hidrológico, o el año calendario, obviamente en el primer caso es más fácil llevar control de las tendencias en la escorrentía superficial así como del almacenamiento subterráneo.

La metodología de Holdridge básicamente es un procedimiento para estimar la evapotranspiración real EVT_R de una cuenca, por lo tanto si el primer término de la ecuación del balance (11.2) PPT se estima con razonable certeza, y no hay motivos particulares que hagan pensar que el cambio de almacenamiento es significativo, entonces los resultados de escorrentía calculados deberían ser bastante razonables para análisis preliminares del recurso hídrico.

Más allá de construir un modelo que pronostique la escorrentía de un año específico, para los propósitos de este estudio en que se requiere construir escenarios críticos ya sea por déficit o por exceso de precipitación, esta metodología es adecuada para proponer dichos escenarios.

Como se ha explicado anteriormente, los valores de escorrentía que se generan asumen que el almacenamiento con que se inicia el año de análisis es resultante de un año igualmente crítico al que se está analizando, por lo tanto para los efectos de generar escenarios en un contexto de varios años consecutivos con esa condición extrema, la incertidumbre en las variaciones del almacenamiento dejan de ser importantes porque ya se están considerando las más críticas.

14. Estimación de la Oferta Hídrica Potencial en las 19 cuencas a nivel anual y mensual

14.1. Estimaciones resultantes del balance hídrico en las 19 cuencas:

En esta sección se presentan los resultados obtenidos para los componentes del balance hídrico de la ecuación (11.2) de acuerdo a la metodología modificada de Holdridge que se explica en el capítulo 12 y que se implementó en el capítulo 13. Se estimaron los escurrimientos de las 19 cuencas considerando los años escenarios del cuadro 12.2. Las isoyetas trazadas para cada escenario son básicamente la única información de entrada para la modelación de cada cuenca, estas se presentan en el anexo 14.1. A.

El cuadro 14.1 resume la información de los años escenario utilizados y los resultados del balance para cada cuenca respectivos, en unidades de milímetros. En las últimas columnas se indica los valores de EVT_R . Se puede apreciar que para muy diferentes escenarios de precipitación, la EVT_R varía muy poco.

La última columna muestra en porcentaje lo que la variación de la EVT_R entre el escenario seco y lluvioso representa con respecto a la precipitación promedio de los tres escenarios. En promedio para las 19 cuencas, la variación de la EVT_R representa solamente un 2.1% de la precipitación promedio de los escenarios considerados.

Este es un resultado a resaltar porque refleja que la variable EVT_R es virtualmente una característica de la cuenca con una dependencia cuantitativamente pequeña de la precipitación anual.

Como consecuencia se puede apreciar que para una misma cuenca, las variaciones en los valores de escorrentía se deben casi exclusivamente a la variación en la precipitación anual estimada, o en este caso del escenario normal seleccionado para estas cuencas.

El cuadro 14.2 muestra el mismo tipo de información, pero expresada como volumen en unidades de km^3 .

Cuadro 14.1. Resultados del balance hídrico y variación de la evapotranspiración real (mm).

CUENCA		AÑOS ESCENARIOS CONSIDERADOS			PRECIPITACIÓN MEDIA AREAL (mm)			ESCORRENTIA ANUAL (mm)			EVAPOTRANSPIRACIÓN			
Número	Nombre	Seco	Normal	Húmedo	Seco	Normal	Húmedo	Seco	Normal	Húmedo	MEDIA AREAL (mm)			Máxima
											Seco	Normal	Húmedo	Variación (%)
1	SIXAOLA	1985	1984	2004	3055	3891	4346	2070	2930	3407	985	961	938	1.2
2	LA ESTRELLA	1985	1984	2004	2614	3203	4290	1451	2015	3125	1163	1189	1164	0.8
3	BANANO	1985	1984	2004	2808	3346	5105	1627	2152	4005	1180	1194	1100	2.5
4	BANANITO	1985	1984	2004	2469	2907	4270	1254	1655	3021	1215	1252	1249	1.2
5	MOIN	1985	1984	2004	2527	3119	4622	1300	1844	3400	1227	1276	1222	1.6
6	MATINA	1995	1998	2002	2625	3131	5484	1570	2058	4528	1056	1073	956	3.1
7	MADRE DE DIOS	1995	1998	2002	2171	2768	5050	988	1509	3826	1183	1259	1224	2.3
10	TORTUGUERO	1985	1984	1981	3648	4337	5239	2350	3071	4021	1299	1265	1219	1.8
11	CHIRRIPO NORTE	1995	1990	2002	3838	4661	6030	2678	3538	5000	1160	1123	1030	2.7
13	CUREÑA	1985	1988	2004	2952	3932	4202	1672	2641	2924	1280	1291	1279	0.3
15	POCOSOL	1985	1992	2004	2336	2504	3169	1129	1277	1906	1207	1226	1263	2.1
17	ZAPOTE	1985	1992	2004	1836	2433	2818	794	1267	1627	1041	1167	1191	6.3
23	JESUS MARIA	1986	1989	1995	2097	2857	3456	997	1660	2247	1100	1197	1209	3.9
25	TUSUBRES	1992	1993	1995	3058	3300	4128	1821	2076	2915	1237	1224	1214	0.7
27	DAMAS	1997	1993	1996	3128	3766	5333	1915	2542	4200	1213	1224	1133	2.2
30	BARU	1994	2000	1996	3238	3855	5308	2015	2635	4182	1223	1220	1125	2.4
32	PENINSULA DE OSA	1997	2000	1999	3311	4535	5096	2040	3306	3901	1271	1228	1195	1.8
33	ESQUINAS	1997	2000	1999	3291	3910	4636	2037	2672	3430	1254	1238	1206	1.2
34	CHANGUINOLA	1985	1984	2004	2546	3063	3727	1836	2389	3099	709	674	628	2.6
													Promedio	2.1

Cuadro 14.2. Resultados del balance hídrico (km³)

CUENCA		AÑOS ESCENARIOS CONSIDERADOS			PRECIPITACIÓN MEDIA (km ³)			ESCORRENTIA ANUAL (Km ³)			EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL (Km ³)		
Número	Nombre	Seco	Normal	Húmedo	Seco	Normal	Húmedo	Seco	Normal	Húmedo	Seco	Normal	Húmedo
1	SIXAOLA	1985	1984	2004	7.06	8.99	10.04	4.78	6.77	7.87	2.28	2.22	2.17
2	LA ESTRELLA	1985	1984	2004	2.56	3.14	4.21	1.42	1.98	3.06	1.14	1.17	1.14
3	BANANO	1985	1984	2004	0.58	0.69	1.06	0.34	0.45	0.83	0.24	0.25	0.23
4	BANANITO	1985	1984	2004	0.56	0.65	0.96	0.28	0.37	0.68	0.27	0.28	0.28
5	MOIN	1985	1984	2004	0.41	0.51	0.75	0.21	0.30	0.55	0.20	0.21	0.20
6	MATINA	1995	1998	2002	4.23	5.05	8.84	2.53	3.32	7.30	1.70	1.73	1.54
7	MADRE DE DIOS	1995	1998	2002	0.55	0.70	1.29	0.25	0.38	0.97	0.30	0.32	0.31
10	TORTUGUERO	1985	1984	1981	5.37	6.38	7.71	3.46	4.52	5.92	1.91	1.86	1.79
11	CHIRRIPO NORTE	1995	1990	2002	7.91	9.61	12.43	5.52	7.29	10.31	2.39	2.32	2.12
13	CUREÑA	1985	1988	2004	1.06	1.41	1.51	0.60	0.95	1.05	0.46	0.46	0.46
15	POCOSOL	1985	1992	2004	3.84	4.12	5.21	1.86	2.10	3.13	1.98	2.02	2.08
17	ZAPOTE	1985	1992	2004	4.50	5.96	6.91	1.95	3.10	3.99	2.55	2.86	2.92
23	JESUS MARIA	1986	1989	1995	0.79	1.08	1.31	0.38	0.63	0.85	0.42	0.45	0.46
25	TUSUBRES	1992	1993	1995	2.52	2.72	3.40	1.50	1.71	2.40	1.02	1.01	1.00
27	DAMAS	1997	1993	1996	1.41	1.70	2.41	0.87	1.15	1.90	0.55	0.55	0.51
30	BARU	1994	2000	1996	1.77	2.10	2.89	1.10	1.44	2.28	0.67	0.67	0.61
32	PENINSULA DE OSA	1997	2000	1999	6.50	8.91	10.01	4.01	6.49	7.66	2.50	2.41	2.35
33	ESQUINAS	1997	2000	1999	5.89	7.00	8.29	3.65	4.78	6.14	2.24	2.22	2.16
34	CHANGUINOLA	1985	1984	2004	0.65	0.78	0.95	0.47	0.61	0.79	0.18	0.17	0.16

14.2 Caudales específicos obtenidos y rangos de variación por región climática:

El cuadro 14.3 muestra los caudales específicos promedio para cada cuenca y por región climática en unidades de l/s/km².

Cuadro 14.3. Caudales específicos resultantes del balance hídrico (l/s/km²)

CUENCA			CIESA (2009)			
Número	Nombre	Área (km ²)	Caudal Específico (l/s/km ²)			
			Seco	Normal	Húmedo	Variación
Caribe Sur						
1	SIXAOLA	2310	66	93	108	42
2	LA ESTRELLA	980	46	64	99	53
3	BANANO	207	52	68	127	75
4	BANANITO	225	40	52	96	56
5	MOIN	163	41	58	108	67
		Promedios	49	67	108	59
Caribe Norte						
6	MATINA	1612	50	65	144	94
7	MADRE DE DIOS	255	31	48	121	90
10	TORTUGUERO	1472	75	97	127	53
11	CHIRRIPO NORTE	2061	85	112	159	74
		Promedios	60	81	138	78
Zona Norte						
13	CUREÑA	360	53	84	93	40
15	POCOSOL	1644	36	41	60	25
17	ZAPOTE	2450	25	40	52	26
		Promedios	44	61	86	42
Pacífico Central						
23	JESUS MARIA	378	32	53	71	40
25	TUSUBRES	823	58	66	92	35
27	DAMAS	452	61	81	133	72
		Promedios	48	65	96	47
Pacífico Sur						
30	BARU	545	64	84	133	69
32	PENINSULA DE OSA	1964	65	105	124	59
33	ESQUINAS	1789	65	85	109	44
34	CHANGUINOLA	254	58	76	98	40
		Promedios	63	87	116	53

Zona Caribe Sur: Los caudales específicos por cuenca varían desde un mínimo de 40 l/s/km² en la cuenca del río Bananito hasta un máximo de 127 l/s/km² para la cuenca del río Banano. La cuenca del río Sixaola presenta los mayores caudales específicos, y en contraste, la cuenca del río Bananito presenta los menores.

Zona Caribe Norte: Los caudales específicos por cuenca varían desde un mínimo de 31 l/s/km² en la cuenca Madre de Dios, hasta un máximo de 159 l/s/km² para río Chirripó. Estas dos cuencas presentan respectivamente, los caudales específicos menores y mayores. Esta región climática es la que en promedio, presenta las producciones más altas del país con 138 l/s/km². Para el escenario normal sucede igual con producciones tan altas como en la región Pacífico Sur.

Zona Norte: Los caudales específicos por cuenca varían desde un mínimo de 25 l/s/km² en la cuenca del río Zapote hasta un máximo de 93 l/s/km² para la cuenca Cureña. Estas dos cuencas son las que presentan respectivamente, los caudales específicos menores y mayores para los tres escenarios. La disminución de los caudales específicos de cada cuenca ocurre en la dirección Oeste, alejándose de la humedad proveniente del Caribe. Esta es la región climática con la producción promedio más baja de todo el país para todos los escenarios. Por ese motivo se dan las menores variaciones absolutas entre los escenarios regiones climáticas consideradas.

Zona Pacífico Central: Los caudales específicos extremos varían desde un mínimo de 32 l/s/km² en Jesús María hasta un máximo de 133 l/s/km² en Damas. Estas dos cuencas son las que presentan respectivamente, los caudales específicos menores y mayores. A pesar de que la precipitación ocurre sólo 8 meses al año, esta región tiene en promedio caudales específicos mayores en comparación con la Zona Norte que llueve todo el año. Los escenarios normales tienden a ser más húmedos, y es evidente la disminución de los caudales específicos de cada cuenca en la dirección Sureste.

Zona Pacífico Sur: Los caudales específicos por cuenca varían desde un mínimo de 58 l/s/km² en la cuenca Changuinola hasta un máximo de 133 l/s/km² para la cuenca del río Barú. En general las cuencas Península de Osa, Esquinas y Barú tienen producciones altas comparables a la cuenca del río Sixaola, pero es la Península de Osa donde en promedio se tienen los mayores caudales específicos para el escenario normal y húmedo.

El efecto orográfico sale a relucir a comparar cuencas de una misma región climática cuando se observan los caudales específicos obtenidos. Por ejemplo, en el Caribe Sur, solamente las cuencas del río Banano y Sixaola tienen un desarrollo orográfico que les permite contener sectores de alta precipitación, no así como el resto de las cuencas de esa región que son básicamente del litoral con poco desarrollo orográfico. En caso del Caribe Norte, el río Madre de Dios presenta los caudales específicos más bajos en comparación con las cuencas Matina, Tortuguero y Chirripó. La misma situación se da con la cuenca Jesús María en el Pacífico Central.

En el caso la Zona Norte, la cuenca Cureña no tiene desarrollo orográfico como tal, pero recibe la humedad del atlántico a diferencia de las otras cuencas Zapote y Pocosol.

Los valores máximos o mínimos alcanzados en cada cuenca para cada escenario se pueden conocer interrogando directamente los mapas en formato digital que son entregados junto a este informe.

14.3. Obtención de las escorrentías mensuales para cada escenario en las 19 cuencas:

Los Cuadros 14.4-14.6 y los mapas 14.1-14.13 muestran la escorrentía mensual para los tres escenarios considerados y estimada según el procedimiento explicado en el capítulo 12.

Cuadro 14.4. Resultados del balance hídrico mensual para el escenario normal (Hm³)

CUENCA		Balance Hídrico Mensual para escenario seco (Hm3)												Escoorrentía Anual
Número	Nombre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	(Hm3)
1	SIXAOLA	389	281	265	239	440	399	408	434	407	480	475	566	4783
2	LA ESTRELLA	116	83	79	71	131	119	121	129	121	143	141	168	1423
3	BANANO	27	20	19	17	31	28	29	31	29	34	33	40	337
4	BANANITO	23	17	16	14	26	24	24	26	24	28	28	33	282
5	MOIN	17	12	12	11	20	18	18	19	18	21	21	25	212
6	MATINA	164	109	89	106	197	243	245	268	271	304	278	253	2530
7	MADRE DE DIOS	16	11	9	11	20	24	24	27	27	30	28	25	252
10	TORTUGUERO	225	149	121	145	270	332	335	367	370	415	380	346	3458
11	CHIRRIPO NORTE	359	237	193	232	431	530	536	585	591	663	607	552	5521
13	CUREÑA	48	35	24	25	29	41	58	60	57	61	79	84	601
15	POCOSOL	148	108	74	78	91	128	178	184	174	189	243	260	1856
17	ZAPOTE	156	113	78	82	95	134	187	193	183	198	255	272	1946
23	JESUS MARIA	14	8	7	9	23	39	34	41	60	76	46	21	377
25	TUSUBRES	54	30	27	34	91	154	135	165	240	304	181	82	1499
27	DAMAS	31	17	16	20	53	89	78	95	139	176	105	48	866
30	BARU	36	22	19	24	68	101	88	120	171	227	156	66	1099
32	PENINSULA DE OSA	132	80	68	88	248	369	321	437	625	829	569	240	4006
33	ESQUINAS	120	73	62	80	226	335	292	397	569	755	518	219	3645
34	CHANGUINOLA	38	27	26	23	43	39	40	42	40	47	46	55	466

Cuadro 14.5. Resultados del balance hídrico mensual para el escenario seco (Hm³)

CUENCA		Balance Hídrico Mensual para escenario normal (Hm3)												Escoorrentía Anual
Número	Nombre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	(Hm3)
1	SIXAOLA	551	397	376	338	623	565	577	614	576	680	672	801	6768
2	LA ESTRELLA	161	116	110	99	182	165	169	179	168	198	196	234	1975
3	BANANO	36	26	25	22	41	37	38	40	38	45	44	53	445
4	BANANITO	30	22	21	19	34	31	32	34	32	37	37	44	373
5	MOIN	24	18	17	15	28	25	26	27	26	30	30	36	300
6	MATINA	216	143	116	139	259	318	322	352	355	398	365	332	3317
7	MADRE DE DIOS	25	17	13	16	30	37	37	41	41	46	42	38	384
10	TORTUGUERO	294	194	158	190	353	434	439	479	484	542	497	452	4521
11	CHIRRIPO NORTE	474	314	255	306	569	700	707	773	780	875	802	729	7293
13	CUREÑA	76	55	38	40	47	66	91	94	89	97	124	133	950
15	POCOSOL	168	122	84	88	103	145	202	208	197	214	275	294	2099
17	ZAPOTE	248	180	124	130	152	214	298	307	292	317	407	435	3104
23	JESUS MARIA	23	13	11	14	38	65	56	69	100	127	76	35	627
25	TUSUBRES	62	34	31	39	104	176	154	188	274	347	207	94	1709
27	DAMAS	41	23	21	26	70	118	103	126	184	233	139	63	1149
30	BARU	47	29	24	32	89	132	115	157	224	298	204	86	1437
32	PENINSULA DE OSA	214	130	110	143	403	597	520	708	1013	1344	922	390	6494
33	ESQUINAS	158	96	81	105	296	440	382	521	746	990	679	287	4781
34	CHANGUINOLA	49	36	34	30	56	51	52	55	52	61	60	72	606

Cuadro 14.6. Resultados del balance hídrico mensual para el escenario húmedo (Hm³)

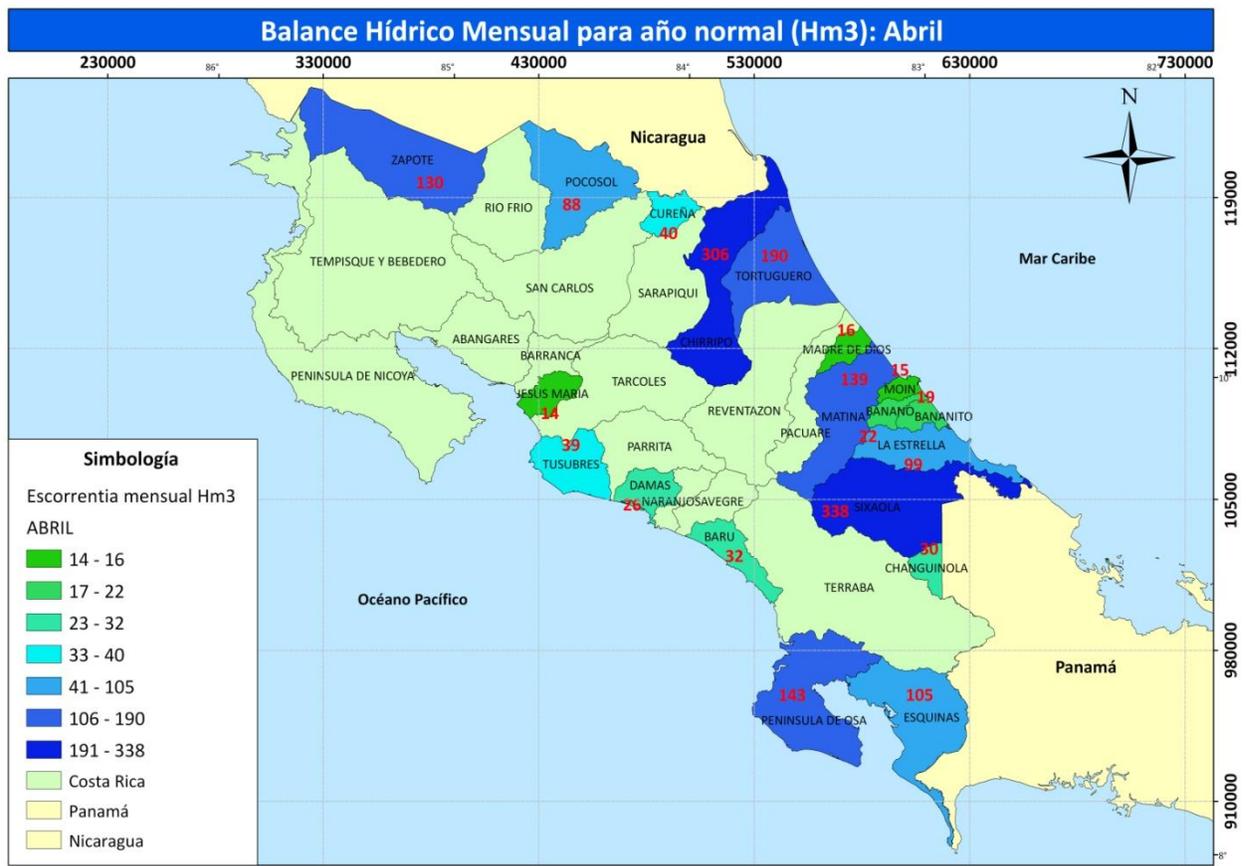
CUENCA		Balance Hídrico Mensual para escenario lluvioso (Hm3)												Escorrentía Anual
Número	Nombre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	(Hm3)
1	SIXAOLA	641	462	437	393	725	657	672	714	670	791	781	932	7872
2	LA ESTRELLA	249	180	170	153	282	256	261	278	261	308	304	363	3064
3	BANANO	67	49	46	41	76	69	71	75	71	83	82	98	829
4	BANANITO	55	40	38	34	63	57	58	62	58	68	67	80	680
5	MOIN	45	33	31	28	51	46	47	50	47	56	55	66	554
6	MATINA	475	314	256	307	569	701	708	774	781	876	803	730	7300
7	MADRE DE DIOS	63	42	34	41	76	93	94	103	104	117	107	97	974
10	TORTUGUERO	385	255	207	249	462	568	574	627	633	710	651	592	5919
11	CHIRRIPO NORTE	670	443	361	433	804	989	1000	1092	1103	1237	1134	1031	10306
13	CUREÑA	84	61	42	44	52	73	101	104	99	107	138	147	1051
15	POCOSOL	251	182	125	132	154	216	301	310	295	320	410	439	3133
17	ZAPOTE	319	231	159	167	195	275	383	395	375	407	522	558	3987
23	JESUS MARIA	31	17	15	20	52	87	76	93	136	172	103	47	849
25	TUSUBRES	86	48	43	55	146	247	216	264	384	487	290	132	2400
27	DAMAS	68	38	34	44	116	196	171	209	304	386	230	104	1899
30	BARU	75	46	39	50	141	210	182	249	356	472	324	137	2281
32	PENINSULA DE OSA	253	153	130	169	475	705	613	835	1195	1586	1088	460	7663
33	ESQUINAS	203	123	104	135	380	565	491	669	957	1270	871	368	6137
34	CHANGUINOLA	64	46	44	39	72	66	67	71	67	79	78	93	786

Figura 14.3. Balance Hídrico mensual para año normal (hm³): Marzo



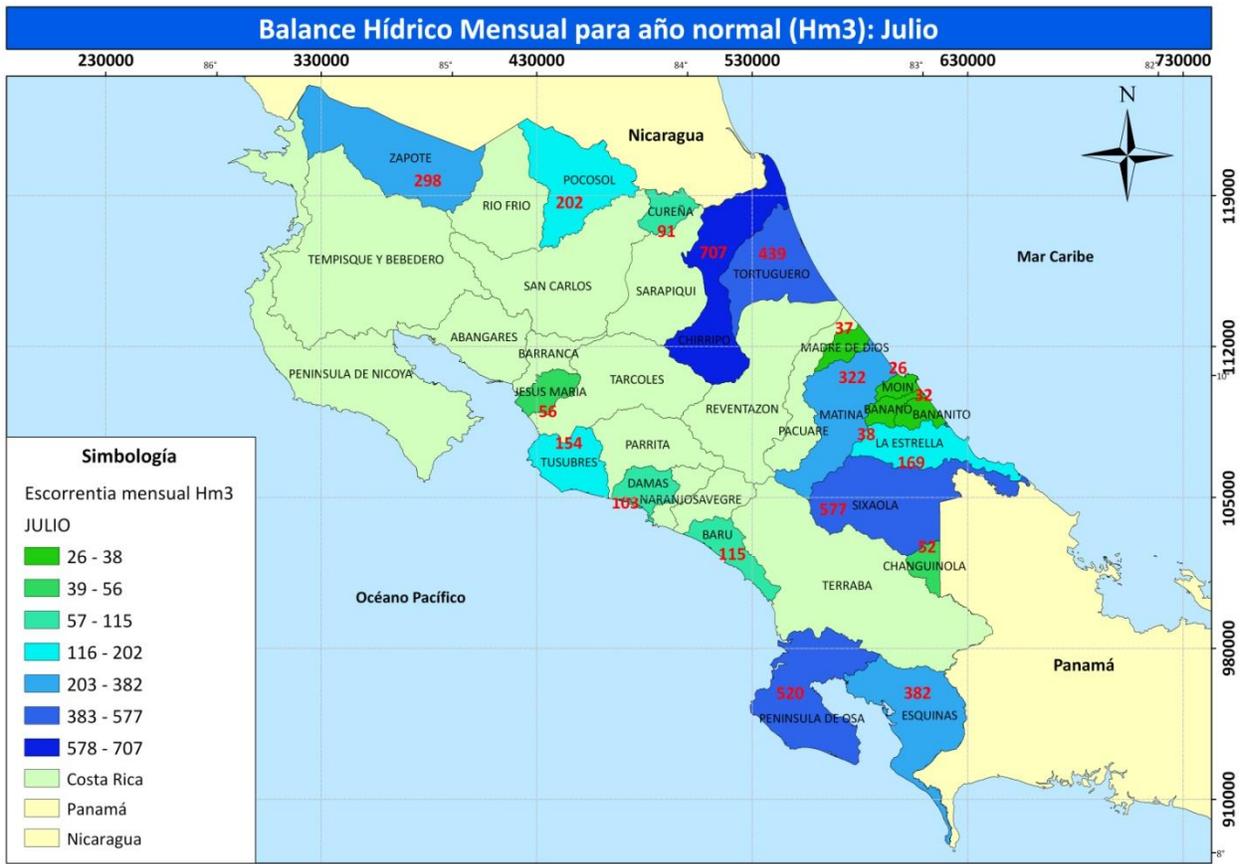
Fuente:
Elaborado por M. Adamson y J. Masís, CIESA,
para el IMN-MINAET-PNUD con base en escorrentía estimada
por CIESA para un año normal (método modificado de Holdridge), 2010.

Figura 14.4. Balance Hídrico mensual para año normal (hm³): Abril



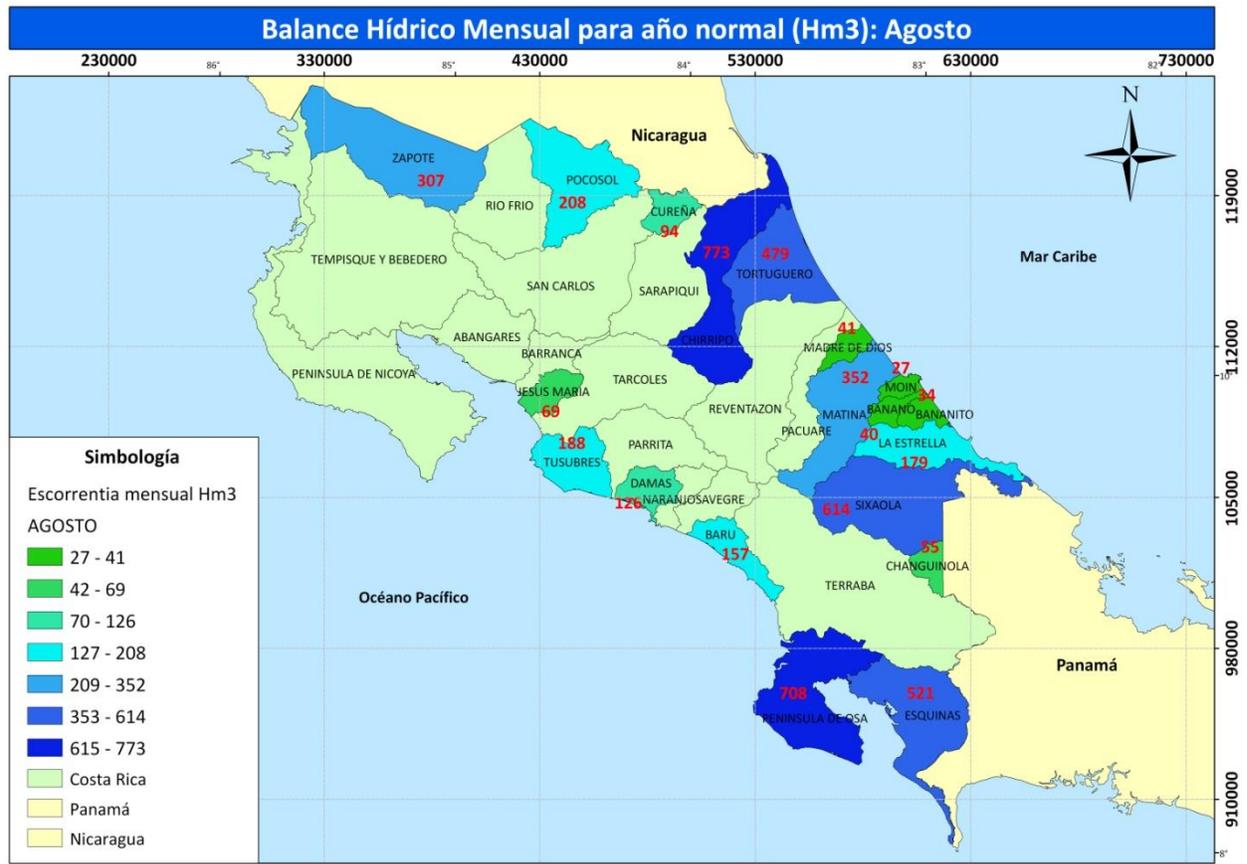
Fuente:
Elaborado por M. Adamson y J. Masís, CIESA,
para el IMN-MINAET-PNUD con base en escorrentía estimada
por CIESA para un año normal (método modificado de Holdridge), 2010.

Figura 14.7. Balance Hídrico mensual para año normal (hm³): Julio



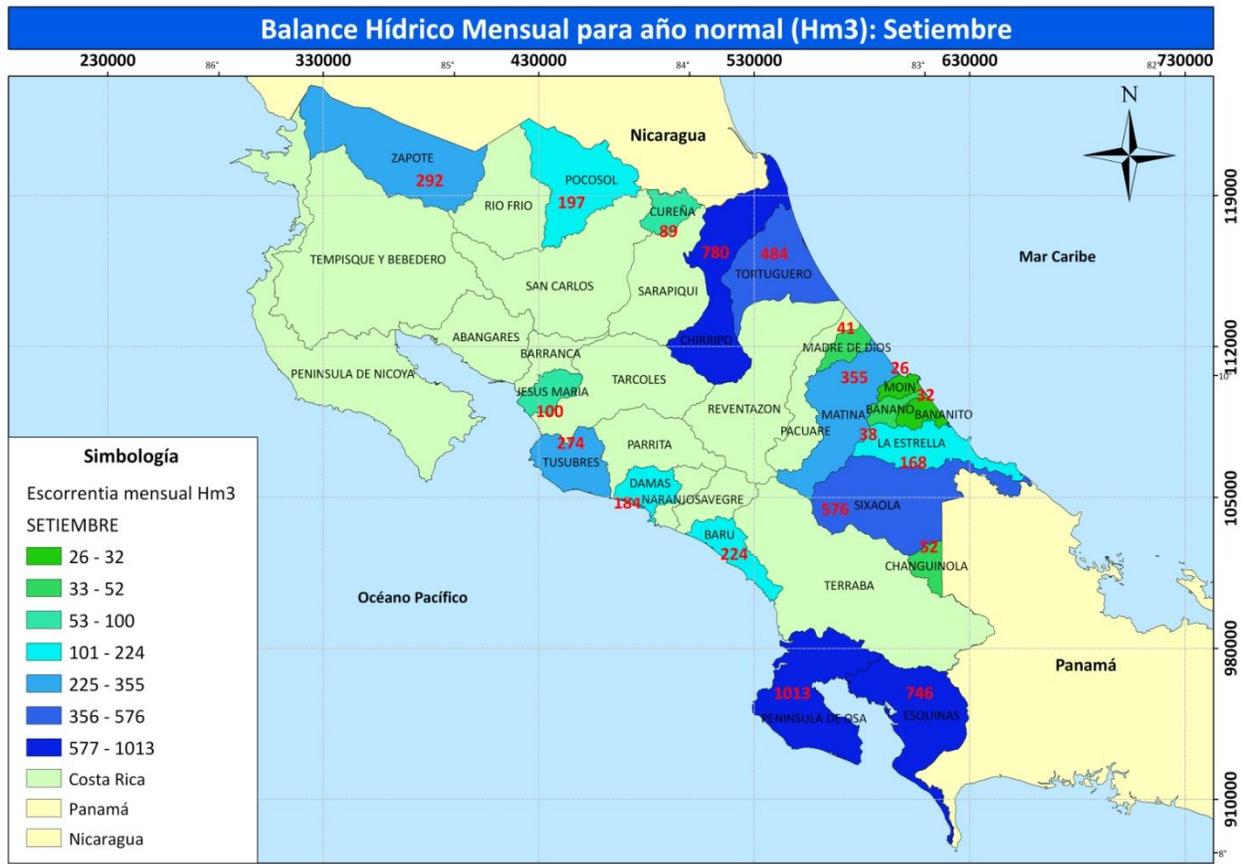
Fuente:
Elaborado por M. Adamson y J. Masís, CIESA,
para el IMN-MINAET-PNUD con base en escorrentía estimada
por CIESA para un año normal (método modificado de Holdridge), 2010.

Figura 14.8. Balance Hídrico mensual para año normal (hm³): Agosto



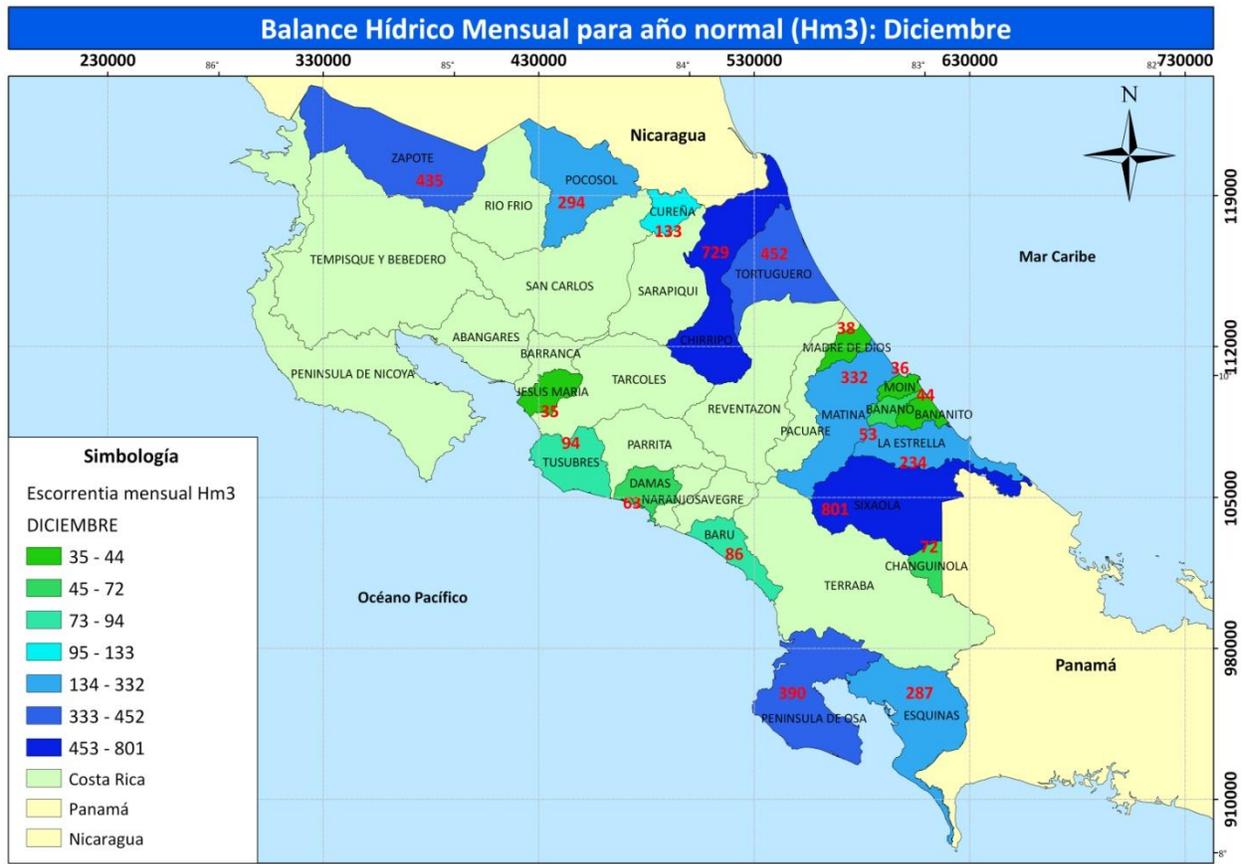
Fuente:
Elaborado por M. Adamson y J. Masís, CIESA,
para el IMN-MINAET-PNUD con base en escorrentía estimada
por CIESA para un año normal (método modificado de Holdridge), 2010.

Figura 14.9. Balance Hídrico mensual para año normal (hm³): Setiembre



Fuente:
Elaborado por M. Adamson y J. Masís, CIESA,
para el IMN-MINAET-PNUD con base en escorrentía estimada
por CIESA para un año normal (método modificado de Holdridge), 2010.

Figura 14.12. Balance Hídrico mensual para año normal (hm³): Diciembre



Fuente:
Elaborado por M. Adamson y J. Masís, CIESA,
para el IMN-MINAET-PNUD con base en escorrentía estimada
por CIESA para un año normal (método modificado de Holdridge), 2010.

14.4. Comparación de los órdenes de magnitud de los volúmenes de precipitación areal con otros estudios de balance hídrico a nivel anual:

Como en principio el objetivo de esta consultoría era completar a nivel de país, el análisis de disponibilidades hecho por el IMTA (2008), se hace necesario evaluar de alguna manera los resultados aquí obtenidos, con otros estudios de balance hídrico que incluyan tanto las cuencas analizadas por el IMTA, como las hechas por CIESA. De esta manera dichos estudios sirven con ciertas limitaciones, como base común de comparación.

Cuadro 14.7. Comparación de áreas entre varios estudios de Balance Hídrico
(Refs.10-11)

Cuenca #	Nombre	Perímetro (m)	Área (km ²)			ΔArea: Col3-Col1	
			CIESA (2009) (Col 1)	IMTA (2008) (Col 2)	UNESCO (2007&2003) (Col 3)	(%)	(km ²)
1	SIXAOLA	356588	2310		2336	1.1	26
2	LA ESTRELLA	257232	980		1006	2.7	26
3	BANANO	94807	207		208	0.2	1
4	BANANITO	80939	225		209	-7.3	-17
5	MOIN	79524	163		365	123.9	202
6	MATINA	261176	1612		1420	-11.9	-192
7	MADRE DE DIOS	80554	255		246	-3.4	-9
8	PACUARE	246644	908	914	886	-2.4	-22
9	REVENTAZON	330407	2810	2819	2956	5.2	146
10	TORTUGUERO	219582	1472		1321	-10.3	-151
11	CHIRRIPO	346783	2061	3771	1399	-32.1	-662
12	SARAPIQUI	229948	1721		2019	17.3	298
13	CUREÑA	100854	360		329	-8.8	-32
14	SAN CARLOS	365606	3130	3120	3121	-0.3	-9
15	POCOSOL	240167	1644		1720	4.6	76
16	RIO FRIO	208541	1686	1684	1556	-7.7	-130
17	ZAPOTE	271068	2450		2599	6.1	149
18	PEN. NICOYA	907287	4177	4205	4210	0.8	33
19	TEMPISQUE	365568	3382	3355	3411	0.9	29
20	BEBEDERO	240500	2068	2067	2054	-0.7	-14
21	ABANGARES	264023	1350	1350	1367	1.3	17
22	BARRANCA	167841	482	479	508	5.4	26
23	JESUS MARIA	109351	378		362	-4.2	-16
24	TARCOLES	277013	2164	2166	2174	0.5	10
25	TUSUBRES	157815	823		834	1.3	11
26	PARRITA	224091	1274	1289	1277	0.2	3
27	DAMAS	150222	452		462	2.1	10
28	NARANJO	140665	325	323	336	3.2	11
29	SAVEGRE	134761	607	604	597	-1.6	-10
30	BARU	157991	545		565	3.7	20
31	TERRABA	437931	5066	4775	5084	0.4	18
32	PEN. DE OSA	363329	1964		1973	0.5	9
33	ESQUINAS	388180	1789		1833	2.5	44
34	CHANGUINOLA	81810	254		259	2.0	5

Los estudios identificados que incluyen las 34 cuencas del país son de la UNESCO: 1. “**Balance Hídrico de Costa Rica, ICE-IMN**”, de 1993 (Ref. 9), y “**Balance Hídrico Superficial de Costa Rica. Período: 1970-2002. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N° 10**” del año 2007 (Ref.11). Los datos del balance hídrico del primer estudio se obtuvieron del documento “**Estrategia para la Gestión Integrada de Recurso Hídrico: DIAGNÓSTICO**”, MINAE, 2005 y aparentemente se utilizan los datos de los años 1992 y 1993 para su estimación.

Previo a realizar la comparación es importante mencionar que las delimitaciones de las cuencas de ambos estudios difieren de las utilizadas por el IMTA (2008) y por este estudio. El cuadro 14.7 refleja las diferencias, siendo las más significativas las correspondientes a las cuencas: **Moín, Matina, Tortuguero, Chirripó, Sarapiquí, Río Frío y Zapote.**

A efectos de poder realizar una comparación de los órdenes de magnitud, las estimaciones de la UNESCO fueron escaladas por proporción de áreas. Por ejemplo, en el caso de la cuenca Moín y Otros, los valores (volúmenes) de los balances de la UNESCO, fueron multiplicados por la razón 163/365 para que se comparen cantidades correspondientes a áreas equivalentes del estudio IMTA 2008, y el presente.

El cuadro 14.8 presenta una comparación del rango de valores cubierto por los años-escenario seleccionados en este estudio y el promedio de los estudios de UNESCO. Se observa que de las 19 cuencas, sólo en las cuencas Banano y Zapote los volúmenes de precipitación media areal caen fuera de los rangos delimitados por los escenarios seco y húmedo seleccionados.

Cuadro 14.8. Rango de Variación de la Precipitación Media Areal para las 19 cuencas y comparación con las obtenidas con Balances Hídricos de la UNESCO* (Refs.9-10)
(*Valores en km³, corregidos por proporción de áreas)

CUENCA		AÑOS ESCENARIOS CONSIDERADOS			PRECIPITACIÓN MEDIA (km ³)			B.H. UNESCO PRECIPITACIÓN AREAL (Km ³)		
Número	Nombre	Seco	Normal	Húmedo	Seco	Normal	Húmedo	2007	1993	Promedio
1	SIXAOLA	1985	1984	2004	7.06	8.99	10.04	9.14	9.28	9.21
2	LA ESTRELLA	1985	1984	2004	2.56	3.14	4.21	3.45	2.96	3.20
3	BANANO	1985	1984	2004	0.58	0.69	1.06	1.19	1.08	1.13
4	BANANITO	1985	1984	2004	0.56	0.65	0.96	0.97	0.74	0.86
5	MOIN	1985	1984	2004	0.41	0.51	0.75	0.63	0.59	0.61
6	MATINA	1995	1998	2002	4.23	5.05	8.84	6.62	6.57	6.60
7	MADRE DE DIOS	1995	1998	2002	0.55	0.70	1.29	0.96	0.93	0.95
10	TORTUGUERO	1985	1984	1981	5.37	6.38	7.71	6.90	7.19	7.04
11	CHIRRIPO NORTE	1995	1990	2002	7.91	9.61	12.43	11.26	10.15	10.70
13	CUREÑA	1985	1988	2004	1.06	1.41	1.51	1.16	1.26	1.21
15	POCOSOL	1985	1992	2004	3.84	4.12	5.21	3.98	4.22	4.10
17	ZAPOTE	1985	1992	2004	4.50	5.96	6.91	7.43	7.35	7.39
23	JESUS MARIA	1986	1989	1995	0.79	1.08	1.31	0.94	0.94	0.94
25	TUSUBRES	1992	1993	1995	2.52	2.72	3.40	2.80	2.58	2.69
27	DAMAS	1997	1993	1996	1.41	1.70	2.41	1.92	2.12	2.02
30	BARU	1994	2000	1996	1.77	2.10	2.89	2.17	1.99	2.08
32	PENINSULA DE OSA	1997	2000	1999	6.50	8.91	10.01	9.69	9.29	9.49
33	ESQUINAS	1997	2000	1999	5.89	7.00	8.29	7.69	6.48	7.09
34	CHANGUINOLA	1985	1984	2004	0.65	0.78	0.95	0.77	0.77	0.77

14.5. Comparación de los balances hídricos obtenidos para el escenario normal en las 19 cuencas, con otros estudios de balance hídrico a nivel anual:

El cuadro 14.9 compara los resultados obtenidos del escenario normal con los resultados estimados en los dos estudios de la UNESCO ya escalados a cantidades comparables. En el caso del balance UNESCO 2007, **los valores de escorrentía mostrados, corresponden a los valores que ese estudio considera como valores “observados”, y que fueron trasladados desde la estación hidrológica más cercana dentro de la misma cuenca o desde cuencas contiguas.**

Los Cuadros 14.10 y 14.11 muestran las discrepancias porcentuales del escenario normal con respecto a ambas estimaciones de la UNESCO. Se observa que en las cuencas que hay menos información de lluvia hay grandes variaciones en los porcentajes de discrepancia de la precipitación y la escorrentía, y desviaciones menores y más consistentes en la EVT_R .

De las 19 cuencas, sólo Sixaola y Estrella tienen registros hidrológicos en más del 80% de la cuenca, y para estas, la discrepancia es muy baja como igual sucede para los otros escenarios seleccionados en el capítulo 13 de validación de la metodología. En general se nota más concordancia con el estudio de UNESCO de 1993.

En los cuadros 14.10 y 14.11 resaltan las discrepancias más altas para las cuencas Banano, Bananito, Moín, Madre de Dios y Matina, el volumen de precipitación areal del escenario normal seleccionado compara bajo (desde -42% a -27%) con respecto a la precipitación areal promedio de los estudios UNESCO. En consecuencia, el volumen de escorrentía compara igualmente bajo también en parte debido a que la EVT_R en este estudio es ligeramente mayor (en promedio 9% más con respecto a UNESCO 2003, y un 18% más con respecto a UNESCO 2007).

A nivel del total de las 19 cuencas, la escorrentía calculada por CIESA 2008 es de 48.3 km^3 , mientras que UNESCO 2008 es 59.6 km^3 y UNESCO 1993 es $51,5 \text{ km}^3$. Las isoyetas para las 19 cuencas fueron elaboradas por CIESA bajo supervisión del IMN, a excepción de la zona Caribe Sur que fue realizada en su totalidad por el IMN.

14.5.a. Diferencias en las estimaciones de los volúmenes de precipitación areal:

Si se considera que ocurre un error menor al 15% en el volumen de precipitación entre el escenario normal y las condiciones promedio estimadas por los balances UNESCO para la mayoría de las cuencas consideradas (14 en UNESCO 1993 y 12 en UNESCO 2007), es llamativo las diferencias desde un 20% hasta un 42% en déficit de precipitación para las cuencas Bananito, Banano, Moín, Madre de Dios y Matina. En términos de escorrentía estos porcentajes varían desde 35% hasta 54% en déficit.

Estas discrepancias pueden deberse no sólo a la dificultad de que un año en particular pueda aproximar las condiciones promedio o normales de la cuenca, sino también porque en estas cuencas en particular los valores que se asumen como “observados” pueden tender a la sobre-estimación. En el caso del balance de UNESCO 2007, para las cuencas que no contaban con estaciones medidoras de caudal que cubrieran al menos un 80% del área total de la cuenca (17 de las 19 cuencas para este estudio), como

alternativa se “trasladaron” las mediciones de caudal desde cuencas instrumentadas hacia las no instrumentadas. La metodología de traslado se menciona en la referencia 10 y se explica con más detalle en el anexo 14.2.A

Cuadro 14.9. Comparación de resultados obtenidos con Balances Hídricos* (Refs. 10-11)

(*Valores corregidos por proporción de áreas)

CUENCA		CIESA (2009)						B. H. ICE (1970-2002)			B.H. (1992-1993)		
Número	Nombre	Área (km2)	P (mm)	Año	Escenario Normal (Km3)			Prec.	Esc.	EVTR	Prec.	Esc.	EVTR
					P	Esc.	EVTR						
1	SIXAOLA	2310	3891	1984	8.99	6.76	2.23	9.14	6.82	2.31	9.28	6.37	2.48
2	LA ESTRELLA	980	3203	1984	3.14	1.97	1.17	3.45	2.38	1.07	2.96	1.86	1.10
3	BANANO	207	3346	1984	0.69	0.44	0.25	1.19	0.96	0.22	1.08	0.78	0.22
4	BANANITO	225	2907	1984	0.65	0.37	0.28	0.97	0.72	0.25	0.74	0.54	0.26
5	MOIN	163	3119	1984	0.51	0.30	0.21	0.63	0.46	0.17	0.59	0.39	0.19
6	MATINA	1612	3131	1998	5.05	3.31	1.73	6.62	5.08	1.54	6.57	4.66	1.67
7	MADRE DE DIOS	255	2768	1998	0.70	0.38	0.32	0.96	0.71	0.26	0.93	0.70	0.31
10	TORTUGUERO	1472	4337	1984	6.38	4.52	1.87	6.90	5.52	1.37	7.19	5.56	1.59
11	CHIRRIPO NORTE	2061	4661	1990	9.61	7.28	2.32	11.26	9.22	2.02	10.15	6.29	2.22
13	CUREÑA	360	3932	1988	1.41	0.95	0.46	1.16	0.81	0.35	1.26	0.98	0.37
15	POCOSOL	1644	2504	1992	4.12	2.10	2.02	3.98	2.42	1.55	4.22	3.12	1.69
17	ZAPOTE	2450	2433	1992	5.96	3.10	2.86	7.43	4.85	2.58	7.35	5.43	2.67
23	JESUS MARIA	378	2857	1989	1.08	0.63	0.45	0.94	0.57	0.37	0.94	0.57	0.43
25	TUSUBRES	823	3300	1993	2.72	1.71	1.01	2.80	1.89	0.90	2.58	1.58	0.88
27	DAMAS	452	3766	1993	1.70	1.15	0.56	1.92	1.49	0.43	2.12	1.43	0.52
30	BARU	545	3855	2000	2.10	1.43	0.67	2.17	1.67	0.50	1.99	1.46	0.58
32	PENINSULA DE OSA	1964	4535	2000	8.91	6.48	2.43	9.69	7.65	2.04	9.29	5.51	2.02
33	ESQUINAS	1789	3910	2000	7.00	4.77	2.23	7.69	5.82	1.87	6.48	3.85	1.84
34	CHANGUINOLA	254	3063	1984	0.78	0.60	0.17	0.77	0.57	0.21	0.77	0.47	0.23
TOTALES					71.5	48.3	23.2	79.7	59.6	20.0	76.5	51.5	21.3

Cuadros 14.10-14.11 Variaciones porcentuales de los componentes del Balance Hídrico Escenario Normal CIESA 2009 y valores estimados en UNESCO 1993 y 2007. (Refs. 10-11)

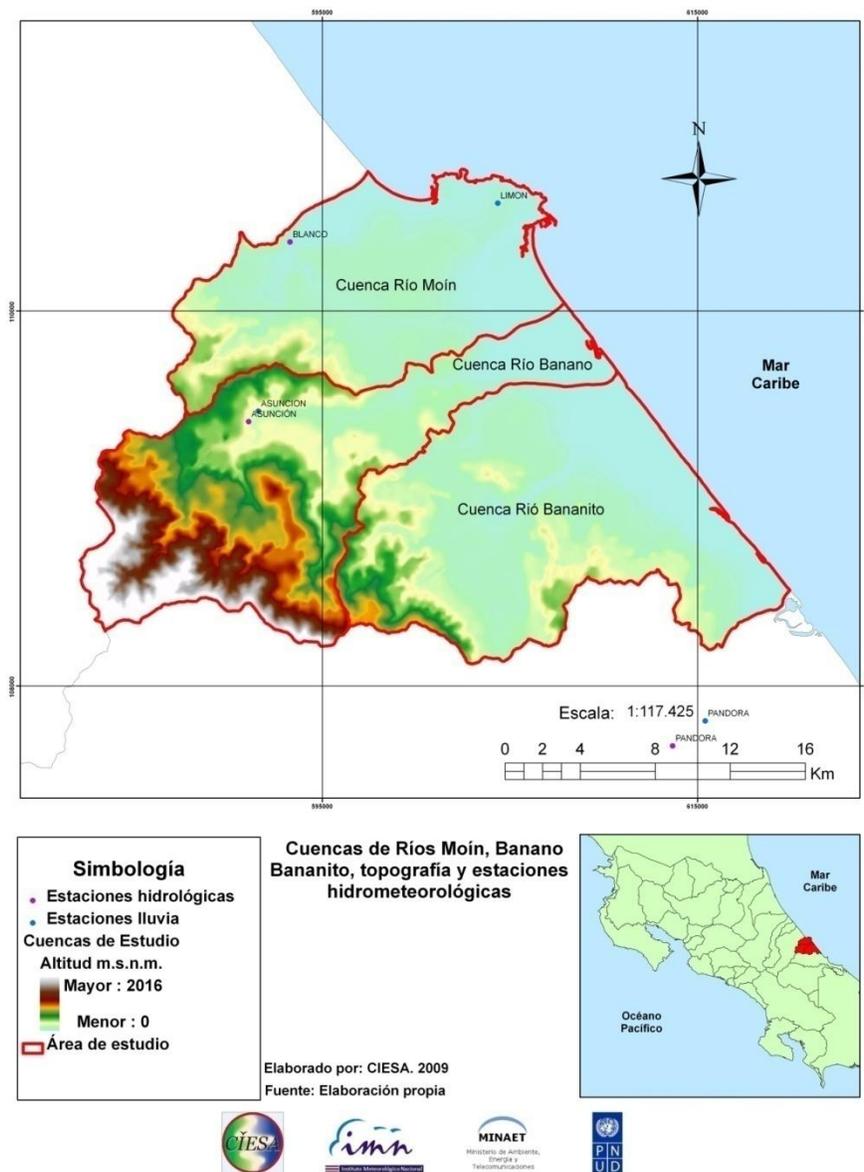
CUENCA		Diferencia porcentual con respecto a las observaciones B.H. UNESCO 2007			CUENCA		Diferencia porcentual con respecto a los valores del B.H. UNESCO 1993		
Número	Nombre	PPT	ESC	EVT _R	Número	Nombre	PPT	ESC	EVT _R
1	SIXAOLA	-2	-1	-4	1	SIXAOLA	-3	6	-10
2	LA ESTRELLA	-9	-17	9	2	LA ESTRELLA	6	6	6
3	BANANO	-42	-54	13	3	BANANO	-36	-43	13
4	BANANITO	-33	-48	14	4	BANANITO	-12	-31	9
5	MOIN	-20	-35	20	5	MOIN	-14	-24	9
6	MATINA	-24	-35	12	6	MATINA	-23	-29	4
7	MADRE DE DIOS	-27	-46	24	7	MADRE DE DIOS	-24	-46	3
10	TORTUGUERO	-7	-18	36	10	TORTUGUERO	-11	-19	17
11	CHIRRIPO NORTE	-15	-21	15	11	CHIRRIPO NORTE	-5	16	4
13	CUREÑA	22	17	33	13	CUREÑA	12	-3	25
15	POCOSOL	3	-13	30	15	POCOSOL	-2	-33	19
17	ZAPOTE	-20	-36	11	17	ZAPOTE	-19	-43	7
23	JESUS MARIA	15	10	24	23	JESUS MARIA	15	9	6
25	TUSUBRES	-3	-10	12	25	TUSUBRES	5	8	15
27	DAMAS	-11	-23	29	27	DAMAS	-20	-20	7
30	BARU	-3	-14	33	30	BARU	6	-2	16
32	PEN. DE OSA	-8	-15	19	32	PEN. DE OSA	-4	18	20
33	ESQUINAS	-9	-18	19	33	ESQUINAS	8	24	21
34	CHANGUINOLA	0	6	-16	34	CHANGUINOLA	0	28	-24
Promedio		-10	-20	18	Promedio		-6	-9	9

Por ejemplo para el caso de las cuencas Bananito, Banano y Moín, la escorrentía para toda la cuenca, se genera de forma sintética a partir de los registros de la estación 03-01 Asunción (Elev. 257 msnm, área

de drenaje 91.4 km²) del ICE. La figura 14.14 muestra el modelo de elevación digital de estas cuencas y la ubicación de la estación hidrológica Asunción.

La sobrestimación de la escorrentía resulta de usar la ecuación del Anexo 14.2.A, y se debe fundamentalmente a que la sub-cuenca instrumentada que tributa a la estación Asunción corresponde al núcleo lluvioso de más alta producción de escorrentía de la zona, de manera que al aplicar dicha metodología se está asumiendo que las zonas extrapoladas mantienen el mismo coeficiente de escorrentía que el de la cuenca de origen.

Figura 14.14. Topografía y estaciones para las cuencas Moín, Banano y Bananito



Como el coeficiente de escorrentía de una cuenca varía principalmente por la pendiente del terreno, su cobertura vegetal y la precipitación; en el caso de la subcuenca que tributa a la estación hidrológica Asunción en el río Banano, el núcleo lluvioso resultante de la humedad proveniente del océano y del desarrollo orográfico junto a las altas pendientes asociadas a este, determinan que su coeficiente de escorrentía sea significativamente mayor en comparación con las partes más bajas de la misma cuenca, y de las otras a las que se extrapola que en este caso serían el Río Bananito y Moín.

Se piensa que algo similar podría estar pasando para el caso de la cuenca del río Matina y Madre de Dios, para las cuales, la estación hidrológica más cercana es la 06-03 Río Barbilla (Elev. 30 msnm, Área de drenaje 212 km²) y que también cubre una subcuenca de relativa alta producción en comparación con el resto de las otras cuencas.

En el tanto que los coeficientes de escorrentía entre las cuencas sean razonablemente similares, la metodología del anexo 14.2.A permite hacer estimaciones con poco sesgo.

A pesar de las discrepancias con estos otros estudios, es evidente que las magnitudes de los volúmenes de precipitación y sus rangos de variación definidos por los escenarios seco y húmedo son representativos de la variabilidad potencial de las cuencas, y por lo tanto es información valiosa a considerar cuando se necesita determinar la oferta hídrica potencial y su variabilidad bajo diferentes condiciones climáticas.

Debido a que en una gran mayoría de estas cuencas la información hidrometeorológica es inexistente, tanto en los balances de la UNESCO como en el presente, la estimación de la precipitación promedio responde a un juicio de valor con un grado significativo de subjetividad, y los errores de estimación no se pueden determinar hasta que no exista la instrumentación requerida y funcionando por un periodo de registro lo suficientemente largo (15 años o más).

14.5.b. Diferencias en los valores de Evapotranspiración Real:

Como se indicó en la sección 14.1, la EVT_R a nivel anual presenta una baja elasticidad con respecto a la precipitación anual. Observando los valores estimados por UNESCO en el cuadro 14.8, y considerando los porcentajes de error de los cuadros 14.10 y 14.11, se puede concluir que la metodología de Holdridge permite realizar estimaciones preliminares muy razonables de la EVT_R .

Se aprecia también que usando la metodología de Holdridge los valores en general son mayores y eso en parte se puede explicar por el hecho de que estos valores ya toman en cuenta la intercepción de la vegetación que depende del tipo de zona de vida presente. Este componente no se incluye en las estimaciones UNESCO y para ciertas zonas de vida puede variar desde un 6 hasta un 39% de la precipitación media anual (Fallas, 1996).

14.5.c. Comparación de las estimaciones IMTA (2008), con los estudios UNESCO 1993 y 2008, para 15 cuencas prioritarias:

El cuadro 14.12 presenta los resultados del balance realizado por el IMTA en el 2008, en esta se encuentra la columna de escurrimiento por cuenca propia (C_p) que incluye dentro de sus pérdidas a la infiltración total anual y la intercepción total anual.

A efectos de tener consistencia en los términos a comparar, se calcula la columna Esc.2 correspondiente a escorrenría media anual, que resulta de sustraer la $EVTR$ de la precipitación anual estimada.

Según las Cuadros 14.13 y 14.14, el promedio global de las discrepancias en los términos es menor al 5%, a excepción de la $EVTR$ que es de 6.4%.

A nivel individual, con respecto a la precipitación las discrepancias son bajas a excepción de la zona Pacífico Central y Sur que oscilan el 15%. En los otros componentes también existe una variación significativa de entre 10% y 25%.

Cuadro 14.12. Comparación de resultados obtenidos por el IMTA, en 15 cuencas prioritarias con los balances hídricos de la UNESCO* (Refs. 10-11)

(*Valores corregidos por diferencias de áreas)

CUENCA		IMTA (2008)								B. H. ICE (1970-2002)			B.H. (1992-1993)		
Número	Nombre	Balance al año 2000 (Km3)								(Km3)			(Km3)		
		Área (km2)	P (mm)	P	Inter.	EVTR	Inf	Cp	Esc.2	Prec.	Esc.	EVTR	Prec.	Esc.	EVTR
8	Pacuare	914	3866	3.53	0.60	1.07	0.35	1.52	2.46	3.69	2.46	0.88	3.61	2.45	0.96
9	Reventazón	2819	3704	10.44	1.53	2.90	1.28	4.73	7.55	9.98	7.35	2.72	10.17	7.35	2.83
12	Sarapiquí*	1721	4804	8.27	1.27	1.84	1.08	4.07	6.43	8.23	6.21	1.63	8.13	6.28	1.80
14	San Carlos**	3120	3293	10.27	1.52	3.33	1.23	4.18	6.94	10.83	7.78	3.28	11.13	7.92	3.20
16	Río Frio	1684	3355	5.65	0.50	1.75	0.72	2.68	3.89	4.76	3.54	1.61	5.28	3.91	1.66
18	Península de Nicoya**	4205	1977	8.31	1.28	4.30	0.74	1.99	4.01	8.06	3.76	4.62	9.01	4.38	4.06
19	Tempisque	3355	1748	5.86	0.81	3.08	0.62	1.35	2.78	5.78	2.68	3.53	6.20	2.41	3.39
20	Bebedero	2067	1735	3.59	0.49	1.89	0.38	0.82	1.70	3.44	2.03	1.81	3.67	1.88	2.25
21	Abangares	1350	2320	3.13	0.44	1.34	0.32	1.03	1.79	2.94	1.58	1.15	3.15	1.86	1.18
22	Barranca	479	3085	1.48	0.18	0.47	0.14	0.68	1.00	1.31	0.90	0.44	1.29	0.83	0.49
24	Grande de Tárcoles	2166	2364	5.12	0.59	1.77	0.60	2.16	3.35	5.41	3.14	2.07	5.45	3.21	2.25
26	Parrita	1289	2718	3.50	0.50	1.31	0.33	1.37	2.20	4.15	2.24	1.22	4.22	2.33	1.18
28	Naranjo	323	4569	1.48	0.24	0.34	0.15	0.75	1.13	1.71	1.36	0.30	1.77	1.21	0.35
29	Savegre	604	3973	2.40	0.42	0.65	0.20	1.12	1.75	2.71	2.25	0.53	2.92	2.14	0.90
31	Grande de Térraba	5066	2871	14.54	2.35	5.05	1.48	5.67	9.50	16.68	10.47	4.94	16.74	11.26	5.52
11	Chirripo Norte*	2061	4804	9.90	1.52	2.20	1.30	4.88	7.70	11.26	8.47	2.02	10.15	6.29	2.22

Cuadros 14.13-14.14 Variaciones porcentuales de los componentes del Balance Hídrico IMTA 2008 y valores estimados en UNESCO 1993 y 2007. (Refs. 10-11)

CUENCA		IMTA Diferencia porcentual con respecto a los valores del B.H. UNESCO 2007			CUENCA		IMTA Diferencia porcentual con respecto a los valores del B.H. UNESCO 1993		
Número	Nombre	PPT	ESC	EVT _R	Número	Nombre	PPT	ESC	EVT _R
8	Pacuaire	-4.2	0.2	21.4	1	Pacuaire	-2.0	0.6	11.0
9	Reventazón	4.6	2.7	6.5	2	Reventazón	2.7	2.7	2.2
12	Sarapiquí*	0.4	3.6	13.0	3	Sarapiquí*	1.7	2.3	2.3
14	San Carlos**	-5.2	-10.9	1.7	4	San Carlos**	-7.7	-12.4	4.2
16	Río Frio	18.6	10.0	8.6	5	Río Frio	7.1	-0.4	5.3
18	Pen.de Nicoya	3.2	6.7	-7.0	6	Pen.de Nicoya	-7.7	-8.3	6.0
19	Tempisque	1.4	3.9	-12.6	7	Tempisque	-5.4	15.4	-9.1
20	Bebedero	4.1	-16.4	4.0	10	Bebedero	-2.4	-9.7	-16.0
21	Abangares	6.4	13.4	17.0	11	Abangares	-0.6	-3.5	14.1
22	Barranca	12.9	11.4	8.6	13	Barranca	14.6	20.3	-3.9
24	Grande de Tárcoles	-5.3	6.9	-14.6	15	Grande de Tárcoles	-6.1	4.6	-21.4
26	Parrita	-15.6	-1.7	7.3	17	Parrita	-17.0	-5.5	10.9
28	Naranjo	-13.8	-16.4	14.3	23	Naranjo	-16.7	-6.3	-1.5
29	Savegre	-11.6	-22.2	23.2	25	Savegre	-17.8	-18.2	-28.0
31	Grande de Térraba	-12.8	-9.3	2.1	27	Grande de Térraba	-13.1	-15.7	-8.6
11	Chirripo Norte*	-12.0	-9.1	9.1	30	Chirripo Norte*	-2.5	22.4	-1.0
Promedio		-1.8	-1.7	6.4	Promedio		-4.6	-0.7	-2.1

14.6. Consideraciones finales del capítulo

De acuerdo a los resultados mostrados en este capítulo, se puede concluir lo siguiente:

1. Por medio de la metodología de Holdridge implementada en un sistema de información geográfico, se ha logrado estimar satisfactoriamente y de manera sencilla, el balance hídrico anual en cuencas excepcionalmente deficientes en cuanto a información hidrometeorológica. Permitiendo obtener estimados de la oferta potencial de cada cuenca no sólo bajo las condiciones normales, sino también bajo casos extremos de escasez o abundancia de agua.
2. Con referencia a resultados de estudios anteriores, se ha podido determinar que el volumen anual de precipitación del escenario normal es similar en la mayoría de las cuencas analizadas, obteniéndose en promedio una discrepancia del -10% con respecto al estudio de UNESCO 2007, y de -6% con respecto a UNESCO 2003.
3. La evapotranspiración real estimada con el método de Holdridge es bastante similar a las estimadas con otras metodologías tradicionales, requiriendo en términos relativos de un esfuerzo y cantidad de información mucho menor. Sin embargo resulta un 18% mayor que UNESCO 2007, y un 9% mayor que UNESCO 2003, lo que podría interpretarse como la contribución por las pérdidas por intercepción que se asocian con ciertas zonas de vida y que ya están tomadas en cuenta en la formulación.
4. Los caudales específicos obtenidos resultan bastante congruentes con los valores obtenidos en estudios anteriores tanto a nivel de cuenca como a nivel de región climática.
5. Las discrepancias entre el estudio del IMTA (2008) y UNESCO 1993 y 2007, son moderadas a excepción de las cuencas prioritarias del Pacífico Central y Sur que presentan déficits que oscilan un

13%. Se recomienda que la esorrentía se calcule de la forma indicada en la tabla 14.12 a efectos de poder incorporar los datos IMTA con los del presente estudio.

Bibliografía de la sección II

1. Rodríguez, Agustín. “Evaluación Indirecta de los Recursos Hídricos de una Cuenca”, Depto. de Estudios Especiales, Dirección de Planificación Eléctrica. ICE. Marzo 1983.
2. Holdridge, Leslie. “Ecología Basada en Zonas de Vida”. CATIE, 1978.
3. Lafragua et al. “Informe Final: Elaboración de Balances Hídricos por Cuencas Hidrográficas y Propuesta de Modernización de las Redes de Medición en Costa Rica”. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2008
4. OMM y UNESCO. “Evaluación de los Recursos Hídricos: Manual para la Estimación de las Capacidades Nacionales” , 1998.
5. PHI-LAC. “Documento Técnico No. 4. Evaluación de los recursos hídricos. Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas.” 2006
6. SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), 2002. Norma Oficial
7. Mexicana NOM-011-CNA-2000. Conservación del Recurso Agua. Que Establece las Especificaciones y el Método para Determinar la Disponibilidad Media anual de las Aguas Nacionales. Diario Oficial, México.
8. Atlas Meteorológico del Instituto Meteorológico Nacional.
9. CAMBIO CLIMÁTICO: Clima, variabilidad y cambio climático en Costa Rica. 2008. Instituto Meteorológico Nacional.
10. UNESCO, ICE, IMN,1993. Balance Hídrico de Costa Rica. San José, Costa Rica.
11. UNESCO, 2007. Balance Hídrico Superficial de Costa Rica. Período: 1970-2002. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N° 10.
12. Fallas, Jorge; Cuantificación de la Intercepción en un Bosque Nuboso. Centro Científico Tropical, 1996.

Anexo 14.1. A: digital. ISOYETAS UTILIZADAS EN LOS ESCENARIOS SECO, NORMAL Y LLUVIOSO, PARA LAS 19 CUENCAS

Anexo 14.2 A

TRASLADO DE REGISTROS DE CAUDALES A UNA CUENCA NO INSTRUMENTADA Traslado de caudales de una cuenca instrumentada a otra no instrumentada.

El procedimiento de traslado asume que el coeficiente de escorrentía de la cuenca receptora es igual al de la instrumentada (se comportan hidrológicamente igual), de manera que los caudales de la cuenca instrumentada se corrigen/escalán usando la proporción entre volúmenes de precipitación media areal.

Ver la ecuación (B-1).

$$C_{Ei} = C_{Eni} \quad \rightarrow \quad \frac{Vol_{Ei}}{Vol_{\bar{P}_i}} = \frac{Vol_{Eni}}{Vol_{\bar{P}_{ni}}}$$
$$\frac{Q_{Ei}}{A_{C_i} \cdot \bar{P}_i} = \frac{Q_{Eni}}{A_{C_{ni}} \cdot \bar{P}_{ni}} \quad \rightarrow \quad Q_{Eni} = Q_{Ei} \frac{A_{C_{ni}} \cdot \bar{P}_{ni}}{A_{C_i} \cdot \bar{P}_i} \quad (B-1)$$

donde:

- Subíndice i:* Referido a la cuenca instrumentada
- Subíndice ni:* Referido a la cuenca no instrumentada
- C_E:* Coef. de escorrentía
- A_C:* Área de la cuenca considerada
- \bar{P} :* Precipitación areal anual
- Vol_E:* Volumen anual de escorrentía
- Vol _{\bar{P}} :* Volumen anual de precipitación areal

SECCION III

**DISPONIBILIDADES, INDICADORES, AMENAZAS,
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

15. Disponibilidades de agua en cuencas objeto del estudio

Para obtener las disponibilidades (Disp) o excedentes de agua residuales después de cubrir las demandas para cada una de las cuencas, se aplicó la siguiente ecuación de exceso de oferta (de demanda en caso de ser negativo):

$$D_{it} = O(\text{clima}_{it}) - D(\text{Población}_{it}, \text{PIB}_{itj}; \text{PIB}_t) = D_{it}(\text{clima}_{it}, \text{socioeconomía}_{it})$$

Donde clima_{it} representa el escenario climático “ i ” en el periodo t utilizado en la estimación de oferta según condición del clima: lluvioso, normal o seco. Por otro lado, población y el PIB del sector productivo j según escenario, PIB total de la economía según escenario económico en la estimación de demanda: escenario bajo, base o alto; y “ i ” denota los años para los cuales se estima, en este caso para disponibilidades los años proyectados son: 2010, 2020 y 2030.

Por lo tanto, en esta investigación las disponibilidades futuras estimadas para las cuencas objeto del estudio, evidencia los resultados de la interacción de los factores climáticos, económicos y sociales, según *escenarios* correspondientes. Las disponibilidades estimadas en este estudio, presentan los excedentes de oferta hídrica (o déficit en caso de ser negativas) resultantes de cubrir las necesidades de agua socioproduktivas. Es decir, es una estimación del agua disponible para cubrir cualquier otro uso (ecosistémicos) o situaciones imprevistas bajo condiciones diferentes a las ya consideradas en los escenarios climáticos de oferta y escenarios de demanda. Esto podría ser, por ejemplo, situaciones como la de una aceleración mucho mayor de la demanda generada en el escenario alto en la cual el PIB crece al 5%, debido a un choque externo del PIB, o aquellos elementos ejemplificados en el capítulo 9 de demanda, o condiciones climáticas de lluvia que superen las logradas en los años lluviosos seleccionados o que se presentase algún año mucho más seco que los escogidos en conjunto con el IMN para determinar las ofertas extremas de estas cuencas objeto de estudio. El alcance de esta investigación no incluye la evaluación de esas disponibilidades respecto a las necesidades hídricas ecosistémicas de las cuencas.

Disponibilidades totales para las cuencas objeto de estudio (incluye el sector energía)

En esta metodología, al incluir energía en la demanda total, está incorporando un consumo no consuntivo. Es esperable que en Costa Rica la gran mayoría del caudal requerido en hidrogenación regrese a los cauces y esté disponible para su aprovechamiento (en esa misma cuenca o en otra si es desviado, como es el caso en San Carlos y el DRAT).

Tal y como se indicó en el capítulo 9 de demanda, a pesar de que es esperable que la mayoría del caudal turbinado una vez que haya retornado o se haya re-dirigido, sea

susceptible de satisfacer demandas de agua de otros sectores usuarios, debe estimarse la diferencia entre la oferta y demanda *total* (consuntiva más no consuntiva). Esto por la simple razón que el caudal demandado para turbinar deberá estar disponible en los cauces cuando se necesite; pues de otra forma no será posible satisfacer (en algún porcentaje) la hidrogenación. En ese sentido, y a pesar que los Términos de Referencia, tan solo solicitaba la disponibilidad consuntiva, a continuación se presentan tanto las disponibilidades considerando energía (hidrogenación) y excluyéndola.

Con objeto de ofrecer un panorama que cubra los posibles estados o niveles de las disponibilidades futuras contingente a la condición climática que afecta las ofertas hídricas y económica que impacta las demandas, se prepararon tres escenarios extremos:

Cuadro 15.1 Caracterización de escenarios para la estimación de disponibilidades hídricas en cuencas de estudio

$D(t) = O(\text{normal}) - D_t(\text{base})$

Escenario base: combina una oferta en año climático normal y las demandas resultantes para el escenario económico base. Esta disponibilidad resultante muestra lo esperable para estas cuencas, bajo las condiciones inherentes a cada estimación ya explicado en la sección II de Oferta y en la sección I de Demanda, para un escenario base o intermedio.

$D(t) = O(\text{lluvioso}) - D_t(\text{bajo})$

Escenario Optimista: combina la oferta para la condición lluviosa y la demanda resultante para un escenario económico bajo. Este escenario ofrece un panorama optimista o favorable desde el punto de vista de disponibilidad de agua para estas cuencas.

$D(t) = O(\text{seco}) - D_t(\text{alto})$

Escenario Pesimista: combina la oferta de año seco con la demanda de escenario alto. Dicho caso se estima como el peor panorama hídrico que podría presentarse en estas cuencas.

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA, para IMN-MINAET-PNUD, 2009.

Los cuadros que se presentan a continuación contienen los resultados de disponibilidades para esos escenarios.

Cuadro 15.2. Costa Rica: Disponibilidad hídrica (+) para el escenario normal: O(normal)- D(base) en hm³

Costa Rica: Escenario Normal de disponibilidad de Agua. O(año normal)- D(escenario base), en hm ³											
	Año	Bananito	Banano	Barú	Changuinola	Chirripó	Cureña	Damas	Esquinas	Jesús María	La Estrella
Disponibilidad	2010	360	425	1,430	605	6,565	949	1,085	4,747	617	1,969
	2020	340	390	1,423	605	5,886	949	974	4,706	602	1,963
	2030	263	260	1,401	605	4,971	949	563	4,555	543	1,942
Tasa de Crecimiento	2010-2020	-0.52%	-0.75%	-0.04%	0%	-0.94%	0.00%	-0.93%	-0.08%	-0.23%	-0.03%
	2020-2030	-2.05%	-3.03%	-0.14%	0%	-1.41%	0.00%	-3.84%	-0.29%	-0.89%	-0.10%
Relación Oferta/Demanda	2010	33	23	352	nd	10	110,437	19	211	72	616
	2020	12	8	136	nd	5	51,331	7	75	26	220
	2030	3	2	44	nd	3	15,584	2	22	8	65
	Año	Madre de Dios	Matina	Moín	Penín. Osa	Pocosol	Sixaola	Tortuguero	Tusubres	Zapote	Subtotal
Disponibilidad	2010	380	3,309	247	6,479	2,096	6,760	4,504	1,693	2,222	46,443
	2020	375	3,302	154	6,476	2,095	6,759	4,481	1,667	1,450	44,597
	2030	356	3,275	-195	6,464	2,089	6,755	4,394	1,573	705	41,467
Tasa de Crecimiento	2010-2020	-0.12%	-0.02%	-3.44%	0.00%	-0.01%	0.00%	-0.05%	-0.14%	-3.16%	-0.36%
	2020-2030	-0.47%	-0.07%	-20.65%	-0.02%	-0.02%	-0.01%	-0.18%	-0.52%	-4.67%	-0.64%
Relación Oferta/Demanda	2010	133	824	6	3,611	2,473	12,078	350	121	4	27
	2020	48	294	2	1,288	882	4,308	125	43	2	13
	2030	14	87	1	379	260	1,269	37	13	1	7

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA, para IMN-MINAET-PNUD. Cuencas objeto de estudio con base en demandas estimadas por M. Adamson (CIESA) y ofertas estimadas por J. Masís (CIESA), 2009.

Estas disponibilidades se denotan con el signo (+) para indicar que está es una medida conservadora y amplia, con objeto de evaluar las mínimas disponibilidades requeridas para satisfacer todos los consumos (consuntivo y *no consuntivo*): El siguiente cuadro resume los principales hallazgos, asociados al escenario normal y/o base, para este subconjunto de 19 cuencas al estimar la disponibilidad (+):

Cuadro 15.3 Síntesis de hallazgos en la disponibilidad (+) para el subconjunto de 19 cuencas de este estudio.

A nivel agregado representará en el 2010 un acervo hídrico disponible (+) total de 46,4 Km³. Los modelos pronostican que para el 2020, según el escenario base de crecimiento en la producción y demandas asociadas, se habrá reducido un 4%, y para el 2030 disminuirá cerca del un 11%, ubicándose en 41 Km³.

Una importante concentración del capital hídrico disponible (+) en tan solo el 32% de las cuencas (6), se concentra de forma creciente al 2030 (de un 70% a un 73%), ese capital hídrico disponible (+). Estas cuencas en orden por su contribución relativa son: Sixaola, Península de Osa, Chirripó Norte, Esquinas, Tortuguero y Matina. Las dos primeras con una disponibilidad superior a los 6.5 Km³/año y la tercera, alrededor o por encima de los 5 Km³/año.

Este resultado, depende de: a) una relativa mayor dotación hídrica del recurso en una cuenca respecto a otra, la cual depende, dadas las condiciones climáticas exógenas, de las particularidades relativas asociadas a unas cuencas respecto a otras, tales como: zonas de vida de cada cuenca, tamaño, ubicación, orografía, etc. b) Influye también en esa disponibilidad (+) el tamaño relativo de las demandas entre las cuencas, el cual depende del tamaño de la población, el nivel de actividad económica y el tipo de sector demandante, sus tasas de crecimiento de demanda, patrones de consumo per cápita de agua, etc.

Una importante reducción la relación Oferta/Demanda de agua que evidencia, dada las ofertas hídricas, patrones de consumo de agua poco sostenibles en el tiempo. Esa reducción que se presenta en el agregado, también se concentra más fuertemente en algunas cuencas. Debido a los crecimientos resultantes en las demandas, la relación de dotación /demanda, indica que la dotación hídrica para este subgrupo de cuencas inicialmente supera 27 veces la demanda, para el 2010 disminuye a 13, y al 2030 se ubica en 7.

Fuente: Marcos Adamson, CIESA para IMN-MINAET, PNUD, 2010.

La concentración en el tema de disponibilidad es de carácter triple:

- La primera concentración es la finalmente resultante en la misma la disponibilidad, ubicadas en 6 cuencas y ya explicada anteriormente.
- La segunda concentración se presenta en las dotaciones u ofertas: el 26% de las cuencas (6 cuencas) concentran el 69% de la oferta (al 2010): Chirripó (15%); Sixaola (14%); Península de Osa (13%); Esquinas (10%); Tortuguero (9%); Matina (7%): una distribución bastante desigual de la dotación hídrica de estas subcuencas, la cual representa un valioso acervo hídrico. Estas concentraciones plantean importantes retos para su potencial aprovechamiento.
- El tercer elemento de concentración se presenta en las demandas, en tan solo dos cuencas se concentra un 88% de la demanda: Chirripó (40%) y Zapote (48%). Le siguen Damas (3%), Moín (3%) y Esquinas (1,2%). Lo anterior es reflejo de dos factores: una concentración en la hidrogenación en las primeras; y una concentración en la actividad económica lo que implica un muy limitada actividad económica y población en muchas de esas cuencas; y por tanto demandas relativamente pequeñas. Esto tiene particular relevancia debido a ***una importante asimetría que se encontró entre ofertas y demandas***: a excepción de Zapote, Chirripó: ***las cuencas en las cuales se concentra la mayor demanda, no son precisamente las cuencas donde se aglutina la mayor dotación hídrica, y evidentemente esto representa amenazas y retos por resolver en la GIRH de estas cuencas.***

Esta situación no resulta de la modelación de las demandas. Lo que este resultado indica es que de mantenerse los patrones de consumo creciendo según lo han venido haciendo (línea base), esas demandas crecerán a un ritmo acelerado con relación a la dotación hídrica, en particular durante el periodo 2020-30. En el escenario base, no existe razón para esperar que las demandas vayan a desacelerarse, cuando están siendo impulsadas apenas por un crecimiento en el PIB del 4%, y ya consideran el efecto poblacional es limitado (estas cuencas aglutinan poco más de 600 mil habitantes y al igual que el total de país su crecimiento población es cercano al 1%). Esta tendencia global para el subconjunto de cuencas, se reproduce en la mayoría de cuencas individuales, lo cual sugiere prácticas de aprovechamiento y de consumo del recurso hídrico bastantes generalizadas y extensivas en agua, como se infirió en el capítulo de demanda.

Es relevante mencionar el caso de la Cuenca Moín, pues es la única cuenca que bajo el escenario normal/base presenta un déficit para el año 2030, de 195 hm³, en particular por el tipo de actividad económica que concentra la cuenca.

Por otra parte, para el caso de Cureña al no poseer registros de demanda de agua pero si de población, se procedió a utilizar la demanda per cápita de una cuenca vecina (en este caso se utilizó Pocosol), y esta se multiplicó por el número de personas de Cureña, para así obtener un estimado de la demanda de la cuenca (su población es prácticamente insignificante, por consiguiente la demanda resultó serlo también), por lo que la relación de Oferta/ Demanda resultante es elevada.

Disponibilidades bajo escenarios extremos

Interesa conocer cómo responderá la disponibilidad de estas cuencas ante diversos escenarios de clima y económicos.

El cuadro 15.4 muestra los resultados de disponibilidades para el escenario pesimista, el cual incluye la estimación de oferta para el escenario climático seco y la demanda con crecimiento alto del PIB (5%). Es decir, un escenario de estrés hídrico conjunto con uno de aceleración de la actividad económica y por tanto de la demanda de agua. En este escenario pesimista, aparecen al 2030, además de Moín, tres cuencas más con excesos de demanda: Banano, Damas y Zapote. Todas las disponibilidades disminuyen respecto al escenario normal. Las relaciones Oferta/Demanda se reducen sensiblemente respecto al escenario base, lo que se refleja en que la disponibilidad total de la subregión agregada se reduce un 31% al 2020 respecto al escenario normal-base, lo cual evidencia una *significativa sensibilidad* de la disponibilidad agregada al efecto clima y crecimiento económico, simultáneamente (ver cuadro 15.5).

Cuadro 15. 4. Costa Rica: Disponibilidad hídrica (+) para el escenario pesimista: O(seco)- D(alta) en hm³

Costa Rica: Escenario Pesimista de disponibilidad de Agua. O(año seco)- D(escenario alto), en hm ³											
	Año	Bananito	Banano	Barú	Changuinola	Chirripó	Cureña	Damas	Esquinas	Jesús María	La Estrella
Disponibilidad	2010	270	316	1.092	465	4.743	599	802	3.614	367	1.415
	2020	241	267	1.083	465	3.971	599	644	3.556	345	1.407
	2030	63	-36	1.033	465	2.420	599	-314	3.203	208	1.357
Tasa de Crecimiento	2010-2020	-0,99%	-1,43%	-0,08%	0%	-1,48%	0,00%	-1,79%	-0,15%	-0,56%	-0,05%
	2020-2030	-6,73%	-10,32%	-0,42%	0%	-3,55%	0,00%	-13,53%	-0,90%	-3,60%	-0,32%
Relación Oferta/Demanda	2010	25	17	264	nd	7	69.307	14	160	43	441
	2020	7	5	83	nd	4	25.374	4	45	12	124
	2030	1	1	17	nd	2	4.873	1	8	2	23
	Año	Madre de Dios	Matina	Moín	Penín Osa	Pocosol	Sixaola	Tortuguero	Tusubres	Zapote	Subtotal
Disponibilidad	2010	248	2.524	159	3.996	1.853	4.776	3.443	1.483	996	33.164
	2020	241	2.514	25	3.992	1.851	4.775	3.410	1.447	155	30.987
	2030	196	2.451	-788	3.963	1.838	4.766	3.208	1.226	-816	25.041
Tasa de Crecimiento	2010-2020	-0,27%	-0,04%	-7,66%	-0,01%	-0,01%	0,00%	-0,09%	-0,22%	-7,67%	-0,60%
	2020-2030	-1,70%	-0,23%	-294,91%	-0,06%	-0,07%	-0,02%	-0,54%	-1,39%	-56,90%	-1,74%
Relación Oferta/Demanda	2010	87	625	4	2.215	2.173	8.486	266	106	2	18
	2020	24	176	1	622	611	2.384	75	30	1	9
	2030	5	33	0	116	114	444	14	6	1	3

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA, para IMN-MINAET-PNUD. Cuencas objeto de estudio con base en demandas estimadas por M. Adamson (CIESA) y ofertas estimadas por J. Masís (CIESA), 2009.

El cuadro 15.5 evidencia la sensibilidad (tasa de cambio relativa) de la disponibilidad del escenario pesimista (seco, alto) respecto al escenario normal, base. Como puede verse las tasas de reducción de la disponibilidad, del subtotal de cuencas se reduce entre un 30% a un 40%, y muestra los mayores cambios al 2030. Este escenario es relevante, porque todo apunta que la actividad económica continuará creciendo aún a niveles moderados del 4% en promedio anual, y por tanto un evento de cambio climático que genere episodios secos, se conjugará con la actividad económica y, por tanto, con una demanda hídrica también dinámica.

Cuadro 15. 5. Costa Rica: Sensibilidad de la disponibilidad del escenario pesimista respecto al escenario normal- base

Costa Rica: Sensibilidad del Escenario Pesimista respecto a Escenario Normal de disponibilidad de Agua. ((P-N)/N)											
	Año	Bananito	Banano	Barú	Changuinola	Chirripó	Cureña	Damas	Esquinas	Jesús María	La Estrella
Sensibilidad	2010	-25%	-26%	-24%	-23%	-28%	-37%	-26%	-24%	-41%	-28%
	2020	-29%	-32%	-24%	-23%	-33%	-37%	-34%	-24%	-43%	-28%
	2030	-76%	-114%	-26%	-23%	-51%	-37%	-156%	-30%	-62%	-30%
	Año	Madre de Dios	Matina	Moín	Penín. Osa	Pocosol	Sixaola	Tortuguero	Tusubres	Zapote	Subtotal
Sensibilidad	2010	-35%	-24%	-36%	-38%	-12%	-29%	-24%	-12%	-55%	-29%
	2020	-36%	-24%	-84%	-38%	-12%	-29%	-24%	-13%	-89%	-31%
	2030	-45%	-25%	303%	-39%	-12%	-29%	-27%	-22%	-216%	-40%

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA, para IMN-MINAET-PNUD. Cuencas objeto de estudio con base en demandas estimadas por M. Adamson (CIESA) y ofertas estimadas por J. Masís (CIESA), 2009.

En el otro extremo, es el caso del mejor escenario “optimista”, con años lluviosos y crecimiento bajo, se observa que las cuencas incrementan su disponibilidad. A nivel agregado al 2020, se incrementa cerca de un 44% la disponibilidad del conjunto de cuencas respecto al escenario normal-base.

Cuadro 15. 6. Costa Rica: Disponibilidad hídrica (+) para el escenario b: O(lluvioso)-D(bajo) en hm³

Costa Rica: Mejor Escenario de disponibilidad de Agua. O(año lluvioso)- D(escenario bajo), en hm ³											
	Año	Bananito	Banano	Barú	Changuinola	Chirripó	Cureña	Damas	Esquinas	Jesús María	La Estrella
Disponibilidad	2010	668	807	2.272	784	9.626	1.050	1.833	6.100	838	3.056
	2020	653	783	2.267	784	9.026	1.050	1.757	6.072	828	3.052
	2030	620	726	2.257	784	8.401	1.050	1.576	6.005	802	3.043
Tasa de Crecimiento	2010-2020	-0,19%	-0,27%	-0,02%	0%	-0,57%	0,00%	-0,38%	-0,04%	-0,12%	-0,01%
	2020-2030	-0,47%	-0,66%	-0,04%	0%	-0,63%	0,00%	-0,94%	-0,10%	-0,28%	-0,03%
Relación Oferta/Demanda	2010	60	43	572	nd	15	122.883	31	273	98	961
	2020	27	19	263	nd	8	71.209	14	121	43	428
	2030	11	8	122	nd	5	31.607	6	52	19	184
	Año	Madre de Dios	Matina	Moín	Penín. Osa	Pocosol	Sixaola	Tortuguero	Tusubres	Zapote	Subtotal
Disponibilidad	2010	969	7.288	499	7.645	3.129	7.862	5.901	2.382	3.172	65.882
	2020	966	7.283	435	7.642	3.128	7.861	5.885	2.365	2.466	64.303
	2030	957	7.271	281	7.637	3.125	7.859	5.847	2.323	1.844	62.409
Tasa de Crecimiento	2010-2020	-0,03%	-0,01%	-1,17%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,02%	-0,07%	-2,03%	-0,22%
	2020-2030	-0,08%	-0,01%	-3,21%	-0,01%	-0,01%	0,00%	-0,06%	-0,16%	-2,29%	-0,27%
Relación Oferta/Demanda	2010	340	1.824	11	4.285	3.711	14.129	461	171	5	40
	2020	151	811	5	1.905	1.650	6.283	205	76	3	21
	2030	65	349	2	820	711	2.706	88	33	2	13

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA, para IMN-MINAET-PNUD. Cuencas objeto de estudio con base en demandas estimadas por M. Adamson (CIESA) y ofertas estimadas por J. Masís (CIESA), 2009.

Cuadro 15. 7. Costa Rica: Sensibilidad de la disponibilidad del escenario optimista respecto al escenario normal- base.

Costa Rica: Sensibilidad del Escenario Optimista respecto a Escenario Normal de disponibilidad de Agua. ((O-N)/N)											
	Año	Bananito	Banano	Barú	Changuinola	Chirripó	Cureña	Damas	Esquinas	Jesús María	La Estrella
Sensibilidad	2010	85%	90%	59%	30%	47%	11%	69%	28%	36%	55%
	2020	92%	101%	59%	30%	53%	11%	80%	29%	38%	55%
	2030	135%	179%	61%	30%	69%	11%	180%	32%	48%	57%
	Año	Madre de Dios	Matina	Moín	Penín. Osa	Pocosol	Sixaola	Tortuguero	Tusubres	Zapote	Subtotal
Sensibilidad	2010	155%	120%	102%	18%	49%	16%	31%	41%	43%	42%
	2020	157%	121%	183%	18%	49%	16%	31%	42%	70%	44%
	2030	169%	122%	-244%	18%	50%	16%	33%	48%	161%	51%

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA, para IMN-MINAET-PNUD. Cuencas objeto de estudio con base en demandas estimadas por M. Adamson (CIESA) y ofertas estimadas por J. Masís (CIESA), 2009.

En este escenario optimista, Moín ya no se pronostica como deficitaria en el 2030. Sin embargo, es la que presenta la disponibilidad más baja.

Disponibilidades consuntivas

Las disponibilidades considerando solo las demandas consuntivas se presentan en el cuadro 15.8 para el escenario normal-base. Como es de esperar, las disponibilidades de Zapote y Chirripó se incrementan substancialmente, debido a que dejan de contabilizar la demanda por hidrogenación, su principal sector de uso. La cuenca Moín continúa siendo deficitaria, ya que esta cuenca no presenta sector energía y por lo tanto su déficit no cambia al eliminar la demanda no consuntiva.

Cuadro 15.8. Costa Rica. Disponibilidades consuntivas para el escenario normal –base.

Costa Rica: Escenario Normal de disponibilidad de Agua. O(año normal)- D(escenario base), en hm ³ . (sin energía)											
	Año	Bananito	Banano	Barú	Changuinola	Chirripó	Cureña	Damas	Esquinas	Jesús María	La Estrella
Disponibilidad	2010	360	425	1.431	605	7.217	949	1.085	4.747	617	1.969
	2020	340	390	1.425	605	7.096	949	974	4.706	602	1.963
	2030	263	260	1.404	605	6.643	949	563	4.555	543	1.942
Tasa de Crecimiento	2005-2030	-28%	-40%	-2%	0%	-8%	0%	-49%	-4%	-12%	-1%
	2010-2030	-27%	-39%	-2%	0%	-8%	0%	-48%	-4%	-12%	-1%
Relación Oferta/Demanda	2010	33	23	449	nd	108	110.437	19	211	72	616
	2020	12	8	160	nd	39	51.331	7	75	26	220
	2030	3	2	47	nd	11	15.584	2	22	8	65
	Año	Madre de Dios	Matina	Moín	Penín. Osa	Pocosol	Sixaola	Tortuguero	Tusubres	Zapote	Subtotal
Disponibilidad	2010	380	3.309	247	6.479	2.096	6.760	4.504	1.693	3.082	47.957
	2020	375	3.302	154	6.476	2.095	6.759	4.481	1.667	3.046	47.405
	2030	356	3.275	-195	6.464	2.089	6.755	4.394	1.573	2.911	45.347
Tasa de Crecimiento	2005-2030	-7%	-1%	-173%	0%	0%	0%	-3%	-7%	-6%	-6%
	2010-2030	-6%	-1%	-179%	0%	0%	0%	-2%	-7%	-6%	-5%
Relación Oferta/Demanda	2010	133	824	6	3.611	2.473	12.078	350	121	154	158
	2020	48	294	2	1.288	882	4.308	125	43	55	56
	2030	14	87	1	379	260	1.269	37	13	16	17

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA, para IMN-MINAET-PNUD. Cuencas objeto de estudio con base en demandas estimadas por M. Adamson (CIESA) y ofertas estimadas por J. Masís (CIESA), 2009.

Es importante destacar que la cuenca de Moín, Banano, Damas, evidencia tasas importantes de decrecimiento en su disponibilidad consuntiva.

Además, se presentan los escenarios extremos (pesimista y el optimista) consuntivos (ver cuadro 15.9). Los resultados individualmente por cuenca no cambian significativamente respecto a los resultados de la demanda total (consuntiva y no consuntiva) pues la mayoría de las cuencas no presentan sector de hidrogenación, a excepción como se indicó de Chirripó y Zapote. Sin embargo, la disponibilidad del subtotal de cuencas de estudio si varía considerablemente, pues al eliminar el sector más importante de las cuencas dos cuencas más grandes analizadas, la disponibilidad agregada de dichas cuencas aumenta significativamente al suprimir el agua destinada a la hidrogenación. La disponibilidad agregada de las cuencas de estudio aumenta un 3% para el 2010, 6% para el 2011 y 9% para el 2030 (ver cuadro 15.10)

Cuadro 15.9. Costa Rica: Disponibilidades consuntivas, escenario “pesimista” y “optimista”.

Costa Rica: Peor Escenario de disponibilidad de Agua. O(año seco)- D(escenario alto), en hm3											
	Año	Bananito	Banano	Barú	Changuinola	Chirripó	Cureña	Damas	Esquinas	Jesús María	La Estrella
Disponibilidad	2010	270	316	1.093	465	5.447	599	802	3.614	367	1.415
	2020	241	267	1.085	465	5.273	599	644	3.556	345	1.407
	2030	63	-36	1.035	465	4.220	599	-314	3.203	208	1.357
Tasa de Crecimiento	2005-2030	-77%	-111%	-5%	0%	-23%	0%	-139%	-12%	-44%	-4%
	2010-2030	-77%	-111%	-5%	0%	-23%	0%	-139%	-11%	-43%	-4%
Relación Oferta/Demanda	2010	25	17	342	nd	81	69.307	14	160	43	441
	2020	7	5	96	nd	23	25.374	4	45	12	124
	2030	1	1	18	nd	4	4.873	1	8	2	23
	Año	Madre de Dios	Matina	Moín	Penín. Osa	Pocosol	Sixaola	Tortuguero	Tusubres	Zapote	Subtotal
Disponibilidad	2010	248	2.524	159	3.996	1.853	4.776	3.443	1.483	1.925	34.797
	2020	241	2.514	25	3.992	1.851	4.775	3.410	1.447	1.873	34.009
	2030	196	2.451	-788	3.963	1.838	4.766	3.208	1.226	1.559	29.219
Tasa de Crecimiento	2005-2030	-21%	-3%	-537%	-1%	-1%	0%	-7%	-18%	-19%	-16%
	2010-2030	-21%	-3%	-596%	-1%	-1%	0%	-7%	-17%	-19%	-16%
Relación Oferta/Demanda	2010	87	625	4	2.215	2.173	8.486	266	106	96	114
	2020	24	176	1	622	611	2.384	75	30	27	32
	2030	5	33	0	116	114	444	14	6	5	6

Costa Rica: Mejor Escenario de disponibilidad de Agua. O(año lluvioso)- D(escenario bajo), en hm3											
	Año	Bananito	Banano	Barú	Changuinola	Chirripó	Cureña	Damas	Esquinas	Jesús María	La Estrella
Disponibilidad	2010	668	807	2.273	784	10.227	1.050	1.833	6.100	838	3.056
	2020	653	783	2.269	784	10.144	1.050	1.757	6.072	828	3.052
	2030	620	726	2.259	784	9.944	1.050	1.576	6.005	802	3.043
Tasa de Crecimiento	2005-2030	-8%	-11%	-1%	0%	-3%	0%	-15%	-2%	-5%	0%
	2010-2030	-7%	-10%	-1%	0%	-3%	0%	-14%	-2%	-4%	0%
Relación Oferta/Demanda	2010	60	43	717	nd	154	122.883	31	273	98	961
	2020	27	19	319	nd	68	71.209	14	121	43	428
	2030	11	8	137	nd	29	31.607	6	52	19	184
	Año	Madre de Dios	Matina	Moín	Penín. Osa	Pocosol	Sixaola	Tortuguero	Tusubres	Zapote	Subtotal
Disponibilidad	2010	969	7.288	499	7.645	3.129	7.862	5.901	2.382	3.965	67.276
	2020	966	7.283	435	7.642	3.128	7.861	5.885	2.365	3.940	66.896
	2030	957	7.271	281	7.637	3.125	7.859	5.847	2.323	3.881	65.990
Tasa de Crecimiento	2005-2030	-1%	0%	-46%	0%	0%	0%	-1%	-3%	-2%	-2%
	2010-2030	-1%	0%	-44%	0%	0%	0%	-1%	-2%	-2%	-2%
Relación Oferta/Demanda	2010	340	1.824	11	4.285	3.711	14.129	461	171	199	222
	2020	151	811	5	1.905	1.650	6.283	205	76	89	99
	2030	65	349	2	820	711	2.706	88	33	38	42

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA, para IMN-MINAET-PNUD. Cuencas objeto de estudio con base en demandas estimadas por M. Adamson (CIESA) y ofertas estimadas por J. Masís (CIESA), 2009.

Cuadro 15.10. Costa rica: Sensibilidad de la disponibilidad ante un cambio de demanda total a demanda consuntiva.

Costa Rica: Sensibilidad de la disponibilidad ante la eliminación de la demanda no consuntiva. ((SE-CE)/CE)											
	Año	Bananito	Banano	Barú	Changuinola	Chirripó	Cureña	Damas	Esquinas	Jesús María	La Estrella
Sensibilidad	2010	0%	0%	0%	0%	10%	0%	0%	0%	0%	0%
	2020	0%	0%	0%	0%	21%	0%	0%	0%	0%	0%
	2030	0%	0%	0%	0%	34%	0%	0%	0%	0%	0%
	Año	Madre de Dios	Matina	Moín	Penín. Osa	Pocosol	Sixaola	Tortuguero	Tusubres	Zapote	Subtotal
Sensibilidad	2010	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	39%	3%
	2020	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	110%	6%
	2030	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	313%	9%

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA, para IMN-MINAET-PNUD. Cuencas objeto de estudio con base en demandas estimadas por M. Adamson (CIESA) y ofertas estimadas por J. Masís (CIESA), 2009.

Precauciones comparativas con las cuencas IMTA

Con objeto de mostrar de forma integrada las disponibilidades para todas las cuencas del país es importante aclarar que para la estimación de disponibilidad, en el caso de las 19 cuencas estudiadas por CIESA, se utilizó el caso que combina la oferta de año normal menos la demanda de escenario base.

Por otro lado, para las cuencas que no fueron estimadas por este trabajo, se utilizaron como solicitaba los términos de referencia, los datos de disponibilidades por escenarios de demanda de agua estimados por le IMTA estima (IMTA, 2008) para los años 2010, 2020 y 2030.

Para analizar que tan comparables son esos estimados de disponibilidad (CIESA e IMTA), se realizó un análisis para profundizar en la metodología usada por el IMTA para calcular finalmente las disponibilidades. Sin embargo, de la información y anexos que muestra ese informe no se deduce cómo se obtuvo los resultados que allí se presentan. Por ejemplo, en el caso de disponibilidades con escenarios de demanda de agua, no se especifica cuáles son los datos exactos de oferta y de demanda utilizados. Se intentó comprobar que los datos de demanda del año que definen como actual (2000) correspondieran con los datos de demanda de usos por sector, según especifica el informe de esa institución, restando a esas disponibilidades a los datos de oferta, también presentados en dicho informe. Sin bien es cierto en la mayoría de los casos variaba relativamente poco; las diferencias eran significativas en orden de magnitud.

En síntesis, los datos entre las cuencas estudiadas por el IMTA y las cuencas del presente estudio no son metodológicamente comparables. En el caso del IMTA, las demandas utilizadas no aparecen reportadas en el documento, no se localizó algún anexo en hoja electrónica, ni el detalle utilizado para estimarlas y proyectarlas al 2030.

Debe considerarse que el estudio del IMTA, incluye las cuencas de Tárcoles y Reventazón. Según los estimados de población de CIESA (2010), tan solo estas dos cuencas aglutinan cerca de un 63% (2010) a un 65% (2030) de la población de Costa Rica. La producción nacional está mayoritariamente concentrada en esas cuencas, excepto el turismo (cuya demanda no es significativa a nivel nacional, no así a nivel de localidades particulares) y productos agropecuarios bajo riego que se concentra mayoritariamente en el DRAT.

Por tanto, todo tiende a señalar, aún en el caso del escenario base, que la demanda del resto de cuencas del país no incluido en este estudio, debería crecer conforme crece el PIB y la población. Aún a pesar de que la población en Costa Rica no crece aceleradamente, debe considerarse que la población estimada (CIESA) para la Cuenca de Tárcoles y Reventazón se incrementa de **2.8 millones a 3.6 millones** de habitantes, lo que implicará un incremento de **775 mil habitantes**.

También es de esperar, en un escenario base, que la mayoría de la producción nacional continúe concentrada en estas dos cuencas. Desde un punto de vista analítico, es de esperaría que el comportamiento de la demanda total de agua, la cual depende fuertemente del ingreso per cápita, debido a su elevada elasticidad ingreso, refleje también ese crecimiento en el PIB per cápita, el cual en cualquier escenario base debería estar creciendo ¹.

Sin embargo, al realizar un análisis sobre los pronósticos de disponibilidad del resto de cuencas del país (las incluidas en el estudio del IMTA), los datos no reflejan una variación en esas disponibilidades. Al agregarse una columna de subtotal de disponibilidades por cuenca, estas permanecen prácticamente estáticas a pesar de ese esperable crecimiento en las demandas de agua (IMTA). Por tanto, con base en esos datos, se tendría que inferir que el país no presentará ningún problema de disponibilidad de aguas a nivel de ese subtotal de cuencas, ni a nivel de esas cuencas individuales, las cuales concentran la mayoría de la actividad económica, como ya se indicó. Es decir, esas disponibilidades estimadas por el estudio del IMTA son casi constantes a lo largo del tiempo. De hecho se estancan de 33 Km³ en el 2010 y después de 20 años se ubican en 31km³ al 2030, lo que implica que decrecerá apenas 0.03% anualmente. Lo anterior es poco probable, cuando se considera que aún un escenario moderado de crecimiento base implica que el PIB se duplicará en ese periodo, ejerciendo esto importantes incrementos en las demandas de agua nacional, como ya se indicó en el capítulo 9.

Los resultados que obtiene el IMTA, parecieran más bien la resultante del comportamiento de los parámetros de intensidades sectoriales o alguna tendencia a disminuir que parecen compensar las fuerzas que ejerce el crecimiento del PIB y poblacional sobre las demandas . ***Sin embargo, para el escenario base de Costa Rica, lo anterior no parece económicamente factible.*** Todo lo contrario, por un lado, las intensidades históricas se han incrementado a lo largo del tiempo en Costa Rica (CIESA, cap. 9 de demanda). ***Por otro lado, las demandas de agua de Costa Rica en su mayoría son elásticas en el corto plazo y esa elasticidad se incrementa en largo plazo.*** Por lo tanto, no parece haber evidencia empírica que conduzca a obtener como resultado de un escenario ***base*** una disponibilidad nacional casi constante; y en particular que prácticamente ***no disminuya*** en ese resto de cuencas cubiertas por el estudio del IMTA, las cuales como se explicó, incorporan las mayores demandas de agua del sistema socioeconómico nacional. Todo parece indicar que esas disponibilidades aparentan estar subestimadas, y en particular todo apunta hacia las demandas.

¹ Sin embargo, del reporte del IMTA no es posible deducir claramente ningún modelo de proyección de demanda. Hacen referencia somera al estudio de Rivera (2007), de cual obtuvieron las demandas de agua para los usos de consumo (las cuales no se encuentran disponibles en los anexos), y se limitan a indicar que sustituyeron sus pronósticos de demanda por estos; pero el detalle no se muestra, así que no es posible determinar el escenario de climático al que responden sus disponibilidades.

Importancia relativa del capital neto hídrico de estas cuencas

El país tiene en las subcuencas objeto de esta investigación, un acervo hídrico neto (disponibilidad) que para años normales y una economía en escenario base (“normal según lo esperado”), en el menor caso asciende a 42 Km³ (2030). Si a pesar de las diferencias y reservas metodológicas, se compara ese dato con las disponibilidades estimadas por el IMTA, para las restantes otras 15 cuencas del país que agregan 31 km³, se observa que las cuencas bajo investigación en este estudio muestran una disponibilidad mayor. Para el 2010, esas 19 cuencas suman disponibilidad por 46 Km³, contra los 33 km³ para las otras cuencas del país según estima el IMTA. Para el 2010, la suma evidencia un acervo hídrico neto (después de cubrir demandas) cercano a los 80 Km³.

Con las reservas ya apuntadas sobre las diferencias metodológicas y comparaciones, y la muy conservadora dinámica que reflejan las disponibilidades reportadas por el IMTA, el cuadro 15.11 presentan las disponibilidades totales que muestran el acervo hídrico residual después de cubrir las demandas de cada cuenca.

Los resultados de disponibilidad para todo el país se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 15.11. Costa Rica: Disponibilidades totales por cuenca, en hm³.²

Costa Rica: Escenario Normal, en hm ³							
	Año	Abangares	Bananito	Banano	Barranca	Barú	Changuinola
Disponibilidad	2010	890,07	360,38	424,67	715,01	1.429,96	604,70
	2020	832,51	339,80	389,78	712,75	1.423,45	604,70
	2030	746,35	263,17	259,84	710,78	1.401,40	604,70
	Año	Chirripó	Cureña	Damas	Esquinas	Jesús María	La Estrella
Disponibilidad	2010	6.564,72	949,23	1.084,98	4.747,20	617,35	1.968,81
	2020	5.885,78	949,22	974,40	4.706,45	601,60	1.963,04
	2030	4.971,40	949,17	562,62	4.554,72	542,93	1.941,54
	Año	Madre de Dios	Matina	Moín	Naranjo	Pacuare	Parrita
Disponibilidad	2010	380,49	3.309,38	247,48	737,27	1.521,68	1.202,16
	2020	375,30	3.302,13	153,72	737,85	1.522,71	1.164,36
	2030	355,97	3.275,13	-195,42	738,23	1.523,80	1.139,48
	Año	Penín. de Nicoya	Penín. de Osa	Pocosol	Reventazón	Río Frío	San Carlos
Disponibilidad	2010	1.998,90	6.479,03	2.096,34	4.453,52	2.676,71	3.631,86
	2020	2.004,72	6.475,79	2.094,81	4.399,65	2.676,71	3.565,20
	2030	2.011,98	6.463,74	2.089,12	4.363,35	2.676,80	3.499,91
	Año	Sarapiquí	Savegre	Sixaola	Tárcoles	Tempisque-Bebedero	Térraba
Disponibilidad	2010	4.928,66	1.117,55	6.759,60	2.056,37	1.886,26	5.559,65
	2020	4.852,86	1.117,36	6.758,59	2.036,01	1.085,20	5.522,52
	2030	4.818,04	1.093,31	6.754,83	2.039,71	465,66	5.475,48
	Año	Tortuguero	Tusubres	Zapote	Subtotal Cuencas de	Subtotal Otras Cuencas	Total País
Disponibilidad	2010	4.504,18	1.692,89	2.221,55	46.442,95	33.375,67	79.818,62
	2020	4.480,92	1.667,46	1.449,86	44.596,81	32.230,41	76.827,22
	2030	4.394,34	1.572,73	705,37	41.467,30	31.302,88	72.770,18

Cuencas CIESA

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA, para IMN-MINAET-PNUD. Cuencas objeto de estudio con base en demandas estimadas por M. Adamson (CIESA) y ofertas estimadas por J. Masís (CIESA), 2009.

² Para las 19 cuencas de este estudio, se incluye el componente de energía. Las disponibilidades para las otras cuencas, son las reportadas por el IMTA (2008).

Las figuras 15.1, 15.2 y 15.3 presenta en un mapa las estimaciones de *disponibilidades per cápita* de las 34 cuencas (indicando su cifra) y su población total (indicada en color, las cuenca más rojas muestran los mayores niveles de población), para los años 2010, 2020 y 2030, correspondientemente.

Figura 15.1. Costa Rica. Población total y disponibilidad per cápita para el año 2010, en m³/habitante.

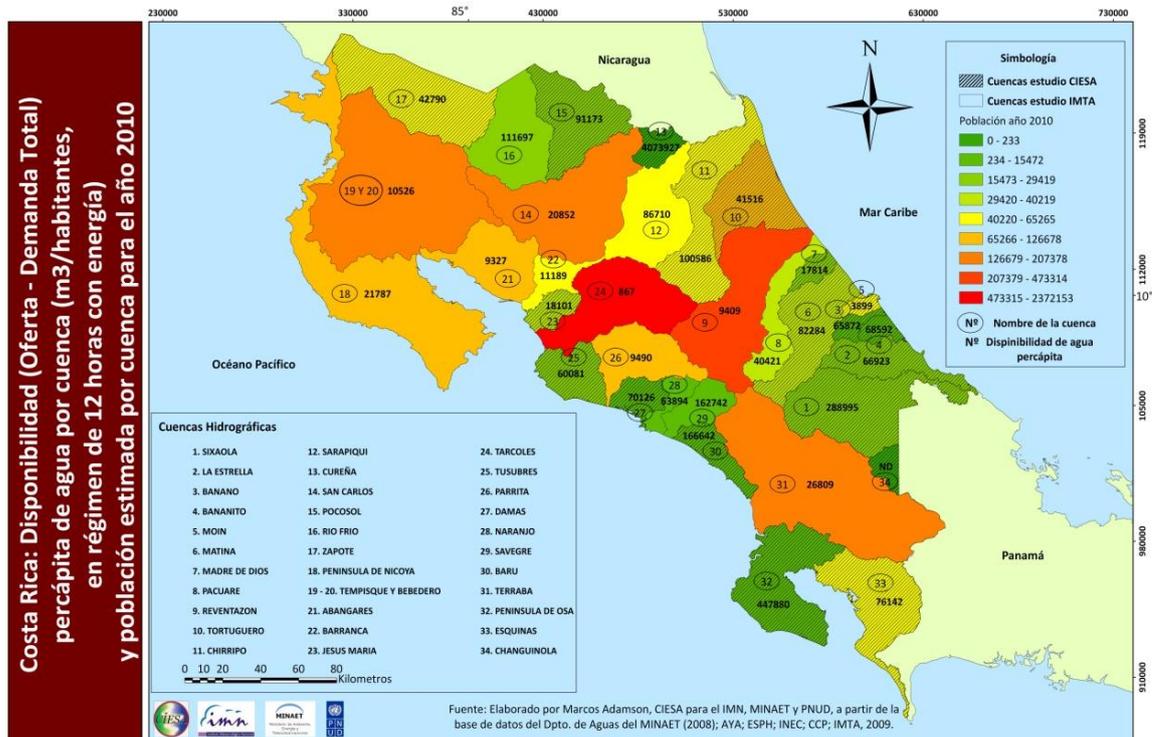


Figura 15.2. Costa Rica. Disponibilidad per cápita para el año 2020, en m³/habitante

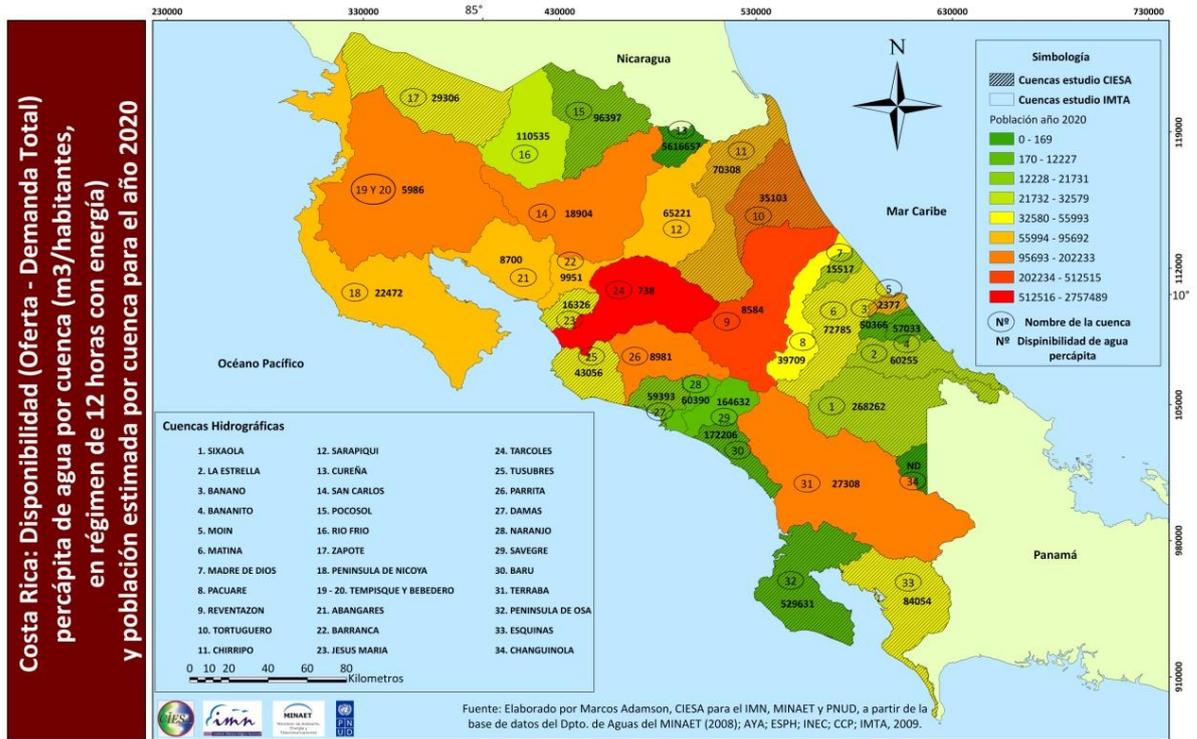
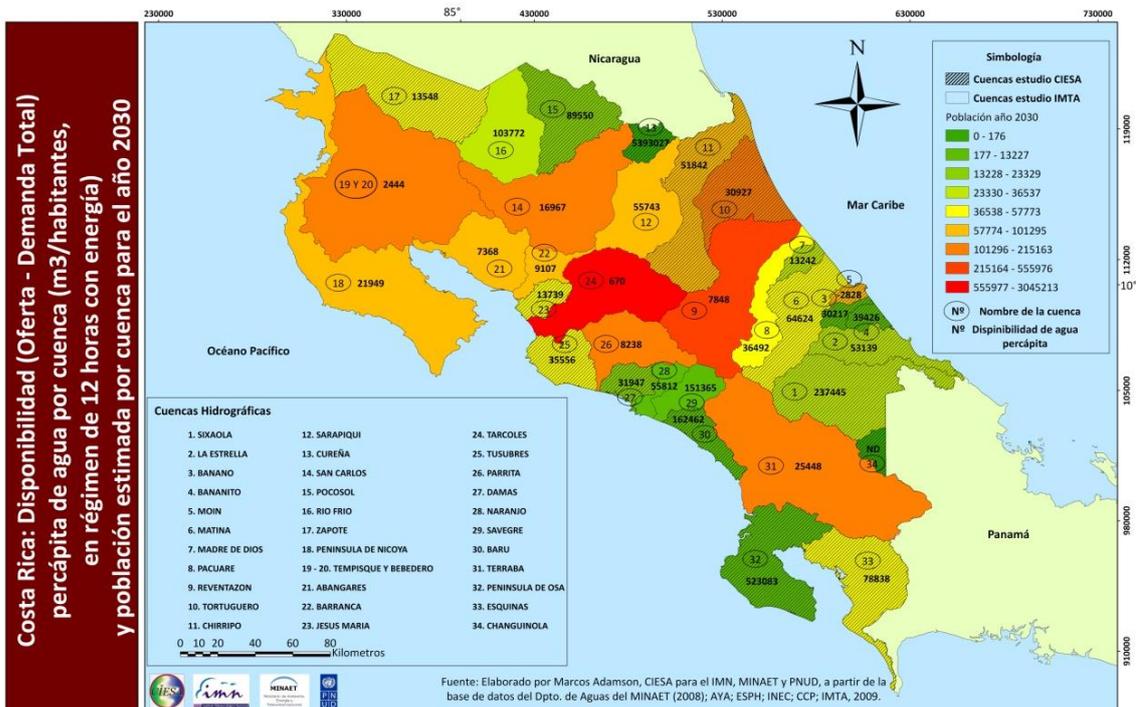


Figura 15.3. Costa Rica. Disponibilidad per cápita para el año 2030, en m³/habitante



Sobresalen importantes resultados:

La cuenca del Tárcoles, aún suponiendo que su oferta es utilizable en un 100%, aparece como la cuenca con menor disponibilidad per cápita, pasando de los 866 m³/habitante en el 2010 a 670 m³/persona en el 2030, lo cual implica una reducción de un 22%, lo cual en su disponibilidad per cápita.

La segunda cuenca con menor disponibilidad per cápita es Moín con 3, 899 m³/habitante, pero con una reducción importante al 2020 (2, 377 m³/persona), mientras que para el 2030 presenta 2, 828 m³/habitante.

Se agrupan posteriormente un conjunto de cuencas: Barranca, Reventazón, Tempisque y Bebedero, con disponibilidades per cápita del orden de los 11 mil m³/persona, y en la última cuenca se muestra una significativa reducción, que debe llamar la atención en particular por tratarse de cuencas donde la actividad agrícola con riego importante.

16. Propuesta de Indicadores

La siguiente sección presenta una discusión y un conjunto de indicadores recomendados que apoyarán el manejo y/o la gestión integrada del recurso hídrico. Al mismo tiempo, a través de la estimación de un grupo importante de indicadores, se completa el análisis de problemática y amenazas principales de las cuencas objeto de estudio, así como algunas que se hacen a nivel nacional y para otras cuencas no asignadas en este estudio.

16.1 Discusión sobre las relaciones entre el IDH, Vulnerabilidad y Adaptabilidad del Sistema Hídrico ante los Riesgos frente al Cambio Climático

Este proyecto se denomina “mejoramiento de capacidades nacionales para la evaluación de la vulnerabilidad y adaptación del Sistema Hídrico al cambio climático como mecanismo para disminuir el riesgo al cambio climático y aumentar el índice de desarrollo humano”.

Por tanto, en la misión del proyecto subyacían algunas presuntas relaciones así como la posibilidad de medirlas, a saber:

- ❖ Medición de evaluación de Vulnerabilidad (**V**) y Adaptación (**A**) del Sistema Hídrico (ΔSH).
- ❖ El cambio climático (ΔC).
- ❖ El riesgo (**R**) del SH al CC, $F= R (\text{SH} (\text{CC}))$.
- ❖ Y la relación entre una reducción del $-\Delta\text{R} (\text{SH} (\text{CC}))$ y el incremento del Índice de Desarrollo Humano ($+\Delta\text{IDH}$).

Si bien es cierto, es esperable que una reducción de la vulnerabilidad ($-\Delta\text{V}$) y una mayor adaptación ($+\Delta\text{A}$) del SH ante el CC, conlleve un menor riesgo; la capacidad de identificar una relación entre la anterior y el $+\Delta$ IDH puede tener una la funcionalidad en la que no presentan una asociación positiva. Es decir, por un lado, puede ser un verdadero reto monitorear una relación entre el R (SH(CC)); y por otro mucho más complejo se muestra determinar la relación $\text{IDH} (\text{R}(\text{SH}(\text{CC})) = \text{IDH} (\text{F}))$.

Aún más, un sistema hídrico poco vulnerable y adaptado al CC, necesariamente no tiene que impactar positivamente el IDH. Esto está asociado a:

- a) Las variables que incluye el IDH y lo que en realidad mide.
- b) Nivel y capacidad de acceso al agua.
- c) Las relaciones multifactoriales que afectan el IDH y la capacidad de medición de la V y A.
- d) La naturaleza propia del SH, el cual puede estar siendo afectado por factores locales (fuentes de contaminación difusas, no puntuales, etc.) cuyos impactos se pueden reforzar o contrarrestar, lo cuales alterarán la relación SH (CC).
- e) La misma capacidad y disponibilidad de información al nivel de cantidad, calidad, periodicidad y distribución espacial requerida para realizar una medición de la Vulnerabilidad y Adaptabilidad buscada.

Conviene elaborar estos elementos para evaluar el nivel de capacidad real para analizar el R (SH(CC)):

- a) Con relación al concepto de IDH, el diagrama 1 muestra los elementos que incluye el IDH.

Diagrama 16.2



Fuente: Adamson, M. 2008.

Nótese, que el IDH cuantifica la vida larga y saludable, a través del índice de esperanza de vida al nacer, la cual está influenciada por una gran cantidad de factores, donde el Sistema Hídrico puede ser solo uno de ellos. El índice de alfabetización puede no reflejar una relación con el SH. El PIB per cápita está directamente asociado a la cantidad de consumo de agua para fines humanos y productivos, pero la cantidad de agua es solo una variable más de la gran cantidad de elementos que integran un SH.

Los resultados de este estudio encontraron respecto a la capacidad de acceso al agua, la cual está determinada por la estructura de derechos y concesiones de agua en Costa Rica:

- i) Una importante concentración de la mayoría de concesiones en muy pocas cuencas.
- ii) Una importante concentración de las concesiones en muy pocos concesionarios.

De manera que es presumible que una reducción en la vulnerabilidad y un incremento en la adaptabilidad del SH ante el CC, beneficie mucho más a esa minoría que concentra la mayoría del caudal concesionado.

Desde la perspectiva de la cantidad y la conservación del recurso, la reducción de la vulnerabilidad y mayor adaptabilidad del RH es deseable y recomendable; para asegurar la sostenibilidad de la prestación de servicios que del mismo se derivan; y con en ello la continuidad del servicio y satisfacción de las diferentes demandas de agua (socioeconómicas y propias del ecosistema). En ese caso una economía con altos niveles de educativos, alta esperanza de vida y elevado PIB per cápita respecto a los otros países, necesariamente tendrá un elevado IDH, aunque su sistema hídrico sea

satisfecho por ejemplo por la importación de agua; no obstante esa situación no es deseable, si ejemplifica la incapacidad del IDH de reflejar aspectos relativos al SH y al agua de una forma directa. Esa relación más bien parece no lineal y multifactorial.

Por otro lado, en Costa Rica los altos grados de concentración de concesiones en unos pocos concesionarios, muestran que no ha sido prioridad el tema de propender por una distribución mayoritaria e inclusiva de los beneficios que se derivan del RH, para que no se concentren en unos pocos sectores y actores. El punto es, el IDH parece no ser un indicador sobre acceso y distribución, y en general funcionalidad de recursos naturales como el hídrico.

Con relación a las mediciones de Vulnerabilidad y Amenaza del RH, es importante indicar que la mayoría no están concebidas respecto al CC. Por ejemplo, el SENARA ha realizado una importante cantidad de estudios sobre acuíferos, y ha anotado sobre la vulnerabilidad de algunos de estos acuíferos, pero no desde un enfoque centrado en el CC. En esta materia el Instituto Meteorológico Nacional (IMN-MINAET), realizó un estudio sobre la adaptación del SH de la zona noroccidental del Gran Área Metropolitana (GAM) ante el CC (IMN, 2007).

Finalmente, el SH está afectando por otra serie importante de elementos (cambio de uso de suelo, patrones de consumo, actividad económica, entre otros) a los previamente ya anotados. Además, debe decirse que Costa Rica, dispone de una bastante deficiente estructura de información del SH. Algunos pocos ejemplos:

- ✓ Sistemas y bases de datos incompatibles, con formatos diferentes e incomunicados. Esto ya se discutió en capítulos previos, en particular en los relativos al análisis de concesiones. La información sobre el aprovechamiento de los acuíferos a través del uso de perforaciones y pozos, es un buen ejemplo de lo anterior. La base de datos del MINAET indica que hay poco más de **2,557** pozos, la del SENARA indica **13, 995**, y la cifra estimada de pozos ilegales es de un 100% más. Así las cosas las autoridades no saben cuántos pozos tiene el país, y usan un rango de **2, 557 a 33,104** pozos, el cual es sumamente impreciso.
- ✓ Con respecto a salud y calidad de vida, la información de calidad del agua puede ser más importante que el dato simple de disponibilidad. Por ejemplo, la cuenca del Tárcoles, se argumenta que el 100% de la escorrentía no es aprovechable por el nivel de contaminación, a la *sui generis* “red” de cloacas en que se han convertidos los ríos¹. Sin embargo, el país no dispone de información continua y homogénea de calidades de agua a diferentes niveles de las cuencas y según punto de origen. De igual forma, más allá de la importante incertidumbre sobre la cantidad de pozos, tampoco se cuenta información sobre las condiciones sanitarias de estos y la amenaza que representan para los acuíferos; así como tampoco cómo está afectando en términos de contaminación los procesos urbanos y los cambios de uso de suelo a los acuíferos. Lo mismo se puede apuntar sobre el estado de nacientes, etc.²

¹El AyA a través de financiamiento del sistema financiero japonés este año anunció avances el proyecto de tratamientos de aguas negras del acueducto metropolitano.

² Un interesante estudio sobre provisión y calidad del agua potable y nivel de bienestar para diferentes cantones de Costa Rica se presenta en Sandoval, J. (2001).

- ✓ Finalmente, los balances hídricos y estudios de disponibilidades realizados hasta al momento en Costa Rica, y citados en este estudio, son en realidad, *simples cálculos determinísticos de dotación* y su diferencia con cantidades demandadas. Por lo cual, no es *factible* conocer la significancia estadística o nivel de confianza de una variación en una disponibilidad ante un cambio a un escenario seco, y evaluar no solo el tamaño de la variación; sino sí su significancia estadística le ofrece respaldo empírico. En ese sentido, esa *contabilidad* hídrica debe ser vistas como un estimado grueso y un simple indicativo, muy distantes aún de ofrecer información completa para contestar esas importantes interrogantes y alimentar una efectiva GIRH.

No cabe duda que sin mayor información sistematizada y vinculada, que incluya calidad y con una mayor investigación que profundice en esta materia el país no avanzará cualitativamente en la medición de la vulnerabilidad del SH al CC, así como de otros elementos que profundicen la GIRH.

16.2 Recomendaciones sobre indicadores

La anterior discusión tiene como objetivo establecer las posibilidades reales para establecer, como indican los términos de referencia, un grupo de “indicadores cualitativos y cuantitativos para determinar cambios en el Balance Hídrico”. Aún en el caso de circunscribirse a un conjunto de indicadores sobre la cantidad de agua (escorrentía), esa es una tarea igual de compleja.

Remitiéndose a la información generada en este estudio, desde el punto de vista de oferta hídrica, y la profundización metodológica que se ha realizado del Método de Holdridge, llevando los estimados a un nivel de celda de 28 X 28 km, las estimaciones logradas del BH son bastantes precisas, tal y como se mostró en el capítulo de BH, y las validaciones de los resultados.

Nótese que esta no fue una investigación de campo usual para estimar un BH. Por el contrario, se requería un método que pudiera estimar el BH sin el uso tradicional de gran cantidad de información de campo requerida en muchos de los métodos y variantes -véase el método de UNESCO (2007) o los parámetros y ecuaciones que postula necesarios el IMTA (2008), etc.-

En ese sentido, las variables críticas para la estimación son la precipitación y altura, y con base en lo explicado detalladamente en la sección de balance hídrico y metodología, con las variables precipitación y altura, a través del Método de Holdridge es factible estimar el BH, y por tanto estimar sus variaciones. Para ello, CIESA en conjunto con el IMN, elaboraron un detallado conjunto de isoyetas, lo cual permite la estimación rápida de los BH. Lo adicional requerido son horas computador.

Por tanto, lo que se requiere es que el IMN-MINAET determine las cuencas deficientemente instrumentadas, y los sitios aptos para la colocación de estaciones. Esto le permitirá obtener, no un indicador de cambios sobre el Balance Hídrico; sino *una estimación uniforme de balances; y a partir de estas directamente calcular las diferencias*, utilizando para ello el IMN-MINAET, información que usualmente genera

y administra: *data de precipitación y altura de sus estaciones hidrometeorológica actuales y nuevas.*

Precisamente, tal y como apunta A. Rodríguez (1983), esta forma de enfrentar la situación, provee una “*metodología de evaluación de los recursos hídricos (cantidad) en cuencas con información insuficiente*”. Es claro que en cuencas con buena información, y en estos días que los procesamientos computacionales permiten la estimación de forma rápida, esas variables (precipitación y altura) posibilitan mejorar sustantivamente los BH’s existentes. Por tanto, este método en sí mismo, surgió como una alternativa para el seguimiento de variaciones en los balances hídricos. Ahora que el IMN lo recibe simplemente debe estarlo actualizando y mejorando.

Esto es relevante para el IMN y el país en tres sentidos, que se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 16. 1 Ventajas de la variable cuantitativa precipitación para el seguimiento de las variaciones en el BH (Método Holdridge).

La variable precipitación y biotemperatura (a través de altura) permite una estimación expedita del BH y por tanto de sus variaciones.

Al igual que hizo CIESA, explicado detalladamente en la sección de balance hídrico y metodología, con la variable “precipitación”, a través del Método de Holdridge, es factible estimar de forma expedita el BH, y por tanto estimar sus variaciones de forma rápida y precisa. Como cualquier estimación, su precisión depende de la calidad y cantidad de información (precipitación en este caso por zona). Eso requiere el trazado de isoyetas, la cual ya se hizo en conjunto con el IMN.

Relación costo/efectividad del BH.

Para el IMN y MINAET, bajo este método la variable cuantitativa precipitación permitirá dar un seguimiento muy costo/efectivo. El no tener que estar agregando una cantidad significativa de variables requeridas con los métodos convencionales, ni mucho información de campo, abarata significativamente los costos sin perder precisión y ganando efectividad.

Incremento de resolución espacial de los BH.

Este variable (precipitación) bajo este método, permite estimar BH por subcuenca o subregiones, en función de la escala utilizada y la disponibilidad de estaciones. Por lo tanto, colocando una cantidad limitada de estaciones, el IMN puede mejorar significativamente el seguimiento de las variaciones en los BH.

Fuente: Marcos Adamson, CIESA para IMN-MINAET-PNUD, 2009.

El potencial de uso de la variable precipitación para el seguimiento de las variaciones de los BH ha sido subestimado. Probablemente, porque Holdridge se adelantó, proponiendo un enfoque que hasta estos días -con el desarrollo computacional- se verifica su facilidad de estimación del BH. En 1983, apuntaba A. Rodríguez “*Esta metodología requiere el concurso de programas computarizados, dado que se manejan y derivan gran cantidad de datos, por lo que sería impráctico su aplicación*

por otros medios". Sin embargo, ese trabajo computacional ya no es una limitante importante.

Quizás la variable más sencilla para lograr estimar escorrentías, si no se desea realizar unos minutos de cálculo en el computador a través del método ya estructurado con esta investigación, es utilizar la escorrentía por km² por cuenca. Sin embargo, es un promedio muy global a nivel de cuenca. Con el método recomendado en este estudio, es posible incluso obtener la escorrentía para una determinada subcuenca o zona, y estar constantemente analizando sus variaciones.

Variables vs indicadores

Es importante indicar que una o un grupo de variables no necesariamente son un indicador. Un indicador no está afectado por unidades de medidas y es un dato relativo, es decir muestra un estado respecto o con relación a otros.

Así por ejemplo, el IMN (2005) presenta varios ejemplos de indicadores, como por ejemplo los mapas de índices de amenaza climática al 2000 (la Figura 3 de ese documento presenta el resultado en un mapa) y el índices de riesgo ante la amenaza climática (fig. muestra el presenta el resultado en un mapa).

16.3. Otros indicadores recomendados

Debe recordarse que el BH varía *fundamentalmente por variaciones climáticas*. Por tanto, no parece sensato recomendar ninguna variable de demanda esté en el corto plazo correlacionada con el BH, para diseñar un indicador a partir de estas. En ese sentido, el IMN regularmente prepara indicadores relevantes de variaciones del BH, entre otros:

Indicador de anomalías de la precipitación mensual por zona, subcuenca o cuenca.

$IAP_{it} = (X_{it} - \text{Promedio } t) / \text{Promedio } t$, donde X_i es la precipitación en la zona i al momento t (mensual por ejemplo). Este simple indicador ofrecerá información de las variaciones en las precipitaciones, y por tanto, ofrece importante información de las variaciones en BH. Es claro que otras variables de la oferta (temperaturas, radiación solar, viento, evapotranspiración, etc.) en general no muestran relaciones biunívocas y simples con la escorrentía.

Sin embargo, considerando los principales recomendaciones emitidas durante la conferencia Mundial de Reducción de Desastres (véase Adamson, 2006 y 2008) sería de mayor utilidad pretender construir un conjunto de indicadores cualitativos y cuantitativos que afecten el Sistema Hídrico, más que del BH, como hizo el IMN (2005). Esto porque, permiten identificar elementos claves para reducir vulnerabilidad (según Acta de Hyogo, Kobe, 2005, citado por Adamson, 2008).

De forma adicional, a continuación se presenta una lista de indicadores modulados sobre el SH recomendados para un año t . Estos ofrecen información fundamentalmente de la cantidad de agua (**A**) disponible; demanda (**DA**) y el tipo de manejo (**M**) y eficiencia en su aprovechamiento, por eso para simplificar se denominan indicadores $ADAM_{i,j}$. Donde la i señala el módulo y la j el indicador específico.

16.3.a. Módulo 1: Concentración y acceso al recurso a través de las concesiones

- ✓ *ADAM_{1,1}. Concentración de concesiones:* Número de concesiones *totales por cuenca/Número total de concesiones del país*
- ✓ *ADAM_{1,2}. Concentración del caudal:* Caudal total (l/s) concesionado por cuenca/Caudal total concesionado del país
- ✓ *ADAM_{1,3}. Caudal promedio concesionado por cuenca:* Total de caudal (l/s) concesionado por cuenca/número de concesionarios por cuenca.

Esos indicadores pueden modularse también a nivel de subcuenca. La información proviene de la base de datos de concesiones, Dpto. de Aguas del MINAET.

Excepto por el caudal promedio, las anteriores son proporciones y por tanto son indicadores de la concentración por cuenca de las concesiones y caudales concesionados.

Los capítulos 3, 4 y 5 de este informe, muestran una amplia cantidad de estimaciones de esos indicadores que ejemplifican su aplicación para el caso de Costa Rica entre cuencas y a nivel de una cuenca. Ese último caso, reflejan la concentración por concesionario. De igual forma, como muestran esas secciones se pueden estimar a nivel de fuente: es decir, solo para el caso de nacientes, pozos, ríos, etc., de manera que la batería de indicadores se multiplica de forma importante.

Estos son de relevancia ya que evidencian que tan distribuido o concentrado está el acceso al recurso hídrico, y sobre cuáles cuencas y concesionarios, según sus fuentes.

También, está la alternativa de construir un indicador más elaborado (véase Adamson,

$$\text{Índice} = \frac{x_i - \text{mín}(x)}{\text{máx}(x) - \text{mín}(x)} \times 100$$

2008) del tipo: (1).

Ese índice permite disponer de un indicador comparativo. Por ejemplo, la cuenca con mayor porcentaje de caudal concesionado obtendría un 100% de concentración de caudal, y la que ostente la menor proporción de caudal concesionado tendrá un 0%. Por lo tanto, permite directamente realizar la comparación entre las cuencas en una escala 0 a 100%.

Cuadro 16.2. Propuesta de Indicadores de concentración de acceso por cuenca

	Caudal total (l/s)	Indicador de concentración de caudal	Proporción de concentración de caudal
San carlos	117.393	100%	31%
Reventazón	77.864	57%	20%
Tárcoles	59.428	37%	16%
Sarapiquí	29.448	5%	8%
Zapote	25.058	0%	7%
Otras cuencas	71.632	N.A	19%
Total	380.823		100%

Fuente: Diseñado por Marcos Adamson, con base en Dpto. de Aguas, MINAET (al 2008), 2010.

La columna 3 del cuadro anterior, muestra la proporción de caudal por cuenca concesionado (31% se concentra en San Carlos, 20% en Reventazón, etc.). Es decir, la distribución de caudal está bastante concentrada, solo 2 de 34 cuencas concentran más del 50% de todo el caudal concesionado en el país.

La segunda columna muestra un indicador utilizando la ecuación 1. El cuadro identifica en verde el máximo y mínimo de concentración entre cuatro cuencas. La lectura es directa y comparativa entre estas: San Carlos muestra el máximo de concentración de caudal concesionado entre esas cuencas; por eso tiene un 100%, Sarapiquí está en un 5% de concentración, y Zapote 0% por ser la de menor concentración en ese subgrupo de cuencas. El indicador se puede así estimar para todas las cuencas y como se indicó dentro de una cuenca evidenciaría la concentración por concesionario. Por simplificar el ejemplo, no se listan las 34 cuencas, precisamente para mostrar que para obtener importantes conclusiones, si el indicador es el apropiado no es necesario incluir todas las cuencas, ya que el grupo de “Otras cuencas” compuesto por 29 cuencas concentran tan solo 19% del caudal total concesionado en el país.

Sobre demanda y acceso por sector usuario:

- ✓ ADAM_{1,4}. Concentración de demanda de agua por sector usuario nacional: Cantidad de agua consumida por el sector i / total de agua consumida por los sectores del país.
- ✓ ADAM_{1,5}. Concentración de demanda de agua por usuario a nivel de cuenca: Cantidad de agua consumida por el sector i en la cuenca j /total de agua consumida en la cuenca j .
- ✓ ADAM_{1,6}. Consumo humano de agua per cápita: Cantidad de agua consumida en el sector consumo humano /habitantes (a nivel de cuenca o país).
- ✓ ADAM_{1,7}. Consumo total de agua per cápita: Cantidad de agua consumida por todos los sectores/población (a nivel de cuenca o país).

En este caso, tal y como muestra el capítulo de demanda, la aplicación es muy variada y múltiple, y de la misma forma que el caso anterior, se pueden elaborar indicadores cuantitativos simples con la ecuación 1.

Quizás una de los principales usos de los indicadores es revisar la eficiencia que los sectores demandantes hacen del recurso hídrico.

16.3.b. Módulo 2. Indicadores de eficiencia económica hídrica

ADAM_{2,1}. Producción por m^3 de agua hidrogenerada (ICE): PIB/ m^3 total turbinado por el ICE. (Si se dispone del volumen total hidrogenerado, público más privado, se puede ampliar el indicador).

Ese indicador presenta en promedio la producción generada o PIB (dólares constantes) que permite cada m^3 de agua utilizada en la hidrogeneración eléctrica por la

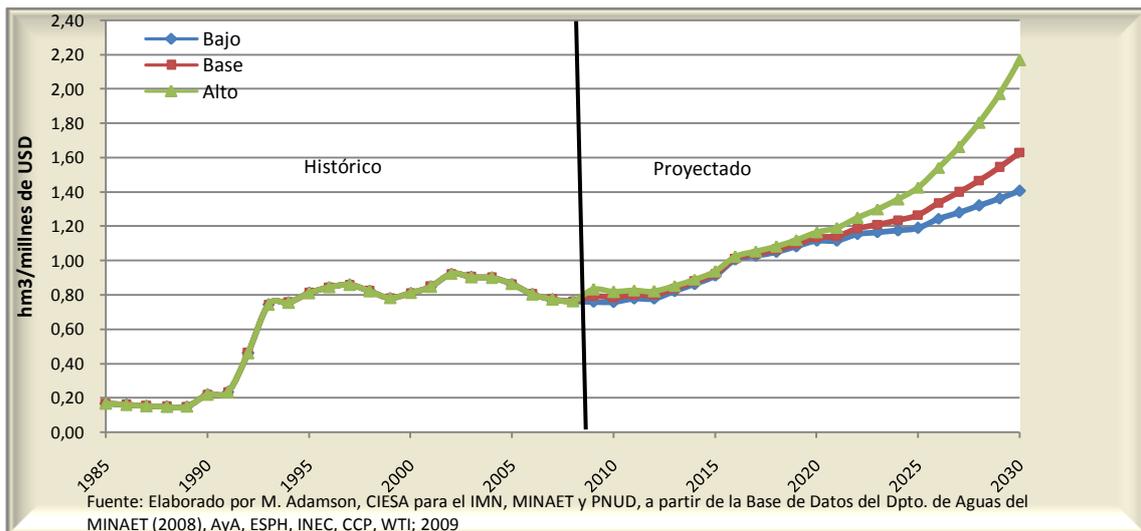
infraestructura del ICE. El gráfico 16.1 muestra la relación, y se observa que los modelos pronostican que se estacionará en \$1.4 (constantes del 2005) por m³ hidrogenerado por el ICE, para el caso de Costa Rica. En este caso es un indicador de la eficiencia de todo el sistema económico al utilizar la hidrogeneración del ICE, y también está afectado por la eficiencia en la hidrogeneración del ICE.

Es deseable, que ese indicador se incremente, mostrando que por m³ la economía es capaz de generar un mayor valor agregado (PIB), y por tanto para lograr un nivel de producción determinado se requeriría una menor cantidad de agua para hidrogeneración.

Lastimosamente, Costa Rica no lleva aún cuentas nacionales regionales. Si las estimara por cuenca hidrográfica, eso haría factible estimar ese indicador a nivel de cuenca, y con ello comparar las eficiencias del uso del caudal hidrogenerado entre las cuencas.

ADAM_{2,2}: Producción por m³ de agua total consumida: PIB/m³ total agua consumida por el país.

Gráfico 16.1. Indicador ADAM_{2,2} (para un régimen de aprovechamiento de 24 horas)

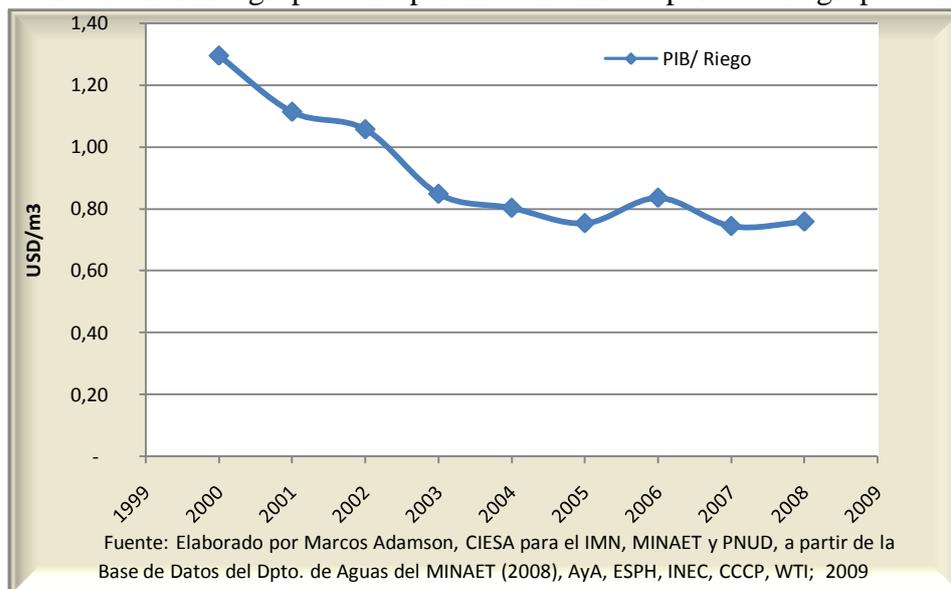


Este indicador fue estimado en el capítulo de demanda, allí se explican sus resultados. El gráfico 16.1, ejemplifica su aplicación histórica y proyecciones futuras.

De igual forma se pueden confeccionar ese tipo de indicadores para el total de sectores usuarios sin incluir energía (véase el capítulo de demanda).

ADAM_{2,3}. Eficiencia del uso del agua en el sector agropecuario: PIB agropecuario/m³ de agua consumidos en el sector agropecuario.

Gráfico 16.2. PIB agropecuario por m³ consumidos por sector agropecuario



Como se observa la eficiencia en el uso del agua del sector agropecuario viene disminuyendo, y se ubicó para el 2008 en \$0.8/m³ de agua utilizado.

Este tipo de indicadores se puede elaborar por sector usuario.

ADAM_{2.4}. Eficiencia nacional en el uso del agua: PIB/consumo total de agua:

ADAM_{2.5}. Consumo total de agua per cápita por cuenca: Consumo total/población.

Cuadro 16.3 ADAM_{2.5}: Consumo per cápita total por cuencas (m³/población)

Cuenca i	2010
BANANITO	2.172
BANANO	3.001
BARU	474
CHANGUINOLA	n.a
CHIRRIPO	11.029
CUREÑA	n.a
DAMAS	3.963
ESQUINAS	362
JESUS MARIA	256
LA ESTRELLA	109
MADRE DE DIOS	135
MATINA	100
MOIN	819
PENINSULA DE OSA	124
POCOSOL	37
SIXAOLA	24
TORTUGUERO	119
TUSUBRES	501
ZAPOTE	16.967
Subtotal cuencas de	3.026

Fuente: Marcos Adamson, CIESA para IMN-MINAET-PNUD, 2010.

Con esa razón, es sencillo monitorear la demanda total de agua por cuenca. En primer lugar es clara la gran variabilidad entre las diferentes cuencas, lo cual se debe a que algunas utilizan agua para energía; y además la población varía importantemente entre cuencas. Si lo desea el usuario puede agruparlas por tipo de cuenca y comparar la eficiencia entre estas. Muestra cuánta agua están necesitando las actividades socioeconómicas de una cuenca.

También, es posible que el consumo esté subregistrado en algunas de estas cuencas, para lo cual también el dato permite identificar las cuencas objetivo a revisar los registros de consumo de consumo sectoriales de agua, y las razones que pueden estar afectándolo si ese fuera el caso. En ese caso, por ejemplo se excluye adrede dos cuencas: Changuinola, porque no registra información de población, y Cureña, que a pesar de que reporta, es tan baja la población (233 habitantes) que puede considerarse una cuenca prácticamente despoblada. El especialista que elabora los índices debe tener conocimiento suficiente para lograr determinar los “outliers” para no distorsionar el conjunto de resultados.

ADAM_{2,6}. Eficiencia del consumo humano de agua por persona por cuenca: Consumo humano de agua cuenca i/Población cuenca i.

Con esta simple relación o su equivalente traducido a indicadores, es sencillo, conocer las demandas por cuencas para consumo humano, así como proyectar necesidades de consumo humano en localidades, y dimensionar acueductos en función de las demandas actuales y futuras con proyección de población.

ADAM_{2,7}. Eficiencia del consumo de agua en turismo: Turistas total (al año)/consumo total de agua sector turismo.

Este indicador o cualquier variante del mismo, permitirá en particular en las cuencas con mayor turismo evaluar qué tan intensiva en agua es la actividad turística.

En los anexos digitales se incluyen extensas bases de datos, y hojas electrónicas que permiten el desarrollo de este tipo de indicadores, del lado de la demanda.

16.3.c. Módulo 3. Indicadores de disponibilidad y vulnerabilidad relativa para satisfacción de necesidades de agua

Con la variable disponibilidad absoluta, se puede estructurar diferentes indicadores de vulnerabilidad de la disponibilidad, por ejemplo:

$$ADAM_{3,1} = (1 - ((D_i - \text{Min}(D_1 \dots D_{34}) / (\text{Max}(D_1 \dots D_{34}) - \text{Min}(D_1 \dots D_{34}))))) \times 100$$

Cuadro 16.4. Indicador ADAM_{3,1}: Indicador de disponibilidad absoluta entre cuencas

Cuencas	2010
Abangares	90%
Bananito	98%
Banano	97%
Barranca	93%
Barú	82%
Changuinola	n.a
Chirripó	3%
Cureña	n.a
Damas	87%
Esquinas	31%
Frío	63%
Jesús María	94%
La Estrella	74%
Madre de Dios	98%
Matina	53%
Moín	100%
Naranjo	92%
Pacuare	80%
Parríta	85%
Pen. Nicoya	73%
Península de Osa	4%
Pocosol	72%
Reventazón	35%
San Carlos	48%
Sarapiquí	28%
Savegre	87%
Sixaola	0%
Tárcoles	72%
Tempisque y Bebedero	75%
Térraba	18%
Tortuguero	35%
Tusubres	78%
Zapote	70%

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA, para IMN-MINAET-PNUD, 2010.

En este caso, el indicador mide la vulnerabilidad de cada cuenca de ostentar una disponibilidad que cumpla con las necesidades totales de agua con relación a las demás. Entre mayor el indicador mayor la vulnerabilidad. Como puede verse, Moín muestra la vulnerabilidad máxima y Sixaola la mínima. La mayoría de las cuencas muestran un nivel elevado de vulnerabilidad relativo. El caso de la cuenca del Tárcoles merece destacarse: Si además, de una simple diferencia de una dotación y consumo, la disponibilidad indicará agua efectivamente susceptible de disponer, porque su calidad lo permite, probablemente la disponibilidad de la cuenca de Tárcoles, sería cercana a cero, y se encontraría con una vulnerabilidad del 100% de lograr satisfacer las necesidades hídricas de sus actividades socioeconómicas. El cuadro 16.4 presenta los resultados para una vulnerabilidad pronosticada para el 2010.

Una forma de estandarizar ese indicador de vulnerabilidad relativa entre cuencas según el tamaño de las necesidades hídricas, es utilizar una disponibilidad per cápita (Dp). En ese caso el indicador se modifica como sigue:

$$ADAM_{3,2} = (1 - ((Dp_i - \text{Min}(Dp_1 \dots Dp_{34})) / (\text{Max}(Dp_1 \dots Dp_{34}) - \text{Min}(Dp_1 \dots Dp_{34})))) \times 100$$

Cuadro 16.5. Indicador ADAM_{3,2}: Vulnerabilidad de la disponibilidad hídrica per cápita entre cuencas

Cuencas	2010
Abangares	98%
Bananito	85%
Banano	85%
Barranca	98%
Barú	63%
Changuinola	na
Chirripó	78%
Cureña	na
Damas	85%
Esquinas	83%
Frío	75%
Jesús María	96%
La Estrella	85%
Madre de Dios	96%
Matina	82%
Moín	99%
Naranjo	86%
Pacuare	91%
Parrita	98%
Pen. Nicoya a.	95%
Península de Osa	0%
Pocosol	80%
Reventazón	98%
San Carlos	96%
Sarapiquí	81%
Savegre	64%
Sixaola	36%
Tárcoles	100%
Tempisque y Bebedero	98%
Térraba	94%
Tortuguero	91%
Tusubres	87%
Zapote	91%

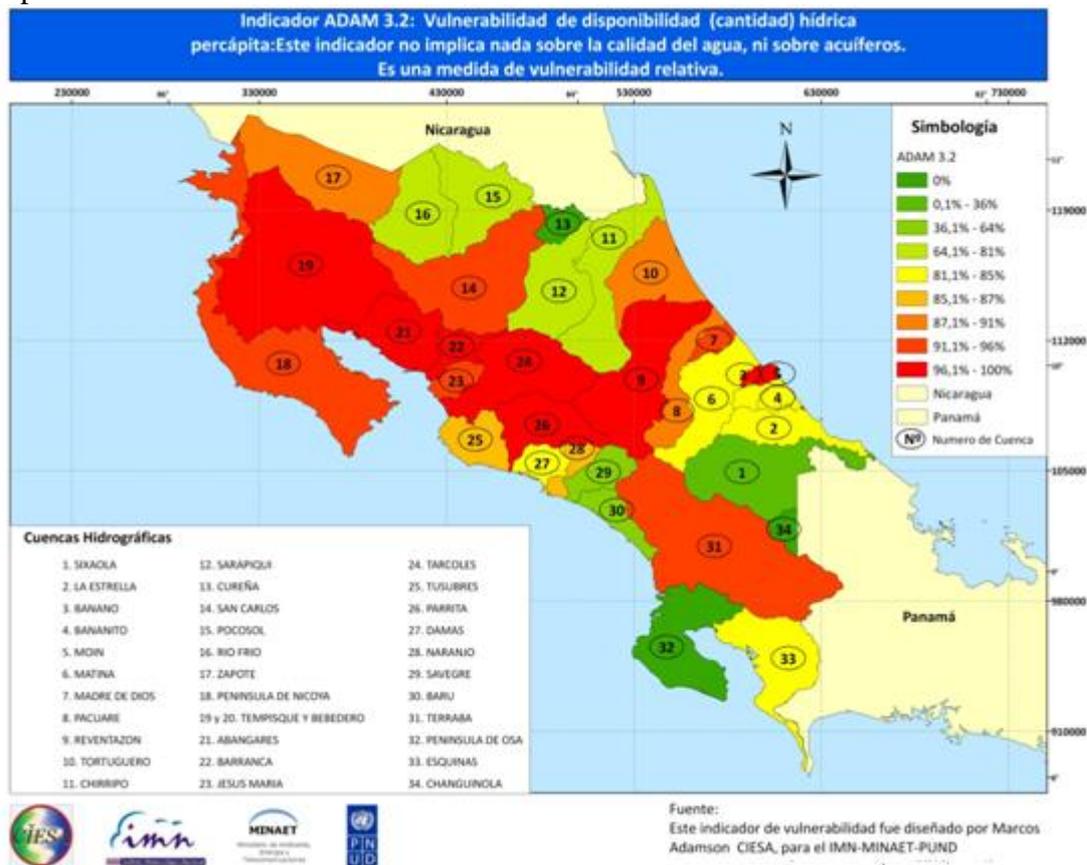
Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, CIESA, para IMN-MINAET-PNUD, 2010.

n.a.: Estas cuencas prácticamente no contabilizan población, por lo que su demanda para fines de consumo es mínima. Se excluyen para indicar que su vulnerabilidad a la continuidad y satisfacción de la demanda es casi nula

En este caso, sin lugar a dudas, la cuenca de Tárcoles logra la máxima vulnerabilidad, aún a pesar de que su disponibilidad hídrica se supone utilizable en un 100%, lo cual efectivamente no es así. Ese 100% indica que esa cuenca es la que en términos per cápita ostenta la menor disponibilidad per cápita hídrica entre todas las cuencas del país. Lo anterior debido a su alta concentración de población del país (2. 372.153 habitantes estimados para el 2010).

Por tanto, bajo un choque externo, que genere una escasez de agua, la cuenca del Tárcoles es la que tendría mayores problemas para satisfacer todas sus necesidades, en el estado actual de inversión de infraestructura de provisión hídrica. En este caso, la figura siguiente muestra el resultado para Costa Rica. Se ha excluido datos “outliers”.

Figura 16. 1. ADAM_{3,2}. Vulnerabilidad de la disponibilidad hídrica per cápita en Costa Rica por cuenca.



La figura evidencia importantes niveles de vulnerabilidad hídrica per cápita, particularmente en las cuencas productoras de energía y costeras, en especial del Pacífico Norte y Central y Moín.

Nótese que este indicador, reconoce abiertamente que la dotación del recurso, respecto a las necesidades (demanda) del sistema socioeconómico, y compara entre cuencas, con objeto de evidenciar en cuáles se presentarían una mayor vulnerabilidad respecto a las demás. De esta manera indica cuáles cuencas serían las que tendrían mayores grados de libertad como exportadoras, una vez mejorada la eficiencia de la oferta y demanda de las cuencas con mayor vulnerabilidad.

La relación $O_i/D_i = V_i$ también es una interesante tasa, la cual indica el número de veces que el SH puede atender la demanda (la sección de disponibilidades muestra los resultados de esta variable).

Además, se puede también elaborar indicadores de la cuenca a partir de V_i :

$$ADM_{3,3} = 1 - (V_i - \text{Min}(V_i)) / (\text{Max}(V_i) - \text{Min}(V_i)); i = 1 \dots 34.$$

Vulnerabilidad hídrica al cambio climático

A continuación, se muestra simplemente algunos posibles indicadores que muestra información sobre la Vulnerabilidad de la Oferta y Disponibilidad Hídrica a un cambio climático de estación normal a seca. Sin embargo, lo destacado al inicio de esta sección debe tenerse muy cuenta al analizar esta sección. Con relación al impacto del cambio climático, por ejemplo un escenario más seco, se puede definir dos indicadores:

Indicador de sensibilidad de la oferta hídrica ante un año seco:

$$ADAM_{3,4}: \text{seco} = Si = (O_{ni} - O_{si}) / O_{ni}, i = 1 \dots 34.$$

Así como el Indicador de vulnerabilidad relativo de la oferta total por cuencas ante un año seco:

$$ADAM_{3,5}: = (S_i - \text{Min}(S_i)) / (\text{Max}(S_i) - \text{Min}(S_i)), i = 1 \dots 34.$$

El siguiente cuadro presenta los resultados para las cuencas bajo estudio.

Cuadro 16.6. Costa Rica: Indicador de sensibilidad y de vulnerabilidad de la oferta hídrica ante un Año seco. ADAM_{3,4} y ADAM_{3,5}

Cuenca	ADAM 3,4: Sensibilidad de la Oferta total de agua año normal ante un año seco	ADAM 3,5:Indicador relativo de vulnerabilidad de la oferta total entre cuencas ante un año seco
Bananito	24%	44%
Banano	24%	45%
Barú	24%	42%
Changuinola	23%	41%
Chirripó Norte	24%	45%
Cureña	37%	89%
Damas	25%	46%
Esquinas	24%	43%
Jesús María	40%	100%
La Estrella	28%	58%
Madre de Dios	34%	81%
Matina	24%	43%
Moín	29%	63%
Península de Osa	38%	94%
Pocosol	12%	0%
Sixaola	29%	63%
Tortuguero	23%	42%
Tusubres	12%	2%
Zapote	37%	91%
Subtotal	27%	

Fuente: Elaborado por Marcos Adamson, para IMN-MINAET-PNUD, 2010

Resulta destacable que cuencas, como Tusubres, la cual por su posición y orografía está constantemente expuesta a las inclemencias del clima de Pacífico Central, muestre una sensibilidad relativamente baja ante un año seco. Esto se debe probablemente a que su

sistema hídrico está relativamente ajustado a condiciones secas. No así cuencas del como Jesús María, que muestra la mayor vulnerabilidad y Madre de Dios. La Península de Osa y Cureña muestran importantes sensibilidades a un cambio de un régimen normal de su cuenca a uno seco. Tal y como se explicó en la sección de estimación del balance, cada escenario seco es particular para cada cuenca, es decir no supone que es el mismo año seco para todo el país; sino que muestra un episodio seco en específico para esa cuenca (véase el cap. de metodología de la oferta hídrica para ver los años correspondientes por cuenca).

Sensibilidad de la disponibilidad ante un año seco por cuenca:

$$ADAM_{3,6} = \frac{D_{ni} - D_{si}}{D_{ni}}; i = 1 \dots 3$$

Indicador de variación de la disponibilidad total ante un año seco por cuenca:

$$ADAM_{3,7} = \frac{(D_{ni} - D_{si}) - \text{Min}(D_{ni} - D_{si})}{(\text{Max}(D_{ni} - D_{si}) - \text{Min}(D_{ni} - D_{si}))} \times 100$$

El cuadro 16.7 presenta los resultados para las cuencas objeto de estudio, y la figura 16.2 presenta un mapa para el caso del indicador de sensibilidad relativa de la oferta $ADAM_{3,5}$ y vulnerabilidad de la disponibilidad, frente a un año seco por cuenca ($ADAM_{3,7}$).

Cuadro 16.7. Costa Rica: Indicador de sensibilidad y de vulnerabilidad de la disponibilidad ante un Año seco. $ADAM_{3,6}$ y $ADAM_{3,7}$

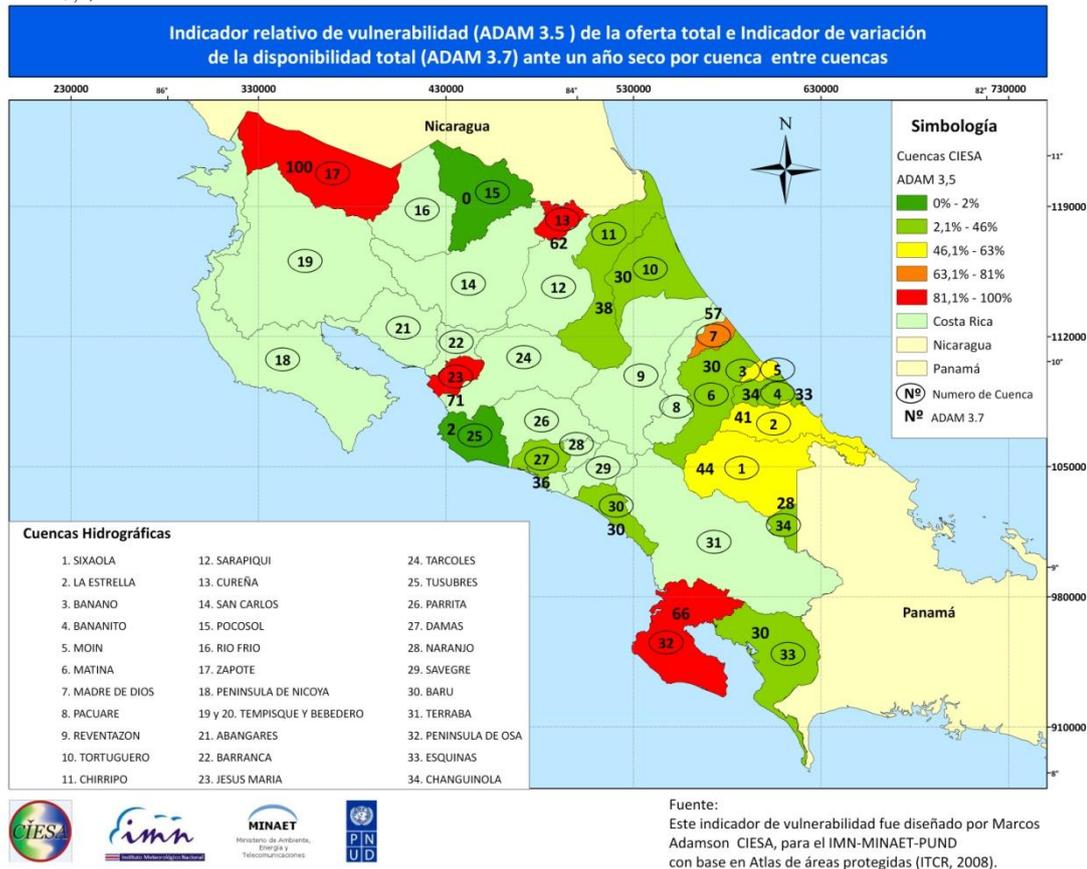
Cuenca	ADAM 3,6 : Sensibilidad de la disponibilidad ante un año seco por cuenca	ADAM 3,7: Indicador de variación de la disponibilidad total ante un año seco por cuenca
	2010	2010
Bananito	25%	33%
Banano	25%	34%
Barú	24%	30%
Changuinola	23%	28%
Chirripó Norte	27%	38%
Cureña	37%	62%
Damas	26%	36%
Esquinas	24%	30%
Jesús María	41%	71%
La Estrella	28%	41%
Madre de Dios	35%	57%
Matina	24%	30%
Moín	36%	59%
Península de Osa	38%	66%
Pocosol	12%	0%
Sixaola	29%	44%
Tortuguero	24%	30%
Tusubres	12%	2%
Zapote	52%	100%
Subtotal	28%	41%

Fuente: Marcos Adamson, CIESA, para IMN-MINAET-PNUD, 2010.

El Indicador muestra cuál cuenca sería la más vulnerable, es decir la que experimentaría la mayor reducción de disponibilidad en año normal con demanda en escenario base a una disponibilidad en año seco y también con demanda en escenario base.

En este caso se ha estimado para las cuencas bajo estudio. Para las cuencas cubiertas por el estudio del IMTA no es factible realizar el cálculo, debido a que no se cuentan con las demandas detalladas, y tampoco se dispone de una disponibilidad en año normal por cuenca.

Figura 16.2. Indicador de sensibilidad de la oferta ante un año seco por cuenca (ADAM_{3,5}) y Vulnerabilidad de la disponibilidad ante un año seco por cuenca (ADAM_{3,7}).



De manera congruente con los indicadores de vulnerabilidad del lado de oferta, nuevamente Tusubres aparece como la cuenca que muestra menor la disponibilidad con menor vulnerabilidad ante un año seco. Esto se debe a que la variación de disponibilidad ante el cambio climático en este caso, mantiene constante la demanda, lo aísla de la condición de año seco sobre la disponibilidad.. En general, la mayoría de las otras cuencas objeto de este estudio no se muestran tan vulnerables ante una variación de año seco. Sobresale Zapote con la mayor vulnerabilidad en la disponibilidad ante el cambio climático, Península de Osa y Jesús María.

Algunos otros indicadores de vulnerabilidad sobre diferentes características del sistema hídrico, principalmente de lado de la oferta de Agua, se presentan a continuación:

Se pueden diseñar indicadores con información cuantitativa, pero que ofrecen una información más cualitativa. Por ejemplo, con base en el porcentaje de área protegida bajo alguna modalidad dentro de la cuenca se puede preparar un indicador del nivel de vulnerabilidad del recurso hídrico superficial. Este indicador presume que aquellas áreas

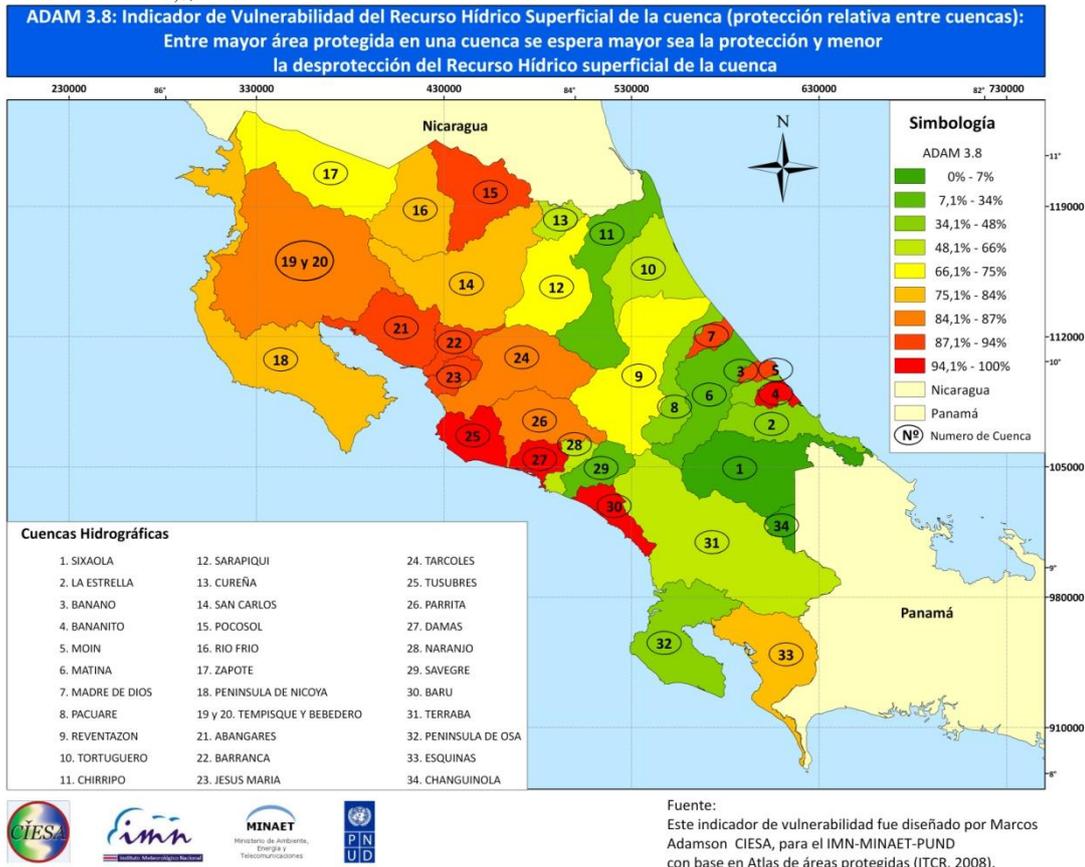
protegidas proporciona un estado que favorece la conservación y disminuye la vulnerabilidad del recurso hídrico.

$$ADAM_{3,8} = 1 - \frac{(P_i - \text{Min}(P_i))}{(\text{Max}(P_i) - \text{Min}(P_i))} \times 100$$

Donde, $P_i = \text{Área bajo protección en Cuenca } i / \text{Total área cuenca } i$
 $i = 1 \dots 34$.

La figura 16.3 presenta el resultado.

Figura 16.3. Indicador de vulnerabilidad del recurso hídrico superficial (protección relativa, $ADAM_{3,8}$)



Changuinola ostenta un 0%, porque es un área protegida en su totalidad y en teoría por tanto su recurso hídrico es el menos vulnerable.

El siguiente indicador propone un índice de dotación relativa de un acuífero en la cuenca:

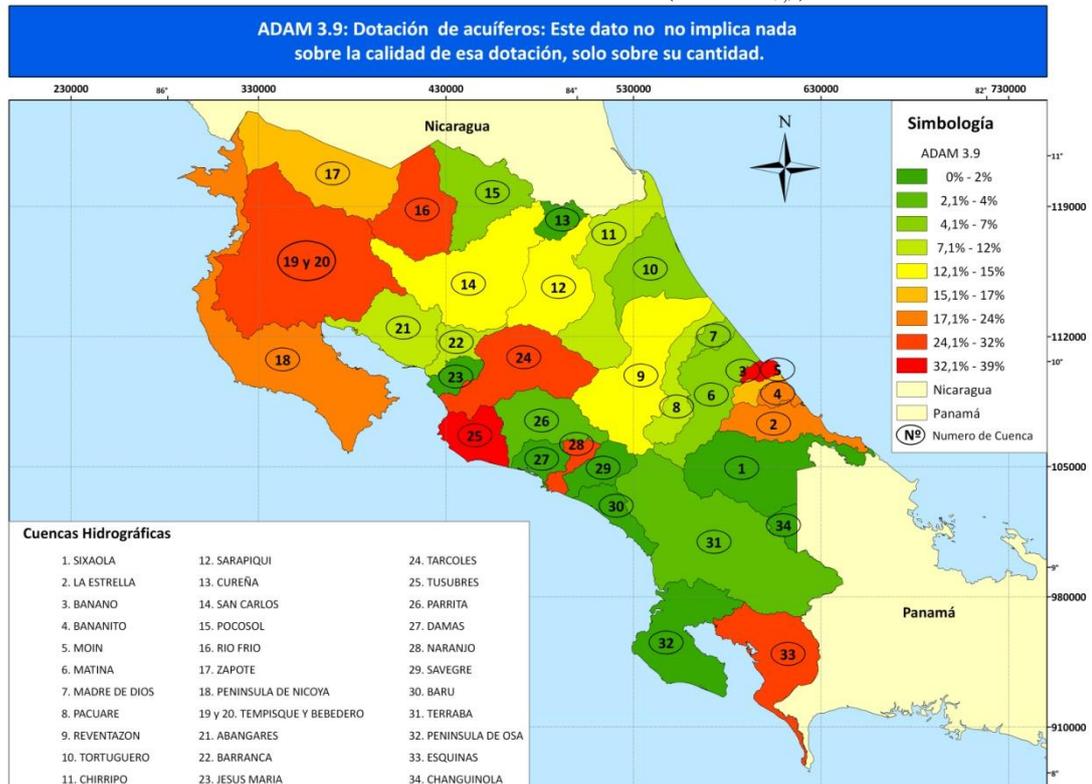
$$ADAM_{3,9} = \frac{\text{Área de acuíferos en la cuenca } i}{\text{área total de cuenca } i}$$

Un indicador aún más riguroso de dotación, indica la fracción de ese acuífero que está protegido por alguna área de protección. Por tanto, el complemento de esa proporción muestra un indicador de la vulnerabilidad potencial de esos acuíferos.

$ADAM_{3,10} = 1 - (\text{Área de acuíferos dentro de un área protegida en la cuenca } i / \text{área de la cuenca } i).$

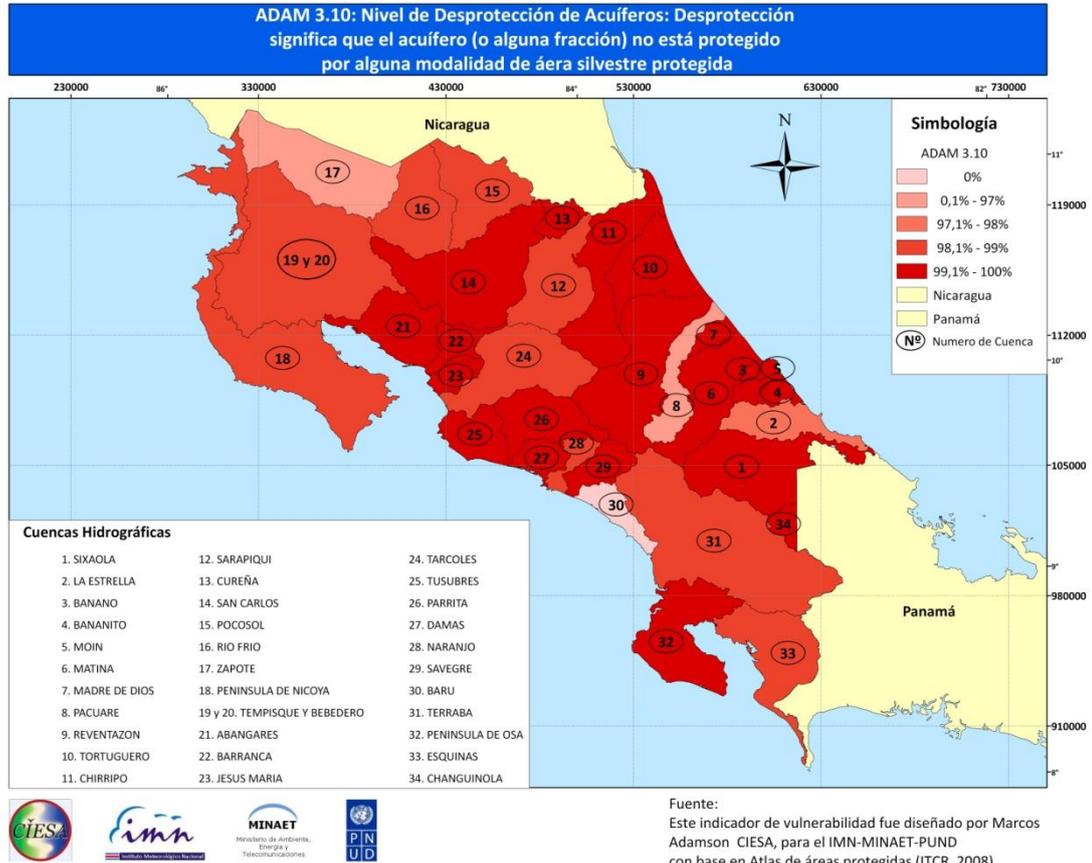
Estos indicadores son particularmente importantes, ya que debido a la naturaleza de los acuíferos, estos pueden contaminarse severamente con tan solo un manejo inadecuado de contaminantes o desechos, o directamente a través de un pozo que se contamina.

Figura 16.4. Indicador de dotación relativa de acuífero ($ADAM_{3,9}$)



Fuente:
Este indicador de vulnerabilidad fue diseñado por Marcos Adamson CIESA, para el IMN-MINAET-PNUD con base en Atlas de áreas protegidas (ITCR, 2008).

Figura 16.5 nivel de desprotección de acuíferos (ADAM_{3,10}).



El resultado de estos dos indicadores que muestran las figuras 16.a y 16.5 es interesante: Por un lado, Tusubres es una de las cuencas con mayor área de acuíferos, pero por otro el 100% de estos no está bajo ninguna área de protección. Las Zonas de Restricción de Uso de Suelo han sido utilizadas y argumentadas para proteger los acuíferos.

La figura 16.6 presenta un indicador compuesto de vulnerabilidad.³

En este caso y siguiendo a Adamson (2008), se postula el siguiente indicador, a manera de ejemplo, de los muchos que se pueden diseñar:

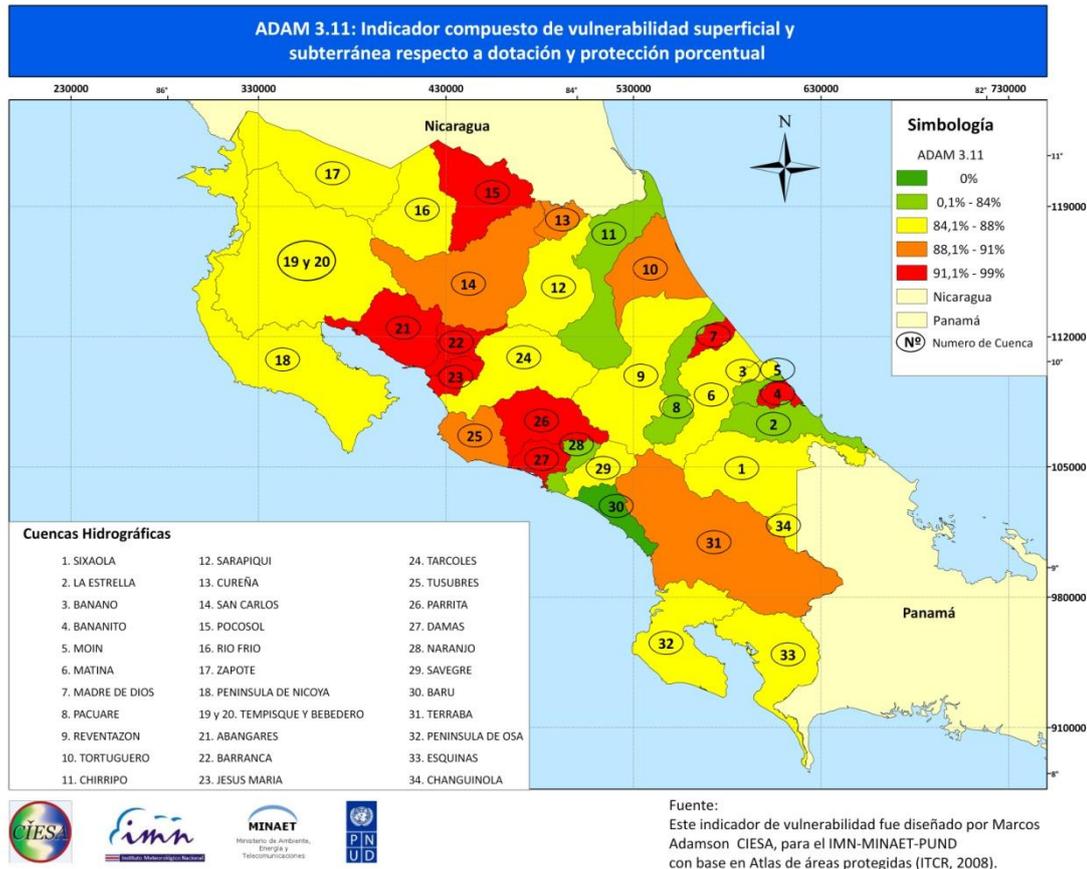
$$ADAM_{3,11} = \left\{ \frac{1}{3} \left\{ (1 - P_i)^3 + (1 - ADAM_{3,9})^3 + (ADAM_{3,10})^3 \right\} \right\}^3$$

³ Para un mayor detalle véase Adamson, 2008.

ADAM_{3,11}, es un indicador compuesto, el primer elemento capta la desprotección superficial del recurso hídrico (1-Pi); el segundo elemento capta la carencia relativa de acuíferos (el complemento de la dotación), y el tercer elemento captura la desprotección de los acuíferos en áreas de protección. Los exponentes son los ponderadores de importancia relativos, siguiendo a A. Zenn.

El resultado se presenta a continuación,

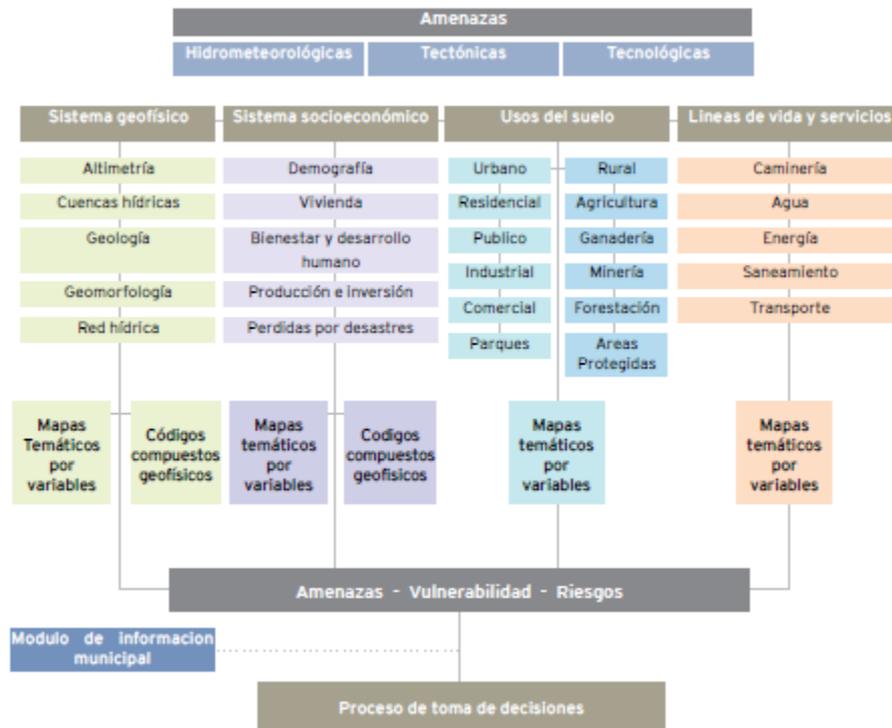
Figura 16.6. Indicador compuesto de vulnerabilidad del sistema hídrico superficial y de acuíferos (en términos de dotaciones y zonas protegidas)



Otra alternativa es (archivo análisis de acuíferos 1, y carpetas mapas marcos), y con esto y el ajuste del cuadro de retos y oportunidades para conclusiones ajustado a cuencas, en conclusiones.

En general lo ideal sería organizar información por diferentes amenazas y vulnerabilidades con objeto de proceder luego a evaluar la reducción de vulnerabilidad que generan mayores beneficios socioeconómicos. Un esquema como el apuntado en Adamson (2008, et al) y que muestra el diagrama 16.2 esquematiza la organización a organizar por grandes módulos, donde la de las cuencas hídricas es un módulo que se integra con el resto de módulos.

Diagrama 16.2



Bibliografía

Adamson, M., G. Fernández y A. González (2008). Sistema de Gestión Integral Ambiental Municipal. Publicado por el Centro Internacional para la Investigación para el Desarrollo, Canadá.

Adamson, M. Cap. II y VII. CIESA para la Asociación de Estados del Caribe (2003). Análisis de fondos nacionales en América Latina y el Caribe. En Estudio de Factibilidad Financiero y Económico para un Fondo de Reconstrucción Post-Desastres,.

Adamson, M. (2006) Desastres en Centroamérica: Una Ancla para el desarrollo humano. Presentado en la Reunión Mundial de Reducción de Desastres, Kobe, Cumbre Mundial de Desastres.

Anand S. y A.K. Sen. (1997) Concepts and human developmet and poverty: A multidimensional perspective. Background paper for Human Developmet Report, NY. PNUD.

Instituto Meteorológico Nacional-MINAE. (J. Retana, R. Villalobos y M. Campos), (2007). Adaptación del sistema hídrico de la zona noroccidental de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica al Cambio Climático.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) (2008). Elaboración de balances hídricos por cuencas hidrográficas, propuesta de modernización de las redes de medición en Costa Rica. Balances hídricos mensuales, Oferta y Demanda.

ICE (Rodríguez, A.) (1983).Evaluación indirecta de los recursos hídricos de una cuenca.

Sandoval, J.F. (2001). Importancia de la disponibilidad y calidad del agua sobre la salud y el desarrollo socioeconómico: El caso de Costa Rica. Tesis de Grado. Maestría en Política Económica para Centroamérica y el Caribe. UNA.

UNESCO-ICE (R. Chacón). Balance hídrico superficial de Costa Rica. Periodo 1970-2002.

17. Problemas y amenazas

17.1 Problemas y amenazas para la calidad y cantidad del recurso hídrico en las 19 cuencas

Como problema y amenaza que comparten las 19 cuencas, está la insuficiente y frecuentemente inexistente red de medición hidrometeorológica. La falta de información no permite dimensionar ni verificar los balances hídricos con total certeza, así como para evaluar la gravedad o bondad de los procesos naturales asociados al agua y las condiciones climáticas.

Las cuencas más afectadas por sobreuso de la tierra corresponden principalmente a las de la Vertiente del Pacífico, particularmente la parte norte y central, en donde se presentan condiciones climatológicas caracterizadas por un período seco importante, típico de las zonas subhúmedas secas. Estas zonas, en especial el Pacífico Norte, periódicamente presentan el mayor número de sequías prolongadas. De acuerdo con esta información, en Costa Rica existen varias cuencas que tienen parte de sus tierras sobreutilizadas y lo peor es que hay otras, en condición de gravemente sobreutilizadas. El Cuadro 6 demuestra que más de un 20% del territorio del Pacífico se encuentra en diversas formas de sobreuso (categorías O y Ot) y degradación, y el Cuadro 7 da cuenta de las cuencas más deterioradas por esa causa.

Región Caribe Sur:

Sixaola: Esta cuenca tiene una población una densidad de población muy baja y con una actividad económica poco significativa. Por ese motivo se puede considerar como una de las menos alteradas por la actividad humana en el país. Los principales impactos se dieron por las plantaciones principalmente de banano que iniciaron en la década de 1930 en las llanuras de inundación en la parte baja de la cuenca, que han traído como consecuencia la afectación de la calidad del agua por contaminación con agroquímicos que por muchos años fueron rociados desde el aire afectando grandes extensiones lejos de la ribera del río.

Estas actividades se han mantenido e incrementado en los últimos años junto a otras actividades propias del desarrollo económico que se ha dado en las comunidades Bribri hasta el pueblo de Sixaola principalmente.

Aunque la cuenca tiene un potencial energético importante y se pensó en algún momento en construir una represa, esa idea perdió inercia y actualmente no hay indicios de que esa sea parte del Plan Energético Nacional.

La única afectación que se vislumbra en los próximos años es el incremento de las actividades relacionadas con el ecoturismo, actividad que se ha visto incrementada en los últimos años ya que la parte baja de la cuenca se encuentra entre dos polos turísticos: Cahuita-Puerto Viejo del lado costarricense y Bocas del Toro en el lado panameño. Este

auge va a impulsar la economía local la que demandará más área para cultivos de subsistencia, ejerciéndose presión por colonizar tierras con vocación forestal hacia la parte media de la cuenca. Evidentemente, problemas con desechos sólidos y líquidos aumentarán si no se controlan los efluentes y botaderos de los asentamientos humanos en los próximos años.

Estrella: Esta cuenca también tiene una densidad de población baja, pero a diferencia de la cuenca del río Sixaola, ha sufrido de un sobreuso en un 25% de su área por actividades agrícolas pero en especial por ganadería extensiva que condujo a la remoción de grandes áreas de bosque primario incluso en zonas protegidas. Esto ha generado la producción de muchos sedimentos e inestabilidad del río en su parte media. Las altas descargas de sedimentos han afectados a los ecosistemas costeros como corales y manglares.

En esta cuenca también se encuentran plantaciones de banano y agricultura de subsistencia con los problemas asociados mencionados, por lo tanto en esta cuenca el reto es revertir el proceso de degradación ambiental, la deforestación y lograr que la cuenca recupere su función natural.

Bananito: En parte por su cercanía a la ciudad de Limón posee una densidad de población moderada, la cuenca del río Bananito presenta un nivel mayor de desarrollo agrícola y urbano reflejado en la infraestructura existente en esa cuenca. De acuerdo a Oreamuno (2004), de las aguas del río Bananito se destinan 350 l/s para el abastecimiento de agua potable a Limón, y, la capacidad de captación de aguas tanto superficial como subterránea, instalada por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados en las cuencas de los ríos Banano y Bananito, puede abastecer una población de 192.500 personas.

Aunque la mayor parte de la cuenca media y baja ha sido afectada por las actividades humanas, esta cuenca al igual que la del río Bananito tienen sus áreas de recarga en un estado saludable bajo régimen de protección ambiental.

A raíz del terremoto de 1991, y de los altos niveles freáticos en los suelos, la toma de aguas se vio seriamente dañada lo que interrumpió el abastecimiento a la ciudad de Limón, y fue necesario utilizar el sistema de abastecimiento de La Bomba en el río Banano.

También a raíz del terremoto, la costa sufrió un levantamiento que junto a la gran cantidad de sedimentos que estuvieron cayendo al río desde muchas laderas expuestas desde la parte alta de la cuenca, provocaron cambios en el alineamiento del río cerca de su desembocadura afectando seriamente el tránsito vehicular en la ruta 36 (Limón-Bribri).

Luego de veinte años, todavía es frecuente los desbordamientos del río Bananito sobre la ruta 36 los cuales deben considerarse normales dada el exceso de precipitación que ocurre en esta cuenca.

En esta cuenca debe ser prioridad el asegurarse que la frontera agrícola no avance para proteger el recurso hídrico tan importante para la ciudad de Limón, y establecer medidas que busquen proteger el acuífero de contaminación con agroquímicos, materia fecal u otros contaminantes de la industria que allí se ha establecido.

Banano: El río Banano presenta una situación muy similar a la del río Bananito, aunque esta cuenca presenta la producción de escorrentía más alta del Caribe Sur, esto lo convierte en un río muy dinámico y trae como consecuencia una carga de sedimentos muy generosa que ha complicado en años anteriores la toma del agua para consumo humano.

Por su dinamicidad, también ha presentado inestabilidad en los últimos tramos antes de su desembocadura.

La cuenca del río Banano no presenta conflictos en el uso del agua, su cuenca media y alta se encuentran protegidas con mínima intervención humana, sin embargo por lo superficial de su acuífero, presenta una gran vulnerabilidad a la contaminación por actividades humanas.

Al igual que con la cuenca del río Bananito, en esta cuenca debe ser prioridad asegurar el respeto por las zonas protegidas, y establecer medidas concretas que busquen proteger el acuífero de la contaminación con agroquímicos, materia fecal u otros contaminantes de la industria que allí se ha establecido.

Moín: En esta cuenca se ubica toda la zona urbana de Limón, presenta un altísimo riesgo a la contaminación por sedimentos y agroquímicos transportados desde las zonas bananeras y otro tipo de plantaciones, por contaminantes propios de la actividad industrial que ocurre en Limón, y en especial por materia fecal (por ejemplo asentamientos Vista del Mar y Villa Plata en Limón). Esta situación se agrava por la presencia del acuífero de Moín que es un kartz, con muchas “chimeneas” que comúnmente se han utilizado como “sumideros” naturales para deshacerse de los desechos líquidos, y que a la vez es fuente de agua potable para más de 20.000 personas en limón.

Changuinola: No hay información disponible.

Región Caribe Norte:

Matina: La cuenca media y alta se mantiene con un 80% de cobertura boscosa combinada con repastos y áreas de cultivo dispersas. La mayor parte de la cuenca está en régimen de protección-conservación lo que permite la protección de los bosques primarios. La población indígena es la que habita en la parte media de la cuenca y viven de acuerdo a sus prácticas ancestrales, que se consideran de bajo impacto. En la parte media-baja, existen varios centros de población que se dedican a la ganadería extensiva, y cultivos permanentes entre los que predomina el banano hasta pocos kilómetros antes de la desembocadura. Las amenazas que se identifican para esta cuenca

son básicamente en términos de la calidad y no cantidad del agua que se podría ver comprometida por agroquímicos, problemas de sedimentación resultantes de las fincas bananeras o por otras actividades humanas.

Madre de Dios, Tortuguero, Chirripó: Las amenazas principales para estas ocurren en las partes bajas, donde predomina la actividad Pecuaria y la ganadería extensiva con sus problemas asociados. La preocupación es el avance de la frontera agrícola, la eliminación de bosques y en particular la continua pérdida de la vegetación en los márgenes de los principales ríos que estimula la socavación de los márgenes, aumenta la producción de sedimentos afectando sensiblemente los ecosistemas acuáticos. A excepción de la cuenca Madre de Dios, las partes de alta producción están protegidas por reservas forestales.

Zona Norte:

Cureña, Pocosol y Zapote: La cuenca Pocosol adolece sobreuso de la tierra de un 40% del área de la cuenca, mientras que Zapote un 16%. Cureña, en contraste presenta un sub-uso en un 95% del área de la cuenca. La densidad de población es baja y muy distribuida, en general, tierras con vocación forestal es destinada a otros usos. El sector forestal industrial sólo aprovecha el bosque primario y secundario, y hay poca reforestación. Contaminación por agroquímicos.

Región Pacífico Central:

Jesús María: Esta cuenca presenta un 25% de tierras con sobreuso o grave sobre uso, y un 10.6% con sub-uso. Sus acuíferos son relativamente pobres. Los problemas más serios que afectan el recurso hídrico en cantidad y calidad son: baja cobertura vegetal de los suelos en las partes altas, predominio de la ganadería extensiva, poco forraje, sobre pastoreo, uso indiscriminado de agroquímicos y contaminación de las aguas por broza del café, alta incidencia de quemas, remanentes de grajas porcinas y en general erosión y degradación de los suelos con resultante sedimentación en partes bajas.

Tusubres: Esta cuenca presenta un 43% de tierras con sobreuso o grave sobreuso. En las partes medias y bajas de la cuenca coberturas con pastos, cultivos permanentes y anuales. En las partes medias y altas, extensos bosques primarios con áreas protegidas. Debido a que esta cuenca es un poco más húmeda con respecto a Jesús María, muchos de los problemas de esa cuenca se presentan en una intensidad significativamente menor, pero que sin embargo preocupa dado el gran desarrollo turístico y económico que se está dando a lo largo de la costa en esta cuenca. En particular preocupa la deforestación y la producción de sedimentos en las montañas con vocación forestal cercanas a la costa, como resultado de la inversión turística. Cerca de la desembocadura del río Tulín se encuentran acuíferos muy valiosos utilizados actualmente para consumo humano, que deben protegerse de la contaminación por el crecimiento de las actividades humanas.

Damas: Esta cuenca tiene sobre uso en un 22% del área de la cuenca, y presenta las mismas amenazas y problemas de las cuencas Jesús María y Tusubres con respecto al avance de la frontera agrícola, ganadería extensiva, impacto de la deforestación, y las actividades turísticas a lo largo de la costa.

Región Pacífico Sur:

Barú: Esta cuenca presenta un 48.1% de tierras con sobreuso o grave sobreuso, en particular el negocio de bienes raíces estimulado por la oferta turística de la zona está causando grandes problemas en términos de la calidad del agua. A pesar de que la cuenca presenta aptitud forestal por las altas pendientes, se ha utilizado para la agricultura de subsistencia y ganadería extensiva.

Península de Osa: Esta cuenca presenta un 6.1% de tierras con sobreuso o grave sobreuso. La actividad turística, así como minería informal y actividades agropecuarias están estimulando constantemente el avance de la frontera agrícola hacia sectores de bosque primario con aptitud netamente forestal. En muchos sitios el bosque se ha fragmentado.

Esquinas: Esta cuenca presenta un 21.6 % de tierras con sobreuso o grave sobreuso. Se presentan el mismo tipo de amenazas que para las zonas bajas del Caribe norte, o sea actividad Pecuaría y la ganadería extensiva con sus problemas asociados. La preocupación es el avance de la frontera agrícola, la eliminación de bosques, y generación de sedimentación hacia los múltiples drenajes naturales. Contaminación con agroquímicos y afectación de manglares y ecosistemas costeros es usual.

17.2 Resumen de elementos estilizados de la problemática y amenazas

Considerando las secciones de indicadores, y los resultados de la estimación que para algunos de estos realizó CIESA por su iniciativa, así como la de problemática y amenazas revisadas en documentación diversa, seguidamente se presenta una tipificación estilizada de las principales causas de origen de los problemas y amenazas. Con esta estilización, se ofrece un importante insumo para apoyar a los decisores en la implementación de la estrategia hídrica, con una agenda de medio y largo plazo de acción. A continuación se presentan algunos factores estilizados de fondo:

17.2.a. Triple concentración de disponibilidad (de oferta, demanda y disponibilidad explicado en la sección de disponibilidad):

- Las demandas de agua están concentradas en unas pocas cuencas, como se detalla en el capítulo de disponibilidades. Adicionalmente en general la economía del país presenta una demanda de agua que crece aceleradamente: Se observa un PIB per cápita creciendo y generando un proceso de “urbanización” del consumo de agua, con demandas precipitas desbordadas y sectores económicos que incrementan sus demandas impulsado por el crecimiento de su nivel de producción, lo que generalmente se asocia a cambios de uso de suelo

(expansión agrícola, urbanización, etc.) y estos implican afectaciones sobre la dinámica natural de transmisión y almacenamiento de la escorrentía, y sobre la calidad del agua.

- Concentración mayoritaria de oferta potencial en cuencas relativamente poco pobladas y algunas relativamente alejadas de los centros de población.
- La más cuenca más poblada ha contaminado la mayoría de su oferta hídrica, a niveles que no son aptos para el consumo humano, ni otros fines diferentes a la hidrogenación.
- Disponibilidades hídricas reduciéndose de manera acelerada y sostenida a razón del incremento sostenido en las demandas hídricas.
- Disponibilidades hídricas que potencialmente podrían reducirse alrededor de un 30% ante eventuales episodios secos.
- Los indicadores muestran además importantes disparidades entre cuencas: Importantes vulnerabilidades en las disponibilidades per cápita entre cuencas, en particular de las más pobladas.

17.2.b. Inexistencia de diseño de instrumentos económicos resultantes y ligados a las ofertas, demandas y disponibilidades relativas entre cuencas

- Carencia de un Plan Económico Maestro de Inversión en Recurso Hídrico de Medio Plazo (al 2030-2040), que avance sobre la sostenibilidad del recurso y continuidad del servicios prestados por el recurso hídrico, en particular el agua.
- No se conoce la demanda por recursos de inversión requerida para enfrentar la vulnerabilidad existente y desarrollar la infraestructura que permita las holguras entre dotaciones del recurso hídrico, de forma que se logre diversificar los riesgos altamente concentrados en uno pocas cuencas proveedoras y cuencas con importantes demandas por el recurso hídrico.
- Carencia de la definición detallada de los instrumentos económicos utilizados para su financiamiento y arreglos inter-instituciones, entre otros, que respondan a estudios costo/beneficio económico y costo/beneficio a mercado, los problemas del financiamiento, y las estrategias de internalización a nivel de cuenca y para los principales centros poblaciones, sectores usuarios, etc. La excepción es la tarifa hídrica de la ESPH, sin embargo, aún ese caso no se conoce la efectividad del instrumento sobre el recurso.
- No existen estudios profundos de costos incrementales de oferta, ni estudios de demanda que reflejen valoraciones económicas de los beneficios del consumo de agua. Esto resulta paradójico, ya que en la práctica se encuentran que algunas cuencas operan como exportadoras de agua, de reservorios y fuente principal de agua para poblaciones ubicadas en otras cuencas.
- Las tarifas de agua, no consideran en su diseño las disponibilidades relativas. Así lo reflejan los instrumentos económicos utilizados en la gestión actual del recurso hídrico, y la propuesta de ley y canon hídrico por resolverse en el Congreso.

- Falta de conocimiento para determinar si con el actual diseño de estructura tarifaria se podrá financiar la inversión en conservación, desarrollo del recurso hídrico, y continuidad del servicio público de aprovisionamiento del agua potable. Una excepción en forma, es el caso de la ESHP, con su esquema de inclusión en la tarifa de una previsión para el pago de servicio ambiental. Sin embargo, no se puede opinar sobre el fondo del diseño del instrumento y si realmente refleja el valor del recurso según su disponibilidad relativa. En el caso del Pago por Servicios Ambientales, estudios previos (Adamson, 2005)¹ han mostrado que en realidad no se conoce su efectividad sobre el recurso hídrico ni reflejan costos de oportunidad.
- El país ostenta por tanto con un diseño tarifario, plano al no incluir las diferencias relativas en disponibilidades. Actualmente se discrimina entre sectores por tarifa y niveles de consumo; pero no por disponibilidad relativa.

17.2.c. Gestión y Monitoreo del Recurso Hídrico

- Hay una importante incertidumbre sobre la cantidad de pozos; estado y dinámica de acuíferos; relativamente poco control y monitoreo sobre estos, los manantiales y otras fuentes de agua.
- Se presenta una importante carencia de integración de bases de datos; desactualización de registros de concesiones, y poca homogeneidad en la información.
- La gran mayoría de acuíferos no están protegidos bajo alguna de las figuras de áreas protegidas. Se dejó de lado en la creación de áreas silvestres protegidas para los acuíferos, particularmente los costeros, lo cual deja de lado este importante elemento crítico del ecosistema hidrogeológico. Con el agravante de que las vedas de protección de acuíferos bajo modalidades de Zonas de Uso Restringidas y Planes Reguladores han mostrado ser en algunos casos cambiantes. El esquema no garantiza a largo plazo una disminución de la vulnerabilidad de estos, precisamente por el descontrol en los pozos actuales operando, manantiales y carencia de monitoreo de la actividad existente lo que representa una importante amenaza para estos acervos.
- Estancamiento en la gestión legal para la aprobación del proyecto de Ley del Recurso Hídrico en el Congreso de la República de Costa Rica.

¹ Adamson, M. (2005). Informe Final de Proyecto de Investigación: Eficiencia distributiva del pago por servicios ambientales. IICE, UCR.

Bibliografía:

Alfaro, G. et al. Analisis de las Vulnerabilidad en las principales en las principales cuencas hidrográficas del país. CNE, 1994

Barboza, C. Caracterización de la cuenca del río Jesús María. Ministerio de Agricultura y Ganadería

CADETI. Programa de Acción Nacional de Lucha contra la degradacion de tierras. MINAE 2004

Cordero, C., Chavarría, J. Factores que afectan la cuenca del río La Estrella y recomendaciones para la gestión ambiental en su zona costera. Int. Jour. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) Vol. 56 pp:191-203, Dic. 2008

Fallas, J. 2007. Uso actual del territorio, capacidad de uso y ordenamiento territorial con énfasis en las principales cuencas. Ponencia preparada para el XIII Informe del Estado de la Nación. San José, Programa Estado de la Nación.

MINAE, MARENA. Estudio de Diagnóstico de la cuenca del río San Juan y Lineamientos del Plan de Acción. 1997

Oreamuno, R. Estudio de Caso sobre la cuenca de los ríos banano y Bananito, Primera etapa del plan de manejo integral del recurso hídrico: la Estrategia nacional para la GIRH en Costa Rica. 2004

Ramos V., 2005. Estudio Hidrogeológico y vulnerabilidad del Acuífero Moin, Limón. Tesis de Grado Maestría en Hidrogeología, Universidad de Costa Rica.

Rosero, L. et al. Bosque y Población en la Península de Osa, Costa Rica. 2002. Int. Jour. Of Trop. Biol. And Conserv.

18. Conclusiones

Durante todo el informe se presentaron los resultados de forma analítica con objeto de evidenciar y enfatizar los principales problemas y amenazas. Seguidamente se muestra una discusión integradora final de estos, asociados a las principales conclusiones globales del estudio. Se evita hacer mención a hallazgos puntuales, debido a que la organización del trabajo por secciones y capítulos presenta los principales hallazgos en cada uno de esas secciones.

En general los estudios realizados de balances hídricos son en realidad estimaciones del *quantum* de agua. Una oferta es una relación entre ese *quantum* y el costo incremental de suplirlo, manteniendo constante todos los demás factores. Por tanto, desde un punto de vista económico, al analizar esa contabilidad de cantidad hídrica, sea por ejemplo la escorrentía superficial o la escorrentía total, los esquema de cálculo (la mayoría no incluyen modelos estimados), asumen las condiciones climáticas como una variable *exógena* y por ende *dada externamente*. En ese sentido, las ofertas calculadas *no* varían sensiblemente a lo largo del tiempo. Por lo tanto, dado el régimen de lluvias exógenamente, la escorrentía dependerá claramente de factores como el tipo de cambio de uso de suelo de la cuenca, su zona de vida y biotemperatura (Holdridge), y estado de la cuenca en general.

Conviene preguntarse por los cambios sufridos en las cuencas, principalmente en las estudiadas por el IMTA, ocurrido durante las últimas dos décadas, ya que al momento no se ha estimado ninguna oferta que *modele e incorpore* esos cambios. Con objeto de definir políticas para la GIRH, ya no parece costo/efectivo desarrollar más estudios del *quantum* “oferta” hídrica de esa naturaleza, pues es más costo/efectivo utilizar los datos de oferta que tienden a converger en un rango de 70 Km³ para Costa Rica en año base (normal) y de la misma forma para años secos y lluviosos. De todas formas, no agregan valor agregado analítico significativo adicional para la GIRH y convergen en un rango de +-10% de esa cifra.

Al revisar los estudios de disponibilidad existentes se encontró una concentración de la inversión en el desarrollo de esfuerzos dirigidos a la estimación y explicación del componente de escorrentía potencial y algunos aspectos hidrogeológicos. Sin embargo, debido a una generalizada práctica en el uso de parámetros asumidos como constantes en el tiempo e idénticos entre las cuencas -no cotejados o inferidos utilizando información histórica-; se ha tendido a dejar de lado los factores económicos que determinan el consumo y demanda de agua.

Sin pretender argumentar que se ha avanzado y logrado la meta en la estimación de balances hídricos y de escorrentías, las autoridades hídricas nacionales deben evaluar ese importante avance en el tema de la Oferta Hídrica, y considerando que se trata solo de la mitad de la ecuación de exceso (de demanda u oferta) de agua disponible, focalizar también inversión destinada a avanzar en el conocimiento y estimaciones de

los excesos de demanda y costos económicos de la oferta por cuenca y subcuenca, que satisfagan metodológicas económicas, con objeto de evitar la estimación a través de meros cálculos aritméticos sobre parámetros o intensidades presumidas, que no permiten realizar una evaluación económica de los beneficios económicos derivados del consumo del recurso hídrico.

De igual forma, no se ha profundizado el desarrollo de estudios de costos de la conservación y desarrollo de recurso hídrico. La incidencia de esas deficiencias, por ejemplo se nota en la carencia de estudios que permita determinar si las políticas de reforestación o conservación de bosque primario bajo el esquema de por ejemplo el Pago por Servicios Ambientales (PSA) han incrementado la escorrentía en algunas cuencas, o han incrementado los niveles de demanda de agua de los acuíferos, disminuyendo con esto el agua disponible, etc. En resumen, sin estudios que muestren la efectividad y costos de oportunidad asociados a las diferentes alternativas de gestión integrada de cuencas, sobre la oferta hídrica, no es confiable detallar una política integral de reducción de vulnerabilidad sobre el recurso hídrico ante el cambio climático. Todo parece indicar que en ese sentido el MINAET ha optado por seguir un sentido “común”, pero nada garantiza que los resultados serán al final los deseados; o incluso que se vayan a lograr resultados efectivos.

Desde el punto de vista económico y la GIRH, es urgente avanzar hacia estimaciones que especifiquen modelos y permitan determinar cómo afecta a la escorrentía los factores locales de cambios de suelo, las actividades económicas y los costos de oportunidad implícitos y explícitos asociados a contar con esas escorrentías. Eso permitirá *efectivamente* profundizar sobre los factores locales de las cuencas, *ergo* los únicos sobre los que se puede actuar e incidir con políticas económicas y la GIRH, para reducir la vulnerabilidad *local* del cambio climático sobre la oferta del recurso hídrico, ya que el cambio climático vienen dados por interacciones tierra-océano-atmósfera, que no están bajo el control del país, y son más bien de carácter global. El argumento simple podría indicar que esos estudios no se realizan porque se requieren datos que no existen. ***Sin embargo, deben iniciarse si se desean responder las preguntas de fondo sobre la reducción de vulnerabilidad hídrica local sobre el cambio climático.***

La GIRH necesita una mejora en su capacidad instalada en economía del agua y de estimaciones de demanda económicas, y hacer valer los criterios mínimos para que los estudios para acueductos y excesos de agua disponible contemplen apropiadamente esos elementos mínimos, de otra manera la inversión para satisfacer esos excesos de agua disponible estaría siendo de dudosa efectividad, por el descuido de la estimación de las demandas más que por la determinación de la oferta.

Desde el punto de vista de la demanda, hasta el momento se había seguido un esquema de estimación de “demanda”, que en la mayoría de los casos, era una simple multiplicación de un factor exógeno (y asociado a otros países) presumido por un nivel de actividad, como número de personas, hectáreas, etc. Esa “mecánica” de cálculo no

garantiza precisión ni significancia estadística y tampoco permite conocer las funciones de consumo que aproximan y explican los niveles cantidad demandadas.

De la misma forma que la estimación de Balances Hídricos se puede hacer siguiendo diferentes métodos de contabilidad hídrica, existen diversas metodologías económicas para la estimación de las demandas de agua. Las funciones de demanda, requieren métodos económicos también rigurosos para su estimación. De otra forma, no se puede asegurar la calidad y bondad de la disponibilidad finalmente estimada. Es relevante por tanto la estimación de funciones de demanda y su profundización por cuenca, utilizando variables de población e ingreso por cuenca.

Estas deficiencias están generando significativos atrasos en información esencial para el avance de la EGIRH en Costa Rica. Por ejemplo, a pesar de que los documentos de la EGIRH apuntan, como instrumentos de gestión, la apropiada gestión de la demanda, la oferta, particularmente la internalización de externalidades y la suficiencia financiera (EGIRH, Política Nacional Hídrica; Resumen Ejecutivo, 2005)¹, así como lograr rescatar el valor económico real del agua; en esos campos el país no ha avanzado sustantivamente, entre otras razones, debido a ese importante rezago en la estimación económica de demandas.

Es a partir de las demandas, adecuadamente estimadas, que se estiman los correspondientes valores económicos del agua, y con ello se puede proponer alternativas e instrumentos económicos para internalizar la degradación del acervo hídrico, generado por tipo de usuario. Sin esas estimaciones de ese tipo de demandas, el decisor está carente de herramientas que le permitan justificar inversiones y priorizarlas.

De la misma forma, y a pesar que en diversos documentos de la EGHIR (véase por ejemplo, el Resumen Ejecutivo, 2005) se asevera la prioridad de mantener el papel del recurso hídrico como “soporte al desarrollo económico, al bienestar social y a la armonía con el ambiente), así como “garantizar la disponibilidad y calidad de los recursos para satisfacer las demandas de abasto de agua a la población costarricense” y “garantizar la oferta del recurso hídricos para contribuir a la sustentabilidad...”; *este estudio encontró resultados que muestran importantes reducciones en las disponibilidades y sensibilidades ante el crecimiento de la demanda y el cambio climático, los cuales representan importantes amenazas para la sostenibilidad del recurso hídrico nacional.*

En ese sentido, son las estimaciones de demanda, en su relación económica como funciones de utilidad indirecta, acompañadas de la información de costos incrementales, las que permite entre otros, la estimación de excedentes económicos del consumidor,

¹ EGIRH, (2005). Estrategia para la Gestión Integrada de los Recurso Hídricos de Costa Rica: Resumen Ejecutivo. MINAE. San José, Costa Rica

con objeto de lograr determinar valores económicos por cuenca al menos y sector, así como contrastar estos con las tarifas vigentes. Hasta el momento, el esquema utilizado no permite obtener estos importantes excedentes de consumidor, para contrastarlos con las tarifas, de forma que es esperable una subvaluación importante en la estructura tarifaria del agua así como de los cánones.

De igual manera el país no cuenta con las estimaciones de demanda que permitan evaluar proyectos de inversión para avanzar en la consolidación de por ejemplo, acuíferos como reservorios permanentes, consolidar y proteger un área de recarga, o para el diseño de esquemas de recuperación a través de un cargo –por costo marginal por conservación del recursos-, para el financiamiento de acciones para atender reducciones en las disponibilidades hídricas.

De forma similar, a pesar de que se conoce bien el papel de los excesos de agua, por ejemplo en las cuencas de Banano y Bananito, así como los impactos que en cuencas como Matina, Sixaola, etc., y que la EGIRH (2005) reconoce que con adecuados esquemas de gestión, inversión e instrumentos económicos se podría generar un cambio sustantivo a esas situación, tanto para los habitantes, sus actividades productivas, como para el aprovechamiento de excesos, aún la política continúa siendo *reactiva y de salvataje* durante las inundaciones. Lo anterior no evidencia avance en el análisis y evaluación de propuestas sobre esos esquemas e instrumentos. Eso no se debe a la carencia de conocimiento sobre los costos que implican esos excesos de disponibilidad (superavítarios o deficitarios, según sea la zona y el caso); sino a la carencia la información económica del lado de los beneficios económicos asociado a estas situaciones, la cual proviene de las informaciones de demanda, en este caso por reducción de vulnerabilidades, tratada (la reducción) como en lo que en economía se define un bien público.

El país adolece de una estrategia económica para la distribución espacial y temporal de riesgos climáticos, y que responda a la importante dinámica económica de la demanda. De igual forma, al momento no se cuenta con una cartera de inversión pública y privada priorizada por rendimiento socioeconómico al 2030. Sin ese ejercicio, las instituciones públicas, por un lado, y el sector privado por otro, van actuando en función de oportunidades aisladas. Cuando las situaciones de exceso de demanda se presentan, como en el caso del Acueducto de Sardinal, generalmente traslucen la carencia de un plan de inversión económico a largo plazo.

Lo anterior es una deficiencia importante, pero afortunadamente la diversidad de las cuencas y sus contrastes de Costa Rica, la transforman simultáneamente en una importante oportunidad: Precisamente, las importantes diferencias relativas en las ofertas hídricas, las demandas y disponibilidades, encontradas en este estudio, muestran la existencia de un campo fértil de evaluación un plan económico de inversión que permia diversificar espacial y temporalmente riesgos, aprovechar oportunidades, configurar y proponer esquemas para brindar sostenibilidad financiera a las inversiones.

Por otro lado, no hay aprovechamiento sostenible sin una demanda que estimule una infraestructura hidráulica que lo facilite y permita, y las 19 cuencas estudiadas a profundidad, evidencian esa situación. Sin embargo, es esperable que estos excesos relativos de oferta, estimulen su demanda, conforme se intensifiquen otros excesos de demanda en otras cuencas, y además los costos de transacción del aprovechamiento y conservación del recurso lo permitan. Al igual, que en la mayoría de temas, la sostenibilidad de recurso hídrico, a través de una GIRH, se logra balanceando y alineando tanto las dotaciones como las demandas, tanto espacial como temporalmente, con objeto de que no se tenga que reaccionar hasta que los excesos de demanda sean perceptibles y se profundicen las disputas entre los sectores demandantes.

Con miras a satisfacer las demandas y generar capacidad ante las vulnerabilidades antes el cambio climático, la infraestructura hídrica que se requiera ameritará una importante inversión y tiempo de desarrollo. Es menester avanzar en esa materia para superar esos problemas y amenazas. Si bien es cierto, recientemente el AyA ha anunciado el desarrollo de alguna infraestructura en acueductos metropolitano, a través de financiamiento externo, conviene analizar para cada cuenca, según las disponibilidades, sí la infraestructura existente podrá atender las demandas.

A pesar de que la EGIR postula un Sistema Nacional de Información Hídrico, la verdad es que el desarrollo de análisis integrados en Costa Rica son poco factibles de lograr, debido a que prevalece una importante incongruencia y heterogeneidad de formatos, carencia de sistematicidad, incompletitud en bases de datos amplias (entre las de Dpto. de Aguas del MINAET, SENARA, AyA, ESPH, ICE, etc.), limitaciones legales para acceder a la data, etc. Sin un esfuerzo decidido, con plazos, responsables, tecnología e inversión, y un grupo de especialistas de **diferentes** disciplinas no se va a lograr en el corto plazo la meta de generar ese sistema de información.

19. Recomendaciones

Se recomienda que el MINAET, en conjunto con MIDEPLAN, y las instituciones asociadas (ICE; AyA, etc.) prepare para un horizonte de planificación no menor al 2030, *una estrategia económica* que incluya: estudios económicos, técnicos, así como un portafolio de inversión en infraestructura, y de acciones consistentes con la prioridades de la EGIRH, que ofrezcan soluciones a los principales retos de vulnerabilidad, en particular a los relativos a las disponibilidades hídricas con objeto de generar la holgura necesaria para prevenir excesos de demanda y a la vez aprovechar los excesos de oferta. Entre otros aspectos deberá incluir:

- Los estudios de diseño técnico de la obra de infraestructura, sustentada en los estudios hidráulicos y económicos, así como definir las acciones prioritarias para ofrecer soluciones sostenidas a la problemática de los excesos de agua e inundaciones en periodos cortos en cuencas altamente degradadas en sus partes altas y bajas, y que están generando importantes costos económicos en las mismas zonas, zonas de Parrita, en Matina, etc. Los diseños deberán considerar aprovechamiento de esos excesos de agua en otras cuencas, así como su almacenamiento en coordinación con el ICE, SENARA, etc.
- El desarrollo de los estudios económicos de demanda y de costos incrementales, con objeto de elaborar y proponer estrategias económicas de inversión de largo plazo, debidamente evaluadas a nivel costo/beneficio, para mitigar excesos desastrosos de oferta en periodos cortos (inundaciones) o excesos de demanda en periodos prolongados (sequías), como los que propone la Estrategia Hídrica, y aún no se desarrollan. Deberán al menos requerirse los siguientes estudios de demanda:
 - La estimación económica de demandas por consumo humano (relaciones que permitan derivar excedentes del consumidor).
 - La estimación de demanda por agua para uso en turismo (particularmente de mayor actividad turística), y que permitan estimar el excedente económico que con el recurso agua aporta a ese sector.
 - La estimación de demandas de agua para hidrogenación por cuenca.
 - La estimación de demandas de agua para agricultura y riego, en aquellas cuencas donde el riego es relevante.
 - En el tema de desastres se recomienda, la identificación de actores y estimaciones de demandas relevantes para la reducción de vulnerabilidad en las cuencas donde los excesos de agua están impactando más fuertemente (por inundaciones y sequía). En este caso, a partir de esas demandas siguiendo métodos económicos apropiados, como el Método de Valoración Contingente u otro, se alimenten estudios técnicos de alternativas y se evalúen sus rentabilidades, diseñen mecanismos de

internalización con objeto de avanzar en la reducción de vulnerabilidades de esas cuencas. Los estudios deberán generar propuestas y esquemas de distribución espacial y temporal de riesgos en coordinación con los actores nacionales (pobladores, empresarios, agricultores, actores parte altas y bajas de la cuencas, instituciones públicas, AyA, ICE, INS, ONG's, entre otros). Los estudios deberán incluir los ahorros en costos por dragados, y efectos de la retro-erosión en cauces, dentro de los beneficios económicos, pérdidas de los sectores productivos y sociales.

- Se recomienda iniciar en el caso de desastres, por las cuencas de Matina, Sixaola y Tusubres, e incorporar el diseño específico instrumentos económicos de internalización que permitan que los sectores como el bananero, turístico, pobladores, etc. internalicen los beneficios y costos, y de esta forma las alternativas sean financieramente viables.
 - Para el desarrollo de esos estudios, será indispensable que se elabore un protocolo sobre los aspectos mínimos a utilizar para estimar demandas que cumplan con criterios económicos, que permitan explicar los excesos de oferta o de demanda hídrica, así como los elementos económicos metodológicos para las estimaciones de costos incrementales de la oferta.
 - En ese caso se recomienda el desarrollo de estudios de demanda con métodos como el de Valoración Contingente utilizando un formato *close-ended*, y no un formato de disponibilidad de pago abiertos, porque esos estudios, presentan importantes sesgos y no cumplen con la teoría económica mínima de estimación de demandas.
- Por consistencia metodológica y debido a la importancia económica y concentración de población que albergan, se recomiendan la re-estimación de las proyecciones de demandas de agua al 2010, 2020 y 2030, para las cuencas cubiertas por el IMTA, las cuales muestran una muy limitada dinámica en sus proyecciones. A la vez, se recomienda re-estimar las disponibilidades, preferiblemente utilizando el Método Modificado de Holdridge, para sistematizar la metodología para todas las cuencas del país. De toda suerte, para la estimación de demandas económicas que permitan evaluar las inversiones, será indispensable re-estimar esas proyecciones.
- Se recomienda el desarrollo de una a propuesta de inversión en instrumentación en las 19 cuencas de este estudio, pobremente medidas e instrumentadas, así como un proceso de capacitación en la estimación de escurrimientos potenciales y demandas a funcionarios de instituciones relacionadas con el recurso hídrico, principales acueductos, etc., y de los esquemas para evitar su sostenibilidad financiera, incluyendo la provisión y elaboración de información para el sector privado, de forma de recuperación de costos.

- Se recomienda elaborar una propuesta de inversión en diseño, adquisición, funcionamiento y operacionalización de un Sistema Integrado de Información del Sector Hídrico. El sector de instituciones relacionadas con el recurso hídrico, lideradas por el MINAET, debe definir un formato compatible de recolección y procesamiento de información relacionada con el recurso hídrico. Esto amerita un equipo interdisciplinario, expertos en hidrología, hidráulica, economía, etc. El sistema deberá permitir la integración efectiva de la información de oferta hidrometeorológica nacional (ICE, IMN, SENARA, AyA, ESPH, etc.), y demanda en particular en los aspectos unificación de información sobre los principales elementos de las concesiones (cantidad, medición, estado, etc.), datos hidrometeorológicos, entre otros.
- Una propuesta de inversión en investigación del estado y dinámica de los acuíferos principales, que integren elementos cualitativos del estado de contaminación de estos, solicitando la integración de nuevas técnicas y metodologías exploratorias.
- Una propuesta de investigación nacional dirigida a conocer las correlaciones entre las diferentes dimensiones del Sistema Hídrico (cantidad y calidad de agua, coberturas, acuíferos, etc.) con los procesos socioeconómicos, y con el cambio climático, y cómo estos afectan los riesgos y amenazas del Sistema Hídrico, con objeto de identificar aquellas acciones capaces de propender por una reducción de las amenazas y vulnerabilidades del Sistema Hídrico, y finalmente como este impacta los niveles de bienestar de la sociedad.
- Un proyecto que retome la inclusión de esos elementos y modificación del actual proyecto de ley hídrica en la Asamblea Legislativa.
- Entre las acciones importantes a recomendar destaca la importancia de la definición de una propuesta de monitoreo, control y verificación de pozos (activos y los que ya no están activos), manantiales y demás concesiones, que dimensione el recurso humano y equipo, así como un cronograma de acción, con productos calendarizados, iniciando por las cuencas y concesiones que concentran la mayoría de caudales y principales concesiones; la presentación de reportes, planes correctivos y de remediación de la situación, entre ellas la colocación de medidores.

Recomendaciones sobre la gestión de la información

Considerando la experiencia adquirida por CIESA durante el desarrollo de esta investigación, a continuación se sintetiza un conjunto de recomendaciones específicas para que sean consideradas con objeto del desarrollo del Sistema de Información Hídrica. Si bien es cierto la EGIRH (2005) define un objetivo para crear el Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SINIRH), en términos prácticos durante

este trabajo se constató la relevancia de acelerar la creación y puesta en marcha de un Sistema de Información integral y eficiente.

En ese sentido se recomienda:

Para la base de datos sobre concesiones, que venido desarrollando el Departamento de Aguas del MINAET, es importante que se incluya (se revisen expedientes, se codifique y digitalice) las concesiones que han perdido su vigencia (esta información es referida como “el cementerio de concesiones”). A pesar de que ya no son efectivas, su ausencia tiende a subestimar el consumo histórico, y por tanto cualquier proyección derivada de su uso. Es relevante indicar que se requiere incorporar la información desde cuándo inició hasta que se dio de baja.

Con el propósito de que para efectos de estimación de la disponibilidad de recurso hídrico en el país, no se subestime la capacidad, ya que en la base de datos actual solamente se incluyen las concesiones vigentes.

Es necesario que las normas de otorgamiento de concesiones de agua sean más rigurosas y sistemáticas en su registro: toda concesión debe reportar un caudal. En la base de datos facilitada por el Departamento de Aguas del MINAET, existen aproximadamente 380 concesiones que no reportan ningún caudal y ni tipo de uso asociado. Por tanto, también en ese sentido la ausencia de esa información tiende a subestimar los estimados del consumo por caudal, régimen de aprovechamiento y el consumo por sector de uso del país.

Respecto al caudal, no es suficiente el reporte del caudal solicitado; sino que se debe agregar el tiempo por el cual dicho caudal será utilizado, con objeto de estimar el volumen consumido precisamente.

La base de datos del Dpto. de Aguas (MINAET) a diciembre del 2008, aún no incluía todas las concesiones de mayor caudal utilizadas para distribuir agua por parte del AyA y usuarios. Evidentemente, esto representa una importante subestimación de la demanda, y una limitante para un adecuado proceso de gestión integral del recurso hídrico. Se recomienda que de inmediato esta base de datos (MINAET) incluya de forma rigurosa las concesiones que se otorgan las diferentes empresas e instituciones de suministro de agua potable en el país, tales como el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AYA), Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH), Asociaciones Administradoras de Acueductos Rurales (ASADAS) y Municipalidades.

Paralelo a esto, se recomienda actualizar y completar el registro de concesiones para la generación hidráulica. No solo porque dicho uso no consuntivo aglutina más del 80% del caudal concesionado nacional; sino porque esa base de datos no incluyen una mayoría del caudal utilizado en la generación hidráulica por el ICE, y en muchos casos

aparece el registro pero no se indica el caudal otorgado. De nuevo, eso es una barrera importante para la estimación de disponibilidad del recurso hídrico, y por tanto para el análisis y toma de decisiones sobre la gestión y manejo del recurso hídrico nacional.

Se recomienda que de manera inmediata se realice una Encuesta Selectiva a concesionarios de agua. Debe aprovecharse que la concesión de caudales está altamente concentrada en una pequeña fracción de “grandes concesionarios de agua”. A todos estos se recomienda evaluar las condiciones de la infraestructura de medición de extracción, y condiciones sanitarias actuales de extracción, almacenamiento, distribución y uso efectivo que se está haciendo del agua. Al menos en estos casos, todos deben disponer de medidores del consumo de agua extraída.

En ese caso, deberá aprovecharse para geoposicionar los usuarios, ya que una buena cantidad de concesiones, están erróneamente localizadas en cuencas que no corresponden con las coordenadas registradas en la base de datos, o no corresponden los distritos y cantones a los que pertenece.

Respecto al control, se recomienda realizar un control más activo y aleatorio sobre los concesionarios. Debe intensificarse en particular en los grandes usuarios (de forma aleatoria al interior de este grupo). En este caso, se recomienda definir un conjunto de elementos a revisar y establecer un proveedor certificado que pueda realizar para el MINAET anualmente dicha verificación. Un centro de investigación universitario acreditado podría prestar este servicio para el MINAET, de la misma forma que se revisan el estado del material de carreteras.

Es claro que los datos del SENARA no permiten analizar cuándo se otorgó la concesión y la clasificación sectorial no corresponde a la utilizada por el MINAET. Por tanto, debe homologarse las medidas de caudales y los sectores económicos utilizados entre estas bases de datos. Es claro, que sin un detalle actualizado de la cantidad y estado de los pozos concesionados, no es posible pretender realizar una gestión integrada de los acuíferos proveedores de esas aguas.

Es conveniente el establecimiento de un registro centralizado y estandarizado por parte de las instituciones dedicadas a llevar el registro de concesiones y consumos de agua, con el fin de poder unificar fácilmente las bases de datos y facilitar comparaciones y una mayor exactitud en las futuras estimaciones de disponibilidad de recurso hídrico.

Las bases de registros de concesiones y consumo de agua, también debe incorporar la información detallada del uso del agua. Esta información debería incluir además, del sector usuario, información de niveles de producción agrícola (hectáreas y rendimiento por producto), número de habitaciones y usos en caso de turismo, m² y número de personas en caso de consumo humano, hidrogenación en caso de energía, etc. Es decir, la base de datos de concesiones, debe contener información de la cantidad de agua consumida y de la producción lograda con esa agua, con objeto estructura un sistema

económico de demandas, que de manera regular pueda proveer al país con una proyección de las demandas de agua que requerirá, para atender sus necesidades. Los sistemas de información son dinámicos, y por tanto deben estar sometidos constantemente a revisiones y pruebas con los usuarios y en ese sentido, es importante iniciar esa labor de profundización de los datos de demanda.

Una clasificación más reducida de los usos de la base de datos del MINAET podría generar una mayor efectividad en la clasificación. Es importante que la información vertida por clasificación de sector de uso, sea revisada por personal técnico contratado para ese efecto, y que este reciba un entrenamiento previo. Es importante agregar, adicional a la fecha en la cual se solicita o demanda la concesión, la fecha de otorgamiento o de apertura del expediente. Para lo anterior se requiere la contratación de personal calificado en conocimientos de geografía y uso de SIG's.

Debe revisarse los criterios de aprobación y asignación de concesiones. En algunas cuencas, como las de Península de Osa, Tempisque, etc. unos pocos concesionarios ostentan grandes porciones del caudal concesionado. Si el concesionario distribuye agua a la población, el fin está justificado si las condiciones económicas asociadas (tarifas, derechos, etc.) están dentro de las normativas. Sin embargo, en aquellos casos en los cuales el agua está siendo utilizada en usos privados, debe balancearse la disponibilidad relativa del recurso a la preeminencia de asegurar una provisión sostenida de agua para consumo en la población local.