

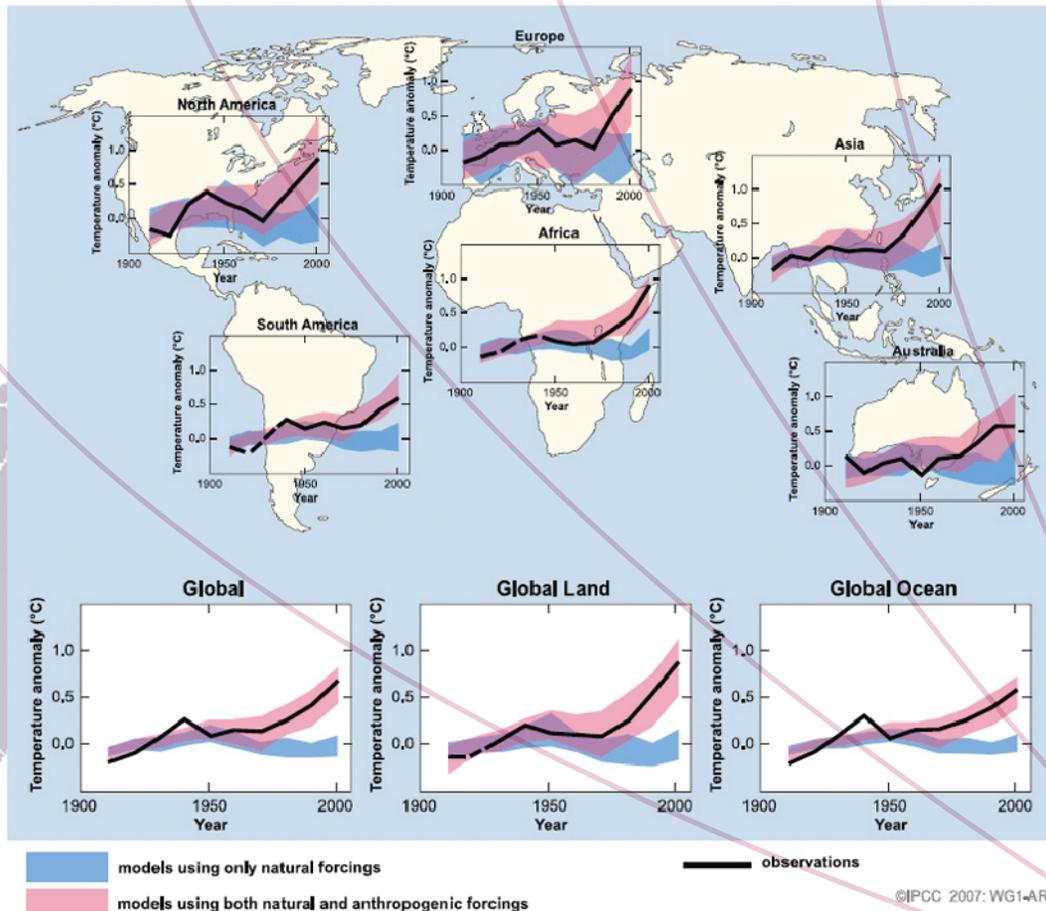


# Observación sistemática, investigación y desarrollo de capacidades para el cambio climático en Costa Rica

Eladio Zárate Hernández



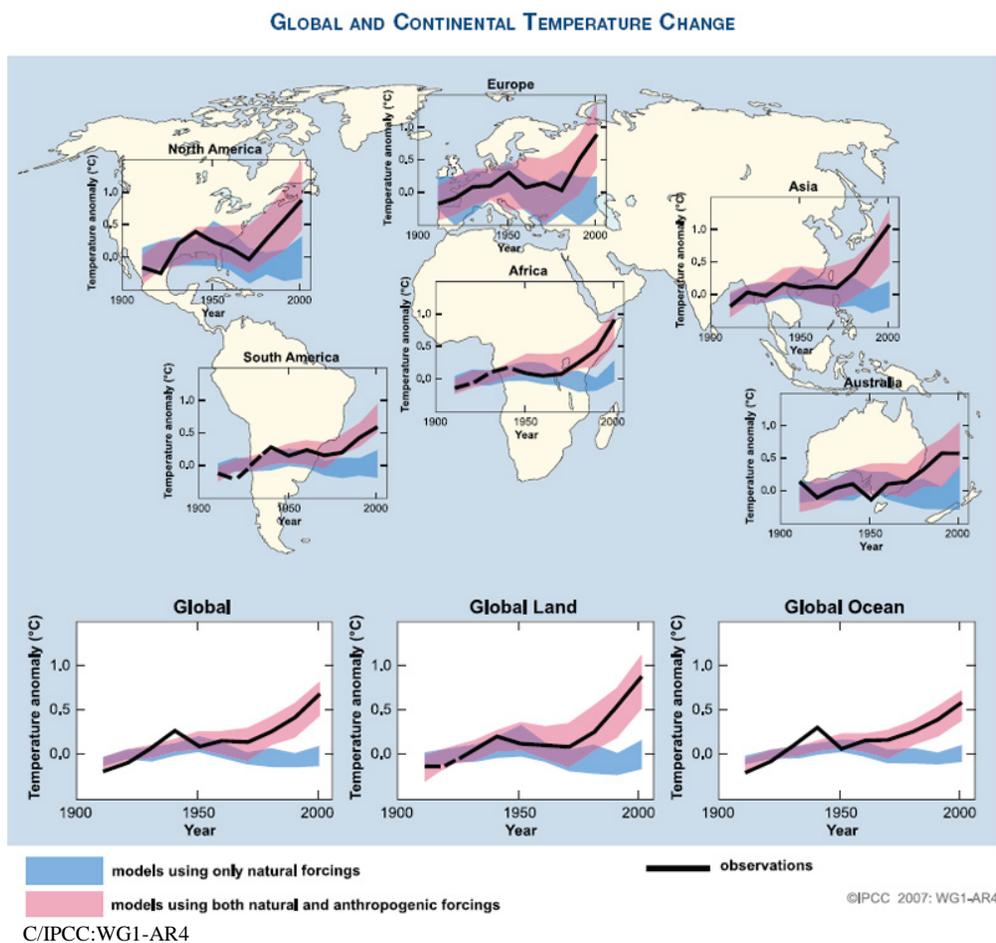
## GLOBAL AND CONTINENTAL TEMPERATURE CHANGE



Resultados de la consultoría desarrollada por Eladio Zárte Hernández  
Para el IMN /MINAE/ PNUD

Sobre

## Observación sistemática, investigación y desarrollo de capacidades para el cambio climático en Costa Rica



Como parte del  
Proyecto para la Segunda Comunicación Nacional a la Convención Marco de Naciones Unidas  
sobre Cambio Climático - PROYECTO 00033342

Abril 2008

<b>Numeral</b>	<b>Tópico</b>	<b>Pág</b>
i)	Resumen Ejecutivo	1
ii)	Instrumentos de política y estrategia que apoyan esta propuesta	2
iii)	Agradecimientos	3
<b>I</b>	<b>PARTE PRIMERA: UN VISTAZO A LA RED HIDROMETEOROLÓGICA Y CLIMÁTICA NACIONAL ACTUAL</b>	<b>4</b>
<b>I.1</b>	<b>DOS PUNTOS DE UBICACIÓN EN CUANTO A ESTE DOCUMENTO</b>	<b>4</b>
I.1.1	Alcance del documento	4
I.1.2	Estado de la red nacional de monitoreo en el contexto centroamericano	4
<b>I.2</b>	<b>¿QUÉ SE ENTIENDE POR UNA RED HIDROMETEOROLÓGICA Y POR UNA RED CLIMÁTICA?</b>	<b>4</b>
I.2.1	Concepto de red hidrometeorológica	4
I.2.2	Concepto de red climática	6
I.2.3	Componentes de la red nacional	6
I.2.3.1	Red de meteorología sinóptica	7
I.2.3.2	Red de meteorología aeronáutica	7
I.2.3.3	Red de Red hidrológica meteorología agrícola	8
I.2.3.4	Red hidrológica	8
I.2.3.5	Red de contaminación atmosférica	8
I.2.3.6	Red de la atmósfera superior	8
I.2.3.7	Red mareográfica y de meteorología marina	9
I.2.3.8	Red de descargas eléctricas	10
I.2.3.9	Red pluviométrica urbana	10
I.2.3.10	Red del estado de los ríos	10
I.2.3.11	Red climatológica	11
I.2.3.12	Red para la recepción de imágenes satelitales	11
<b>I.3</b>	<b>LAS GRANDES AUSENCIAS EN LA RED NACIONAL DE MONITOREO</b>	<b>11</b>
I.3.1	Red especializada para cambio climático	11
I.3.2	Red de radares meteorológicos	12
I.3.3	Red para incendios forestales	12
I.3.4	Red de la calidad del agua	12
I.3.5	La información multiuso	13
<b>I.4</b>	<b>BREVE RESUMEN DE LA EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA RED HIDROMETEOROLÓGICA Y CLIMÁTICA NACIONAL</b>	<b>13</b>
<b>I.5</b>	<b>PRINCIPALES PROBLEMAS QUE HA ENFRENTADO LA RED HIDROMETEOROLÓGICA Y CLIMÁTICA NACIONAL A TRAVÉS DE SU HISTORIA</b>	<b>17</b>
I.5.1	Omisiones en los meta datos	17
I.5.2	Carencia de terrenos propios para ubicar las estaciones	17
I.5.3	Dificultades para la adquisición de equipos y repuestos	18
I.5.4	Dificultades presupuestales para el mantenimiento de la red incluyendo observadores y guardas	18
I.5.5	Carencia de laboratorios de calibración	18
I.5.6	Falta de oportunidades de capacitación para el personal que atiende la red	18
I.5.7	El síndrome de la dependencia de la red de proyectos internacionales	19
<b>II</b>	<b>PARTE SEGUNDA: JUICIO EXPERTO EN LA REINGENIERÍA DE LA RED HIDROMETEOROLÓGICA Y CLIMÁTICA NACIONAL</b>	<b>20</b>
<b>II.1</b>	<b>CONSIDERACIONES PRÁCTICAS</b>	<b>20</b>
<b>II.2</b>	<b>CONSIDERACIONES SOBE EXPOSICIÓN DE ESTACIONES</b>	<b>20</b>
<b>II.3</b>	<b>CONSIDERACIONES CIENTÍFICAS DE VARIABILIDAD DE LOS PARÁMETROS</b>	<b>20</b>
II.3.1	Clima del Pacífico y clima del Caribe con relación al diseño de redes	20
II.3.2	La escala sinóptica y la mesoescala y la red para el monitoreo del viento	20
II.3.3	Lluvias convectivas y estratificadas y las redes para su medición	21
II.3.4	La red para monitorear la variabilidad interanual tipo Niña-Niño	22
II.3.5	El papel que juegan otras tecnologías de observación en el diseño de la red	23

<b>III</b>	<b>PARTE TERCERA: ESTABLECIMIENTO DE UNA RED PARA EL MONITOREO DEL CAMBIO CLIMÁTICO</b>	<b>24</b>
<b>III.1</b>	<b>¿QUÉ SE ENTIENDE POR UNA RED PARA LA DETECCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO?</b>	<b>24</b>
<b>III.2</b>	<b>¿POR QUÉ LA ACTUAL RED HIDROMETEOROLÓGICA Y CLIMÁTICA DE COSTA DEBE COMPLETARSE PARA FINES DE CAMBIO CLIMÁTICO?</b>	<b>24</b>
<b>III.3</b>	<b>ABORDAJE MUNDIAL, REGIONAL Y NACIONAL PARA LA DETECCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO</b>	<b>25</b>
<b>III.4</b>	<b>¿CUÁLES VARIABLES DEBERÍAN MEDIRSE EN UNA RED PARA FINES DE CAMBIO CLIMÁTICO?</b>	<b>27</b>
<b>III.5</b>	<b>PROPUESTA DE UNA RED PARA LA DETECCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO</b>	<b>27</b>
III.5.1	Requerimientos fundamentales y opciones para asegurar el éxito de la red	28
III.5.1.1	Terrenos propios del Estado	28
III.5.1.2	Estándares técnicos de los equipos	28
III.5.1.3	Presupuestos	28
III.5.1.4	Obstáculos para la compra e importación de equipos	28
III.5.1.5	Seguridad de las estaciones	28
III.5.1.6	Nuevo personal profesional y técnico	28
III.5.1.7	Base de datos diferenciada para cambio climático	29
III.5.2	Cantidad y ubicación de las nuevas estaciones	29
III.5.2.1	Estaciones meteorológicas de superficie	29
III.5.2.2	Estaciones océano-costeras y boyas marinas fijas	30
III.5.2.3	Estación de la atmósfera superior	30
III.5.2.4	Estaciones de contaminación atmosférica	31
III.5.2.5	Estaciones hidrológicas medidoras de caudal	31
III.5.2.6	Estaciones de calidad del agua	31
III.5.2.7	Apoyo en la detección temprana de incendios forestales	32
III.5.2.8	Prototipo de estaciones recomendadas	32
<b>IV</b>	<b>PARTE CUARTA: REFORZAMIENTO DE LA RED HIDROMETEOROLÓGICA NACIONAL Y LA GESTIÓN DE LOS DATOS E INFORMACIÓN</b>	<b>34</b>
<b>IV.1</b>	<b>GESTIÓN DE LOS DATOS E INFORMACIÓN</b>	<b>34</b>
<b>IV.2</b>	<b>REFORZAMIENTO DE LA RED HIDROMETEOROLÓGICA</b>	<b>34</b>
IV.2.1	Monitoreo	34
<b>IV.3</b>	<b>COMUNICACIONES</b>	<b>38</b>
<b>IV.4</b>	<b>PROCESO, ALMACENAMIENTO E INTERCAMBIO DE DATOS</b>	<b>38</b>
<b>V</b>	<b>PARTE QUINTA: ASPECTOS PRESUPUESTARIOS E INSTITUCIONALES</b>	<b>39</b>
<b>V.1</b>	<b>PRESUPUESTO POR COMPONENTES</b>	<b>39</b>
<b>V.2</b>	<b>PRESUPUESTO CONSOLIDADO</b>	<b>39</b>
<b>V.3</b>	<b>CONSIDERACIONES INSTITUCIONALES</b>	<b>39</b>
V.3.1	Esquema de armonía y buen entendimiento	40
V.3.2	Esquema de obligatoriedad	41
<b>V.4</b>	<b>Distribución de responsabilidades</b>	<b>41</b>
<b>VI</b>	<b>PARTE SEXTA: ASPECTOS DE APOYO</b>	<b>43</b>
<b>VI.1</b>	<b>Abreviaciones en anexos</b>	<b>43</b>
<b>VI.2</b>	<b>Personas contactadas</b>	<b>44</b>
<b>VI.3</b>	<b>Siglas utilizadas</b>	<b>45</b>
<b>VI.4</b>	<b>Referencias</b>	<b>45</b>
<b>VI.5</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>47</b>
Anexo 1	Cuadro: categorías o tipos de estaciones a instalarse en el año 1: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estaciones pivote con sensores de alta precisión para cambio climático</li> <li>• Estaciones secundarias para cambio climático con sensores de menor precisión que las pivote</li> </ul>	48

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estaciones marinas para finalidades de cambio climático</li> <li>• Estaciones de reforzamiento hidrometeorológico</li> </ul>	
Anexo 2	Mapa: categorías o tipos de estaciones a instalarse en el año 1	<b>52</b>
Anexo 3	Cuadro: categorías o tipos de estaciones a instalarse en el año 2: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estaciones secundarias para cambio climático con sensores de menor precisión que las pivote</li> <li>• Estaciones de reforzamiento hidrometeorológico</li> </ul>	<b>53</b>
Anexo 4	Mapa: categorías o tipos de estaciones a instalarse en el año 2	<b>54</b>
Anexo 5	Cuadro: categorías o tipos de estaciones a instalar en el año 3: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estaciones secundarias para cambio climático con sensores de menor precisión que las pivote</li> <li>• Estaciones de reforzamiento hidrometeorológico</li> </ul>	<b>55</b>
Anexo 6	Mapa: categorías o tipos de estaciones a instalarse en el año 3	<b>56</b>
Anexo 7	Cuadro: categorías o tipos de estaciones a instalar en el año 4: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estaciones secundarias para cambio climático con sensores de menor precisión que las pivote</li> <li>• Estaciones de reforzamiento hidrometeorológico</li> </ul>	<b>57</b>
Anexo 8	Mapa: categorías o tipos de estaciones a instalarse en el año 4	<b>59</b>
Anexo 9	Cuadro: categorías o tipos de estaciones a instalar en el año 5: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estaciones secundarias para cambio climático con sensores de menor precisión que las pivote</li> <li>• Estaciones de reforzamiento hidrometeorológico</li> <li>• Boyas marinas</li> <li>• Radares meteorológicos</li> </ul>	<b>60</b>
Anexo 10	Mapa: categorías o tipos de estaciones a instalarse en el año 5	<b>62</b>
Anexo 11	Cuadro: Estaciones de contaminación a instalarse en el año 1 Mapa: Ubicación de las estaciones de contaminación	<b>63</b>
Anexo 12	Cuadro: estaciones de calidad del agua a instalarse entre los años 1 y 4: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Año 1</li> <li>• Año 2</li> <li>• Año 3</li> <li>• Año 4</li> </ul>	<b>64</b>
Anexo 13	Mapa: estaciones de calidad del agua a instalarse entre los años 1 y 4	<b>67</b>
Anexo 14	Mapa: estaciones de todo tipo a instalarse entre los años 1 y 5 y estaciones existentes	<b>68</b>
Anexo 15	Mapa: estaciones de lluvia a instalarse y estaciones existentes	<b>69</b>
Anexo 16	Mapa: estaciones de viento a instalarse y estaciones existentes	<b>70</b>
Anexo 17	Mapa: estaciones de temperatura y humedad a instalarse y estaciones existentes	<b>71</b>
Anexo 18	Mapa: estaciones de radiación solar a instalarse y estaciones existentes	<b>72</b>
Anexo 19	Mapa: estaciones de caudal a instalarse y estaciones existentes	<b>73</b>
Anexo 20	Presupuesto consolidado para todos los tipos de rubros (equipos e instalación)	<b>74</b>

## i) RESUMEN EJECUTIVO

Este documento es el producto de una consultoría elaborada para el IMN/MINAE/PNUD sobre “Observación Sistemática, Investigación y Desarrollo de Capacidades para el Cambio Climático en Costa Rica” como parte del Proyecto de la Segunda Comunicación Nacional a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático. El producto principal es una propuesta para el establecimiento de una red nacional para la observación y detección del cambio climático.

Se aprovecha el ejercicio para hacer una revisión lo más exhaustiva posible del estado de la red hidrometeorológica y climática nacional actual, proponiendo cursos de acción para mejorar coberturas de monitoreo de los diferentes parámetros y enfocando aquellos aspectos institucionales que deberían modificarse para que el país cuente con datos e información que apoyen su competitividad nacional e internacional.

Se muestran las diferentes componentes de la red hidrometeorológica y climática nacional, revisando sus aciertos y debilidades y los cursos de acción para corregir éstas últimas. La red para fines de cambio climático se propone como una nueva componente, reconociendo que los datos que han sido utilizados en esta materia, si bien gozan de toda confiabilidad, no necesariamente han sido medidos con instrumental especializado para tales fines o en los lugares en donde hubiese sido deseable medirlos.

Se parte del hecho que en la temática del cambio climático hay dos aspectos medulares a alcanzar: la **detección** del cambio y su **atribución**, entendiendo la detección como el proceso de demostrar que el clima ha cambiado en algún sentido estadístico definido, mientras que la atribución es el proceso de señalar con algún grado de confiabilidad, las causas más probables del cambio detectado. El fundamento para establecer una red sobre cambio climático se centra por lo tanto en el primero de estos dos conceptos: la detección oportuna y con altos estándares de confiabilidad del cambio del clima. La atribución, por su parte, va más allá de los alcances de este documento.

En un contexto más general, para comprender las debilidades y fortalezas que se encuentran hoy día en la actual red hidrometeorológica y climática nacional, se revisan brevemente aspectos históricos que muestran aspectos tan relevantes como el hecho que Costa Rica fue el primer país de América Latina que se incorporó a la Red Internacional de Observaciones Meteorológicas, establecida en el Primer Congreso Meteorológico Internacional en Viena en el año de 1873.

Tanto en el establecimiento de la red para fines de cambio climático como en la revisión de la red hidrometeorológica se utiliza principalmente el juicio experto, aunque se revisan criterios teóricos expuestos en trabajos recientes. La razón para privilegiar el juicio experto en esta propuesta es porque Costa Rica cuenta con excelentes expertos en este tema los cuales fueron consultados para elaborar este trabajo; estos expertos conocen con profundidad la problemática de la red y las vías de solución. Manejan la temática del cambio climático, del ozono, de la contaminación atmosférica, de la contaminación del agua y del manejo de datos en todos sus extremos, aspectos muy importantes al momento de rediseñar o establecer nuevas estaciones de monitoreo.

La parte primera del documento da un vistazo sobre lo que debe entenderse por redes de monitoreo climático e hidrometeorológico, individualizando sus componentes. La parte segunda se interna en los instrumentos científicos que deben de tomarse en cuenta al diseñar redes. La parte tercera propone la nueva red para la detección del cambio climático. La parte cuarta propone el reforzamiento de la actual red hidrometeorológica y la parte quinta se dedica a los aspectos presupuestarios y a los aspectos de la institucionalidad en el manejo de la red de monitoreo en el país.

## ii) INSTRUMENTOS DE POLÍTICA Y ESTRATEGIA QUE APOYAN ESTA PROPUESTA

Disponer de una red adecuada para la detección del cambio climático va más allá, hoy día, de algo necesario o deseable, se convierte en un imperativo para la competitividad del país y de solidaridad para con la humanidad y la vida total del planeta.

Se reconoce que Costa Rica es un país que ha estado históricamente comprometido con su ambiente y son muchas las acciones que han demostrado este compromiso. En los últimos años el país ha diseñado una importante cantidad de políticas y estrategias desde el más alto nivel para la utilización sostenible del ambiente.

La necesidad urgente de tomar acción en materia de cambio climático se plasma en el Plan Nacional de Desarrollo de Costa Rica – Jorge Manuel Dengo Obregón – 2006/2010: *“Como se sabe, entre las consecuencias más graves de las distintas formas de contaminación de la atmósfera figura el **cambio climático**. Los estudios científicos realizados prevén que el calentamiento global tendrá un impacto negativo en nuestra sociedad y en sus diferentes actividades productivas, incidiendo en áreas como la salud, la agricultura, el recurso hídrico, la generación de electricidad, los recursos forestales, la biodiversidad, los recursos marinos costeros y la infraestructura, entre otras. Asimismo, el calentamiento global aumentará la severidad de los eventos hidrometeorológicos extremos. Ante esta realidad, es necesario que el país avance hacia la construcción participativa de un Programa Nacional de **Cambio Climático**, partiendo del inventario nacional de emisiones por fuentes y absorción por sumideros de gases de efecto invernadero para identificar opciones de mitigación. Del mismo modo, es necesario evaluar impactos y vulnerabilidad para establecer políticas y medidas de adaptación, incorporando dichas medidas en un plan de acción contra el calentamiento global. Este plan debe ser compatible con nuestros objetivos de desarrollo sostenible y aprovechar las oportunidades del mercado internacional de carbono, por medio de la comercialización de reducción de emisiones certificadas en el ámbito del Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kyoto y/o en los mercados voluntarios emergentes, o bien otras oportunidades que resulten de mecanismos financieros para reconocer las inversiones que se han hecho en materia de recuperación de cobertura forestal o lucha contra la deforestación. Las acciones complementarias en materia de calidad ambiental estarán enfocadas a elaborar y ejecutar el Programa de Gestión de Calidad Ambiental, dirigido al establecimiento de normas jurídicas y regulatorias para la restauración, mantenimiento y mejoría de los elementos ambientales estratégicos (suelo, agua, aire, biodiversidad, etc.) y reducir la incidencia de la degradación ambiental en la salud de la población”*.

En julio de 2007 el Gobierno de la República dio a conocer el Programa de “Paz con la Naturaleza” el cual tiene el propósito de promover iniciativas de paz con la naturaleza y los bienes globales atendiendo varios frentes: **cambio climático**, biodiversidad, conservación y protección del bosque, recursos hídricos y recursos marinos, así como situar a Costa Rica como potencia moral en materia ambiental. Paz con la Naturaleza es una iniciativa con dos dimensiones: hacia lo interno, ser más consecuentes con el artículo 50 de la Constitución Política que textualmente dice lo siguiente: “Toda persona tiene derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado”. Igualmente, ser más consecuentes con los tratados internacionales ratificados por el país, las leyes vigentes, y las políticas públicas y planes de acción, incluido el manejo sostenible de los ecosistemas y sus bienes y servicios ambientales.

Y hacia lo externo, insertarnos de manera más eficaz en los procesos internacionales, participando activamente y liderando con el ejemplo, para lograr incidir de manera significativa en las decisiones que a nivel mundial deban tomarse en torno a estos temas.

Es por ello que “Paz con la Naturaleza” es una iniciativa nacional y global que busca convocar a todos los países del mundo a fortalecer sus acciones y políticas públicas y asumir un mayor compromiso para revertir, a través de un esfuerzo conjunto, las tendencias de degradación ambiental causadas por el impacto de las acciones humanas sobre la calidad de vida de las personas y los ecosistemas que dan vida al mundo.

Por su parte, La Política Hídrica Nacional, en lo que a “**Monitoreo sistemático**” se refiere propone que “es función del Estado asegurar la colección y disseminación de la información básica climática, meteorológica, cartográfica e hidrológica necesaria para el manejo del recurso agua. Ello debe complementarse y coordinarse con

*las mediciones que realizan los usuarios del agua y otras instituciones públicas y privadas, con la finalidad de disminuir a un nivel razonable la incertidumbre en el conocimiento del recurso”.*

Lo anterior es fundamental para cumplir con el IX Principio Rector de la Política Hídrica Nacional, que textualmente señala: *“El balance hídrico oferta-demanda por cuencas hidrográficas, incluyendo aguas superficiales y subterráneas, es un instrumento básico para la asignación del agua en la gestión integrada del recurso”.*

Finalmente, no basta recopilar grandes cantidades de datos e información sobre el cambio climático en cuanto a la atmósfera, los océanos y la tierra sólida, si los mismos no se pueden transmitir en forma inmediata y eficiente hasta el usuario para la toma de decisiones. En este sentido el Gobierno de Costa Rica ha venido propiciando la iniciativa del Gobierno Digital con la visión de *“ser un país modelo en la región latinoamericana, que haga uso constante de las tecnologías digitales a favor de la sociedad costarricense”.* Algunos de los principios propuestos como parte de Gobierno Digital son los siguientes: *mejorar el acceso a la información pública; maximizar los recursos; reducir la brecha digital entre los ciudadanos; hacer más fácil la vida al ciudadano.*

En la confección de este documento se toman en cuenta éstos y otros instrumentos de política y estrategia con el objetivo de producir una propuesta técnica y financiera que encaje con propiedad en el accionar gubernamental.

### **iii) AGRADecIMIENTOS**

El consultor agradece a todas las personas que le brindaron o facilitaron información sacando tiempo de sus ocupadas agendas de trabajo y que aparecen en la lista de las personas contactadas hacia el final del documento. En especial se agradece a las licenciadas Nury Sanabria y Cristina Araya por el gran apoyo brindado en la parte de sistemas de información geográfica, al Lic. Carlos Badilla por su apoyo computacional, al MSc. Hugo Herrera por la asistencia en información sobre tecnologías, precios de instrumental y enfoque del documento, todos funcionarios del Instituto Meteorológico Nacional

## **I - PARTE PRIMERA**

### **UN VISTAZO A LA RED HIDROMETEOROLÓGICA Y CLIMÁTICA NACIONAL ACTUAL**

#### **I.1 DOS PUNTOS DE UBICACIÓN EN CUANTO A ESTE DOCUMENTO**

##### **I.1.1 Alcance del documento**

El objetivo de la consultoría se puede separar en dos grandes componentes: a) analizar las prácticas y las necesidades de observación sistemática en apoyo a la investigación del cambio climático y conceptualizar un sistema de sistemas de monitoreo sistemático nacional con una influencia beneficiosa sobre las áreas temáticas de la prevención y mitigación de desastres, la salud, la energía, el clima, su variabilidad y el cambio climático, el recurso hídrico, la biodiversidad y la agricultura, como parte integral del plan nacional de desarrollo y compatible con los diferentes acuerdos multilaterales adoptados por el país y b) explorar y fortalecer alianzas interinstitucionales efectivas, en el contexto de los programas globales de observación, evitando la duplicación de esfuerzos en el monitoreo y la investigación sobre el clima, su variabilidad y el cambio climático.

Se aprovecha la ocasión para hacer una revisión global de la problemática de la red hidrometeorológica y climática nacional actual, proponiendo cursos de acción para mejorar coberturas de monitoreo de los diferentes parámetros hidrometeorológicos y climáticos y enfocando aquellos aspectos institucionales que deben cambiarse para que el país cuente con datos e información hidrometeorológica y del clima que apoyen su competitividad nacional e internacional.

##### **I.1.2 Estado de la red nacional de monitoreo en el contexto centroamericano**

Si bien este documento enfatiza en las debilidades de la red nacional de monitoreo hidrometeorológico y climático con el fin de señalar cursos de acción para corregirlas, es importante aclarar que aún con las debilidades que se señalan, la red nacional de Costa Rica ocupa posiblemente uno de los primeros lugares en Centroamérica en cuanto a antigüedad en longitud de series de datos, en cantidad y tipos de estaciones y en la sostenibilidad que ha tenido a través de los tiempos. (E. Zárate y C. DeVries, 1994). Se hace esta aclaración para no partir desde un principio con una visión distorsionada de la calidad de red existente y el papel que ha jugado en la vida nacional, tal como el apoyo a la agricultura, a la construcción, a la aviación, a la detección de fenómenos atmosféricos peligrosos y otros.

#### **I.2 ¿QUÉ SE ENTIENDE POR RED HIDROMETEOROLÓGICA Y POR RED CLIMÁTICA?**

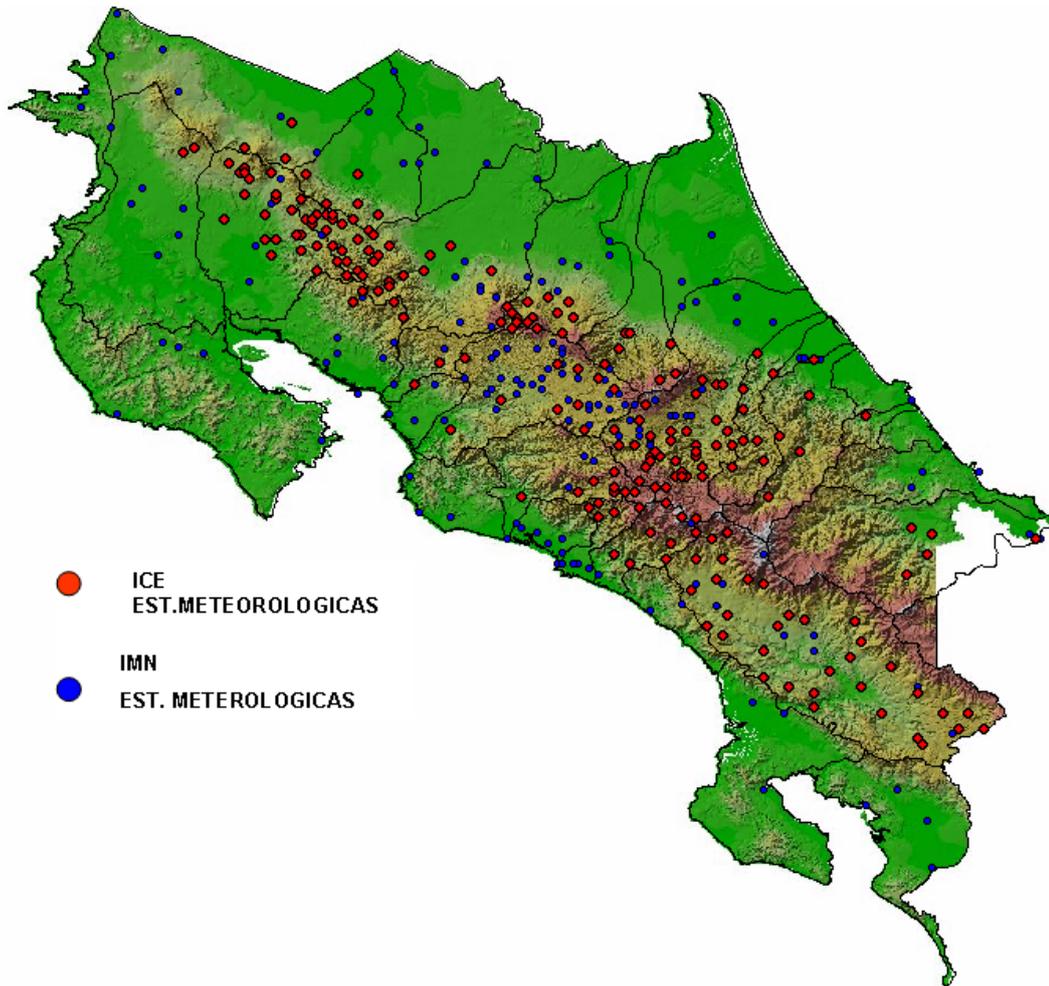
En este documento se habla constantemente de red climática e hidrometeorológica haciendo claras diferencias entre ellas, por lo que resulta importante hacer la aclaración respectiva.

##### **I.2.1 Concepto de red hidrometeorológica**

El término hidrometeorología se acuñó para designar en una sola palabra los aspectos relativos a los recursos hídricos y a la meteorología. La red hidrometeorológica nacional consiste, entonces, en el conjunto de localidades distribuidas en el país en donde se llevan a cabo mediciones hidrológicas y meteorológicas en forma manual o automatizada. A estas localidades o puntos se les denomina estaciones meteorológicas o estaciones hidrológicas.

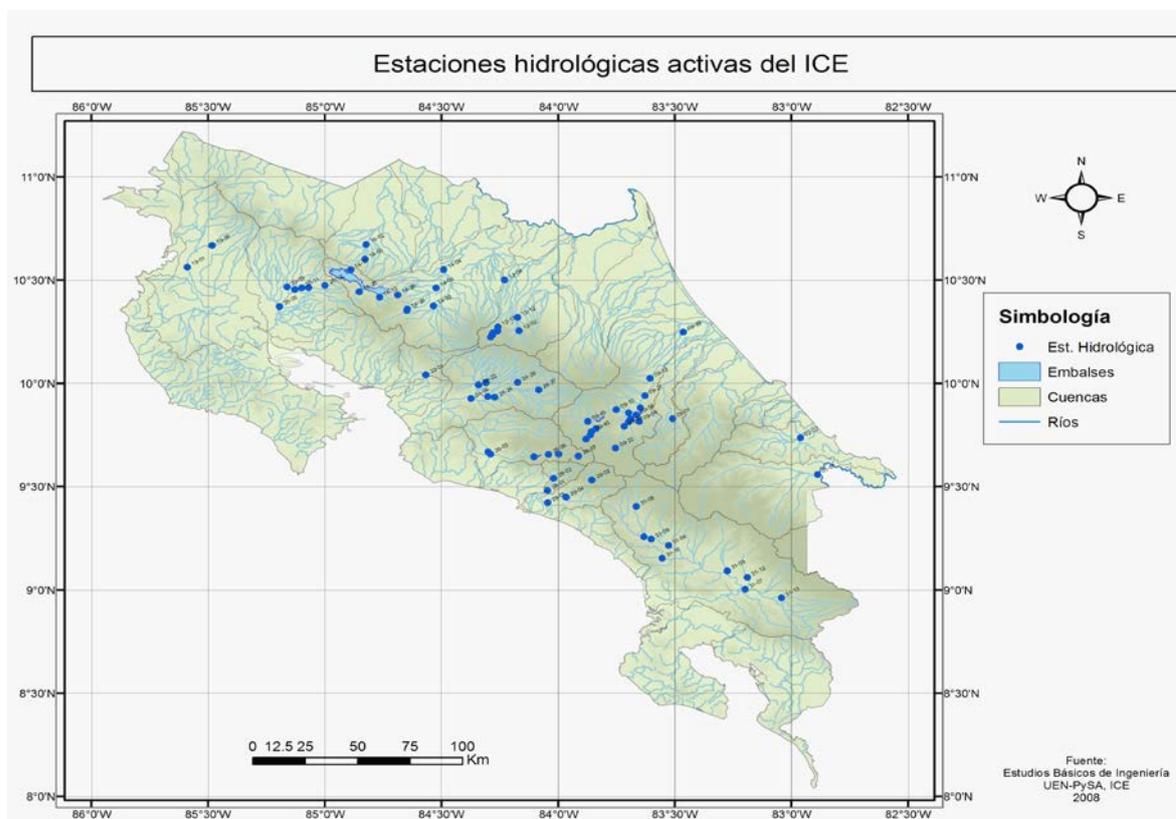
Los puntos en donde se hacen mediciones meteorológicas por parte de las diferentes instituciones que operan estaciones se muestran en la figura 1, mientras que la figura 2 muestra los puntos donde el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) lleva a cabo mediciones hidrológicas, básicamente caudales de ríos. La esencia básica de una red hidrometeorológica es aportar información sobre el tiempo atmosférico y la respectiva componente hidrológica para tomar decisiones en el día a día.

Figura 1: Estaciones meteorológicas activas del IMN y del ICE (fuente: Instituto Meteorológico Nacional)



Nótese que las estaciones del ICE (puntos rojos) están localizadas preferiblemente en las zonas montañosas, mientras que la red del IMN (puntos azules) cubre parte de las zonas bajas.

Figura 2: estaciones hidrológicas activas del ICE (fuente: Instituto Costarricense de Electricidad)



Al igual que en el caso de las estaciones meteorológicas, las estaciones hidrológicas del ICE se ubican preferiblemente en las partes montañosas donde hay importante potencial de hidrogenación.

### I.2.2 Concepto de red climática

Para entender el concepto de red climática, hay que entender la diferencia entre los conceptos de “tiempo atmosférico” y “clima”. El tiempo atmosférico es el comportamiento que tiene la atmósfera en el día a día, el cual es muy variable. El clima por su parte se define como el tiempo atmosférico promediado. El concepto de “promediado” se utiliza para dar a entender la eliminación de las variaciones bruscas del tiempo y aislar los patrones duraderos. Un ejemplo puede aclarar mejor esta diferencia. Si se examinan los valores diarios de lluvia de la estación de San José en época lluviosa, se encuentra que la mayoría de las tardes son lluviosas y algunas mañanas también; esto es el carácter típico del tiempo atmosférico. Pero si se promedian los datos en un lapso de 30 años, el patrón que emerge es el de mañanas secas y tardes lluviosas. Esa diferencia algo sutil entre tiempo y clima obliga a que en el diseño de la red tenga en cuenta los requerimientos del día a día (red hidrometeorológica) y los del clima (red climática).

Las observaciones hidrometeorológicas pueden ser fácilmente utilizadas para describir el clima, sin embargo es fundamental contar con estaciones de alta calidad que se mantengan en el mismo sitio de observación por periodos largos de años, para utilizarlas como estaciones climáticas de referencia o estaciones pivote.

### **I.2.3 Componentes de la red nacional**

La red hidrometeorológica y climática nacional está integrada por redes que atienden objetivos o temas específicos, las cuales se describen a continuación. El objetivo de dar esta breve descripción red por red, es mostrar que la actividad del monitoreo va más allá de llenar espacios geográficos con estaciones, sino que las estaciones deben estar localizadas en lugares estratégicos según la actividad que apoyen y objetivo que se persiga.

#### **I.2.3.1 Red de meteorología sinóptica**

La meteorología sinóptica se encarga de los aspectos atinentes a la predicción del tiempo atmosférico en plazos que van desde horas hasta unos días. La red sinóptica de Costa Rica cuenta con estaciones principales distribuidas en diferentes partes del país, más algunas estaciones automáticas de apoyo con envío de información en tiempo real. Los datos generados en estas estaciones se suman a otros que generan los países vecinos, más datos de buques, aviones, satélites, boyas fijas y a la deriva y otros, como insumo para confeccionar las predicciones nacionales y regionales del tiempo. Esta red pertenece en su totalidad al Instituto Meteorológico Nacional. La red es la columna vertebral para la información que se brinda a organismos como la Comisión Nacional de Emergencias, la Cruz Roja y otros para fines de protección civil ante eventos hidrometeorológicos severos.

Debilidades de la red: Aunque la red cumple con los fines para los que se estableció, se reconoce que debería incluir al menos dos estaciones completas más, una en el área de Tortuguero o Barra del Colorado y otra en la Península de Osa o extremo sur oeste del país, las cuales no existen actualmente. Las estaciones para el monitoreo del cambio climático que se propone instalar en estas localidades más adelante en este documento, contribuirían a llenar este vacío, sin solventarlo del todo porque estas serían estaciones totalmente automatizadas y quedarían faltando las observaciones de nubosidad, granizo, tormenta eléctrica y otras.

#### **I.2.3.2 Red de meteorología aeronáutica**

Las estaciones que constituyen esta red están ubicadas en los aeropuertos internacionales del país, a saber: Juan Santamaría, Tobías Bolaños, Daniel Oduber y aeropuerto Internacional de Limón. El objetivo es brindar información sobre el tiempo atmosférico para la seguridad de las operaciones aeronáuticas, básicamente las aproximaciones, aterrizajes y despegues de los aviones. Esta red es operada por el Instituto Meteorológico Nacional. Es importante señalar que vasta que alguno de los aeropuertos antes señalados se queden sin información meteorológica por cualquier razón, para que el aeropuerto sea inmediatamente cerrado a las operaciones de los aviones atendiendo a normas internacionales, lo que hace dicha red altamente sensible en cuanto a su desempeño.

Debilidades en la red: Hay zonas de intenso tráfico de aviación liviana que no cuentan con información meteorológica específica para sus operaciones. El país solo cuenta con una estación especializada para fines de meteorología aeronáutica instalada en el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría (estación tipo ASOS-Aeronautic Surface Observation System). Los equipos de este tipo deberían ser redundantes en los aeropuertos ya que bajo ninguna razón puede carecerse de información meteorológica. Por ello debe instalarse una estación ASOS más en el Aeropuerto Juan Santamaría, dos en el Aeropuerto Internacional Daniel Oduber en Liberia, una en el Aeropuerto Internacional Tobías Bolaños en Pavas y una en el Aeropuerto Internacional de Limón.

Otra debilidad de esta red es que este tipo de estaciones requieren contar con personal entre doce y dieciocho horas al día, según opere el aeropuerto donde se localizan, lo cual es muy oneroso. En la administración estatal es difícil contar con suficiente personal para cubrir vacaciones, enfermedades, días festivos, etc. y ello impone limitantes en el número de estaciones de este tipo. Además no existe forma de prescindir del personal meteorológico en un aeropuerto, ya que las variables que se monitorean no son todas automatizables básicamente por aspectos tecnológicos, como es el caso del

tipo de nubosidad existente según diferentes alturas (nubes bajas, medias y altas) e igualmente el caso de los fenómenos presentes como tormenta eléctrica, granizo, nubes de polvo, nieblas, etc.

### **I.2.3.3 Red de meteorología agrícola**

Aún cuando en el pasado existieron varias de estas estaciones instaladas en estaciones experimentales de instituciones de enseñanza e investigación, hoy día las pocas que hay pertenecen mayoritariamente a la empresa privada. En algunos casos la información que generan estas estaciones es transferida al IMN mediante acuerdos de trabajo. La agricultura costarricense se ha visto altamente beneficiada por el apoyo de información hidrometeorológica ya que se toma muy en cuenta para programar las inversiones en el sector.

Debilidades en la red: el IMN no dispone hoy día de estaciones especializadas para fines de apoyo a la agricultura, donde se midan al menos variables como la temperatura y humedad en el suelo. El IMN debe retomar el establecimiento de este tipo de estaciones con al menos una estación en cada una de las siguientes zonas: llanuras del norte del país, Guanacaste, Caribe Sur y Pacífico Sur. Con este fin, entre otros, se añaden sensores de temperatura y humedad del suelo en las estaciones pivote de cambio climático propuestas en la PARTE TERCERA de este documento, lo que conformaría una red de 10 estaciones a nivel de país.

### **I.2.3.4 Red hidrológica**

Esta red tiene como fin el monitoreo de los caudales en los ríos. El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) es la institución que ha operado esta red en su totalidad a través de los años; los datos generados se utilizan básicamente en apoyo a la hidrogenación, pero también han sido muy importantes en el estudio del comportamiento de la escorrentía en años con sequías o muy lluviosos. Las estaciones están instaladas preferiblemente en sitios cercanos a los embalses o donde hay potencial hidroeléctrico. También se hacen mediciones de sedimentos en algunos sitios. No cabe duda que esta red ha sido determinante en el conocimiento del potencial hídrico nacional para la generación hidroeléctrica, factor de mayor importancia en el desarrollo del país.

El Departamento de Aguas del MINAE tiene algunos datos de “caudales de estiaje” que son aquellos que se miden en los momentos en que los ríos tienen menos agua durante las épocas secas. Sin embargo, al no ser series continuas en el tiempo, pierden parte de su valor.

Debilidades en la red: casi no existen mediciones de caudales en zonas bajas o planas del país en apoyo al manejo integrado del agua, sobre todo el otorgamiento de concesiones de agua.

### **I.2.3.5 Red de contaminación atmosférica**

La red de contaminación atmosférica tiene dos grandes componentes: una, la medición de la contaminación local sobre todo la urbana y otra, la medición de la contaminación transfronteriza (la que nos viene de afuera del país). En el primer caso, se han hecho mediciones esporádicas en años pasados por parte de los Ministerios de Salud y el MINAE primordialmente. El IMN en un acuerdo con la UNA, el Ministerio de Salud y la Municipalidad de Belén, Heredia, instaló una estación en Belén de Heredia pero se cerró por falta de repuestos.

En cuanto a la contaminación transfronteriza, el IMN instaló una estación en el Volcán Irazú hace unos años, la cual no está trabajando actualmente por falta de repuestos y materiales fungibles.

Debilidades en la red: en realidad no ha existido una red permanente para el monitoreo de la contaminación atmosférica, los esfuerzos han sido aislados y por periodos cortos. Las estaciones automatizadas para este propósito son significativamente más caras que las de monitoreo climático como se nota en el Anexo 11.

### **I.2.3.6 Red de la atmósfera superior**

La red de la atmósfera superior, a la que también se le denomina como red de altura o de radiosondeo, mide las siguientes variables atmosféricas desde el suelo hasta unos 35 km. de altura: viento, presión, humedad y geopotencial. El país tiene una única estación que inició mediciones en el año 1972 y siempre ha estado localizada en el aeropuerto internacional Juan Santamaría. El costo de su operación es bastante alto y a menudo se presentan dificultades para financiar los materiales fungibles que se requieren para hacer un sondeo diario, aún cuando las normas internacionales solicitan cuatro sondeos por cada periodo de 24 horas. La red es operada por el Instituto Meteorológico Nacional. Actualmente, en Centroamérica hay únicamente otras dos estaciones de este tipo en operación, una instalada en Belice y otra en la Zona del Canal de Panamá.

En los últimos tres años se han llevado a cabo campañas científicas por parte de la NASA con base en Costa Rica sobre todo en el verano del Hemisferio Norte, en colaboración con el IMN, la UNA, la UCR, el CENAT y otras instituciones nacionales e internacionales, y se han generado datos hasta 4 veces al día (un sondeo cada 6 horas). Estas campañas han incluido ozono sondeos en la estratosfera inferior y el monitoreo de otros tipos de gases y particulados.

Los sondeos atmosféricos son de mayor importancia porque permiten comprender el comportamiento atmosférico al menos en los primeros 30 a 35 km. de altura a partir del suelo, zona en donde se concentra la mayor parte del aire del planeta. Con ese conocimiento se puede dar seguimiento a la gran mayoría de los disturbios atmosféricos que nos afectan diariamente. Además, esta es la capa atmosférica donde cotidianamente se desarrollan las operaciones aeronáuticas a las cuales se requiere brindarles protección para su seguridad. Por lo demás, resulta muy limitante emprender el entendimiento del cambio climático con únicamente datos a nivel del suelo, por lo que los datos de la atmósfera superior son indispensables en esta tarea.

Debilidades en la red: A pesar que el país hace únicamente un sondeo por día, este se ha estado suspendiendo en las épocas secas en los últimos años por falta de presupuesto para comprar materiales fungibles.

### **I.2.3.7 Red mareográfica y de meteorología marina**

En Costa Rica hay registros de variables marinas desde los años cuarenta, no son registros totalmente continuos, pero aún así han sido valiosos para determinar que en los últimos años el nivel del mar haya venido aumentando de 2 a 3 milímetros por año (Aubrey, D.G. et al, 1988; Maul, G, 1993; Díaz J. y Gutiérrez A, 1998). El Instituto Geográfico Nacional tuvo a cargo los registros durante el período de 1940 hasta 1970. Las estaciones se discontinuaron por diferentes motivos y se reactivaron algunas a partir de mediados de la década del 90, cuando con un gran esfuerzo se dio continuidad a la única estación que se mantenía operando- Puerto Quepos- y se dio inicio al registro en viejos sitios desmantelados y en nuevos emplazamientos como Puntarenas, Limón, Golfito, Caldera, Cuajiniquil, Nacascolo y Rincón, algunos de ellos de vigencia temporal, principalmente por motivo falta de fondos para su mantenimiento. Este resurgimiento de la red mareográfica se debe a los esfuerzos mancomunados de la Universidad Nacional y el Instituto Meteorológico.

En octubre 1998, el Huracán Mitch, calificado como el cuarto huracán más intenso que se había registrado en el Océano Atlántico en toda la historia, ocasionó serios daños a la región estimados entre 7.5 y 8.5 mil millones de dólares. Los estudios indicaban que eventos extremos tal como el Huracán Mitch irían en aumento tanto en frecuencia como en severidad. Por esta razón, los gobiernos centroamericanos y los organismos donantes se comprometieron a fortalecer la infraestructura y la capacidad técnica en la región para la observación de los océanos. Surgió así el proyecto de la Red Oceanográfica para el Nivel del Mar en América Central (RONMAC) con la cooperación del Gobierno de EE.UU., el apoyo del Comité Regional de Recursos Hidráulicos

(CRRH) y los denominados países Mitch, a saber, El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua, aunque otros países participan también (figura 3). Por diversas razones el mantenimiento de esta red se ha tornado muy difícil y se hace necesario rescatar, en el caso de Costa Rica, varias de las estaciones ya que han perdido sensores que no han podido ser reemplazados.

Figura 3: mapa de la red RONMAC (fuente: <http://www.una.ac.cr/ronmac/ronmac.html>, CRRH, USAID, OEA, NOAA)

Debilidades en la red: algunos sitios de medición no son los óptimos por encontrarse en muelles con alto tráfico de trabajo que en ocasiones producen accidentes en el instrumental de medición. No se cuenta con boyas mar adentro frente a nuestras costas para monitorear y validar datos como los del fenómeno de El Niño o emitir alertas sobre Tsunamis. Ha adolecido de falta de financiamiento para mantenimiento oportuno y disponibilidad de los datos que genera para el usuario.



### I.2.3.8 Red de descargas eléctricas

Esta red establecida y operada por el ICE desde hace alrededor de 5 años, mide las descargas eléctricas que se producen en todo el país incluyendo los océanos adyacentes. La red tiene instalados cuatro sensores en diferentes partes del país y ello es suficiente para medir casi el 100% de las descargas eléctricas que se producen en el territorio nacional y más allá. El objetivo original de la red fue la protección de las líneas de transmisión eléctrica las cuales se ven afectadas por la tormenta. Sin embargo, los datos que produce la red son muy valiosos para fines de meteorología sinóptica, meteorología aeronáutica, prevención de desastres y fines climáticos.

Es difícil señalar alguna **debilidad** importante en la red, más bien es lamentable que instituciones como el IMN no hayan tenido acceso a esta información en tiempo real (aún cuando el ICE está dispuesto a compartirla) por no disponer de un software con un costo en el orden de US\$ 15.000.

### I.2.3.9 Red pluviométrica urbana

Como su nombre lo indica, esta red está compuesta solo por puntos de medición de lluvia. La particularidad que tiene es que los instrumentos medidores de lluvia están instalados en el área urbana, aproximadamente entre Tres Ríos y Alajuela en sentido este-oeste y Heredia y Alajuelita, en sentido norte-sur. La red surgió a principios de la década de 1980, a raíz de la presencia de desbordamientos de ríos y quebradas, producto del urbanismo generalizado y del cambio en el uso del suelo. Se trata de una red no convencional en el sentido que no cumple necesariamente las especificaciones internacionales de instalación del instrumental. Los pluviómetros se instalan en ocasiones sobre techos y azoteas, ya que la finalidad es conocer la intensidad de la lluvia para tomar decisiones en el momento. La red la opera el IMN y su propósito es apoyar a la Comisión Nacional de Prevención y Atención de Emergencias (CNE) en la atención de situaciones hidrometeorológicas urbanas que van siendo más frecuentes a medida que pasan los años. La red es de mayor importancia en la detección de eventos lluviosos violentos que provocan crecidas repentinas en ríos y quebradas por lo cual debería tecnificarse en el grado requerido.

Debilidades en la red: Los reportes de las lluvias se hacen vía telefónica y a pedido del personal del IMN cuando la situación lo amerita, lo cual resta prontitud. La red debería automatizarse con equipo de precio económico para utilizar llamado automatizado. Además faltan puntos de monitoreo para captar mejor eventos lluviosos severos en cuencas muy pequeñas.

#### **I.2.3.10 Red del estado de los ríos**

La CNE tiene una red en donde se indican tres veces al día (7am, 12 medio día, 6pm) en forma visual lo siguiente: los niveles de los ríos utilizando criterios como normal, algo crecido, crecido y desbordado, y sobre aspectos atmosféricos, criterios como lluvia débil, moderada o fuerte. En casos de emergencias hidrometeorológicas se hacen reportes cada 3 horas. Para fines de atención de emergencias hidrometeorológicas tales como desbordamientos repentinos e inundaciones de varios días, esta información es muy importante.

Debilidades de la red: los datos recolectados no forman parte de un banco nacional ni obedecen a estándares internacionales.

#### **I.2.3.11 Red climatológica**

El objeto de la red climatológica ha sido caracterizar y describir el clima del país. Esta red prácticamente utiliza toda la información de las redes antes descritas. Las instituciones que más estaciones han manejado históricamente han sido el IMN y el ICE, pero en la recopilación de datos para la caracterización del clima de Costa Rica se cuenta con series de datos que superan el centenar de años. Muchas de las series más antiguas fueron recopiladas por personas individuales como un servicio al país. También han aportado datos instituciones como el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA), el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), empresas ferrocarrileras, empresas bananeras y muchas otras.

Debilidades en la red: Para fines de descripción climática general la red es aceptable, sin embargo hay muchas zonas carentes de datos como la Península de Nicoya, Llanuras del norte del país y partes de la vertiente del Caribe, así como el Pacífico Sur y partes altas del sistema montañoso del país. Las mediciones de las variables del clima se han hecho siempre con instrumentos de sensibilidad normal que admiten errores de medición mayores que los de alta sensibilidad.

#### **I.2.3.12 Red para la recepción de imágenes satelitales**

El IMN recibe imágenes satelitales meteorológicas desde inicios de la década de 1970. A partir de allí otras instituciones han instalado receptores de estas imágenes que aplican en sus actividades propias; la Universidad Nacional las aplica con fines oceanográficos, el ICE para sus pronósticos hidrológicos. El IMN es la institución que hace un uso más extensivo de estas imágenes porque las utiliza cotidianamente en el pronóstico meteorológico, en el marino, en el climático y en general en el apoyo a todas las actividades del país. Recibe imágenes cada media hora en los canales del visible, del infrarrojo y del vapor de agua; dentro de estos canales hay variantes y combinaciones que proveen imágenes que resaltan algunos rasgos atmosféricos según se requiera.

La operación cotidiana y en buena forma de esta red es fundamental para el apoyo a la meteorología aeronáutica, a la sinóptica y en general para la detección de los fenómenos severos que afectan al país. Cuando esta red se cae por algún desperfecto, la vigilancia hidrometeorológica sufre severamente en calidad.

Debilidades en la red: El IMN no posee antena terrena para captar las imágenes de los satélites que circundan la tierra según órbitas polares, las cuales son de gran importancia por su alta resolución. Por otra parte, la estación terrena para los satélites de órbita geoestacionaria es antigua y a menudo da problemas de recepción, por lo cual debería cambiarse.

### **I.3 LAS GRANDES AUSENCIAS EN LA RED NACIONAL DE MONITOREO**

Por diferentes razones, el país no ha podido establecer algunas redes importantes cuyas ausencias son muy notorias; éstas se señalan a continuación:

#### **I.3.1 Red especializada para cambio climático**

El país no cuenta con una red específicamente diseñada para la detección del cambio climático. Las mediciones de las variables climáticas que se llevan a cabo en las redes antes enumeradas admiten errores instrumentales que por lo general están por encima de los “pequeños” pero profundos cambios que se han podido medir en el complejo sistema climático del planeta.

Por tanto hay que establecer una red cuyo objetivo fundamental sea medir e individualizar el cambio climático en forma precisa, lo que es básicamente el objeto de este documento.

#### **I.3.2 Red de radares meteorológicos**

Por muchos motivos, el país no cuenta con una red de radares meteorológicos, siendo el principal, el económico. El radar meteorológico tiene muchas aplicaciones, estando entre las más importantes la estimación de lluvia en tiempo real en áreas específicas. Esta aplicación mejoraría enormemente los pronósticos de lluvia y el pronóstico de caudales de ríos sobre todo en lo atinente al apoyo a la gestión contra inundaciones repentinas y las generalizadas. Esta red debería ser manejada por el IMN para integrarlo a su sistema de prevención hidrometeorológico nacional.

#### **I.3.3 Red para incendios forestales**

No existe una red para el monitoreo y la detección temprana de incendios forestales, que mida en forma rutinaria la humedad del suelo y la temperatura y humedad en el material combustible. Esta red debería ser instalada y operada conjuntamente entre el IMN y el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC).

El país cuenta con organización suficiente para el combate de incendios forestales a través de un buen número de instituciones nacionales lideradas por el MINAE/SINAC, sin embargo la observación sistemática de las variables antes citadas está haciendo falta para mejorar la prevención. En la propuesta de estaciones pivote a ser instaladas para fines de cambio climático se incluyen sensores para estos fines en diez diferentes localidades del país.



#### **I.3.4 Red de la calidad de las aguas**

No cabe duda que una de las grandes omisiones en la red hidrometeorológica y climática nacional ha sido la falta de mediciones sistemáticas de la calidad del agua en los cuerpos de agua, tales como ríos, lagos, lagunas y acuíferos subterráneos. Se cuenta con algunas mediciones llevadas a cabo por instituciones prestatarias de servicios o a través de proyectos ejecutados por instituciones de investigación y enseñanza superior, pero no se cuenta con mediciones sistemáticas y de largo plazo, de una longitud de treinta o más años, que es lo que se pide para un adecuado tratamiento estadístico de los datos con fines de obtener conclusiones aceptables sobre el comportamiento de los parámetros o el clima. En todo caso, una de las dificultades para el usuario de este tipo de información hoy día, es que las instituciones que la producen lo hacen para sus intereses de trabajo y se hace muy difícil tener acceso a la misma.

Por ejemplo, el AyA analiza la calidad microbiológica del agua en 179 lugares del país, en los cuales no están incluidos Cartago y San Carlos. Muchos de estos análisis se ejecutan directamente en el cuerpo de agua propiamente dicho, otros en los tanques de captación para distribución. Los análisis se hacen con varias periodicidades, en zonas muy pobladas como el área metropolitana se hacen todos los días, en otros se hacen con periodicidades de uno a quince días. La base de datos del

AyA se inicia en el año 1996; hay muchos datos antiguos que deberían rescatarse, están en cintas y en bandas. El AyA chequea alrededor de 242 acueductos municipales cada seis meses y unos 1855 acueductos rurales cada dos años. La opinión de los expertos en esta materia es que los análisis de calidad del agua deberían incluir análisis microbiológicos, sobre todo el recuento de bacterias mesofílicas, lo cual podría llevarse a cabo con periodicidades de 3 meses. Igualmente es recomendable analizar la presencia de coliformes fecales en los cuerpos de agua.

Un informe sobre la calidad del agua en Costa Rica elaborado por el IMTA de México (IMTA, 2008), hace un recuento de los tipos más comunes de contaminación que se encuentra en nuestros cuerpos de agua superficiales y subterráneos.

La red de monitoreo de la calidad del agua que se propone más adelante recomienda formas de monitoreo automatizado que reduzcan a un mínimo la participación humano, lo que limita a monitorear solo ciertos parámetros que aceptan esa modalidad. Sin embargo, existe una iniciativa por parte de un grupo de instituciones del ejecutivo, autónomas y académicas que, amparadas a un decreto sobre aspectos de calidad del agua, trabajan actualmente en el establecimiento de una red para el monitoreo de la calidad del agua a nivel nacional en donde se monitorearán parámetros que requieren la participación de análisis de laboratorio. La red automatizada incluida en este estudio más adelante propone medir las siguientes variables en algunos ríos del país: turbidez de agua, conductividad, PH, oxígeno disuelto y temperatura del agua. Esto se complementaría muy bien con lo que recomiende el mencionado grupo en la parte bacteriológica.

La red de monitoreo recomendada en este documento debería estar a cargo del Dpto de Aguas del MINAE o la Dirección Nacional de Recursos Hídricos cuando se establezca.

### **I.3.5 La información multiuso**

Una característica importante de las redes antes descritas, es que los datos que generan sus estaciones son multiuso. Lo que ello significa es que los datos medidos en una estación sinóptica son útiles para los propósitos aeronáuticos o para fines del estudio de la contaminación atmosférica, e igualmente para estudios climatológicos. Esa es la importancia de tener una visión de red nacional, en lugar de una visión atomizada de red por red, y aún más, comprender que la red nacional es la suma de los esfuerzos de todas las instituciones que practican algún tipo de monitoreo hidrometeorológico o climático, debiendo estar los datos al alcance del usuario en forma ágil y oportuna. Desdichadamente esto no ha sido así ya que la información está en bancos de datos institucionales sin acceso al público, o con un acceso tan restringido que es casi como si los datos no existiesen. En el PARTE CUARTA y QUINTA de este documento se enfatiza sobre la necesidad de visualizar el monitoreo hidrometeorológico y climático como un continuo, enlazado con un adecuado sistema de comunicaciones, de procesamiento y almacenamiento de datos y disponibilidad del dato para el usuario. Este concepto empata, en lo nacional, con el recientemente creado Sistema Mundial de Sistemas de Observación de la Tierra (GEOSS por sus siglas en inglés), el cual pretende acabar con la atomización de todo tipo de redes de monitoreo ambiental, y formar redes de redes que produzcan datos e información coordinadamente.

### **I.4 BREVE RESUMEN DE LA EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA RED HIDROMETEOROLÓGICA Y CLIMÁTICA NACIONAL**

Para comprender las debilidades que se identifican en la actual red hidrometeorológica y climática nacional, es preciso entender la evolución histórica que la misma siguió en su desarrollo, lo cual es el objeto de esta parte del documento. Es importante aclarar que este apartado I.4 se elaboró con lo contenido en la tesis de licenciatura del Lic. Ronald Díaz (Díaz R, 2003), titulada “El Proceso de la Institucionalización de la Meteorología en Costa Rica (1887-1949)”, presentada en el año 2003 en la Universidad de Costa Rica. El trabajo es muy rico, abunda en citas de documentos, artículos, libros,

tesis, revistas y otros. Las múltiples citas bibliográficas que aparecen en la Tesis se omiten acá por claridad, al tratarse de un documento de trabajo práctico.

Costa Rica fue el primer país de América Latina que se incorporó en la década de 1870, a la Red Internacional de Observaciones Meteorológicas, establecida en el Primer Congreso Meteorológico Internacional en Viena el año 1873. Con esta red se buscaba impulsar la uniformidad de las observaciones meteorológicas a nivel mundial para una mayor comprensión de la dinámica de los fenómenos atmosféricos y la predicción de su comportamiento.

En 1883, la entonces Oficina de Estadística de Costa Rica fue reestructurada como Dirección General de Estadística y continuó con la labor de recopilar la información meteorológica producida en el país. Publicaba diariamente datos de temperatura, viento, nubosidad y presión atmosférica.

En 1887 se dotó a San José de un Observatorio Meteorológico ubicado bajo la Secretaría de Instrucción Pública. Desde ese entonces el Observatorio facilitó datos para ser analizados en la Oficina del Tiempo de los Estados Unidos e institutos meteorológicos y observatorios en Europa. El Observatorio, al igual que la Dirección, publicaban los datos de la estación de San José en La Gaceta.

En abril de 1888 se fundó el Instituto Meteorológico Nacional, con sede en el Liceo de Costa Rica y vinculado institucionalmente a la Secretaría de Instrucción Pública. El primer director fue el científico Henry Pittier. Este instituto lo conformaba el Observatorio Meteorológico y las estaciones meteorológicas que se fueron estableciendo en el Valle Central en el bienio 1888-1889. Dado que buena parte de las estaciones meteorológicas eran operadas por hacendados, Pittier propuso la instalación de un sistema de estaciones operadas por los oficiales militares, telegrafistas y maestros, solicitud que no tuvo gran acogida. Para 1889 se disponía de cuatro estaciones para medir la lluvia: Aguacaliente de Cartago, La Palma en la Cordillera Central, Hacienda San Gabriel en Tibás y San Diego de Tres Ríos.

En el periodo 1884-1897 se fundaron varias estaciones meteorológicas. Destaca el hecho que ya se incluían entre éstas localidades sitios de observación relativamente alejados del Valle Central tales como Limón, Turrialba, Boca del Río Banano, Siquirres y otras.

En 1889 se fundó el Instituto Físico-Geográfico Nacional para la actualización y perfeccionamiento de la cartografía nacional. La nueva institución absorbió el Instituto Meteorológico en donde se mantuvo hasta 1910. También en el año 1899, Pittier publicó los resúmenes de los cuadros meteorológicos del Instituto Meteorológico y el Boletín de Agricultura Tropical, donde aparecen los últimos avances de las investigaciones agronómicas en la zona tropical y su aplicación al contexto meteorológico. Este hecho revela que la meteorología agrícola se practicaba ya desde fines del siglo XIX.

Entre 1897 y 1898 se da un hecho importante en el estableciendo de estaciones de observación meteorológica: la red pluviométrica se extendió a lo largo del Ferrocarril al Atlántico con el apoyo de la Costa Rica Railway Company. La importancia de este hecho radica en que sirve para ejemplificar la inadecuada distribución espacial que ha tenido la red nacional a través de los tiempos. En muchos casos la ubicación de las estaciones han respondido preferiblemente a necesidades momentáneas y no como el producto de una planificación nacional para atender todas las necesidades del país en términos de monitoreo.

Resulta interesante que ya desde el año 1898, con ocasión de una expedición hecha a la Isla del Coco, se propuso establecer un observatorio meteorológico en dicha Isla para beneficiar los estudios climatológicos del país y del Océano Pacífico Oriental. Se aprovecha este dato para hacer una breve disgregación; a principios de los años 1990, el IMN instaló una estación meteorológica automática en dicha Isla pero por falta de transporte para darle mantenimiento dejó de funcionar. En esta

propuesta se retoma la instalación de una estación con sensores meteorológicos, hidrológicos y marinos.

En el periodo 1898 y 1906, la red pluviométrica contaba ya con más de treinta estaciones. Llama la atención la asimetría espacial en la ubicación de las estaciones; de más de treinta estaciones, solo dos estaban en el Pacífico, una en Puntarenas y otra en Cañas. Para esa época se remitían ya mensualmente por telégrafo las observaciones meteorológicas a la Oficina del Tiempo en Washington, que fungía como centro de acopio de la información del continente americano para la red meteorológica mundial. Este hecho es altamente significativo porque marca los inicios de la inserción del país en el intercambio mundial de datos, lo que hoy se hace rutinariamente a través de la Vigilancia Meteorológica Mundial de la OMM y el Sistema Mundial de Observación del Clima. Hacia 1910 se utilizaron por primera vez símbolos para describir fenómenos atmosféricos que siguen usándose aún hoy día, tales como los de tormenta eléctrica, lluvia, neblina y otros. Estos hechos de la primera década del siglo XX marcan los inicios de la meteorología sinóptica.

Entre 1910 y 1924 el Observatorio Meteorológico se incorporó al Museo Nacional. Es en esta época, 1913, cuando se realizan por primera vez en forma sistemática observaciones meteorológicas por encima de los 2000 metros sobre el nivel del mar en Tierra Blanca de Cartago.

A raíz de un terremoto en marzo de 1924 con epicentro en las proximidades de Orotina, se planteó la necesidad de reestructurar el Instituto Físico-Geográfico Nacional. El Observatorio Meteorológico y la Red Meteorológica siguieron operando dentro de este Instituto hasta 1936, cuando el Gobierno de León Cortés decidió cerrar el Instituto. Con ello, el Observatorio Nacional y la Red Pluviométrica se ubican en el Centro Nacional de Agricultura que se había fundado en 1910. Al fundarse la Universidad de Costa Rica en 1940, se reestructura el Instituto Físico-Geográfico Nacional y se pone a depender de dicha Universidad; para ese entonces el Observatorio Meteorológico y la Red Pluviométrica eran parte de ese Instituto. En este periodo se logró la reestructuración de la red pluviométrica nacional.

La aparición de observaciones meteorológicas en fincas bananeras es otro ejemplo de ese surgimiento “espontáneo” de la red atendiendo a una finalidad específica. En este caso las estaciones se aglutinaron en los sitios de interés de la United Fruit Company, sobre todo en el Pacífico Sur y la región del Caribe. Si el ferrocarril generó una “red de monitoreo meteorológico lineal”, la actividad bananera generó una red “apuñada” en fincas, para la medición de la lluvia y temperatura sobre todo. Esta mención no constituye una crítica, sino simplemente se utiliza para que se comprenda por qué hay zonas del país que en algún momento muestran grandes cantidades de datos y otras áreas totalmente despobladas de éstos.

Entre 1944 y 1948, el Observatorio Meteorológico y la Red pluviométrica se ubicaron como dependencia del Instituto Geográfico Nacional, institución que albergó al Servicio Meteorológico y Sismológico Nacional en esos años.

Finalizan aquí las citas de Díaz, 2003; solo se agrega lo siguiente tomado de dicho trabajo: “el periodo 1910-1949, se caracterizó por los constantes vaivenes institucionales del Observatorio Meteorológico de San José, debido a la incidencia de las crisis económicas y los conflictos políticos a nivel nacional e internacional. Estas situaciones repercutieron en el traslado del Observatorio a cinco instituciones a lo largo de cuatro décadas...” La información de este párrafo es muy relevante porque ilustra los cuidados que se deben tener al interpretar los datos, sobre todo si se trata de encontrar signos en el cambio del clima. Si las reubicaciones de las estaciones no se documentan adecuadamente (meta datos), a la hora de analizar los datos podría llegarse a conclusiones erróneas, producto de los saltos en las series al cambiar la estación de lugar.

Una página negra en la historia de la meteorología en el país se da en el año 1949, cuando se suprimieron las partidas presupuestarias del Servicio Meteorológico y Sismológico para afrontar los costos económicos generados por la guerra y la reconstrucción de la infraestructura nacional; en 1950 dicho Servicio fue reabierto.

Con la apertura en 1956 de la estación meteorológica del Aeropuerto del Coco, hoy Juan Santamaría, da inicio formal el surgimiento de red para fines de meteorología aeronáutica, aún cuando la generación de datos e información meteorológica para fines aeronáuticos había surgido dos o tres décadas antes, con los inicios de la actividad aeronáutica en el país.

El trabajo de Díaz, 2003, cubre el periodo entre 1887 y 1949. Se relatan a continuación algunos hechos relevantes acaecidos a partir de esta última fecha que se relacionan con el establecimiento de otras redes de observación hidrometeorológica.

Con la creación del ICE en 1948, inicia la red hidrológica, básicamente la medición de caudales de río. La red ha estado altamente influenciada, como es de esperar, por una tendencia a la medición de caudales de ríos en zonas donde existe potencial eléctrico, preferiblemente zonas montañosas. Ello hace que hasta el día de hoy la red sea parcial ya que ninguna otra institución ha establecido desde entonces redes para este propósito que midan los caudales en las zonas bajas o las más planas del país. Uno de los aspectos que se ve más perjudicado al no contarse con información de caudales de ríos en zonas bajas, es el otorgamiento de concesiones para los diferentes usos del agua. De hecho, un balance hídrico mensual de tipo oferta-demanda que se elaboró como parte del Plan Nacional de Recursos Hídricos de Costa Rica, solo se pudo llevar a cabo en 15 de las 34 cuencas del país, siendo la principal razón la poca información hidrometeorológica que se tenía en las restantes cuencas.

En el tema de nuestros océanos, las mediciones mareográficas de nivel del mar datan de los años 1940, cuando el Instituto Geográfico Nacional instaló la primera estación en Quepos. Posteriormente y sobre todo a partir de la década de los años 1980, se instalaron otras estaciones en Limón, Moín, Caldera, y Puntarenas por parte del Instituto Meteorológico Nacional en colaboración con la Universidad Nacional.

La medición de contaminación atmosférica local (la contaminación generada en el país) aparece hacia los años de 1980, cuando el dióxido y monóxido de carbono y otros contaminantes se hacen sentir en la salud de los josefinos, sobre todo. Las mediciones se llevan a cabo durante campañas cortas, en realidad no se cuenta con una red de monitoreo para ese propósito. El Instituto Meteorológico instaló a mediados de los años de 1990 una estación de este tipo en Belén de Heredia con asistencia técnica de Japón, sin embargo después de unos pocos años de funcionamiento se cerró porque no fue posible logísticamente adquirir los repuestos en ese país, ya que el monto de las compras era poco interesante.

La red para la medición de las variables atmosféricas de la atmósfera superior (red de radiosondeo) inició su operación en el año 1971 y se mantiene hasta hoy. Consiste en una estación ubicada en el aeropuerto Juan Santamaría. El equipo de medición que se envía a la atmósfera y los equipos receptores en tierra han venido sufriendo variaciones tecnológicas; igualmente los métodos de proceso de la información. Inicialmente la estación estuvo ubicada en donde hoy está el edificio principal del aeropuerto; 15 años más tarde se trasladó unos 3 kilómetros a oeste, ubicándose en el extremo oeste de la pista.

Este es otro ejemplo en donde los cambios de ubicación de la estación y los cambios de tecnologías en los equipos y proceso de los datos, dificultan la manipulación climática de los datos.

Finalmente, se aborda la red climática. Ésta utiliza toda la información generada en todos los tiempos. Se logra así hacer una caracterización y descripción del clima del país razonablemente aceptable. Sin embargo, la utilización de esta red con fines de cambio climático debe tomarse con cuidado y reserva debido a todas las vicisitudes que se han presentado con los cambios de ubicación de las estaciones, las posibles omisiones en los meta datos y los cambios tecnológicos el instrumental de monitoreo.

Recapitulando sobre esta brevísima reseña historia de la forma en que se fue estructurando la red hidrometeorológica y climática nacional, saltan a la vista algunos puntos importantes: 1) la red fue surgiendo en diferentes épocas a la luz de las necesidades, no por un esquema de planificación debidamente formulado; 2) los constantes cambios de ubicación de algunas estaciones aunados a los cambios tecnológicos en los equipos, presuponen “saltos” en los datos de las series históricas que si bien no invalidan las series para fines de la climatología general, si imponen limitaciones para identificar señales de cambio climático.

## **I.5 PRINCIPALES DIFICULTADES QUE HA ENFRENTADO LA RED HIDROMETEOROLÓGICA Y CLIMÁTICA NACIONAL A TRAVÉS DE SU HISTORIA**

La razón de presentar las componentes de la red nacional por separado y un breve resumen histórico de la forma en que se fueron estableciendo las observaciones hidrometeorológicas y climáticas en el país, es para poder comprender las debilidades que la han caracterizado a través del tiempo y buscar soluciones a las mismas hoy día con una visión más integral y de futuro que en tiempos pasados.

A continuación se enumeran y analizan algunas de las debilidades más relevantes, tanto técnicos como administrativos.

### **I.5.1 Omisiones en los meta datos**

Se denominan meta datos aquellos datos que informan sobre otros datos. Por ejemplo, los meta datos de una estación meteorológica son su ubicación expresada en longitud y latitud, la altura sobre el nivel medio del mar, la altura de los instrumentos (no es lo mismo el viento medido a 2 metros de altura que medido a 10), la exposición de la estación en un terreno abierto o en la terraza de un edificio y otros.

La evolución histórica de la institucionalidad hidrometeorológica y climática del país muestra que las instituciones que han tenido estas actividades a su cargo han sido objeto de constantes cambios y altibajos, causados por diferentes motivos: reubicación de la institución en diferentes ministerios, mermas presupuestarias, cierres de la institución, reubicaciones físicas y otras. Estos cambios han dado como resultado en muchos casos que las estaciones de monitoreo se reubicasen también, por ejemplo la estación de San José, la cual estuvo ubicada en sus inicios en donde está hoy el Liceo de Costa Rica, se trasladó a donde están hoy los edificios de la Caja Costarricense de Seguro Social en la Avenida Segunda, estuvo en la Universidad de Costa Rica en barrio González Lamahn, en Aranjuez ha estado en dos diferentes ubicaciones y alturas (una a nivel del suelo y otra sobre un edificio) y también ha estado en San Pedro de Montes de Oca. Los meta datos en cada una de estas ubicaciones debieron haber quedado celosamente referenciados para poder hacer los ajustes estadísticos del caso al trabajar con los datos, sin embargo no siempre sucedió así.

Lo anterior ilustra las dificultades que se encuentran al momento de tratar las series de datos como una sola a lo largo del tiempo. Se identifican “saltos” hacia arriba o hacia abajo en algunos parámetros y variaciones drásticas; ello dificulta los estudios del cambio climático. Aquí se vuelve al tema de la diferencia entre tiempo atmosférico y clima. Para fines de la descripción del tiempo atmosférico en el día a día, la estación de San José ha cumplido su cometido sin importar demasiado su ubicación, pero para fines de descripción climática si se presentan dificultades. Esta situación se

presenta en muchas estaciones antiguas, por ejemplo en los aeropuertos, donde han cambiado varias veces sus ubicaciones por el constante desarrollo de la infraestructura en los mismos.

### **I.5.2 Carencia de terrenos propios para ubica las estaciones**

El tema de la disponibilidad de terrenos para ubicar las estaciones hidrometeorológicas y climáticas ha tenido históricamente dos aristas: las estaciones más antiguas del país pertenecientes al Instituto Meteorológico Nacional, han estado ubicadas siempre en terrenos prestados, sea por buena voluntad del dueño o el por interés de los propietarios del terreno de tener acceso a los datos. Por el contrario, las estaciones de algunas instituciones como el ICE o el AyA, se ubican generalmente en terrenos propios de la institución.

Cuando las estaciones se localizan en propiedades ajenas, con cierta frecuencia sufren reubicaciones, o sencillamente el propietario del terreno anuncia que ya la estación debe ser retirada definitivamente porque requiere el terreno para otro fin.

El IMN ha instalado estaciones en las áreas de conservación, pero la experiencia ha sido poco exitosa ya que las regulaciones para la poda de árboles y chapeas se vuelven tan severas, que a veces ha habido que desinstalar estaciones por la imposibilidad de cortar las ramas de un árbol que se ciernen sobre la estación tiempo después de que fuese instalada.

### **I.5.3 Dificultades para la adquisición de equipos y repuestos**

De todas las dificultades para lograr que la red nacional funcione adecuadamente, este ocupa un lugar importante. En lo que concierne al gobierno central, los procedimientos administrativos para la adquisición de equipos y repuestos han sido engorrosos históricamente y en los últimos años se han tornado aún más engorrosos, al punto que aún disponiendo de fondos para las adquisiciones, en muchas ocasiones no se logran concretar en todo el lapso de un año y las oportunidades de compras se pierden. El resultado de esta dificultad es que los sensores instalados en los equipos generan datos equivocados o se tienen que desinstalar del todo y la serie de datos queda truncada. En los últimos años se ha tenido inclusive que proceder al cerrar estaciones del todo por no poder comprar repuestos, tal como fue el caso, entre otros, de la estación de contaminación atmosférica instalada en Belén de Heredia y la estación de contaminación transfronteriza del Volcán Irazú.

### **I.5.4 Dificultades presupuestales para el mantenimiento de la red incluyendo observadores y guardas**

Las dificultades presupuestarias para el manteniendo de la red hidrometeorológica y climática nacional tiene también dos aristas: por una parte, instituciones autónomas como el ICE, han dispuesto siempre de recursos económicos suficientes para mantener su red en buen estado. Por el lado del gobierno central, la situación ha sido históricamente lo contrario. Los presupuestos gubernamentales para la compra de instrumental y repuestos y el pago de observadores o guardas, han estado siempre muy por debajo de los requerimientos reales, lo que ha incidido de alguna forma en falta de cobertura geográfica de la red y en la calidad y continuidad de los datos. Los fondos para el pago de guardas para evitar el vandalismo, ha sido casi nulo a través de la historia de la red.

### **I.5.5 Carencia de laboratorios de calibración**

Una de las grandes limitaciones de la red a través de toda su historia ha sido la carencia de laboratorios y patrones de calibración para los diferentes instrumentos. En las últimas décadas, con la aparición de los equipos digitales de medición, los instrumentos se contrastan más que cuando eran mecánicos o electromecánicos. Esto hace que no se tenga absoluta certeza de la calidad de los datos recopilados.

### **I.5.6 Falta de oportunidades de capacitación para el personal que atiende la red**

En general, el personal técnico que atiende la instalación y mantenimiento de estaciones no ha dispuesto de suficientes oportunidades de capacitación. Hasta principios de la década de los años 70, este personal se formaba como autodidactas, aprendían haciendo. Posteriormente se han brindado cursos de capacitación nacionales e internacionales y los conocimientos mejoraron. Sin embargo, se reconoce la necesidad de mayor capacitación para este personal para evitar errores técnicos que se reflejan en una mala calidad de los datos recopilados.

### **I.5.7 El síndrome de la dependencia de la red de proyectos internacionales**

Producto de las bajas asignaciones presupuestarias del gobierno central para el desarrollo y mantenimiento de las redes de observación, el país ha tenido que depender de la ayuda externa no reembolsable para desarrollar las redes en forma significativa. Zárate y Devris, 1994, al analizar la evolución de las redes meteorológicas e hidrológicas en Centroamérica, destacan dos momentos en la segunda parte del siglo XX donde hubo crecimientos importantes de las redes gracias a proyectos regionales. El primer momento se dio entre 1965 y 1975 con el Proyecto Hidrometeorológico del Istmo Centroamericano (OMM/PNUD), a través del cual se instalaron y reforzaron varias estaciones que hoy día siguen produciendo datos e información, por ejemplo la estación de Limón. El segundo proyecto importante que mejoró sensiblemente la red en Costa Rica fue el Proyecto FINNIDA entre los años 1990 y 1997, con el apoyo económico del Gobierno de Finlandia y el apoyo técnico de la OMM y el Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH). En ambos casos, y en otros ejemplos que se podrían citar con relación a fortalecimiento con ayuda internacional, el problema ha sido la ausencia de fondos para dar sostenibilidad a los nuevos equipos instalados, de tal forma que poco tiempo después de finalizados los proyectos, ha habido que cerrar las estaciones por falta de repuestos o de materiales fungibles.

Esta anotación no pretende disminuir la valía de la ayuda internacional en lo que a la red se refiere, lo que pretende es llamar la atención en el sentido que el Gobierno Central tiene que invertir más en el establecimiento y mantenimiento de la red, y no depender tanto de la ayuda internacional, y en todo caso si acepta esta ayuda, asegurar medios para la sostenibilidad de lo que se establece.

## **II - PARTE SEGUNDA**

### **JUICIO EXPERTO EN LA REINGENIERÍA DE LA RED HIDROMETEOROLÓGICA Y CLIMÁTICA NACIONAL**

En esta SEGUNDA PARTE se utiliza principalmente el juicio experto para la propuesta de reingeniería de la red nacional por encima de los métodos teóricos que existen para el diseño de redes. En la PARTE CUARTA, en donde se revisa la estructura de la actual red hidrometeorológica, se revisan criterios teóricos en la determinación de la cobertura de la red. La razón para privilegiar el juicio experto en esta propuesta de reingeniería de la red, es porque Costa Rica cuenta con excelentes expertos en este tema trabajando en diferentes instituciones, los cuales fueron consultados para elaborar este trabajo. Una lista con sus nombres aparece al final de este trabajo. Estos profesionales y técnicos con trayectorias de trabajo entre veinte y treinta años, conocen con profundidad la problemática de la red y las vías de solución; manejan también las temáticas del cambio climático, del ozono, de la contaminación atmosférica y del manejo de datos en todos sus extremos, aspectos muy importantes al momento de rediseñar o establecer nuevas estaciones.

#### **II.1 CONSIDERACIONES PRÁCTICAS**

Cuando se trata de ubicar nuevas estaciones de monitoreo de cualquier variable hidrometeorológica o del clima, lo primero que se analiza es que el lugar de instalación y su entorno cuente con ciertas condiciones mínimas de infraestructura como son:

- facilidad de acceso a la estación; significa que tenga al menos acceso en vehículo de doble tracción, en lancha o avión o a veces en bestia.
- que la estación no esté expuesta al vandalismo y que cuente con vigilancia el mayor tiempo posible. Esto es muy importante cuando se ubican estaciones en sitios de difícil acceso.

#### **II.2 CONSIDERACIONES SOBRE EXPOSICIÓN DE ESTACIONES**

Un aspecto que tiene que ver con la parte técnico-científica del monitorio de las variables del tiempo atmosférico y el clima en general, es la exposición de la parcela donde se ubica la estación. Ésta debe estar suficientemente expuesta a la acción de los elementos a medir a fin de no recolectar datos espurios, como podrían ser datos de lluvia o radiación solar medidos con obstrucción de ramas de árboles.

#### **II.3 CONSIDERACIONES CIENTÍFICAS DE VARIABILIDAD DEL PARÁMETRO**

El número de estaciones a instalar debe depender de la variabilidad espacial que presenten variables. Por ejemplo, la lluvia es uno de los parámetros que más varía aún entre puntos cercanos, sean estos montañosos o planos, mientras por el contrario, la temperatura varía poco en tierras planas. Ello significa que en tierras planas debe haber más sensores de lluvia que de temperatura

##### **II.3.1 Clima del Pacífico y clima del Caribe con relación al diseño de redes**

El clima de la vertiente del Pacífico de Costa Rica, incluyendo el Valle Central Occidental, es enteramente diferente al de la vertiente del Caribe. Los patrones de lluvia, por ejemplo, son prácticamente invertidos. Este conocimiento anticipado es de mucha importancia en el rediseño de la red tal como se aborda más adelante.

##### **II.3.2 La escala sinóptica y la mesoescala y la red para el monitoreo del viento**

Una pregunta típica podría ser ¿qué tan densa tiene que ser la red para la medición del viento en Costa Rica? La respuesta sería: depende del sistema de viento que se busque caracterizar, vientos de “escala sinóptica” o “sistema de mesoescala”. Los primeros son por ejemplo, los vientos alisios que predominan durante toda época seca del Pacífico y fluyen desde el Mar Caribe hacia el Océano Pacífico Oriental cruzando sobre el país con una profundidad vertical de hasta 10 o más kilómetros.

Los segundos, los de mesoescala, son sistemas cuyas circulaciones ocupan apenas centenares o decenas de kilómetros de extensión, una profundidad vertical entre 1.5 y 2 kilómetros y tienen una dirección durante el día y otra durante la noche. Ejemplos de ello son las brisas de mar que fluyen tierra adentro en el día y en sentido contrario en la noche, o la brisa de montaña que va montaña arriba de día y montaña abajo por la noche.

Pero además, sean vientos de escala sinóptica o de mesoescala, estos interactúan con la orografía del país, generando deflexiones locales, aceleramientos y rotaciones. De ahí que dependiendo de lo que se quiera describir, así será la densidad de estaciones para registrar el viento. Una descripción apropiada del viento en la escala sinóptica se logra con la instalación de unas pocas estaciones, quizás una decena o menos. Sin embargo, para capturar el comportamiento de la mesoescala y las variaciones microclimáticas del viento, la red debería de contar con varias decenas de estaciones. Siendo así es posible capturar lo siguiente: 1) brisas de mar y tierra en las zonas costeras; 2) retornos de brisas de mar y tierra a distancias entre 75 y 150 kilómetros tierra adentro; 3) brisas diurnas y nocturnas en pendientes montañosas; 4) vientos acelerados y deflectados por acción orográfica; 5) potencial eólico en el tope de montañas; 6) rotores de viento con eje vertical al pie de barlovento de sistema montañoso; 7) aceleramientos del viento debido a modificaciones en espejos de agua. Descripciones de todos estos fenómenos se encuentran en Fernández W, Chacón R.E. y Melgarejo J, 1986 / Gandoso H, Zárate E, Vega N, 1982 / Zárate E, 1980 / Zárate E, 1981.

### **II.3.3 Lluvias convectivas y estratificadas y las redes para su medición**

Se denominan lluvias de tipo convectivo aquellas que se producen por acción del calentamiento diurno. Son lluvias fuertes, generalmente de tipo chaparrón, de corta duración, acompañadas generalmente de tormenta eléctrica, y su extensión horizontal está en el orden de unos pocos kilómetros. Un ejemplo de estas lluvias se presenta típicamente entre mayo y octubre durante la época lluviosa de la vertiente del Pacífico. Estadísticamente se dice que este tipo de lluvia tiene una variabilidad muy grande, aún presentándose en zonas planas. Lo que ello significa es que la lluvia caída en un lugar puede ser muy diferente a la caída en un lugar cercano.

Por el contrario, las lluvias de tipo estratificadas, denominadas también orográficas, son lluvias de larga duración como las asociadas a temporales del Pacífico o del Caribe. Muestran intermitencias débiles, moderadas y fuertes por muchas horas, casi no hay presencia de tormenta eléctrica y cubren áreas extensas, por ejemplo un episodio atemporalado puede cubrir buena parte de la vertiente del Caribe de Panamá, Costa Rica y Nicaragua. Por estas razones, la lluvia de tipo estratificado caída en determinado lugar se correlaciona mucho mejor con la caída en otro aún algo alejado.

Por tanto la densidad de una red para medir lluvia la impone, en primer lugar, el criterio de la lluvia convectiva, la cual exhibe una variabilidad mayor que la estratificada. Chacón R.E., 1985, muestra que en la cuenca del río Reventazón el coeficiente de correlación medio para lluvias estratificadas está por encima del valor de 70% para distancias de hasta 40 kilómetros entre estaciones, mientras que en el caso de lluvias convectivas, dicho coeficiente apenas alcanza un 45% para estaciones separadas apenas 9 kilómetros.

También es importante tener muy en cuenta el comportamiento de la lluvia con respecto a los perfiles montañosos, o sea su variación con la altura. Esto ha sido estudiado en Costa Rica, entre otros, por Mendizabal M.T., 1973, quien describió dos perfiles de lluvia con la altura, uno a lo largo de la zona montañosa y la planicie en la zona norte del país y otro en el Valle de Turrialba. Chacón R, 1985, estudió perfiles de lluvia en la cuenca del Reventazón y Chacón R.E. y Fernández W, 1985 estudiaron perfiles de lluvia con la altura que cruzan desde el Caribe hasta el Pacífico por la parte central del país. Estos estudios demuestran que las lluvias, sean de carácter convectivo o estratificado, son máximas cerca de la pendiente media de las montañas, lo cual constituye un segundo criterio importante para el diseño de la red para la medición de la lluvia. En general, en lo que respecta a las cordilleras Volcánica Central y de Talamanca, tanto en la vertiente del Atlántico

como en la del Pacífico, la lluvia máxima se manifiesta entre los 1500 y 2200 metros de altura, aproximadamente. Esta distribución está altamente influenciada por los diferentes sistemas de viento que actúan a lo largo del año. En el mapa del Anexo 14 se muestran los perfiles P1-P1 y P2-P2, a manera de ejemplo, que habrán de servir en estudios futuros para mostrar la variación de los parámetros atmosféricos desde el Caribe hasta el Pacífico, una vez que se instalen las estaciones que se ubican a lo largo de éstos.

Un tercer criterio a tener en cuenta para el diseño de una red medidora de lluvia, es el hecho que la lluvia es máxima a barlovento de los obstáculos montañosos con respecto al viento predominante, y tienden a disminuir rápidamente a sotavento del obstáculo. Por ejemplo, cuando el viento alisio es fuerte y afecta todo el país, tiende a producirse más lluvia en la pendiente montañosa de la Cordillera Volcánica Central que está expuesta hacia el flanco del Caribe. La lluvia disminuye rápidamente pendiente abajo hacia sobre la cara de la montaña que da al Pacífico. Es importante entonces ubicar estaciones medidoras de lluvia según perfiles que recorran la montaña de barlovento a sotavento (según el sistema de viento actuante), para conocer el comportamiento de ésta con la altura. El perfil de distribución de lluvia obtenido se puede aplicar entonces en pendientes similares de cuencas donde no haya datos, utilizando el concepto de la regionalización de la información.

Un cuarto criterio no necesariamente meteorológico para definir la red medidora de lluvia, son los aprovechamientos del recurso hídrico, sean aguas superficiales o subterráneas. La red medidora de lluvia en apoyo al otorgamiento de concesiones de agua debería definir el patrón lluvioso a nivel de microcuenca; sin embargo, el número de estaciones a instalar sería tan grande para ese propósito, que resulta prácticamente imposible por su alto costo. Lo que se requiere es establecer redes piloto muy densas en algunas zonas, generar perfiles del comportamiento de las diferentes variables hidrometeorológicas con la altura y utilizar criterios de regionalización de parámetros hidrometeorológicos para aplicar los resultados de una cuenca en otras con características climáticas similares, pero con menos información.

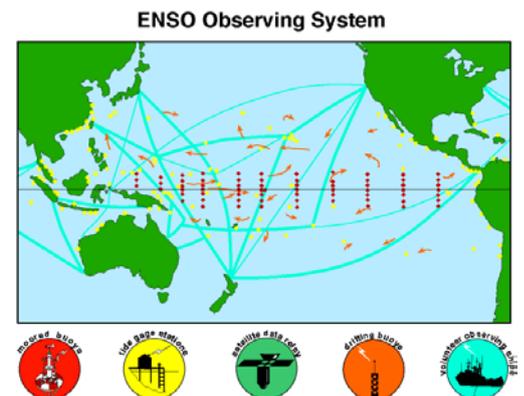
La red diseñada con los tres primeros criterios es suficiente para capturar en forma adecuada la distribución areal de la lluvia de los siguientes sistemas atmosféricos:

- a. Temporales en la vertiente del Caribe y del Pacífico y Valle Central debidos a huracanes.
- b. Temporales en la vertiente del Caribe debidos a la incursiones de frentes fríos y aceleramientos de los vientos alisios a mediados y fines y principios de año
- c. Lluvias mixtas convectivo-estratificadas provenientes del paso de ondas tropicales y otros disturbios menores.
- d. Lluvias normales de época lluviosa en ambas vertientes.

### II.3.4 La red para monitorear la variabilidad interanual tipo Niña-Niño

**Figura 4: Red de monitoreo del ENOS** (fuente: <http://www.pmel.noaa.gov/tao/elnino/.noaa/enso.html>, NOAA/OAR/ERL/PMEL/TAO)

Para monitorear la variabilidad interanual tipo El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) en una escala tan amplia como la que muestra la figura 4, bastarían unas pocas estaciones estratégicamente localizadas en el país para que, sumadas a otras observaciones oceánicas y continentales, dar una visión general de la extensión geográfica del fenómeno y de su intensidad. Pero si se pretende entender el



comportamiento del ENOS a lo interno del país, lo que se requiere es una red como la propuesta en este documento tanto en la parte climática como la hidrometeorológica. Solo con redes densas se pueden describir los cambios en los caudales de los ríos, en la lluvia, el viento y los demás parámetros atmosféricos y oceánicos.

### **II.3.5 El papel que juegan otras tecnologías de observación en el diseño de la red**

Actualmente se dispone de una gran cantidad de datos observados con instrumentos a bordo de diferentes tipos de vehículos, por ejemplo, satélites, aviones, barcos, boyas a la deriva, globos especiales que circundan el planeta y otros. También hay observaciones en instalaciones fijas tales como boyas fijas, globos cautivos y otros. Estas tecnologías de observación son muy importantes para el seguimiento del tiempo atmosférico y del clima, sin embargo no sustituyen aún a las observaciones hechas en tierra. Más bien, las observaciones hechas en tierra se utilizan para ajustar o calibrar aquellas hechas por medios móviles, las cuales exhiben a veces importantes márgenes de error. Aún así, estas observaciones globales permiten relacionar el clima local de un lugar particular con eventos climáticos ocurridos a grandes distancias. Por ejemplo, un fenómeno que se da en latitudes altas y polares denominado Oscilación Ártica, se relaciona con la presencia de mayor o menor número de empujes polares que alcanzan Centroamérica (Zárate E, 2005), lo cual incide en que tan lluvioso o seco es el periodo noviembre-marzo en el Caribe de Costa Rica. Un alto porcentaje de la lluvia en esa época es aportado por dichos empujes, más conocidos en el país como “frentes fríos”. Este tipo de estudios resultan importantes en el entendimiento de los mecanismos del clima en gran escala y abren posibilidades también en el entendimiento del cambio climático.

### **III - PARTE TERCERA**

#### **ESTABLECIMIENTO DE LA RED PARA EL MONITOREO DEL CAMBIO CLIMÁTICO**

A través de lo contenido en las PARTES PRIMERA Y SEGUNDA se puede concluir que no existe en el país una red específica para el monitoreo del cambio climático. Lo que se ha hecho es utilizar los datos obtenidos con fines hidrometeorológicos (puntos I.2.1 e I.2.2), y adaptarlos a la necesidad del cambio climático, cuestión que es factible pero que se puede mejorar mucho; por ello en esta PARTE TERCERA se propone el establecimiento de una red específicamente para los fines del monitoreo del cambio climático.

#### **III.1 ¿QUÉ SE ENTIENDE POR UNA RED PARA LA DETECCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO?**

En la temática del cambio climático hay dos aspectos medulares a alcanzar: la **detección** del cambio y su **atribución** (IPCC, 2007). Detección es el proceso de demostrar que el clima ha cambiado en algún sentido estadístico definido, mientras que la atribución es el proceso de señalar con algún grado de confiabilidad, las causas más probables del cambio detectado.

El fundamento para establecer una red sobre cambio climático se centra por lo tanto en el primero de estos dos conceptos: la detección oportuna y con altos estándares de confiabilidad del cambio en el clima. La atribución, por su parte, pertenece a otro ámbito científico que escapa a los alcances de este documento. En todo caso, la atribución solo cobra sentido cuando el cambio se mide siguiendo normas internacionalmente estandarizadas y validadas, lo que impone rigurosos criterios de diseño de las redes climáticas los cuales son tomados en cuenta en esta propuesta.

#### **III.2 ¿POR QUÉ LA ACTUAL RED HIDROMETEOROLÓGICA Y CLIMÁTICA DE COSTA DEBE COMPLETARSE PARA FINES DE CAMBIO CLIMÁTICO?**

No cabe duda que a través de manejos estadísticos, los datos hidrometeorológicos pueden convertirse en descripciones climáticas de importante valor, lo que de hecho se ha estado llevando a cabo por más de un siglo en el país. Sin embargo, la forma poco planificada en que fue evolucionando la red a través de los años y las debilidades que se han descrito anteriormente en la misma, obligan a su reingeniería para adaptarla a los fines de la detección del cambio climático. Se requiere instalar estaciones climatológicas **pivote** o **patrón** que: a) dispongan de instrumentos de la mayor precisión que los actualmente existentes; b) que sean contrastados periódicamente contra instrumentos patrón para asegurar la calidad del dato a través de los años; c) ubicarlas en sitios con buena exposición donde los datos no se vean afectados por situaciones locales ajenas al clima y en sitios donde perduren por periodos largos; d) que se disponga de repuestos para darles mantenimiento preventivo constantemente; e) que se puedan insertar en redes regionales planificadas internacionalmente para que los datos sean comparables con los de otros países (ver “Abordaje mundial, regional y nacional para la detección del cambio climático” más adelante).

Entonces, para medir los cambios en el clima con aceptable certeza, habría dos caminos a tomar: el primero es remodelar algunas de las estaciones que actualmente existen eliminando en ellas las debilidades existentes, es decir, seleccionar un grupo de estaciones y darles un tratamiento especial para fines de cambio climático, en donde se tengan en cuenta desde consideraciones técnicas tales como mejorar la calidad de los sensores, hasta consideraciones presupuestales. La otra forma de hacerlo es estableciendo estaciones totalmente nuevas que cumplan ese propósito. Entre esas dos alternativas, la más viable es la segunda por varias razones: primero se establecerían en terrenos que sean propiedad del Estado y con garantía de enclave para periodos largos. Segundo, se establecerían en sitios en donde el clima esté lo menos perturbado posible por la acción humana, como en áreas protegidas, con la debida garantía de que se pueda mantener su entorno en forma apropiada para garantizar la calidad de los datos. Tercero, se aprovecharía para instalarlas en lugares donde hay

poca cobertura de datos. En cuarto lugar, algunas de las estaciones podrían formar parte de las redes regionales y mundiales para el seguimiento y estudios del cambio climático aspecto que posicionaría a Costa Rica como un actor importante en la detección del cambio climático.

### **III.3 ABORDAJE MUNDIAL, REGIONAL Y NACIONAL PARA LA DETECCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO**

El proceso de socialización de la temática del cambio climático tiene un momento importante en el año de 1979 con motivo de la Primera Conferencia Mundial del Clima, en Ginebra, Suiza, donde entre otras cosas, se crea el Programa Mundial del Clima de la Organización Meteorológica Mundial. Lo importante de este momento histórico es quizás, que la temática del cambio climático comienza a ser preocupación de políticos y tomadores de decisiones y no solo de científicos. Rápidamente se introduce el concepto de cambio global para significar los cambios no solo en el clima, sino en los océanos y tierra sólida y todas las formas de vida existentes en el planeta.

Considerando que los tomadores de decisiones políticas, económicas y sociales en el mundo requerían fuentes objetivas de información sobre las causas del cambio climático, sus consecuencias socioeconómicas y las opciones de mitigación y adaptación que pudiesen existir, se creó en 1988 el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés). Los criterios que emite el IPCC reflejan los puntos de vista de la comunidad científica. Su naturaleza intergubernamental le permite proveer información científica, técnica y socioeconómica en forma neutral a los tomadores de decisiones.

A partir de la creación del IPCC, el tema del cambio climático tomó una dinámica acelerada; en mayo de 1992 a raíz de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y el Desarrollo celebrada en Brasil, conocida con el nombre de Primera Cumbre de la Tierra, 155 países firmaron la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC-NU, 1992), la que entró en vigor en marzo de 1994.

Los temas de la observación sistemática de variables climáticas, el establecimiento de archivos de datos y el intercambio pleno, abierto y oportuno de estos datos, están contenidos en la Convención en los numerales “g”, “h”, de su Artículo 4 -COMPROMISOS- y en su Artículo 5 -INVESTIGACIÓN SISTEMÁTICA- donde se hace mención explícita a las redes de observación en los países en desarrollo (Sistema de las UN, 1992...).

En el contexto mundial, se viene haciendo un esfuerzo por organizar de la mejor forma posible los aspectos de monitoreo de variables relativas al clima en el planeta, para lograr respuestas más rápidas al acelerado deterioro que se vive en todos los órdenes. Con este fin se estableció el Sistema Mundial de Observación de la Tierra (GEOSS por sus siglas en inglés) el cual consiste en herramientas que proveen observaciones del aire, del agua y la tierra, las cuales se realizan ya sea en tierra o sobre los océanos, o desde el aire por aeronaves y otras formas o desde el espacio a través de satélites (The Global Observing System, enero 2008,...). En el pasado estos elementos se monitorearon y sus datos se analizaron aisladamente. Hoy día, con el establecimiento del Sistema de Sistemas de Observación de la Tierra, se trata de analizar estos elementos conjuntamente y estudiar así sus interacciones. Por ello el GEOSS es un concepto con aplicaciones potenciales de amplio alcance, tales como la salud, el estado y calidad del ambiente, preparación ante desastres y otros.

Muchos países y organizaciones internacionales y regionales se han organizado alrededor de programas mundiales que se enlazan entre sí a través del GEOSS. Entre estos programas se pueden mencionar el Sistema Mundial de Observación del Clima (GCOS por sus siglas en inglés), el Sistema Mundial de Observación del Océano (GOOS) y el Sistema Mundial de Observación Terrestre (GTOS). Estos Sistemas se coordinan a través de reuniones internacionales y comités intergubernamentales.

En lo regional, Costa Rica participa en la componente del GCOS para Centroamérica y el Caribe (OMM7COI/PNUMA,...mayo 2005); este Plan especifica tres redes básicas que representan el mínimo requerido para caracterizar el clima regional:

- a. La red de Observaciones de Superficie (ROS): a nivel mundial se seleccionaron 989 estaciones de las cuales 23 pertenecen a la región de Centroamérica y el Caribe. La estación de Limón y la de Liberia están incluidas por parte de Costa Rica.
- b. La red de Observaciones de Altura (ROA): cuenta con 150 estaciones seleccionadas a nivel mundial, 8 pertenecen a nuestra región, siendo una de ellas la estación instalada en el Aeropuerto Int. Juan Santamaría.
- c. La red de Vigilancia de la Atmósfera Global (VAG); monitorea la composición química de la atmósfera, incluyendo gases de efecto invernadero, aerosoles, radiación solar y ultravioleta y ozono superficial y estratosférico: a nivel mundial se seleccionaron 22 estaciones VAG; la región de Centroamérica y el Caribe no posee ninguna estación de este tipo<sup>1</sup>.

Es particularmente importante que las estaciones de carácter regional operen de manera continua, cumplan con los estándares del GCOS, produzcan observaciones de alta calidad y suministren de manera oportuna los datos y meta datos asociados a los centros de procesamiento y archivo regionales o mundiales designados.

Los principios internacionales para el monitoreo que impone el GCOS para asegurar datos de alta calidad son:

1. El impacto de nuevos sistemas o cambios en los sistemas existentes debe evaluarse previo a la implementación.
2. Se requerirá de un periodo idóneo para la superposición de los nuevos y los viejos sistemas de observación.
3. Los resultados del calibrado, validación y evaluación de homogeneidad de datos y evaluaciones de los cambios de algoritmos, deben tratarse con el mismo cuidado que se tratan los datos.
4. Se debe garantizar capacidad para evaluar de manera rutinaria la calidad y homogeneidad de los datos en eventos extremos, incluyendo datos de alta resolución e información descriptiva relacionada.
5. Se deben considerar los productos y evaluaciones de monitoreo de clima ambiental, tales como las evaluaciones del IPCC y deben de integrarse dentro de las prioridades de observación nacionales, regionales y mundiales.
6. Se deben de mantener en funcionamiento las estaciones y los sistemas de observación que se han mantenido operando ininterrumpidamente.
7. Se debe dar alta prioridad a las observaciones adicionales en las regiones pobres en datos y a las regiones sensibles al cambio.
8. Se deben especificar los requerimientos de largo plazo a los diseñadores de redes, operadores e ingenieros de instrumentos al inicio del diseño e implementación de nuevos sistemas.
9. Se debe promover la conversión cuidadosamente planificada de los sistemas de observación de investigación para operaciones de largo plazo.
10. Se deben incluir los sistemas de manejo de datos que faciliten el acceso, el uso y la interpretación como elementos esenciales de los sistemas de monitoreo del clima.

En lo nacional, Costa Rica cuenta con la red hidrometeorológica y climática que se muestra en las figuras 1 y 2 que, como se mencionó anteriormente, no dispone de una componente específicamente dedicada a la medición del cambio climático con los estándares que el tema requiere. De allí la

---

<sup>1</sup> Hacia finales de la década de los 90 se instaló una estación VAG donada por Japón, en el Volcán Irazú . La dificultad de conseguir repuestos hizo que decayera y dejara de operar.

necesidad de incluir esta componente en la red, lo cual es el objetivo fundamental de este documento.

### III.4 ¿CUÁLES VARIABLES DEBERÍAN MEDIRSE EN UNA RED PARA FINES DE CAMBIO CLIMÁTICO?

De acuerdo a los organismos internacionales involucrados en los aspectos climáticos, las variables climáticas esenciales que deberían monitorearse para apoyar los requerimientos del Convenio Marco de Cambio Climático de las Naciones Unidas y del IPCC (WMO, IOC/UNESCO..., 2008) se muestran a continuación en la tabla 1.

Tabla 1: Variables a monitorear para fines de cambio climático

Dominio	Variables Climáticas Esenciales
<b>Atmósfera</b>  (sobre tierra, mar y hielo)	<b>Superficie:</b> temperatura del aire, lluvia, presión de aire, balance de radiación en superficie, velocidad y dirección del viento, vapor de agua.  <b>Atmósfera superior:</b> balance de radiación de la tierra, Temperaturas en altura, velocidad y dirección del viento, vapor de agua, propiedades de las nubes  <b>Composición:</b> dióxido de carbono, metano, Ozono, otros gases de efecto invernadero de larga vida, propiedades de aerosoles
<b>Oceánico</b>	<b>Superficie:</b> Temperatura de la superficie del mar, salinidad de la sup. del mar, nivel del mar, estado del mar, hielos marinos, calor en las corrientes oceánicas, (para actividad biológica), presión parcial del dióxido de carbono.  <b>Sub-superficial:</b> Temperatura, salinidad, corrientes, nutrientes, carbón, fitoplancton
<b>Terrestre</b>	Caudales, usos del agua, aguas subterráneas, nivel de lagos, cobertura de nieve, glaciares y casquetes de hielo, englamamiento permanente y estacional del suelo, albedo, cobertura del suelo (incluyendo tipo de vegetación), fracción de la radiación fotosintética activamente absorbida, índice de tamaños de hojas, biomasa, incendios forestales, humedad del suelo, disturbios.

Fuente: <http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/index.php?name=essentialvariables> (WMO, IOC/UNESCO, UNEP, ICSU)

Evidentemente, muchas de las observaciones solo pueden ser llevadas a cabo por los países del primer mundo que disponen de tecnologías avanzadas. La participación de Costa Rica se circunscribe a la instalación de estaciones de superficie que registren algunos de los parámetros atmosféricos más usuales, a estaciones mareográficas ubicadas en las costas del país e islas y a las observaciones de la atmósfera superior a través de su estación de radiosondeo.

### III.5 PROPUESTA DE UNA RED PARA LA DETECCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

En la propuesta de esta red se toman muy en consideración los parámetros a monitorear contenidos en la tabla 1. Además se tiene cuidado en no cometer algunos errores del pasado, por lo que se analizan los requerimientos que estas estaciones necesitan para su buen desempeño a largo plazo y las opciones que se tienen para cumplir tales requerimientos. Esta red de cambio climático debe ser operada por el Instituto Meteorológico Nacional que es la entidad nacional encargada de esa

temática. La red propuesta comprende el establecimiento de estaciones de tipo meteorológico, hidrológico (medición de caudales y calidad de agua), marino y de contaminación atmosférica. Se señala también la necesidad de contar con materiales fungibles los 365 días del año para realizar al menos un sondeo diario en la estación de monitoreo de la atmósfera superior ubicada en el aeropuerto internacional Juan Santamaría.

### **III.5.1 Requerimientos fundamentales y opciones para asegurar el éxito de la red**

#### **III.5.1.1 Terrenos propios del Estado**

Las estaciones deben de ubicarse el mayor número de años posibles en un mismo lugar para capturar el cambio del clima en la forma menos perturbada posible. En este sentido, entre las mejores opciones de ubicación están las Áreas Protegidas del Estado. Sin embargo, ello requiere de una directriz o decreto que permita al IMN tener acceso continuo e irrestricto al predio de la estación para estar dando mantenimiento y limpieza periódica que se requiere, para que la vegetación como árboles, arbustos u otros no alteren las mediciones con proyecciones de sombras u otros. En el pasado la instalación de estaciones en áreas protegidas fracasó en algunos casos, porque no fue posible realizar las tareas de mantenimiento antes mencionadas por el temor de los encargados de esas áreas de ser denunciados por intervenciones ilegales en el ambiente.

Otra alternativa es la compra de terrenos para la instalación de las estaciones de cambio climático, con fondos provenientes del canon de aprovechamiento, dentro del 50% del total que se transfiere a FONAFIFO/SINAC. Lo que debe quedar como principio invariable es que, independientemente de la solución que se dé a este aspecto, el IMN no puede estar dependiendo de los permisos de otras instituciones para tener acceso al predio donde se ubican las estaciones.

#### **III.5.1.2 Estándares técnicos de los equipos**

La detección del cambio climático debe llevarse a cabo con equipos de medición diseñados con estándares técnicos superiores a los normales que hoy día posee el IMN. Este tipo de equipo es más caro que el normalmente utilizado, lo que se refleja en las cifras de los costos de los sensores en el anexo 1.

#### **III.5.1.3 Presupuestos**

Identificar fondos para la compra de equipos, su instalación, mantenimiento posterior y establecimiento de un laboratorio de calibración en el IMN. Los requerimientos se identifican en los cuadros de los anexos y en el presupuesto consolidado de Anexo 20. Las opciones para la consecución de fondos son entre otros: aumentos en las partidas del presupuesto nacional para el IMN; fondos provenientes del canon de aprovechamiento y de vertidos para la parte de la red que debería manejar el Dpto. de Aguas en cuanto a caudales y calidad del agua; endeudamiento del Estado, sobre todo si se utiliza la figura de concesión del servicio de la red de monitoreo a empresas privadas.

Sumado a lo anterior, deben crearse partidas presupuestarias para sostenibilidad de la red en los años posteriores a su instalación (si no se hace por concesión) que tomen en cuenta el mantenimiento de los equipos, materiales fungibles, repuestos, partidas para compra o alquiler de transporte terrestre, fluvial, marítimo y aéreo para visitar las estaciones sin depender del favor o buena voluntad de otras instituciones u oficinas.

#### **III.5.1.4 Obstáculos para la compra e importación de equipos**

Buscar formas expeditas o alternativas que superen los obstáculos de la proveeduría del MINAE para la compra e importación de los equipos.

### III.5.1.5 Seguridad de las estaciones

Contratar guardas que garanticen el cuidado de las estaciones ante el vandalismo de que son objeto frecuentemente, sobre todo el robo de los paneles solares y los data loggers.

### III.5.1.6 Nuevo personal profesional y técnico

Hoy día, el IMN solo opera la red meteorológica y procesa sus datos hasta transformarlos en información. Ya que en esta propuesta se consideran aspectos de la red que conciernen a la hidrología incluyendo calidad del agua, así como aspectos de contaminación atmosférica, el IMN, si tuviese que hacerse cargo de estas tareas, tendría que adquirir nuevos profesionales y técnicos en esas disciplinas. Sería lo mismo si esas tareas las llevase a cabo el Dpto. de Aguas del MINAE. Esto es así aún cuando se diese la red en concesión a una empresa privada para su operación, ya que el operador de la red lo que hace es entregar un conjunto de datos con las características que se le especifiquen, pero de allí en adelante la interpretación de los mismos y su transformación en información relevante le correspondería a la institución que los reciba.

### III.1.5.1.7 Base de datos diferenciada para cambio climático

Para que los datos de cambio climático no queden inmersos en la totalidad de los datos de todos los tipos de redes existentes enumeradas en la PARTE PRIMERA, debe crearse una base de datos específica y diferenciada para fines de cambio climático pero con capacidad técnica de ser insertada en cualquier momento en la base hidrometeorológica general del IMN.

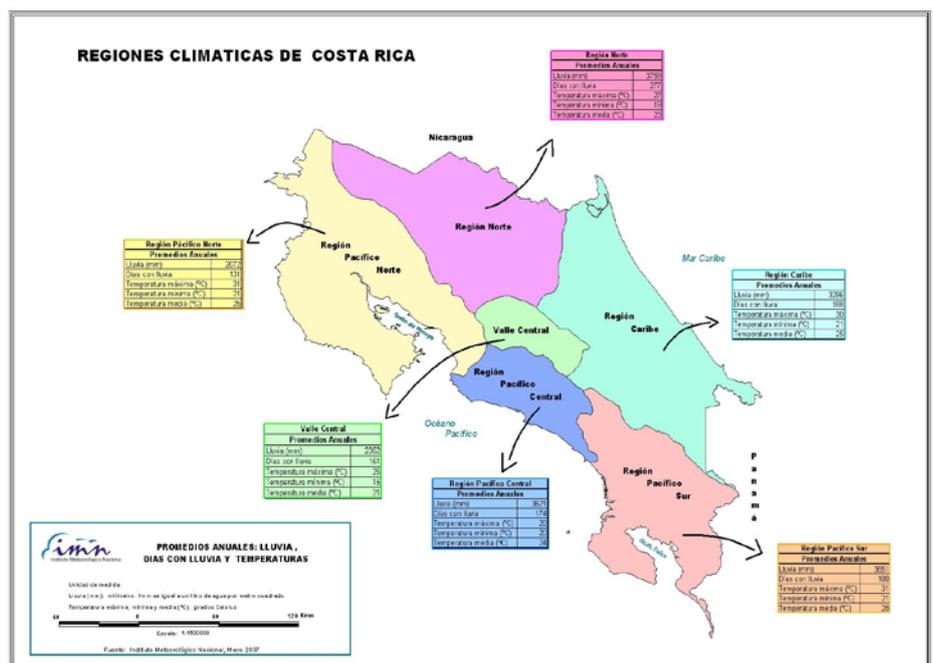
## III.5.2 CANTIDAD Y UBICACIÓN DE LAS NUEVAS ESTACIONES PARA LA DETECCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

### III.5.2.1 Estaciones meteorológicas de superficie

Sin considerar los aspectos de microclimas, el país exhibe seis regiones climáticas bien diferenciadas: el Pacífico Norte, el Pacífico Central, el Pacífico Sur, la Zona Norte, la Región Caribe y la Región Central (Valle Central Occidental y Oriental), tal como se ve en la figura 5.

Figura 5: Regiones climáticas de Costa Rica (fuente: Instituto Meteorológico Nacional)

En la red de cambio climático propuesta, cada una de estas zonas cuenta al menos con una estación meteorológica completa de superficie, denominadas “estaciones pivote”. La palabra pivote denota estaciones con sensores de muy alta precisión que se utilizan para referenciar otras cuyos sensores tienen menor precisión, y que denominamos **secundarias** para los efectos de este documento. La red de estaciones pivote debe



ser instalada en su totalidad en el año 1, considerando lo apremiante que resulta contar con datos de alta calidad sobre cambio climático. Las estaciones miden: lluvia, temperatura, viento (dirección y velocidad), humedad, radiación solar, humedad del suelo, humedad y temperatura del material combustible (grado de ignición).

En el Pacífico Norte se propone una estación en el Parque Nacional Palo Verde, mientras que en el Pacífico Central lo es en Carara. En el Pacífico Sur se ubica en la Reserva Forestal de Golfo Dulce, previéndose en este caso un sitio alternativo en el Parque Nacional Piedras Blancas, en caso de que el sitio anterior no resultase el más adecuado por alguna razón. En la Zona Norte, la estación se ubica en el Refugio de Vida Silvestre de Caño Negro. En el caso del Caribe, se propone instalar dos estaciones debido a las diferencias climáticas que se presentan entre sus partes norte y sur. Una estación se ubica en el Parque Nacional de la Barra del Colorado, dejando la Zona Protectora de la Selva como sitio alternativo por cualquier eventualidad; la otra estación se ubica hacia el sur de la región en la Reserva Biológica Hitoy-Cerere. En lo que concierne al Valle Central Oriental, se ubica una estación hacia el Valle del Guarco en dominios del Área de Conservación de la Cordillera Volcánica Central. En la región occidental la estación se ubica en la Zona Protectora Río Grande, en Atenas. Además, considerando la importancia estratégica en el clima continental de altura, se propone instalar una estación en el Parque Nacional Chirripó y por la importancia estratégica del clima marítimo del océano Pacífico y la Isla misma, se propone instalar una estación completa en la Isla del Coco tal que mida las variables marinas, las atmosféricas y el caudal de algún río principal.

El listado de esta red básica para cambio climático constando de las diez estaciones estaciones pivote se muestra el Anexo 1, seguido con otros tipos de estaciones a instalar también en el año 1 tal como se irá explicando más adelante. Igualmente, la ubicación de las estaciones pivote se puede visualizar en el mapa del Anexo 2.

Sumadas a estas diez estaciones pivote con sensores de mayor resolución, se instalan otras entre los años 1 y 5 con sensores de menor resolución que forman parte de la red de cambio climático en zonas donde sigue habiendo poca o nula información. Estas estaciones las denominamos acá como estaciones **secundarias** para cambio climático. Las estaciones a instalar se visualizan en los anexos 1 al 10; los anexos se corresponden de la siguiente manera: el Anexo 2 es un mapeo de las estaciones que aparecen en el Anexo 1, el 4 se corresponde con el 3 y así sucesivamente. Las estaciones secundarias a instalarse en cualquier año y que forman parte de la red de cambio climático, contienen en la columna “tipo de estación” las letras “cc”.

### **III.5.2.2 Estaciones océano-costeras y boyas marinas fijas**

La componente oceánica es fundamental en los estudios de cambio climático en lo concerniente a los océanos que rodean al país. La red de estaciones marinas debe contar con al menos cuatro estaciones, ubicadas dos en la costa del Pacífico, una en la Isla del Coco y otra en la costa del Caribe. Estas estaciones se listan en el Anexo 1 y se visualizan en el Anexo 2. Las estaciones registran el nivel del mar, la temperatura superficial del agua y la salinidad. Hasta donde sea posible se recomienda, y así se ha presupuestado, que midan también viento (dirección y velocidad), temperatura del aire, radiación y humedad. El incremento en costos para la adquisición de esos sensores es mínimo.

En la propuesta de red para cambio climático se incluyen dos boyas oceánicas a ser instaladas en el año 5 en mar abierto frente a las costas de Costa Rica, una en el Caribe y otra en el Pacífico y que registren las siguientes características: viento, temperatura de la superficie del mar, salinidad y nivel del mar. Se recomienda la tecnología que permite hacer “perfiles o sondeos” de temperatura, salinidad y otros parámetros en los primeros cientos de metros desde la superficie del mar hacia

abajo y que tengan sistemas de interrogación satelital. Esta tecnología sería un apoyo también en la detección de tsunamis adicionando los sensores adecuados. Las boyas se visualizan en el Anexo 10 ya que se instalan en el año 5.

### **III.5.2.3 Estación de la atmósfera superior**

En los aspectos de la medición de variables de la atmósfera superior para fines de cambio climático, la red debería asegurar que la estación de radiosondeo que opera en el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría desde el año 1972, cuente con los materiales fungibles necesarios para que no se falle un solo radiosondeo al año, cuestión que ha venido sucediendo con frecuencia en los últimos años por falta de presupuesto suficiente. Se ha caído en la anomalía de operar la estación durante la época lluviosa y cerrarla en la época seca. El conocimiento del clima requiere de información todo el año. Los parámetros que mide dicha estación son: viento, humedad, temperatura, presión y geopotencial desde la superficie del terreno hasta unos 35 kilómetros de altura. La ubicación de esta estación se muestra en el Anexo 2.

### **III.5.2.4 Estaciones de contaminación atmosférica**

En lo concerniente a contaminación atmosférica, la red para cambio climático debe registrar automatizadamente y dependiendo del lugar donde se instalen las estaciones, todas o algunas de las siguientes variables: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), dióxido de sulfuro (SO<sub>2</sub>), sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), Ozono superficial (O<sub>3</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>). Históricamente, en el país no se han llevado registros de contaminación atmosférica en forma sistemática y continua por periodos largos. Se dispone de algunos datos recopilados en campañas cortas de monitoreos hechos por instituciones del Estado tal como el Ministerio de Salud y el MINAE o por instituciones académicas.

La red aquí propuesta es algo apenas inicial considerando el costo de las estaciones; en el Valle Central Oriental se propone la instalación de una estación en el centro de la provincia de Cartago. Por recomendación de especialistas, lo que cabe medir en zonas urbanas es: monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, dióxido de sulfuro y particulado PM<sub>10</sub>.

En el Valle Central Occidental se propone instalar tres estaciones, una hacia la localidad de San Isidro de Coronado, región de entrada de los vientos alisios a través del Paso de la Palma, lugar apropiado para monitorear dióxido de carbono, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, sulfuro de hidrógeno, ozono de bajo nivel, metano y particulado PM<sub>10</sub>.

En San José centro se ubica otra estación para medir la contaminación capitalina, monitoreando los mismos parámetros que en Cartago centro.

Una tercera estación, midiendo lo mismo que se mide en San Isidro de Coronado, se ubica en Atenas coincidiendo con la estación Pivote de cambio climático de Potrero Grande. Esta estación mediría la contaminación de tres diferentes tipos de masas de aire, dos de escala sinóptica y una de mesoescala. En la escala sinóptica se mide la salida hacia el Pacífico de los vientos alisios después de haber barrido de este a oeste el Valle Central y por otra parte la calidad del aire de los vientos monzónicos que entran del Pacífico hacia el Valle Central sobre todo en época lluviosa. En la mesoescala, se mide la calidad del aire de las brisa marina del Pacífico que alcanzan esa localidad durante bastantes días al año. La lista de las estaciones y sus ubicaciones se observa en el Anexo 11.

### **III.5.2.5 Estaciones hidrológicas medidoras de caudal**

En lo concerniente a la medición de caudales en ríos, la red debe atender los requerimientos del cambio climático y los requerimientos del manejo integrado del agua (OMM, Guía de Prácticas Hidrológicas, 1994). La instalación de las estaciones coinciden mayoritariamente con zonas bajas del país en donde por décadas no se han hecho mediciones de este tipo. Al momento de escoger los

sitios de instalación en zonas cercanas a la costa, debe tenerse cuidado que las mareas no alcancen hasta dichos sitios. El ICE tiene una importante red medidora de caudales instalada sobre todo para propósitos de hidrogenación por lo que cubre preferiblemente zonas altas del país. En los anexos 1 al 10 se listan y visualizan las estaciones de caudal.

### **III.5.2.6 Estaciones de calidad del agua**

El monitoreo de la calidad del agua que se recomiendan en este documento es de tipo automatizado. Los parámetros a monitorear en apoyo a los estudios de cambio climático y manejo del agua son: temperatura del agua, conductividad, turbidez, oxígeno disuelto y pH, según se recomienda internacionalmente (WMO, 2005, WHYCOS Guidelines... / WMO-UNESCO, June 1997...).

Se reconoce la importancia de hacer análisis microbiológicos como el recuento de bacterias mesofílicas e igualmente la detección de coliformes fecales. Sin embargo, este tipo de análisis requiere mucha mano de obra técnica y especializada de gabinete y campo, aspecto que históricamente ha sido una limitante para las instituciones que manejan redes hidrometeorológicas, quizás con excepción del ICE. Por otra parte, el tema está siendo abordado por las universidades públicas y algunas instituciones estatales con la coordinación del MINAE, las cuales trabajan en una propuesta para establecer una red de monitoreo y análisis de la calidad del agua en cuerpos de agua en donde se maximicen los esfuerzos individuales y a veces duplicados que se dan por parte del conglomerado de instituciones que trabajan en el tema. Este esfuerzo se está dando en el marco, entre otros, del Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de los Cuerpos de Agua Superficiales. El Anexo 12 muestra la lista de estaciones a establecerse entre los años 1 y 4 y su distribución se presenta en el Anexo 13.

### **III.5.2.7 Apoyo en la detección temprana de incendios forestales**

En las estaciones pivote instaladas en áreas protegidas, se incluyen dos tipos de sensoramiento en apoyo a la detección temprana de condiciones para incendios forestales. Estos son la humedad del suelo y la humedad del material combustible y su temperatura. Actualmente, el país no cuenta con este tipo de sensoramiento; esta propuesta establece diez puntos distribuidos en el territorio nacional lo cual puede tomarse por ahora como un proyecto piloto a ser extendido en el futuro si los resultados son positivos. Estos datos resultan de gran importancia cuando se combinan con otros como el viento, la humedad, la lluvia y otros que se miden también en las estaciones pivote.

### **III.5.2.8 Prototipo de estaciones recomendadas**

El eslabón más débil en las redes de monitoreo hidrometeorológico y climático ha sido históricamente la disponibilidad del elemento humano. En primer lugar, el IMN no ha podido contar nunca con el número requerido de observadores para operar adecuadamente la red de monitoreo. En segundo lugar, son varios los ejemplos en donde, aún contando con los observadores a tiempo completo, las estaciones exhiben desempeños realmente pobres debido a la falta de compromiso de esos observadores para con su trabajo. La dificultad de remover funcionarios dentro del esquema de gobierno hace que los males se vuelvan endémicos. Aún en el mejor de los casos de funcionarios excelentes en su desempeño, siempre están las enfermedades, vacaciones, días festivos y otros que generan faltantes de datos por la imposibilidad de reponer al funcionario momentáneamente.

Considerando lo anterior y gracias a los avances en la electrónica y las comunicaciones, hoy día no cabe algún lugar a dudas que las estaciones a instalar deben ser automatizadas, sean éstas para cambio climático o para el reforzamiento de la red hidrometeorológica (PARTE CUARTA). Son muchas las ventajas de la automatización: no se requiere de observadores meteorológicos, hidrológicos u otros, lo que abarata costos y disminuye el factor humano de error; la información se tiene en centros de acopio en tiempo real a distancias hasta de cientos de kilómetros de los lugares en donde se genera los datos; a partir del dato básico se pueden generar rápidamente diversos

productos en apoyo a diferentes sectores; el mantenimiento de las estaciones es más rápido porque gran parte del mismo se ejecuta a distancia en forma electrónica; las obras de ingeniería para la ubicación de las estaciones son generalmente sencillas porque las estaciones son livianas y pequeñas; el registro de datos se efectúa con sensores electrónicos y son transmitidos automáticamente desde cada estación a una central o base utilizando frecuencias de radio UHF o bandas celulares GPRS, de tal forma que la señal de radio es de baja potencia (0.5 W) por lo que no se requieren frecuencias asignadas por el Ministerio de Seguridad Pública y tampoco hay interferencia con otros aparatos. Esto es importante porque el IMN lleva cerca de treinta años tratando de conseguir nuevas frecuencias para resolver muchas de sus debilidades de transmisión de datos y a la fecha no lo ha logrado; las estaciones solo requieren instalarse en lugares seguros contra el vandalismo, en donde en el mejor de los casos se paga un peón para que las vigile y mantenga libres de maleza; permiten disminuir la inversión utilizando hasta donde sea posible torres del ICE, la CNE u otros organismos para instalar repetidoras que releven el envío de la información hasta los centros de acopio; se pueden instalar alarmas que avisan a teléfonos celulares con voz o texto, o a beepers, cuando se alcanzan ciertos umbrales críticos de determinada variable observada; no hay que recurrir a la transmisión satelital de datos lo que reduce la dependencia tecnológica y se opera en tiempos más reducidos (no se depende de “ventanas” para enviar los datos a los satélites).

Lo anterior lleva a que todos los diferentes tipos de estaciones de monitoreo para fines de cambio climático (y también hidrometeorológico clásico) deben basarse en tecnología automatizada en un cien por ciento. La única condición importante a tener en cuenta es que, para los fines de monitoreo del cambio climático, los sensores deben tener niveles de sensibilidad superiores a los comúnmente utilizados, para asegurar que las mediciones son más precisas que aquellas que se están obteniendo con los equipos actualmente en uso.

## **IV - PARTE CUARTA**

### **REFORZAMIENTO DE LA RED HIDROMETEOROLÓGICA NACIONAL Y LA GESTIÓN DE LOS DATOS E INFORMACIÓN**

Tal como se mencionó en el punto I.1.1 de este documento, se aprovecha la ocasión en este documento para proponer mejoras en la red hidrometeorológica nacional descrita en el punto I.2.1, enfatizando también en la gestión de los datos e información.

#### **IV.1 GESTIÓN DEL DATO E INFORMACIÓN**

La gestión de los datos e información hidrometeorológica va mucho más allá de un buen **monitoreo** de campo. El concepto de gestión alude también al menos a otros tres aspectos: al de **comunicaciones**, requerido para transmitir en forma rápida y segura los datos de campo a centros de acopio; al de **proceso**, requerido para transformar en forma rápida el dato “bruto” en dato utilizable; y el de **almacenaje e intercambio**, requerido para garantizarle al usuario una fuente segura de datos y su acceso. El reforzamiento de la actual red hidrometeorológica se enfoca en este continuo, desde el campo hasta el usuario o cliente.

#### **IV.2 REFORZAMIENTO DE LA RED HIDROMETEOROLÓGICA**

La red hidrometeorológica nacional requiere ser reforzada en el aspecto directo del monitoreo y revisada en los aspectos conexos de las comunicaciones, proceso de datos y el almacenamiento e intercambio de los mismos.

##### **IV.2.1 Monitoreo**

En aspectos de monitoreo, las zonas bajas y planas del país y las zonas montañosas de Talamanca, son las que muestran la mayor deficiencia de observaciones meteorológicas e hidrológicas y en general de cualquier otro tipo, lo que se aprecia en las figuras 1 y 2. Las estaciones meteorológicas del ICE se concentran preferiblemente en algunas cuencas de interés para la hidrogenación eléctrica; las del IMN cubren algo del sector montañoso y algunas zonas planas del país, pero no en forma suficiente para manejar el recurso agua en todos sus extremos. Por ejemplo, la cobertura de monitoreo no es suficiente para la generación de balances hídricos mensuales de oferta-demanda a la escala requerida en el manejo de los aprovechamientos de agua.

En el caso de los caudales, son contadas las partes bajas y planas del país que están provistas de mediciones. En Guanacaste esto resulta grave debido a la fuerte presión actual y futura sobre los recursos hídricos.

En aspectos de monitoreo de calidad del agua, no existe una oferta de datos a nivel del país a disposición del interesado en este tipo de información.

En apoyo a la prevención de los desastres, se propone la instalación de dos radares meteorológicos en el año 5, cuyas ubicaciones se visualizan en el mapa 10. El radar es una tecnología que el país requiere desde hace ya décadas, sin embargo la inversión en el orden de 2.4 millones de dólares para adquirir dos radares para ser instalados en la vertiente del Caribe y en la vertiente del Pacífico, hace que se posponga al año 5. El país dispone de estudios preliminares para posibles ubicaciones de estos radares.

Un requerimiento de mayor importancia lo constituye la adquisición de estaciones tipo ASOS- Aeronautic Surface Observation System- para ser instaladas en los aeropuertos internacionales del país y dejar de utilizar estaciones que no están diseñadas para esos propósitos como ocurre hoy día: una estación ASOS más en el Aeropuerto Juan Santamaría, dos en el Aeropuerto Internacional Daniel Oduber en Liberia, una en el Aeropuerto Internacional Tobías Bolaños en Pavas y una en el Aeropuerto Internacional de Limón. El costo de estas estaciones está en el orden de US\$ 65.000

cada una. En el año 1 se adquirirían dos estaciones para el aeropuerto de Liberia y una para el J. Santamaría; en el año 2 se adquiere una para Limón y otra para el T. Bolaños.

La red automatizada instalada actualmente adolece de falta de repuestos, básicamente sensores y data loggers, por lo cual hay que meter una inyección rápida de fondos para recuperarlas. Esta red actual consta de 55 estaciones automáticas; calculando la reposición de 4 sensores por estación, 30 data loggers y la adquisición de radios para conectar en tiempo real varias de esas estaciones, que por ahora se les extrae la información en el campo cada cierto tiempo (alrededor de un mes), hay que presupuestar alrededor de US\$ 250.000.

La estación terrena del IMN para recibir las imágenes meteorológicas de los satélites geoestacionarios requiere reparaciones por lo que se presupuestan US\$ 30.000 en el presupuesto consolidado en el año 2.

Además, el IMN requiere instalar la estación terrena para la recepción de las imágenes de los satélites de órbita polar para lo que se presupuestan US\$ 75.000. Se propone adquirirlo en el año 2 para el pronto apoyo al pronóstico y tratamiento de eventos hidrometeorológicos severos que afectan a la ciudadanía. El IMN dispone ya de la infraestructura para instalar esta estación por lo cual no se presupuesta este rubro.

Finalmente, a manera de resumen, el mapa en el Anexo 14 presenta la red completa, considerando las nuevas estaciones de todo tipo a instalar e incluyendo todas las existentes, tanto las del IMN como las del ICE. Además, para visualizar mejor la forma en que quedan distribuidas algunas de las variables incluidas en las nuevas estaciones (las más importantes únicamente), se agregan los anexos 15 a 19 para la lluvia, el viento, la temperatura/humedad, la radiación y los caudales respectivamente. En los anexos 1 a 10 y en el 12 y 13 se proponen las nuevas estaciones a instalar para reforzar la red hidrometeorológica nacional.

Tal como se enfatizó en la PARTE SEGUNDA de este documento, en el establecimiento de nuevas estaciones se utiliza sobre todo el juicio experto. Sin embargo, se revisó una propuesta sometida por el Instituto de Tecnología del Agua de México (IMTA, enero 2008), sobre la reestructuración de la red de lluvia y caudales. El estudio del IMTA fue elaborado como parte del Plan Nacional de Costa Rica para el Manejo Integrado de los Recursos Hídricos (PNGIRH).

A continuación se presenta un resumen de la propuesta de modernización de la red de lluvia y caudal sometida por el IMTA

(Nota: En el resumen siguiente que utiliza el tipo de letra Agency FB se mantienen los números de tablas y figuras originales que aparecen en el reporte del IMTA)

Las acciones aquí propuestas en materia de fortalecimiento de las redes de observación se basan en los resultados del "Informe de Evaluación de la Red Hidroclimatológica de Costa Rica y Propuesta de Modernización" elaborado por el IMTA (IMTA, enero 2008) para los fines del Plan Nacional de Recursos Hídricos. Debe aclararse que, aunque se menciona aquí el concepto de Red Hidroclimática, el IMTA únicamente analizó los parámetros de lluvia y caudal.

El IMTA se basó en los criterios de la Organización Meteorológica Mundial (OMM 1994), los cuales fueron aplicados para realizar la optimización de la red de lluvia y caudal como primera aproximación o como una orientación general. Los criterios para la densidad mínima de las estaciones de medición de lluvia aparecen en la tabla 2. La cantidad de kilómetros cuadrados por estación medidora de lluvia depende en forma importante de la topografía del terreno (entre otros criterios), siendo las zonas montañosas las que requieren mayor cobertura de estaciones ya que allí las variaciones de la lluvia son más fuertes en distancias cortas, aspecto que ya habíamos enfatizado anteriormente (Chacón R.E. y Fernández W, 1985).

Tabla 2: Densidad mínima recomendada para estaciones de lluvia según criterio OMM, 1994

UNIDAD FISIAGRÁFICA	DENSIDADES MÍNIMAS POR ESTACIÓN (SUPERFICIE EN Km <sup>2</sup> POR ESTACIÓN)	
	Pluviómetros	pluviógrafos
Zonas costeras	900	9,000
Zonas montañosas	250	2,500
Llanuras interiores	575	5,750
Zonas escarpadas/ondulantes	575	5,750
Pequeñas islas	25	250
Zonas urbanas	10 a 20	

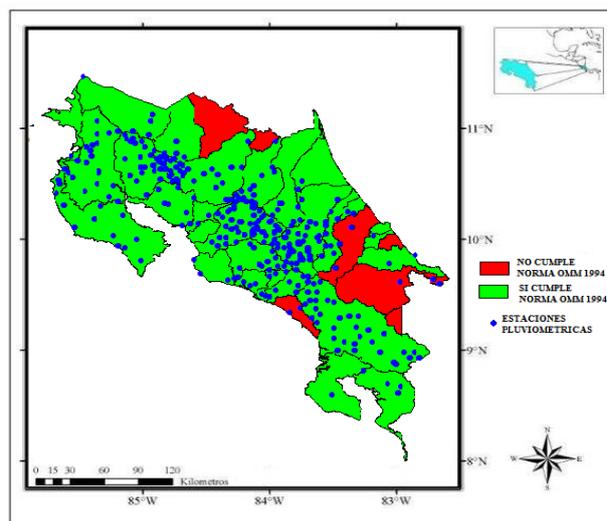
Utilizando los anteriores criterios, el IMTA concluyó que hay siete cuencas de las treinta y cuatro en que se divide el país que no cumplen con los requerimientos mínimos en cuanto al número de estaciones medidoras de lluvia, las cuales se listan en la tabla 3 y se muestran en la figura 6 en color rojo. Es importante recordar que estos son básicamente criterios climáticos generales, por lo cual para ciertos manejos del agua se requieren criterios más estrictos y faltaría ubicar nuevas estaciones en cuencas que aquí cumplen estas normas generales. El criterio experto utilizado que se ha explicado en esta propuesta viene a llenar ese vacío.

Tabla 3. Costa Rica: Evaluación de la red para la medición de la lluvia con el criterio de la OMM

CUENCA	UNIDAD FISIAGRÁFICA	ESTACIONES EXISTENTES	ESTACIONES NECESARIAS PARA CUMPLIR NORMA	CUMPLE NORMA OMM 1994
Río Sixaola	Montañosa	6	10	No
Río Matina	Montañosa	5	7	No
Río Barú	Montañosa	2	3	No
Río Changuinola	Montañosa	0	1	No
Río Cureña	Llanuras interiores	0	1	No
Río Pocosal	Llanuras interiores	0	3	No
Río Bananito	Plana	0	1	No

Figura 6: Cuencas con déficit de estaciones de lluvia

El mapa muestra en rojo las siete cuencas listadas en la tabla 3 en donde se requiere instalación de nuevas estaciones medidoras de lluvia de acuerdo al análisis del IMTA. Los puntos azules son estaciones existentes pertenecientes al IMN y al ICE.



Obteniendo la diferencia entre las estaciones existentes y las requeridas en la tabla 3 se obtienen las estaciones a instalar; por ejemplo, en la cuenca del río Sixaola se requiere instalar cuatro nuevas estaciones.

En lo que a estaciones medidoras de caudal se refiere, la tabla 4 muestra los criterios OMM para la instalación de este tipo de monitoreo.

Tabla 4: Densidad mínima recomendada para estaciones de caudal según criterio OMM, 1994

<b>UNIDAD FISIAGRÁFICA</b>	<b>DENSIDAD MÍNIMA POR ESTACIÓN (SUPERFICIE EN Km2 POR ESTACIÓN)</b>
Zonas costeras	2,750
Zonas montañosas	1,000
Llanuras interiores	1,875
Zonas escarpadas/ondulantes	1,875
Pequeñas islas	300

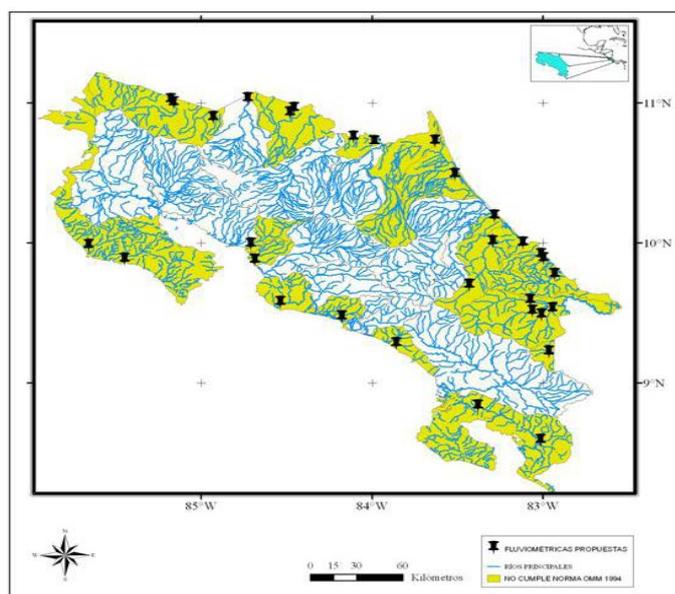
Al aplicar dichos criterios surge la lista de estaciones de caudal de la tabla 5 que deberían ser instaladas. Sus ubicaciones se ven en la figura 7.

Tabla 5: Estaciones fluviométricas o de caudal faltantes por cuenca.

<b>CUENCA</b>	<b>NÚMERO DE ESTACIONES PARA CUMPLIR CRITERIO DE LA OMM, 1994</b>
Río Sixaola	3
Río Banano	1
Río Matina	2
Río Barranca	1
Río Damas	1
Río Baru	1
Río Changuinola	1
Río La Estrella	1
Río Bananito	1
Río Moin	1
Río Madre de Dios	1
Río Tortuguero	1
Río Chiripo	1
Río Cureña	1
Río Pocosol	1
Río Zapote	2
Río Jesús María	1
Río Tusubres	1
Río península de Osa	1
Río Esquinas	1

Figura 7: nuevas estaciones de caudal a ser instaladas de acuerdo al IMTA

Las regiones amarillas del mapa muestran las áreas donde se requiere instalar nuevas estaciones de caudal; con excepción de las estaciones a ser instaladas en la región montañosa centro/sur del Caribe, la mayoría de las restantes deben ubicarse en zonas bajas del país. Esto es así porque en general las estaciones medidoras de caudal se instalaron históricamente con fines de explotación hidroeléctrica en las partes altas.



### IV.3 COMUNICACIONES

El acopio rápido y seguro de los datos que genera la red de monitoreo se logra a través de un buen sistema de comunicaciones. El ICE, por la naturaleza de institución que es, cuenta en general con un buen sistema de comunicaciones para el acopio de la información de su red. Las estaciones del ICE son automatizadas casi en un 100% y transmiten a centros de acopio utilizando medios como radio, telefonía, Internet y otros, aprovechando su infraestructura nacional de telecomunicaciones.

El IMN tiene estaciones automáticas, electromecánicas y con observador (una persona que toma los datos). Alrededor de una decena de estaciones se ponen en la UEB en forma directa ([http://www.imn.ac.cr/estaciones\\_auto/index.html](http://www.imn.ac.cr/estaciones_auto/index.html)). Los datos se recopilan de varias formas, vía satelital o Internet, por teléfono e inclusive por correo. El sistema de comunicaciones del IMN requiere de mejoras para hacer más eficiente la labor de la institución en el seguimiento del tiempo atmosférico y con ello el apoyo a los diferentes sectores productivos. En la red propuesta tanto para cambio climático como reforzamiento hidrometeorológico, están debidamente contemplados los requerimientos presupuestarios para asegurar comunicaciones seguras y eficientes.

### IV.4 PROCESO, ALMACENAMIENTO E INTERCAMBIO DE DATOS

Tanto en el proceso como en el almacenamiento e intercambio de datos provenientes de la red de monitoreo, el IMN y el ICE tienen sistema de aceptables a buenos. Los procesos son estandarizados según las normas de la Organización Meteorológica Mundial y ambas instituciones cuentan con software y hardware que las capacitan para tener bancos de datos funcionales.

Con el crecimiento de la red hidrometeorológica nacional y la creación de la red para fines de cambio climático, el IMN tendrá que poner atención a los aspectos de proceso y almacenamiento e intercambio de datos e información. En general las nuevas estaciones tendrán que ser manejadas por el IMN, ya que se ubicarán en zonas bajas de poco interés para el ICE. Ello requerirá que las capacidades en proceso y almacenamiento de datos e información en dicha institución crezcan proporcionalmente al crecimiento de la red, de otra manera la extensión de la red no tendría mayor sentido si los datos no se pueden procesar y transformar rápidamente en productos para la toma de decisiones. Este aspecto no es grave en estos momentos pero podría complicarse en el futuro si no se toman las previsiones del caso dado el aumento en el volumen de la red de monitoreo.

## **V- PARTE QUINTA**

### **PRESUPUESTO Y CONSIDERACIONES INSTITUCIONALES**

#### **V.1 Presupuesto por componentes**

En los anexos 1, 3, 5, 7, 9, 11 y 12, están contenidos los costos según grupos de estaciones; por ejemplo en el Anexo 1 se incluyen los costos totales de las 10 estaciones pivote seguidos de los costos de las estaciones de reforzamiento en cambio climático y los del grupo de estaciones de reforzamiento hidrometeorológico, y así sucesivamente en los demás anexos. El presupuesto consolidado se obtiene de estos anexos, más otras cifras conexas a la nueva red.

#### **V.2 Presupuesto consolidado**

El Anexo 20 presenta en forma consolidada todos los requerimientos presupuestarios. Se incluyen algunas cifras que no aparecen en ningún anexo anterior, por ejemplo la instalación de 5 torres repetidoras, paneles solares y radio transeptores por una cuantía de US 17.500, y otros. Se usa esta modalidad porque los requerimientos no van ligados a ninguna estación en particular, sino a grupos de estaciones. Se espera que el desglose por componentes de la red en este presupuesto consolidado permita decidir, de acuerdo a las disponibilidades presupuestarias que se disponga, actuar según prioridades.

La mayor inversión se ubica en el año 1 y el año 5. En el año 1 se instalan 10 estaciones de primer orden para cambio climático (pivote), 4 estaciones marinas considerando la de la Isla del Coco, 15 estaciones de reforzamiento hidrometeorológico, 21 estaciones de calidad del agua, 4 estaciones de contaminación atmosférica, 3 estaciones ASOS y se adquieren repuestos para reparar la red actualmente instalada. Se suman los medios de instalación y de transmisión de datos. Al considerar también los materiales fungibles para la estación de la atmósfera superior, equipo de laboratorio y la compra de un software para que el IMN tenga acceso a la información de la red de tormenta eléctrica que registra la red del ICE, el paquete del año 1 asciende a la cuantía de US\$ 1.407.965.

Los montos para los años 2, 3 y 4 son menores a los del año 1. Lo que se pretende es dar un buen impulso al desarrollo de la red básica en los lugares más críticos en el corto plazo, y luego ir completando otras zonas y otros aspectos de la red en años posteriores.

El monto alto en el año 5 surge de la propuesta de emplazar dos boyas marinas y dos radares meteorológicos, lo cual es tecnología costosa. Los radares son una facilidad tecnológica que se requiere desde hace muchos años, sobre todo para mejorar la predicción a plazos de horas en beneficio de las alertas ante eventos extremos como inundaciones repentinas, tornados, rayería y otros. Sin embargo se ubican en el año 5 reconociendo que por su costo casi siempre se posponen sus adquisiciones.

#### **V.3 Consideraciones institucionales**

En Costa Rica el monitoreo hidrometeorológico, climático, oceánico y conexo a estas disciplinas, está atomizado entre diferentes instituciones. El IMN y el ICE son las instituciones que más aportan al monitoreo hidrometeorológico y climático. Tal como se mencionó con anterioridad, el IMN tiene a su cargo el monitoreo de las variables meteorológicas a nivel de superficie de suelo, de la atmósfera superior y la vigilancia del territorio a través de imágenes satelitales y otras herramientas. El ICE tiene también a su cargo el monitoreo de variables meteorológicas a nivel de superficie de suelo, de caudales de ríos y la red de detección de tormenta eléctrica (rayería) para sus fines institucionales. La UNA en asocio con el IMN, manejan la red mareográfica del país. El AyA, la UCR y la UNA ejecutan labores operativas y de investigación en el área de la calidad del agua. El SENARA tiene alrededor de una docena de estaciones de lluvia y junto con el AyA llevan a cabo mediciones de niveles de algunos acuíferos. El Dpto. de Aguas del IMN/MINAE mide caudales en

las épocas secas del año en ríos principales. Otras instituciones u oficinas como el Ministerio de Salud, la Dirección General de Control Ambiental del MINAE (DIGECA) y otras, realizan también algunas mediciones en tópicos conexos con el agua, aunque no en forma constante en el tiempo.

Esta dispersión de entes registrando y trabajando datos en el ámbito de los recursos hídricos sólo ha generado inconvenientes y desventajas para el Estado y para el usuario, sean estos personas, empresas o las mismas instituciones públicas. La razón de ello es que hay gran duplicidad de funciones, las instituciones casi no intercambian datos, los datos y la información por lo general se resguardan como tesoros intocables y siempre se utiliza el argumento de que no hay datos para caracterizar tal o cual situación climática o con respecto al agua, siendo la realidad que habría más datos si se intercambiaran abierta y transparentemente.

Como se vio anteriormente a lo largo de este documento, ciertamente hay zonas del país y actividades que han estado desatendidas, para las cuales se requiere crear o reforzar las redes de observación. **Pero lo que realmente está haciendo falta en el país para dar un paso significativo al aspecto, es voluntad política del más alto nivel que obligue a las instituciones del Estado a compartir los datos e información que generan.** No hay excusa alguna en esta época de la informática para alegar dificultades de intercambio de información. Por otra parte, ni aún la mejor red de observación hidrometeorológica y climática que se pueda imaginar, va a resolver los problemas de la “aparente falta de datos”, si las instituciones no hacen suya en todos sus extremos y alcances la filosofía y objetivos que dan sustento al lanzamiento del Sistema de Sistemas de Observación de la Tierra descrito en la PARTE TERCERA de este documento. Lo que este Sistema trata de romper a nivel regional y mundial es exactamente lo que se vive a nivel nacional, ya que a pesar de que a nivel mundial abundan redes de observación de todo tipo, espacio, aire, tierra, subsuelo, marinas, etc., los datos son “propiedad” de quien los genera y en la mayoría de los casos no se comparten. Y cuando se comparten, los datos dan una visión muy estrecha y generalmente muy científica sobre una totalidad, en lugar de combinarse con otros datos de otras redes para generar productos “amigables” de fácil comprensión para el público.

Considerando lo anterior, se señalan acá algunos pasos simples, a manera de acciones habilitadoras, para potenciar la observación sistemática en apoyo a la investigación del cambio climático y la conceptualización de un sistema de sistemas de observación nacional con una influencia beneficiosa sobre las áreas temáticas de la prevención y mitigación de desastres, la salud, la energía, el clima, el recurso hídrico, la biodiversidad, la agricultura, el turismo y otros. Estos pasos ayudan también en la exploración y fortalecimiento de alianzas interinstitucionales efectivas y en el contexto de los programas regionales y mundiales de observación, evitando la duplicación de esfuerzos.

### **V.3.1 Esquema de armonía y buen entendimiento**

a) Que el ICE y el IMN, instituciones con la mayor oferta de datos hidrometeorológicos y climáticos, suscriban documentos de entendimiento para el intercambio de la información procesada y en tiempo real. Si el IMN dispusiese de esos datos los beneficios para la ciudadanía serían enormes, ya que mejoraría la prevención ante eventos hidrometeorológicos y climáticos en forma muy substancial. Por su parte, el ICE, al recibir la información procesada y en tiempo real del IMN, mejoraría sus pronósticos hidrológicos desde el plazo inmediato de horas hasta el largo plazo (climático).

b) Que el IMN, a partir de sus datos y los recibidos del ICE, ponga a disposición del AyA, SENARA, MINAE/Dpto. De Aguas, Ministerio de Salud, las Universidades Públicas y otros, una oferta de datos acordada y en forma electrónica que les permita a esas instituciones aportar substancialmente en el tema del manejo integrado del recurso hídrico. En consonancia, estas

instituciones ponen a disposición del IMN e ICE en forma electrónica y con prontitud, datos importantes que ellos procesan y según se acuerde.

c) El IMN, atendiendo sus obligaciones internacionales de intercambio de datos con otros países y organismos internacionales, pone a disposición del mundo una selección de sus propios datos tal como lo hace actualmente y los recibidos de otras instituciones.

### **V.3.2 Esquema de obligatoriedad**

Declarar como obligatorio a través de instrumentos legales pertinentes, el intercambio abierto, inmediato y sin restricciones, de datos hidrometeorológicos y climáticos procesados entre las instituciones del Estado, incluyendo los del mar, calidad del agua, contaminación atmosférica y otros. Este proceder se fundamenta en los mejores intereses del Estado Costarricense para el cumplimiento del Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010- Manuel Dengo Obregón, del Programa Paz con la Naturaleza y de los principios contenidos en la iniciativa del Gobierno Digital, entre otros, así como en el cumplimiento de Tratados y Convenios Internacionales tal como La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

### **V.4 Distribución de responsabilidades**

A raíz de lo que han sido las instituciones en décadas pasadas en cuanto a aspectos presupuestarios, exceptuando quizás al ICE, resulta difícil creer que una sola institución pueda asumir la responsabilidad de hacerse cargo de toda la red de monitoreo adicional a la ya existente, propuesta en este documento. Sobre todo, tecnologías como el radar y las boyas oceánicas deberían manejarse con base en arreglos entre institucionales tomando en consideración sus costos de mantenimiento anual. Por ejemplo, en el caso de dos radares, esos costos anuales pueden ubicarse entre 75.000 y 100.000 dólares.

También hay que considerar el momento histórico que atraviesa el país, sobre todo con el ingreso al Tratado de Libre Comercio ¿estará el ICE en la capacidad de asumir el manejo de una mayor red que la que ahora tiene; y si fuese así, estaría en capacidad de compartir los datos hidrometeorológicos libre y abiertamente, siendo éstos insumos para su competitividad institucional; más aún, quedará en posibilidad de compartir la información hidrometeorológica y climática que hoy día genera? Es importante resolver este tipo de interrogantes al momento de repartir las responsabilidades de las nuevas redes o las redes incrementadas.

Por la naturaleza misma del IMN, parece claro que sea esta la institución que se haga cargo de las 10 estaciones pivote de cambio climático a instalarse; seguiría con la operación de monitoreo de la atmósfera superior (radiosondeos) y desde luego con la actual red hidrometeorológica y climática.

Las otras responsabilidades que el IMN debería asumir son: la operación de los dos radares, uno en el Pacífico y otro en el Caribe y la operación de la red de contaminación atmosférica. Sin embargo, queda claro también que el IMN no podría asumir tales responsabilidades sin una inyección significativa de presupuesto y personal técnico y profesional, adicional a la que ya dispone.

La red de calidad del agua debería ser asumida por el Dpto. de Aguas (o la Dirección cuando sea creada), considerando que ya se le ha otorgado la responsabilidad de administrar el canon de vertidos del cual derivará un porcentaje para aspectos de monitoreo.

La parte de medición de caudales en las zonas bajas o planas propuestos en este documento debería ser mayoritariamente asumida también por el Dpto. de Aguas, ya que dispondrá de fondos para ese fin a través de canon de aprovechamiento. Además, el proyecto de la Ley de Aguas que está actualmente en la Asamblea Legislativa, le otorga las anteriores responsabilidades y aún otras más en el tema de la gestión de los datos para el manejo del agua.

Una posibilidad que cabe examinar detalladamente por parte del IMN, es dar la operación de toda su red en concesión a la empresa privada y que la institución reciba los datos de las diferentes componentes de la red según formatos convenidos para que, a partir de allí se elaboren los bancos de datos que requiere el país y se pongan los datos a disposición del usuario. Aún así, instituciones como el IMN o el Dpto. de Aguas, requerirían personal profesional que no disponen hoy día, en disciplinas como la hidrología, química atmosférica y calidad del agua para el procesamiento de los datos y la generación de información.

En un esfuerzo para el mejor enfoque de este tema, se rescata aquí el concepto del Sistema Nacional de Información para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (SINIGIRH), conceptualizado como parte del Plan Nacional para el Manejo Integrado de los Recursos Hídricos de Costa Rica.

El objetivo general del SINIGIRH es el acopio, intercambio rápido y la preservación de datos e información relativa a los recursos hídricos, dando acceso oportuno y expedito a organismos públicos y privados y al público en general, mediante servicios y productos apoyados en tecnología telemática moderna. Se constituye en un instrumento básico de la Política Nacional Hídrica que, utilizando las ventajas que ofrece la informática, genera una oferta nacional de datos e información sobre el agua para satisfacer las necesidades de las instituciones públicas, de la gestión privada y de la sociedad civil. La oferta de datos e información en el SINIGIRH proviene de las siguientes instituciones: IMN, Dpto. de Aguas del MINAE (o Dirección Nacional de Recursos Hídricos, cuando sea creada), ICE, SENARA, AyA y DIGECA (datos de calidad del agua). Se podrán sumar otras instituciones públicas o privadas que muestren ofertas importantes de datos, tales como la Comisión Nacional de Prevención y Atención de Desastres (CNE) o el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) y las Universidades. El Dpto. de Aguas (o la DNRH) se propone como el coordinador nacional del Sistema. Sin embargo, no se establece un mega banco de datos ubicado en ese Dpto. o Dirección conteniendo toda la información de todas las instituciones, sino que, cada institución mantiene sus datos, pero la hace accesible al usuario y entre instituciones, por medios informáticos convenidos entre el conglomerado de instituciones que conforman el SINIGIRH.

El SINIGIRH se constituye por lo tanto, en el enrutador nacional en la diseminación de la información que se obtiene de la red hidrometeorológica y climática nacional, siendo este el primer paso en firme hacia la conceptualización del aporte nacional al Sistema de Sistemas de Observación de la Tierra (GEOSS).

## **VI - PARTE SEXTA**

### **ASPECTOS DE APOYO**

#### **VI. ABREVIACIONES EN ANEXOS**

##### **ANEXOS 1, 3, 5, 7 y 9:**

No. est:	número de la estación a ser establecida
Tipo:	tipo de estación según lo explicado en el texto
Región:	P.N (Pacífico Norte), P.C (Pacífico Central), P.S (Pacífico Sur), Z.N (Zona Norte), R.C (Región Caribe), R.C (Región Central). La palabra que aparece luego de estas abreviaturas es la cuenca a donde se ubica la estación
LL:	medición de lluvia
V:	medición de dirección y velocidad del viento
T/H	medición de temperatura y humedad medidos con un sensor único
Rad solar:	medición de la radiación solar
Pres	medición de la presión atmosférica
Hum.suelo	medición de la humedad en el suelo
Hum. Mat	medición de la cantidad de humedad en vegetación con potencial de combustión
Nivel mar	medición del nivel del mar
Temp. mar	medición de la temperatura superficial del mar
Sal	medición de la salinidad de la capa superficial del mar
Torre y obra gris	torre de montaje de la estación y la obra de ingeniería
Data logger	colector electrónico de la información de las estaciones
Panel y reg	panel solar y regulador en las estaciones
Ant:	antena de la estación para transmisión
Topog	costo de los perfiles topográficos en ríos para medición de caudales
M. de O	mano de obra para instalar las estaciones pivote
Viát	Viáticos para instalar las estaciones pivote
Trans	provisión para el transporte al momento de instalar las estaciones pivote
Costo mont	costo montaje de estaciones que no son pivote
Total	suma total de costos
cc	Cambio climático
Estación secundaria para CC:	Estaciones para cambio climático con sensores de precisión que los de las estaciones pivote

##### **ANEXO 11**

No. est, tipo, región	igual que anteriores anexos
CO2	medición de dióxido de carbono
CO	medición de monóxido de carbono
NO2	medición de dióxido de nitrógeno
SO2	medición de dióxido de azufre
H2S	medición de sulfuro de hidrógeno
O3	medición de ozono superficial
CH4	medición de metano
PM10	medición de particulado de 10 o más micrones
Chasis estac	Chasis para montar la estación dejándola fija si se desea
Data logger	colector electrónico de la información de las estaciones
Panel	páneles tipo gabinete para montar sensores
Ant	Antena con que transmite la estación
Trans	equipo de transmisión desde la estación
Costos mont	costos de montaje de la estación en el campo

**ANEXO 12**

No. est, tipo, región, torre y obra gris, data logger, panel, ant, trans, costo montaje y total: igual que en anteriores anexos.

Coincide con... número de estación de caudal en el Anexo 19 con la que coincide

Cond medición de conductividad

O.D. medición de oxígeno disuelto

PH medición de acidez

Temp H2O medición de la temperatura superficial de la corriente de agua en el río

Turb medición de turbidez del agua

Resto de casillas igual que anteriormente

**VI.2 PERSONAS CONTACTADAS**

Funcionario / persona	Posición	Temas abordados
MSc. Paulo Manso	Director General IMN	Políticas y estrategias en cambio climático y redes hidrometeorológicas y climát.
Lic Juan Carlos Fallas	Subdirector General IMN	Políticas y estrategias en cambio climático y redes hidrometeorológicas y climát.
MSc. Roberto Villalobos	Jefe de la Gestión de Desarrollo, IMN	Políticas y estrategias en cambio climático
Ing. Magda Campos	Cambio climático, Gestión de Desarrollo	Revisión y recomendaciones sobre el documento final
Ing. J. Ml. Zeledón	Jefe Dpto. de Aguas, IMN/ MINAE	Políticas y estrategias manejo de recursos hídricos
Lic. Hugo Herrera	Jefe Gestión de Datos, IMN	Redes hidrometeorológicas y climáticas y gestión de datos. Precios de instrumental
Ing. José Joaquín Chacón	Subjefe Dpto. de Aguas, IMN/ MINAE	Redes hidrológicas y manejo de recursos hídricos
Lic Sadí Laporte	Director, C.S. Estudios Básicos de Ingeniería, ICE	Redes hidrometeorológicas y climáticas en el contexto nacional. Precios de instrumental
Lic. Porfirio Machado	Encargado de la red hidrometeorológica del ICE	Redes hidrometeorológicas
Dr. Dagner Mora	Director del Laboratorio Nac. De Aguas, ICAA	Monitoreo de la Calidad del Agua en contexto nacional
MSc Yamileth Astorga	Programa Institucional de Gestión Ambiental Integras, UCR	Monitoreo de la Calidad del Agua en contexto nacional
MSc. Alfonso Liao	Gestión de Información, IMN	Redes hidrometeorológicas y contaminación atmosférica. Precios de instrumental
Licda. Nury Sanabria	SIG, IMN	SIG en redes hidrometeorológ.
Licda. Cristina Araya	SIG, IMN	SIG en redes hidrometeorológ.
Lic. Carlos Badilla	Cómputo IMN	Utilización de software
Ing. Rita Chacón	Gestión de Proyectos, IMN	Datos e inf. Para cambio climático
Dr. Juan Valdéz	Jefe de Laboratorio de Química de la Atmósfera, UNA	Tipos, precios de estac. De cont. Variables a medir según lugar

### VI.3 SIGLAS UTILIZADAS

CMCC-UN	Convenio Marco sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas
CNE	Comisión Nacional de Prevención y Atención de Emergencias
CRRH	Comité Regional de Recursos Hidráulicos del Istmo Centroamericano
GCOS	Sistema Mundial de Observación del Clima
GEOSS	Sistema Mundial de Sistemas de Observación de la Tierra
ICAA/AyA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
IPCC	Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
OMM/WMO	Organización Meteorológica Mundial
ROA	Red de Observación de Altura
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
SENARA	Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento
SIG	Sistema de información geográfica
SINIGIRH	Sistema Nacional de Información para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos
VAG	Vigilancia de la Atmósfera Global
UCR	Universidad de Costa Rica

### VI.4 REFERENCIAS

Áreas Silvestres Protegidas, página web del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAC) / MINAE: <http://www.sinaccr.net/areassilvestres.php>

Aubrey, D.G. et al, 1988: Tectonophysics 154: 269-284

Chacón E, 1983. Variabilidad especial y temporal de la precipitación en la región montañosa de la cuenca del Río Reventazón, Tesis de Grado, Universidad de Costa Rica.

Chacón R.E. y Fernández W, 1985. Temporal and special rainfall variability in the mountain region of the Reventazón River, Journal of Climatology, Vol 5, 1985.

Díaz R., 2003. El Proceso de la Institucionalización de la Meteorología en Costa Rica (1887-1949). Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica.

Fernández W., Chacón R.E., Melgarejo J., 1986. Modification of airflow due to the formation of a reservoir. Journal of Climate and Applied Meteorology, Vol 25, No.7, July 1986.

Grandoso H, Zárate E, Vega N, 1982. Análisis en la escala sinóptica y mesoescala de un frente frío sobre América Central; Informe semestral julio-diciembre 1982, Instituto Geográfico Nacional, Costa Rica.

Guía de Prácticas Hidrológicas, OMM-No. 168, Adquisición y Procesos de Datos, Análisis, Predicción y Otras Aplicaciones, Quinta edición, 1994; “[http://www.bom.gov.au/hydro/wr/wmo/guide\\_to\\_hydrological\\_practices/WMOSPA.pdf](http://www.bom.gov.au/hydro/wr/wmo/guide_to_hydrological_practices/WMOSPA.pdf)”

IMTA, enero 2008. Evaluación de la red hidroclimatológica de Costa Rica y propuesta de modernización; documento para la propuesta del Plan Nacional de Manejo Integrado de los Recursos Hídricos, Costa Rica.

IMTA, enero 2008. Elaboración de balances hídricos por cuencas hidrográficas, la calidad del agua; documento para la propuesta del Plan Nacional de Manejo Integrado de los Recursos Hídricos, Costa Rica.

IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I for the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change – Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)- Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Mendizabal, M.T., 1973. Distribución de la precipitación con la altura, Tesis de Licenciatura, UCR.

Maul, G., editor, 1993. Climatic Change in the Intra-Americas Sea: Implications of Future Climate on the Ecosystems and Socio-Economic Structure in the Marine and Coastal Regions; John Wiley & Sons, Publisher

OMM/COI/PNUMA/CIUC/PNUD/FMAM, mayo 2005. SMOC un Plan de Acción Regional para América Central y el Caribe. Publicado por el PNUD.

Organización Meteorológica Mundial, 1994. *Guía de Prácticas Hidrológicas*, OMM-No 168. Quinta Edición.

Sistema de las Naciones Unidas, 1992. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático; publicada por la Oficina de Información sobre el Cambio Climático (PNUMA/OMM) (IUCC) en nombre de la Secretaría Interna de la Convención.

The Global Climate Observing System, 2004. Implementation Plan for the Global Observing System for Climate in Support of the UNFCCC; [http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/Publications/gcos-92\\_GIP\\_ES.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/Publications/gcos-92_GIP_ES.pdf)

The Global Observing System, enero 2008.  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_Earth\\_Observing\\_System\\_of\\_Systems\\_\(GEOSS\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Global_Earth_Observing_System_of_Systems_(GEOSS))

WMO-UNESCO, June 1997. Water resources assessment, Handbook for Review of National Capabilities; <http://www.whycos.org/IMG/pdf/handbookWRA.pdf>

WMO, 2005, WHYCOS Guidelines for development, implementation and governance; Hydrological information systems for integrated water resources management , Water for life 2005-2015, [http://www.whycos.org/IMG/pdf/WHYCOSGuidelines\\_E.pdf](http://www.whycos.org/IMG/pdf/WHYCOSGuidelines_E.pdf)

WMO, IOC/UNESCO, UNEP, ICSU, Global Climate Observing System, GCOS, 2008. Essential Climate Variables Information; <http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/index.php?name=essentialvariables>.

Zárate E, 1980. Sistemas de viento que afectan a Costa Rica, Nota Técnica No2, Instituto Meteorológico Nacional, Costa Rica.

Zárate E, 1981. Regímenes de viento y lluvia en Limón, Costa Rica. Informe semestral enero-junio 1981, Instituto Geográfico Nacional, Costa Rica.

E. Zárate y C. De Vris, 1994. El CRRH y los Recursos Hídricos en Centroamérica; Memoria del Taller Sobre la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos del Istmo Centroamericano, (Guatemala (9-12 de agosto, 1994).

Zárate E., 2005. Comportamiento de los “empujes fríos” que alcanzan Centroamérica y el Caribe. Trabajo elaborado dentro del marco del Proyecto PNUMA-TWAS “Assessment of Impacts and Adaptation Measures for the Water Resources Sector due to Extreme Events under Climate Change Conditions in Central America” conducido por el Comité Regional de Recursos Hidráulicos del Istmo Centroamericano (CRRH) y la Universidad de Costa Rica

Zárate E, 2005. Base de datos para la comparación entre empujes fríos y magnitud del viento alisio con eventos extremos en el litoral Caribe de Costa Rica Trabajo elaborado dentro del marco del Proyecto PNUMA-TWAS “Assessment of Impacts and Adaptation Measures for the Water Resources Sector due to Extreme Events under Climate Change Conditions in Central America” conducido por el Comité Regional de Recursos Hidráulicos del Istmo Centroamericano (CRRH) y la Universidad de Costa Rica

## **VI.5 ANEXOS**

## ANEXO 1

### Categorías o tipos de estaciones a instalara en el año 1 (las cifras son costos en US\$)

#### Estaciones pivote con sensores de alta precisión para cambio climático

No. Est	Tipo	Región	LL	V	T/H	Radiac	Pres.	Caudal	Hum. Suelo	Hum. Mat.	Nivel mar	Temp mar	Sal	Torre y obra gris	Data Logger	Panel y reg	Ant	Trans	Topog	M. de obra	Viát	Trans	Costo Mont.	Total
9	cc pivote	P. N-Palo Verde	800	1100	800	1200	1200		200	500				4000	1600	575	200	600	300	159	150	700		14084
30	cc pivote	P.C- Carara	800	1100	800	1200	1200	1300	200	500				4000	1600	575	200	600	300	159	150	700		15384
46	pivote alterna Golfo Dulce	P.N- P Blancas																						
48	cc pivote	P.S- Res. For. Golfo Dulce	800	1100	800	1200	1200	1300	200	500				4000	1600	575	200	600	300	159	150	700		15384
56	cc pivote	Z.N -Ref. Vida Silv. Caño Negro	800	1100	800	1200	1200		200	500				4000	1600	575	200	600	300	159	150	700		14084
69	pivote alterna B. del Col.	Zona Norte / La Selva de Sarapiquí																						
76	cc pivote	R.C - Ref. Vida Silv. B. del Col.	800	1100	800	1200	1200		200	500				4000	1600	575	200	600	300	159	150	700		14084
81	cc pivote	R.C. (Catago)	800	1100	800	1200	1200		200	500				4000	1600	575	200	600	300	159	150	700		14084
102	cc pivote	R. -Res. Biol.Hitoy Cerere	800	1100	800	1200	1200	1300	200	500				4000	1600	575	200	600	300	159	150	700		15384

## Continúa ANEXO 1

No. Est	Tipo	Región	LL	V	T/H	Radiac	Pres.	Caudal	Hum. Suelo	Hum. Mat.	Nivel mar	Temp mar	Sal	Torre y obra gris	Data Logger	Panel y reg	Ant	Trans	Topog	M. de obra	Viát	Trans	Costo Mont.	Total
108	cc pivote	Alta montaña Parque Nal. Chirripó	800	1100	800	1200	1200		200	500				4000	1600	575	200	600	300	159	150	700		14084
110	cc pivote	R.C-Zona Prot. R. Grande	800	1100	800	1200	1200		200	500				4000	1600	575	200	600	300	159	150	700		14084
111	cc pivote / marina / meteorol / caudal	Isla del Coco	800	1100	800	1200	1200	1300	200	500	800	850	900	4000	1600	575	200	600	300	159	150	700		17934
<b>Subtotal</b>			<b>8000</b>	<b>11000</b>	<b>8000</b>	<b>12000</b>	<b>12000</b>	<b>5200</b>	<b>2000</b>	<b>5000</b>	<b>800</b>	<b>850</b>	<b>900</b>	<b>40000</b>	<b>16000</b>	<b>5750</b>	<b>2000</b>	<b>6000</b>	<b>3000</b>	<b>1590</b>	<b>1500</b>	<b>7000</b>		<b>148590</b>
<b>Estaciones adicionales para cambio climático con sensores de menor precisión que las pivote</b>																								
No. Est	Tipo	Región	LL	V	T/H	Radiac	Pres.	Caudal	Hum. Suelo	Hum. Mat.	Nivel mar	Temp mar	Sal	Torre y obra gris	Data Logger	Panel y reg	Ant	Trans	Topog	M. de obra	Viát	Trans	Costo Mont.	Total
3	cc	P.C tempisq	450											700	1200	575	200	600					850	4925
4	cc	P.C tempisq						1300						2000	1200	575	200	600	300				850	7025
7	cc	P.C tempisq	450					1300						2000	1200	575	200	600	300				850	7475
12	cc	P.C- P. Nicoya	450	1100				1300						2700	1200	575	200	600	300				850	9275
18	cc	P.C- Bebedero	450					1300						2700	1200	575	200	600	300				850	8175
27	cc	P.C- Abang.	450	1100	600									2000	1200	575	200	600					850	7575
53	cc	P.S- Río Esquinas	450	1100	600	650								700	1200	575	200	600					850	6925
59	cc	Z.N- Río Frío	450		600									700	1200	575	200	600					850	5175

## Continúa ANEXO 1

No. Est	Tipo	Región	LL	V	T/H	Radiac	Pres.	Caudal	Hum. Suelo	Hum. Mat.	Nivel mar	Temp mar	Sal	Torre y obra gris	Data Logger	Panel y reg	Ant	Trans	Topog	M. de obra	Viát	Trans	Costo Mont.	Total
61	cc	Z.N- Río Poco Sol	450					1300						2000	1200	575	200	600	300				850	7475
64	cc	Z.N- San Carlosl	450	1100				2300						2700	1200	575	200	600	300				850	10275
68	cc	Z.N- Chirripó						1300						2000	1200	575	200	600	300				850	7025
72	cc	Z.N- Chirripó				650								700	1200	575	200	600					850	4775
83	cc	R.C Pacuare						1300						2000	1200	575	200	600	300				850	7025
100	cc	R.C- La Estrella	450	1100	600	650		1200						2700	1200	575	200	600	300				850	10425
106	cc	R.C- Sixaola	450	1100				1200						2700	1600	575	200		300				850	8975
<b>Subtotal</b>			<b>4950</b>	<b>6600</b>	<b>2400</b>	<b>1950</b>		<b>13800</b>						<b>28300</b>	<b>18400</b>	<b>8625</b>	<b>3000</b>	<b>8400</b>	<b>3000</b>				<b>12750</b>	<b>112175</b>

### Estaciones marinas para finalidades de cambio climático

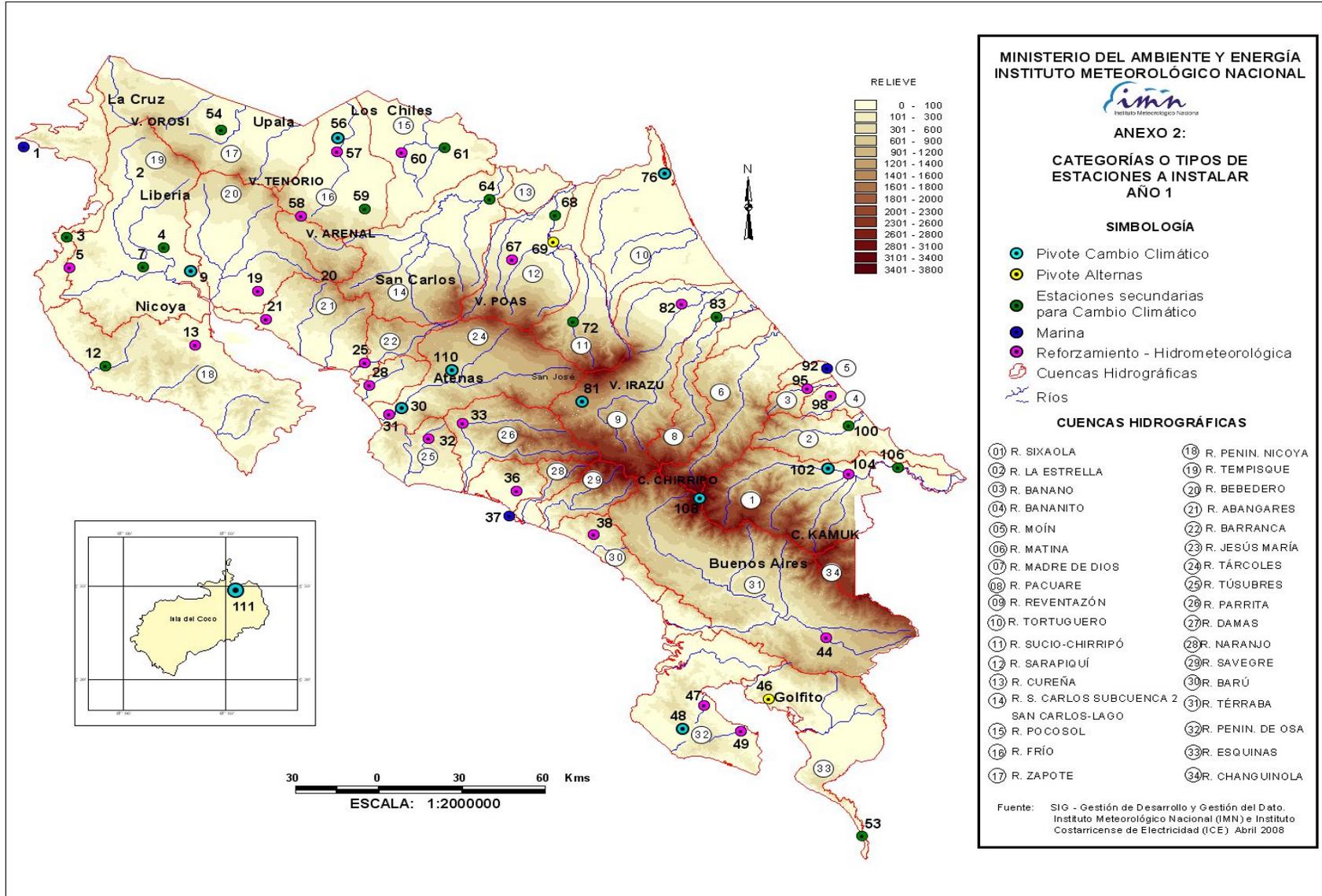
1	cc Marina - Isla San José, Pac. N.	Pac. Norte	800	1100	600	1200	550				800	850	900	2500	1200	575	200	600					850	12725
37	cc Marina-Quepos	Pac. Central	800	1100	800	1200	550				800	850	900	2500	1200	575	200	600					850	12925
92	cc Marina-Limón	Región Caribe Moín	450	1100	800	1200	550				800	850	900	1000	1200	575	200	600					850	11075
<b>Subtotal</b>			<b>2050</b>	<b>3300</b>	<b>2200</b>	<b>3600</b>	<b>1650</b>				<b>2400</b>	<b>2550</b>	<b>2700</b>	<b>6000</b>	<b>3600</b>	<b>1725</b>	<b>600</b>	<b>1800</b>					<b>2550</b>	<b>36725</b>

### Estaciones de reforzamiento hidrometeorológico

No. Est	Tipo	Región	LL	V	T/H	Radiac	Pres.	Caudal	Hum. Suelo	Hum. Mat.	Nivel mar	Temp mar	Sal	Torre y obra gris	Data Logger	Panel y reg	Ant	Trans	Topog	M. de obra	Viát	Trans	Costo Mont.	Total
5	Hidromet	P. N Temp	450											700	1200	575	200	600					850	4575
20	Hidromet	P. N Abang.				650								700	1200	575	200	600					850	4775

## Continúa ANEXO 1

No. Est	Tipo	Región	LL	V	T/H	Radiac	Pres.	Caudal	Hum. Suelo	Hum. Mat.	Nivel mar	Temp mar	Sal	Torre y obra gris	Data Logger	Panel y reg	Ant	Trans	Topog	M. de obra	Viát	Trans	Costo Mont.	Total	
24	Hidromet	P.C Barranca				650								700	1200	575	200	600					850	4775	
31	Hidromet	P.C Tárcoles						1300						2700	1200	575	200	600	300					850	7725
32	Hidromet	P.C Tusubres			600									700	1200	575	200	600						850	4725
35	Hidromet	P.C Parrita						1300						2700	1200	575	200	600	300					850	7725
43	Hidromet	P.S - G. de Térraba						1300						2000	1200	575	200	600	300					850	7025
57	Hidromet	Z.N-Río Frío						1300						2000	1200	575	200	600	300					850	7025
58	Hidromet	Z.N-Río Frío						1300						2000	1200	575	200	600	300					850	7025
60	Hidromet	Z.N-Río Poco Sol	450					1300						2700	1200	575	200	600	300					850	8175
67	Hidromet	Z.N-Río Sarapiq.				650								700	1200	575	200	600						850	4775
82	Hidromet	R.C Revent.						1300						2000	1200	575	200	600	300					850	7025
95	Hidromet	R.C Banano						1300						2000	1200	575	200	600	300					850	7025
98	Hidromet	R.C Bananito						1300						2000	1200	575	200	600	300					850	7025
104	Hidromet	R.C Sixaola						1300						2000	1200	575	200	600	300					850	7025
<b>Subtotal</b>			<b>900</b>		<b>600</b>	<b>1950</b>		<b>13000</b>						<b>25600</b>	<b>18000</b>	<b>8625</b>	<b>3000</b>	<b>9000</b>	<b>3000</b>					<b>12750</b>	<b>96425</b>
<b>Total</b>																									<b>393915</b>

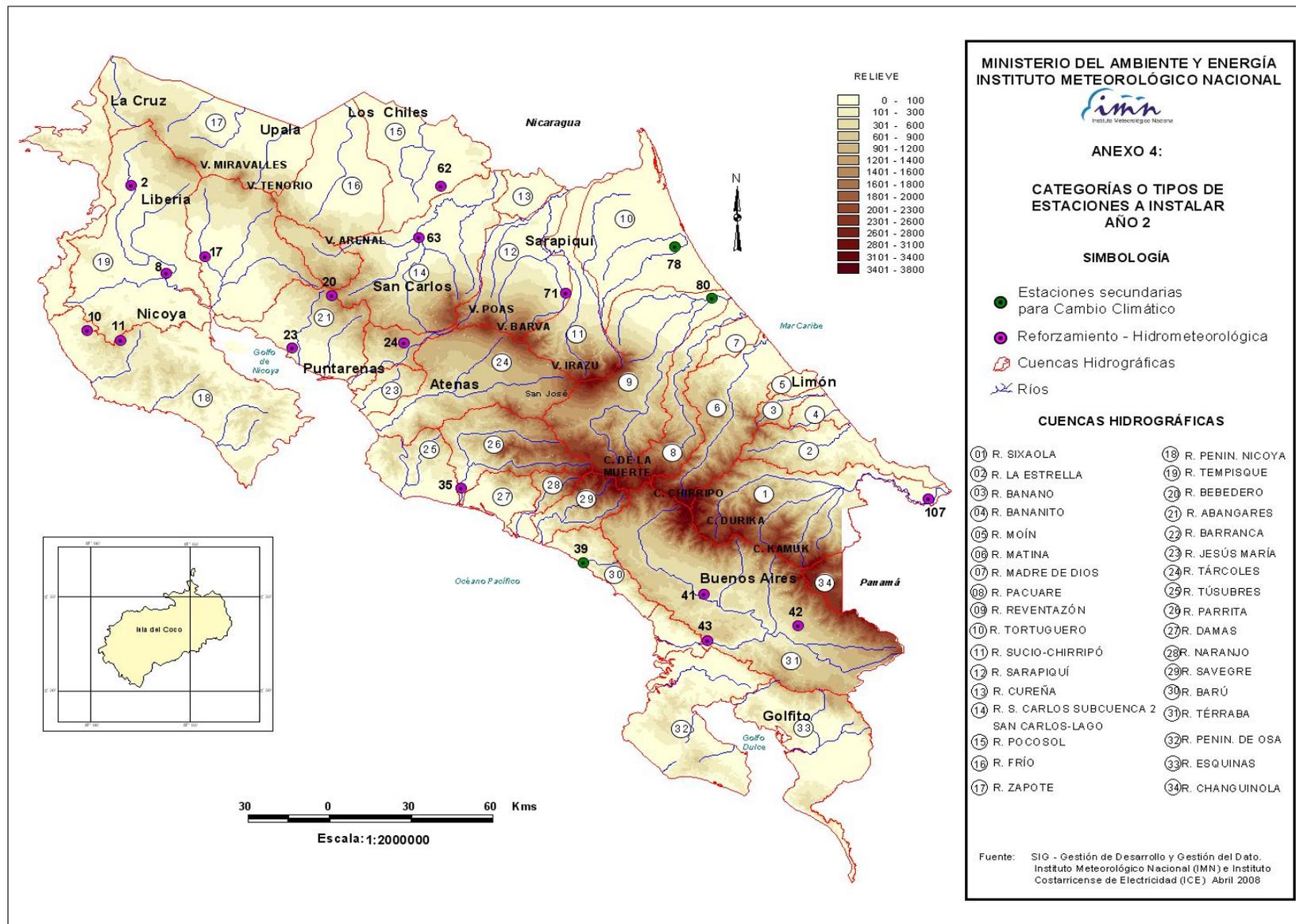


### ANEXO 3

**Categorías o tipos de estaciones a instalar en el año 2; las cifras son costos en US\$**

#### Estaciones adicionales para cambio climático con sensores de menor precisión que las pivote

No. Est	Tipo	Región	LL	V	T/H	Radiac	Pres	Caudal	Hum. Suelo	Hum. Mat.	Nivel mar	Temp. mar	Sal	Torre y obra gris	Data Logger	Panel y reg	Ant.	Trans.	Topog	Costo Mont.	Total
16	cc	P.N-Pen. Nicoya	450		600									700	1200	575	200	600		900	5225
34	cc	P.C Tusubres	450	1100	600	650		1300						2700	1200	575	200	600	300	900	10575
78	cc	Z.N Tortug.	450					1300						2700	1200	575	200	600	300	900	8225
80	cc	R.C Revent.	450					1300						2700	1200	575	200	600	300	900	8225
<b>Totales</b>			<b>1800</b>	<b>1100</b>	<b>1200</b>	<b>650</b>		<b>3900</b>						<b>8800</b>	<b>4800</b>	<b>2300</b>	<b>800</b>	<b>2400</b>	<b>900</b>	<b>3600</b>	<b>32250</b>
<b>Estaciones de reforzamiento hidrometeorológico</b>																					
2	Hidromet	P.N Temp.	450					1300						2000	1200	575	200	600	300	900	7525
8	Hidromet	P.N Temp.						1300						2000	1200	575	200	600	300	900	7075
10	Hidromet	Pac. Norte	450											700	1200	575	200	600		900	4625
11	Hidromet	P.N Temp.	450		600	650								700	1200	575	200	600		900	5875
19	Hidromet	P.N Bebed.	450											700	1200	575	200	600		900	4625
22	Hidromet	P.N Abang.				650								700	1200	575	200	600		900	4825
23	Hidromet	P.N Abang.						1300						2000	1200	575	200	600	300	900	7075
29	Hidromet	P.C Jesús María						1300						2000	1200	575	200	600	300	900	7075
38	Hidromet	P.C Barú	450											700	1200	575	200	600		900	4625
40	Hidromet	P.S - G. de Térraba	450											700	1200	575	200	600		900	4625
41	Hidromet	P.S - G. de Térraba						1300						2000	1200	575	200	600	300	900	7075
42	Hidromet	P.S - G. de Térraba	450											700	1200	575	200	600		900	4625
45	Hidromet	P.S - P. de Osa	450	1100		650		1300						2700	1200	575	200	600	300	900	9975
51	Hidromet	P.S - Esquin.						1300						2700	1200	575	200	600	300	900	7775
62	Hidromet	Z.N Poco Sol				650								700	1200	575	200	600		900	4825
63	Hidromet	Z.N San Carlos	450											700	1200	575	200	600		900	4625
71	Hidromet	Z.N Sarap.			600									700	1200	575	200	600		900	4775
107	Hidromet	R.C Sixaola						1300						200	1200	575	200	600	300	900	5275
<b>Totales</b>			<b>4050</b>	<b>1100</b>	<b>1200</b>	<b>2600</b>		<b>10400</b>						<b>22600</b>	<b>21600</b>	<b>10350</b>	<b>3600</b>	<b>10800</b>	<b>2400</b>	<b>16200</b>	<b>106900</b>



## ANEXO 5

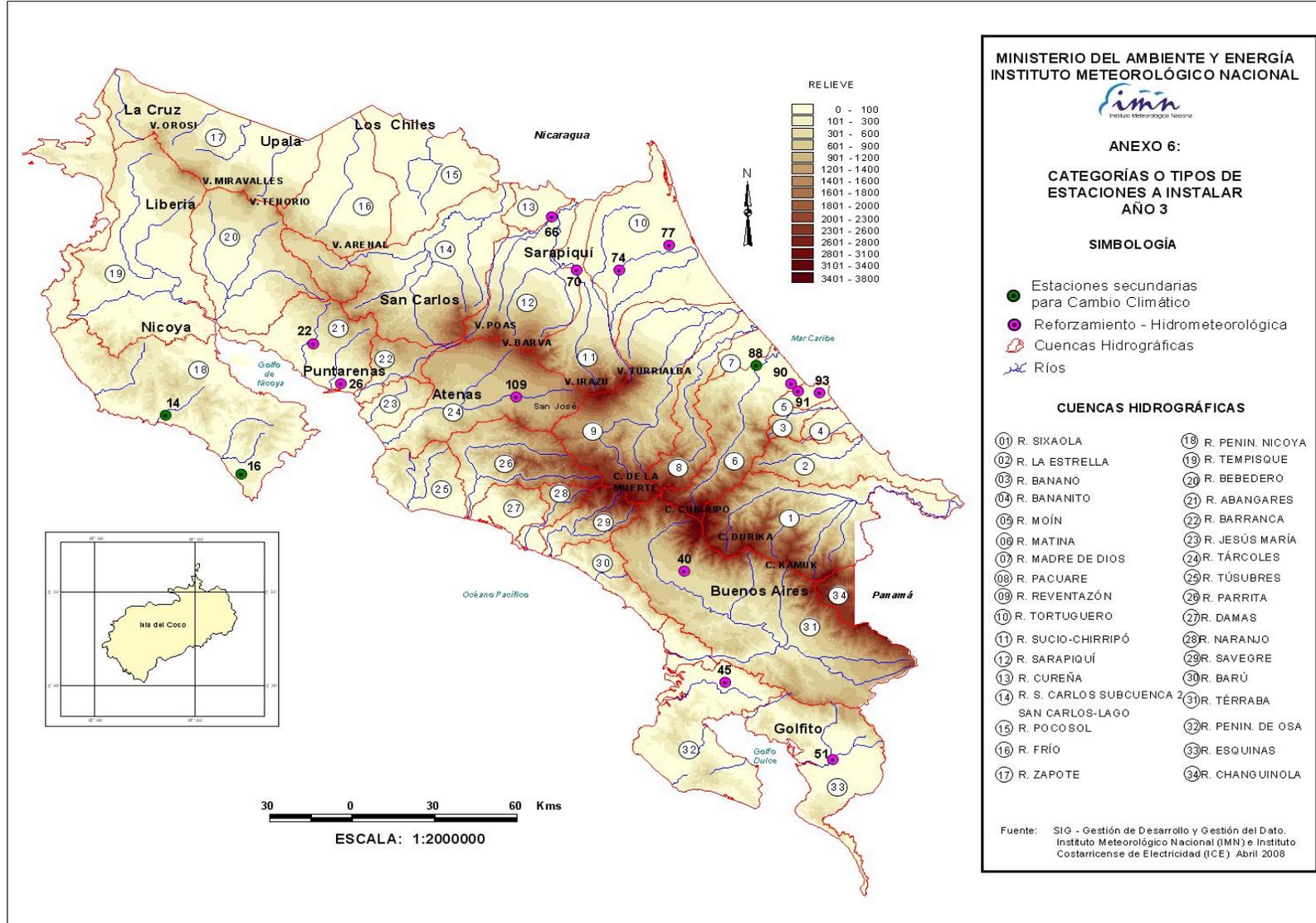
### Categorías o tipos de estaciones a instalar en el año 3 (las cifras son costos en US\$)

#### Estaciones adicionales para cambio climático con sensores de menor precisión que las pivote

No. Est	Tipo	Región	LL	V	T/H	Radiac	Pres	Caudal	Hum. Suelo	Hum. Mat.	Nivel mar	Temp. mar	Sal	Torre y obra gris	Data Logger	Panel y reg	Ant.	Trans.	Topog	Costo Mont.	Total
39	cc	P.C Barú				650		1300						2700	1200	575	200	600	300	950	8475
88	cc	R.C Matina			600	650		1300						2700	1200	575	200	600	300	950	9075
<b>Total</b>					<b>600</b>	<b>1300</b>		<b>2600</b>						<b>5400</b>	<b>2400</b>	<b>1150</b>	<b>400</b>	<b>1200</b>	<b>600</b>	<b>1900</b>	<b>17550</b>

#### Estaciones de reforzamiento hidrometeorológico

13	Hidromet	P.N Pen. Nicoya						1300						2000	1200	575	200	600	300	950	7125
15	Hidromet	P.N Pen. Nicoya	450					1300						2700	1200	575	200	600	300	950	8275
21	Hidromet	P.N Abang.	450	1100	600			1300						2700	1200	575	200	600	300	950	9975
25	Hidromet	P.C Barran.	450	1100	600			1300						2700	1200	575	200	600	300	950	9975
44	Hidromet	P.S - G. de Térraba						1300						2000	1200	575	200	600	300	950	7125
50	Hidromet	P.S - Esquin.			600									700	1200	575	200	600			3875
66	Hidromet	Z.N Sarap.						1300						2000	1200	575	200	600	300	950	7125
70	Hidromet	Z.N Chirrip						1300						2000	1200	575	200	600	300	950	7125
74	Hidromet	Z.N Tortug.			600									700	1200	575	200	600		950	4825
77	Hidromet	Z.N Tortug.						1300						2000	1200	575	200	600	300	950	7125
90	Hidromet	R.C Matina	450											700	1200	575	200	600		950	4675
91	Hidromet	R.C Moín						1300						2000	1200	575	200	600	300	950	7125
93	Hidromet	R.C Moín			600			1300						2700	1200	575	200	600	300	850	8325
109	Hidromet	R.C -G. de Tárcol.						1300						2000	1200	575	200	600	300	850	7025
<b>Total</b>			<b>1800</b>	<b>2200</b>	<b>3000</b>			<b>14300</b>						<b>26900</b>	<b>16800</b>	<b>8050</b>	<b>2800</b>	<b>8400</b>	<b>3300</b>	<b>12150</b>	<b>99700</b>



## ANEXO 7

### Categorías tipos de estaciones a instalar en el año 4 (las cifras son US\$)

#### Estaciones adicionales para cambio climático con sensores de menor precisión que las pivote

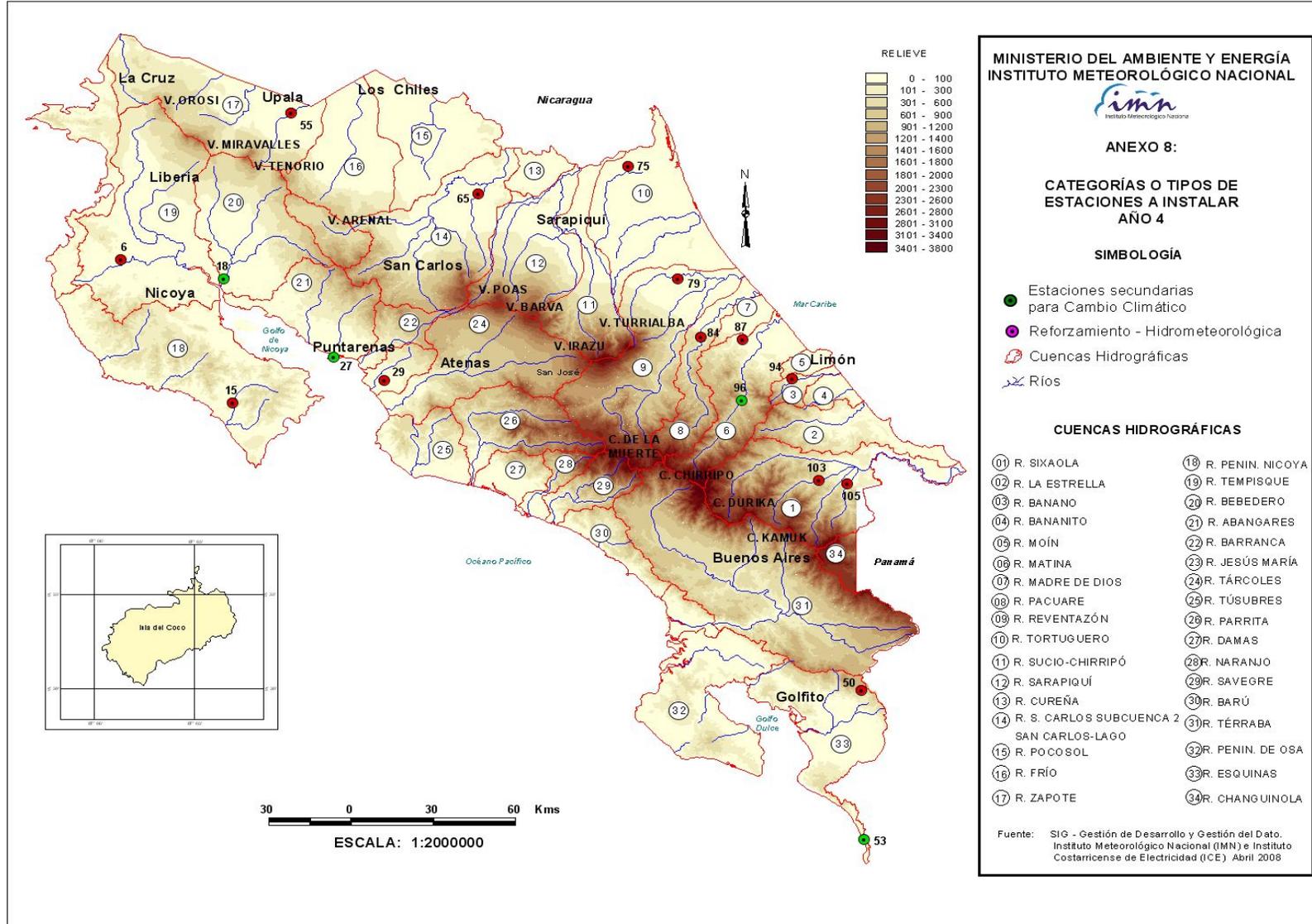
No. Est	Tipo	Región	LL	V	T/H	Radiac	Pres	Caudal	Hum. Suelo	Hum. Mat.	Nivel mar	Temp. mar	Sal	Torre y obra gris	Data Logger	Panel y reg	Ant	Trans	Topog	Costo Mont	Total
14	cc	P.C- P. Nicoya	450					1300						2700	1200	575	200	600	300	1000	8325
54	cc	Z.N Zapote						1300						2000	1200	575	200	600	300	1000	7175
96	cc	R.C Matina		1100	600			1300						2700	1200	575	200	600	300	1000	9575
<b>Total</b>			<b>450</b>	<b>1100</b>	<b>600</b>			<b>3900</b>						<b>7400</b>	<b>3600</b>	<b>1725</b>	<b>600</b>	<b>1800</b>	<b>900</b>	<b>3000</b>	<b>25075</b>

#### Estaciones de reforzamiento hidrometeorológico

6	Hidromet	P.C Templ						1300						2000	1200	575	200	600	300	1000	7175
17	Hidromet	P.C Bebed						1300						2000	1200	575	200	600	300	1000	7175
26	Hidromet	P.C Abang.						1300						2000	1200	575	200	600	300	1000	7175
28	Hidromet	P.C Jesús María						1300						2000	1200	575	200	600	300	1000	7175
47	Hidromet	P:S P. de Osa						1300						2000	1200	575	200	600	300	1000	7175
49	Hidromet	P:S P. de Osa	450					1300						2700	1200	575	200	600	300	1000	8325
52	Hidromet	P.S Esquin.						1300						2000	1200	575	200	600	300	1000	7175
55	Hidromet	Z.N Zapote						1300						2000	1200	575	200	600	300	1000	7175

### Continúa ANEXO 7

No. Est	Tipo	Región	LL	V	T/H	Radiac	Pres	Caudal	Hum. Suelo	Hum. Mat.	Nivel mar	Temp. mar	Sal	Torre y obra gris	Data Logger	Panel y reg	Ant	Trans	Topog	Costo Mont	Total
65	Hidromet	Z.N San Carlos			600	650		1300						2700	1200	575	200	600	300	1000	9125
75	Hidromet	Z.N Tortug.	450					1300						2700	1200	575	200	600	300	1000	8325
79	Hidromet	R.C Revent.						1300						2000	1200	575	200	600	300	1000	7175
84	Hidromet	R.C Pacuare						1300						2000	1200	575	200	600	300	1000	7175
87	Hidromet	R.C Maitina						1300						2000	1200	575	200	600	300	1000	7175
94	Hidromet	R.C Banano						1300						2000	1200	575	200	600	300	1000	7175
103	Hidromet	R.C Sixaola	450	1100	600	650								2000	1200	575	200	600	300	1000	8675
105	Hidromet	R.C Sixaola						1300						2000	1200	575	200	600	300	1000	7175
<b>Total</b>			<b>1350</b>	<b>1100</b>	<b>1200</b>	<b>1300</b>		<b>19500</b>						<b>34100</b>	<b>19200</b>	<b>9200</b>	<b>3200</b>	<b>9600</b>	<b>4800</b>	<b>16000</b>	<b>120550</b>



## ANEXO 9

**Categorías o tipos de estaciones a instalar en el año 5 (las cifras son costos en US\$)**

### Estaciones adicionales para cambio climático con sensores de menor precisión que las pivote

No. Est	Tipo	Región	LL	V	T/H	Radiac	Pres	Caudal	Hum. Suelo	Hum. Mat	Nivel mar	Temp. mar	Sal	Torre y obra gris	Data Logger	Panel y reg	Ant	Trans	Topog	Costo Mont	Total
99	cc	R.C La Estrella		1.100	600	650		1.200						2.700	1.200	575	200	600	300	1.025	10.150
<b>Total</b>				<b>1.100</b>	<b>600</b>	<b>650</b>		<b>1.200</b>						<b>2.700</b>	<b>1.200</b>	<b>575</b>	<b>200</b>	<b>600</b>	<b>300</b>	<b>1.025</b>	<b>10.150</b>

### Estaciones de reforzamiento hidrometeorológico

33	Hidromet	P.C Parrita				650								700	1.200	575	200	600		850	4.775
36	Hidromet	P.C Damas				650								700	1.200	575	200	600		850	4.775
73	Hidromet	Z.N Chirripó		1.100				1.200						2.700	1.200	575	200	600	300	1.025	8.900
85	Hidromet	R.C Pacuar.				650								700	1.200	575	200	600		1.025	4.950
86	Hidromet	R.C Madre de Dios	450					1.300						2.700	1.200	575	200	600	300	1.025	8.350
89	Hidromet	R.C Matina		1.100	600			1.200						2.700	1.200	575	200	600	300	1.025	9.500
97	Hidromet	R.C Matina		1.100	600			1.200	35.000					2.700	1.200	575	200	600	300	1.025	44.500
101	Hidromet	R.C Sixaola	450	1.100	600	650		1.200						2.700	1.200	575	200	600	300	1.025	10.600
<b>Total</b>			<b>900</b>	<b>4.400</b>	<b>1.800</b>	<b>2.600</b>		<b>6.100</b>	<b>35.000</b>					<b>15.600</b>	<b>9.600</b>	<b>4.600</b>	<b>1.600</b>	<b>4.800</b>	<b>1.500</b>	<b>7.850</b>	<b>96.350</b>

### Boyas marinas

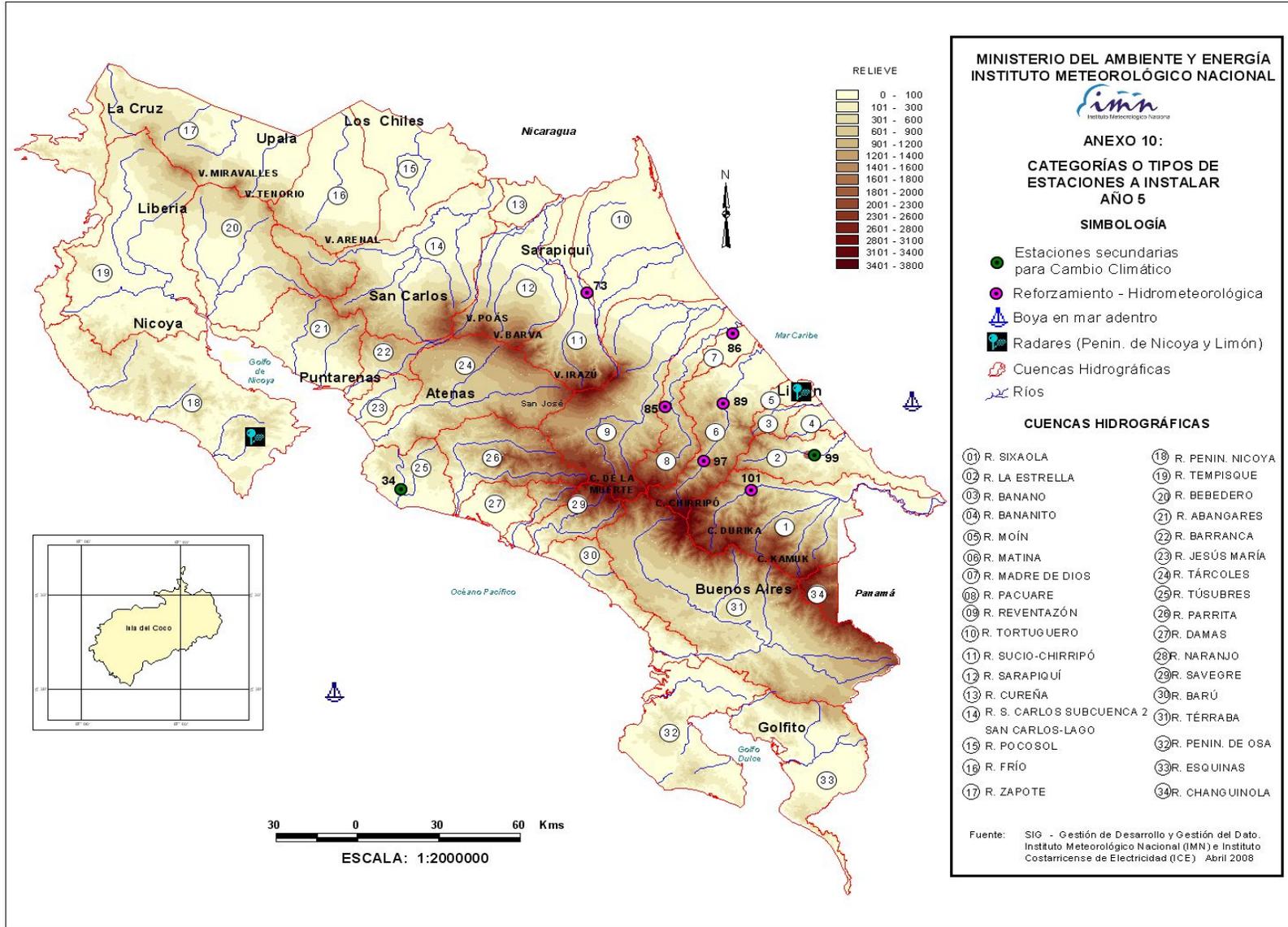
	1 boya Caribe																					35.000
	1 boya Pacífico																					35.000
<b>Total</b>																						<b>70.000</b>

### Radares meteorológicos

	1 Radar met. en el Caribe																					1.200.000
--	---------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----------

**Continúa ANEXO 9**

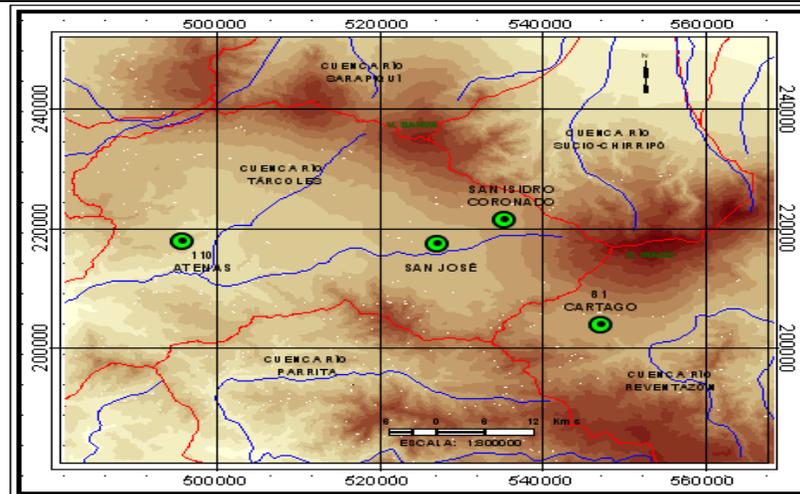
No. Est	Tipo	Región	LL	V	T/H	Radiac	Pres	Caudal	Hum. Suelo	Hum. Mat	Nivel mar	Temp. mar	Sal	Torre y obra gris	Data Logger	Panel y reg	Ant	Trans	Topog	Costo Mont	Total	
	1 Radar met. En el Pacífico																					1.200.000
<b>Total</b>																						<b>2.400.000</b>
<b>Gran total</b>																						<b>2.576.500</b>



Anexo 11

Estaciones de contaminación a instalarse en el año 1 (las cifras son costos en US\$)

No. Est.	Tipo	Región	CO2	CO	NO2	SO2	H2S	O3	CH4	PM10	Chasis Estac	Data Logger	Panel	Ant	Trans.	Costos Mont	Total
1	Contam. atmosférica	Cartago centro		11400	9400	9500				12000	1500	1200	575	200	600	850	47225
2	Contam. atmosférica	San José San Isidro Coronado	8000	11400	9400	9500	9200	8700	9600	12000	1500	1200	575	200	600	850	82725
3	Contam. atmosférica	San José centro		11400	9400	9500				12000	1500	1200	575	200	600	850	47225
4	Contam. atmosférica	Atenas Alajuela	8000	11400	9400	9500	9200	8700	9600	12000	1500	1200	575	200	600	850	82725
<b>Total</b>																<b>259900</b>	



**MINISTERIO DEL AMBIENTE Y ENERGÍA**  
**INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL**

**UBICACION DE ESTACIONES DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA**

**SIMBOLOGÍA**  
 Estaciones ubicadas en: Atenas, San José (centro), San Isidro de Coronado, y Cartago (centro).  
 Cuencas Hidrográficas  
 Ríos

Fuente: SIG - Gestión de Desarrollo y Gestión del Dato, Instituto Meteorológico Nacional (IMN) e Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) - Abril 2008

## ANEXO 12

### Estaciones de calidad del agua a instalarse entre los años 1 y 4 (las cifras son costos en US\$)

#### Año 1

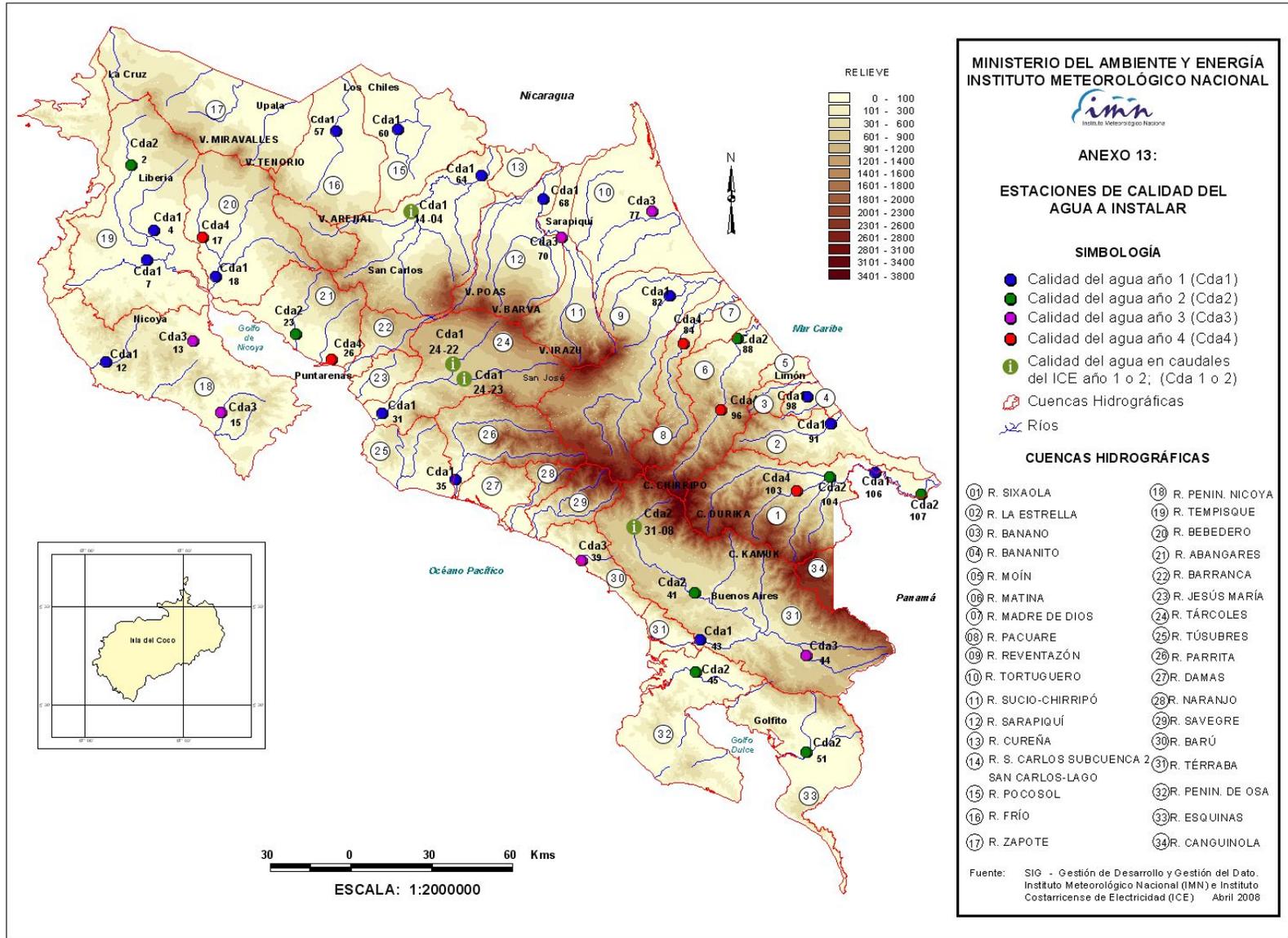
No. Est.	Tipo	Región	Coincide con ...	Cond	O. D	PH / ORP	Temp H2O	Turb	Torre y obra gris	Data Logger	Panel	Ant	Trans	Costo montaje	Total
2	Cal. agua	P.N Tempisque	c2a1	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	850	8375
3	Cal. agua	P.N Tempisque	c3a1	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	850	8375
8	Cal. agua	P.N Bebedero	c11a1	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	850	8375
11	Cal. agua	P.C G.Tárcoles	c17a1	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	850	8375
12	Cal. agua	P.C Parrita	c19a1	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	850	8375
16	Cal. agua	P.S G. de Térraba	c24a1	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	850	8375
21	Cal. agua	Z.N Poco Sol	c37a1	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	850	8375
22	Cal. agua	Z.N San Carlos	c39a1	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	850	8375
23	Cal. agua	Z.N Sarapiquí	14-04 del ICE	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	850	8375
24	Cal. agua	Z.N Sarapiquí	c42a1	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	950	8475
27	Cal. agua	R.C Reventazón	c51a1	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	850	8375
30	Cal. agua	R.C Reventazón	09-12 del ICE	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	850	8375
31	Cal. agua	R.C Reventazón	09-45 del ICE	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	850	8375

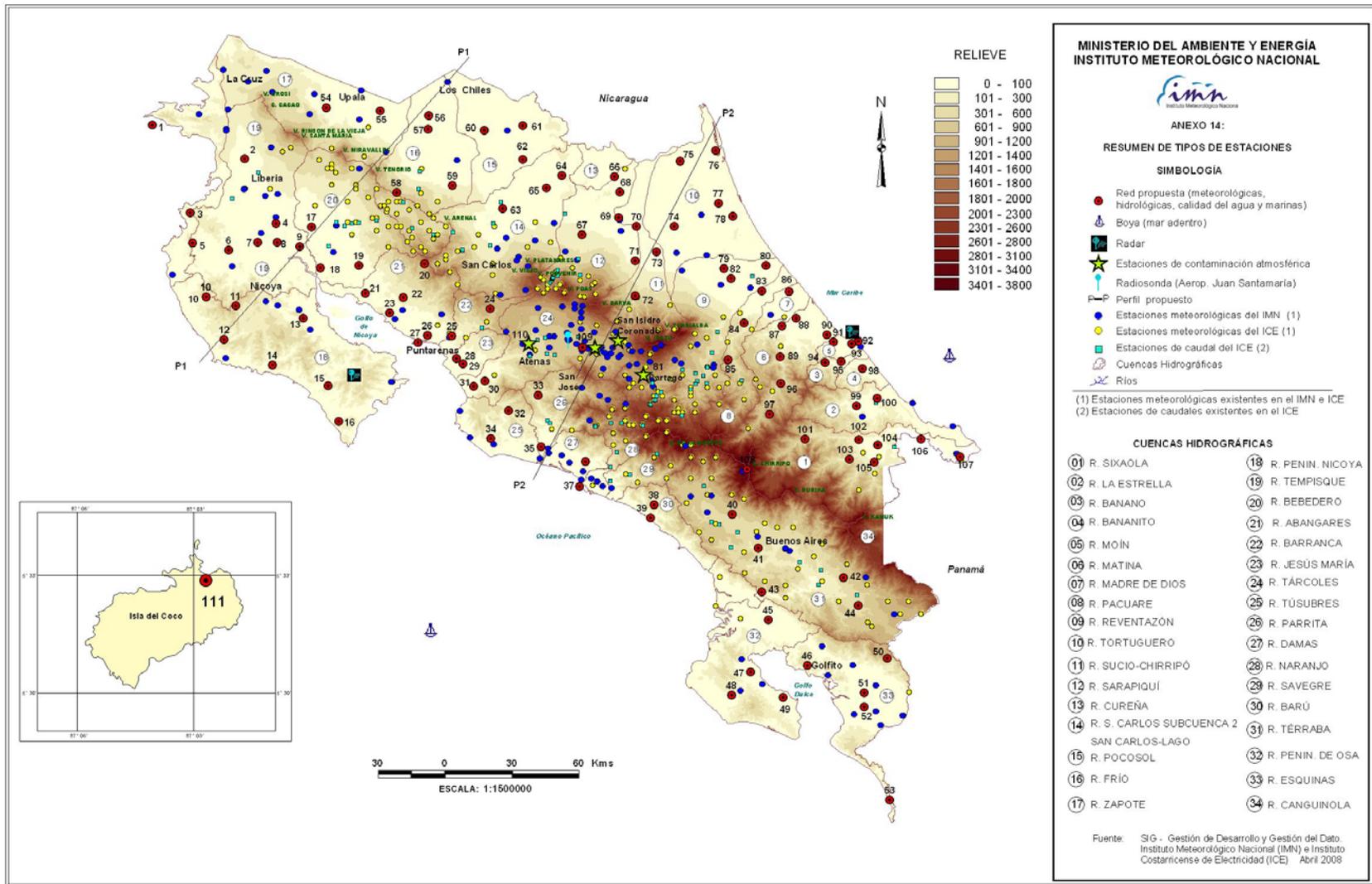
**Continúa ANEXO 12**

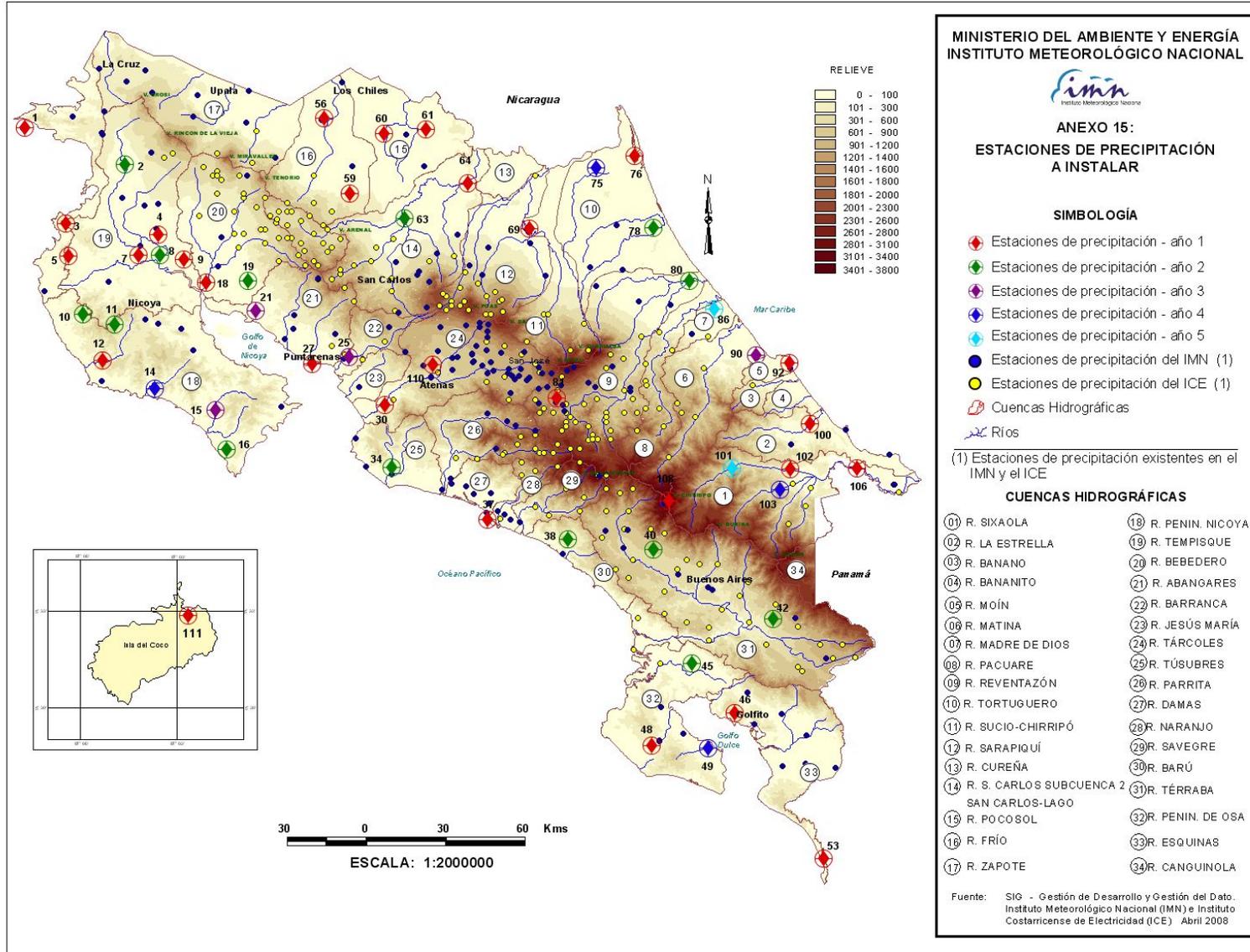
No. Est.	Tipo	Región	Coincide con ...	Cond	O. D	PH / ORP	Temp H2O	Turb	Torre y obra gris	Data Logger	Panel	Ant	Trans	Costo montaje	Total
33	Cal. agua	R.C Banano	c66a1	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600		7525
34	Cal. agua	R.C La Estrella	c68a1	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	850	8375
35	Cal. agua	R.C Sixalao	c70a1	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	900	8425
36	Cal. agua	R.C Sixaola	c74a1	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	850	8375
38	Cal. agua	Z.C G. de Tárcoles	24-23 del ICE	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	850	8375
39	Cal. agua	Z.C G. de Tárcoles	24-06 del ICE	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	850	8375
40	Cal. agua	Z.C G. de Tárcoles	24-22 del ICE	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	850	8375
<b>Subtotal</b>															<b>166800</b>
<b>Año 2</b>															
1	Cal. agua	PN Tempis.	c1a2	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	900	8425
9	Cal. agua	PN Abang.	c13a2	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	900	8425
14	Cal. agua	P.S - G. Terraba	31-08 del ICE	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	900	8425
15	Cal. agua	P.S - G. Terraba	c23a2	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	900	8425
17	Cal. agua	P.S - P. de Osa	c26a2	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	950	8475
19	Cal. agua	P.S - P. Esquinas	c30a2	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	900	8425
37	Cal. agua	R.C Sixaola	c75a2	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	900	8425

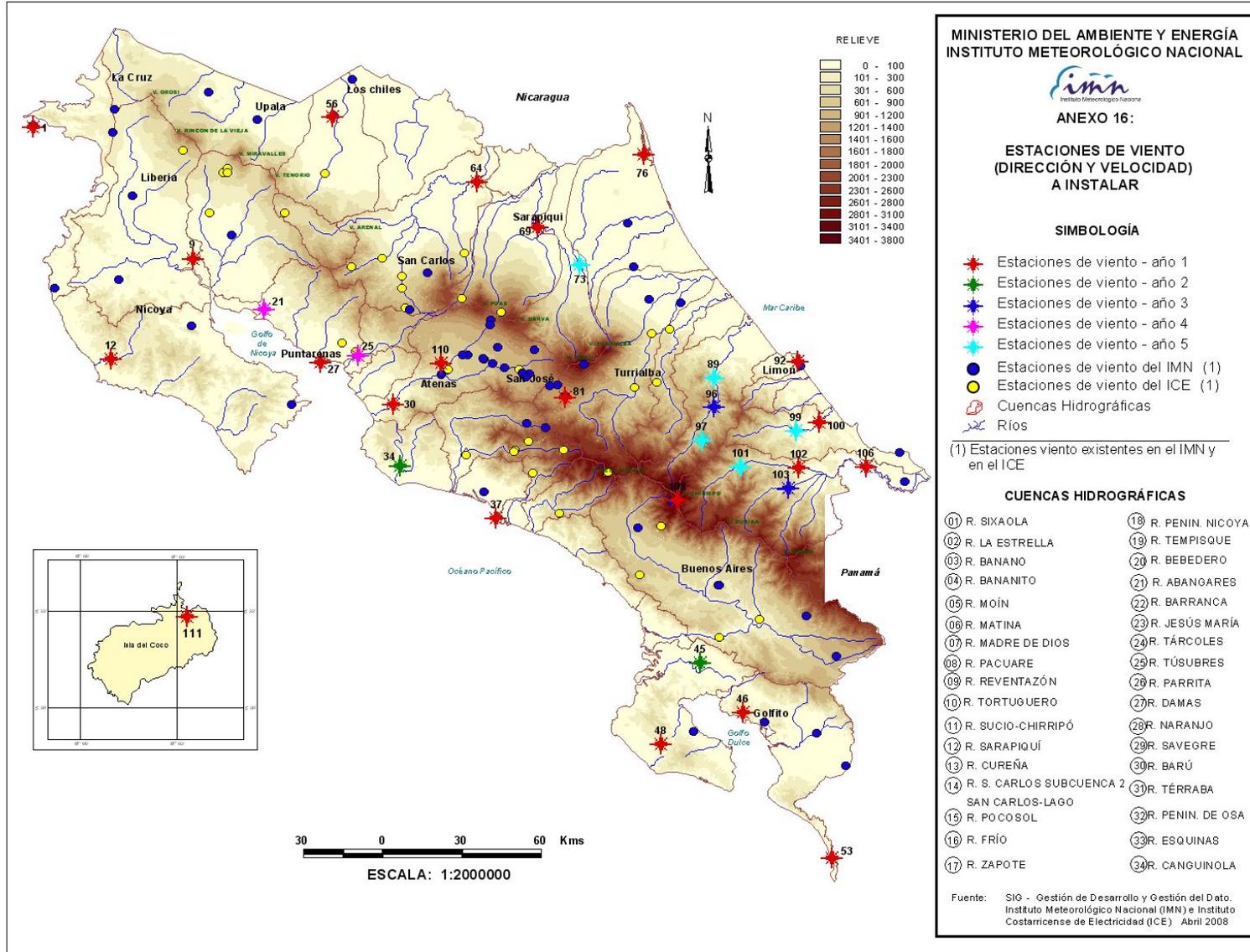
## Continúa ANEXO 12

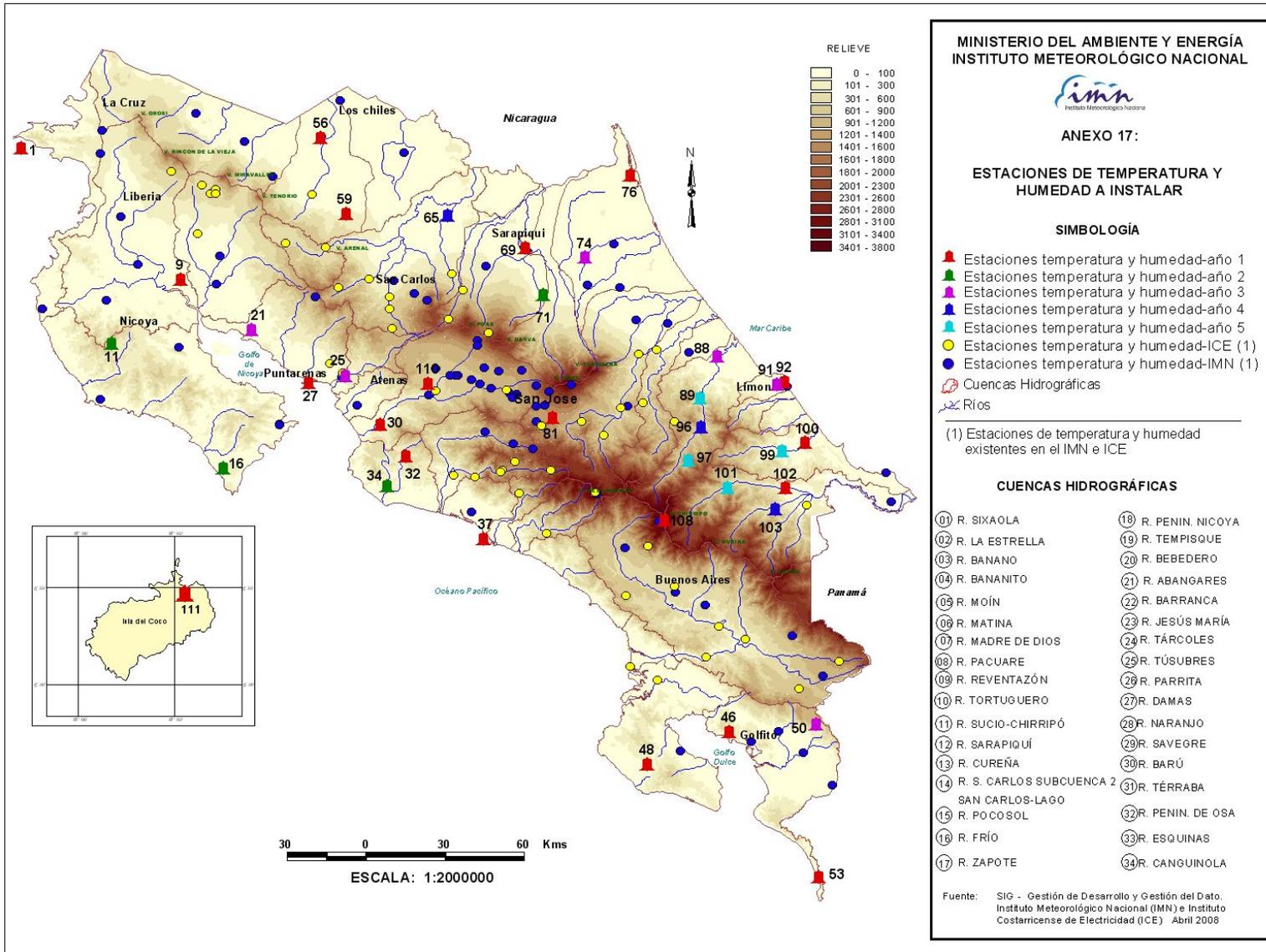
No. Est.	Tipo	Región	Coincide con ...	Cond	O. D	PH / ORP	Temp H2O	Turb	Torre y obra gris	Data Logger	Panel	Ant	Trans	Costo montaje	Total
<b>Subtotal</b>															<b>59025</b>
<b>Año 3</b>															
4	Cal. agua	P.N - P. Nicoya	cd4a1	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	950	8475
5	Cal. agua	P.N - P. Nicoya	c6a3	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	850	8375
6	Cal. agua	P.N - P. Nicoya	c7a3	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	950	8475
13	Cal. agua	P.S Barú	c22a3	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	950	8475
18	Cal. agua	P.S G. Terraba	c25a3	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	950	8475
25	Cal. agua	Z.N Chirripo	c44a3	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	950	8475
26	Cal. agua	R.C Tortuguero	c47a3	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	950	8475
28	Cal. agua	R.C Reventazón	c58a3	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	850	8375
<b>Subtotal</b>															<b>67600</b>
<b>Año 4</b>															
7	Cal. agua	P.N Bebero	c10a4	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	1000	8525
10	Cal. agua	P.N Abang.	c14a4	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	1000	8525
29	Cal. agua	R.C Pacuare	c54a4	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	1000	8525
32	Cal. agua	R.C Matina	c60a4	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	1000	8525
36	Cal. agua	R.C Sixaola	c71a4	660	1100	340	100	750	2000	1200	575	200	600	900	8425
<b>Subtotal</b>															<b>42525</b>
<b>Total</b>															<b>335950</b>

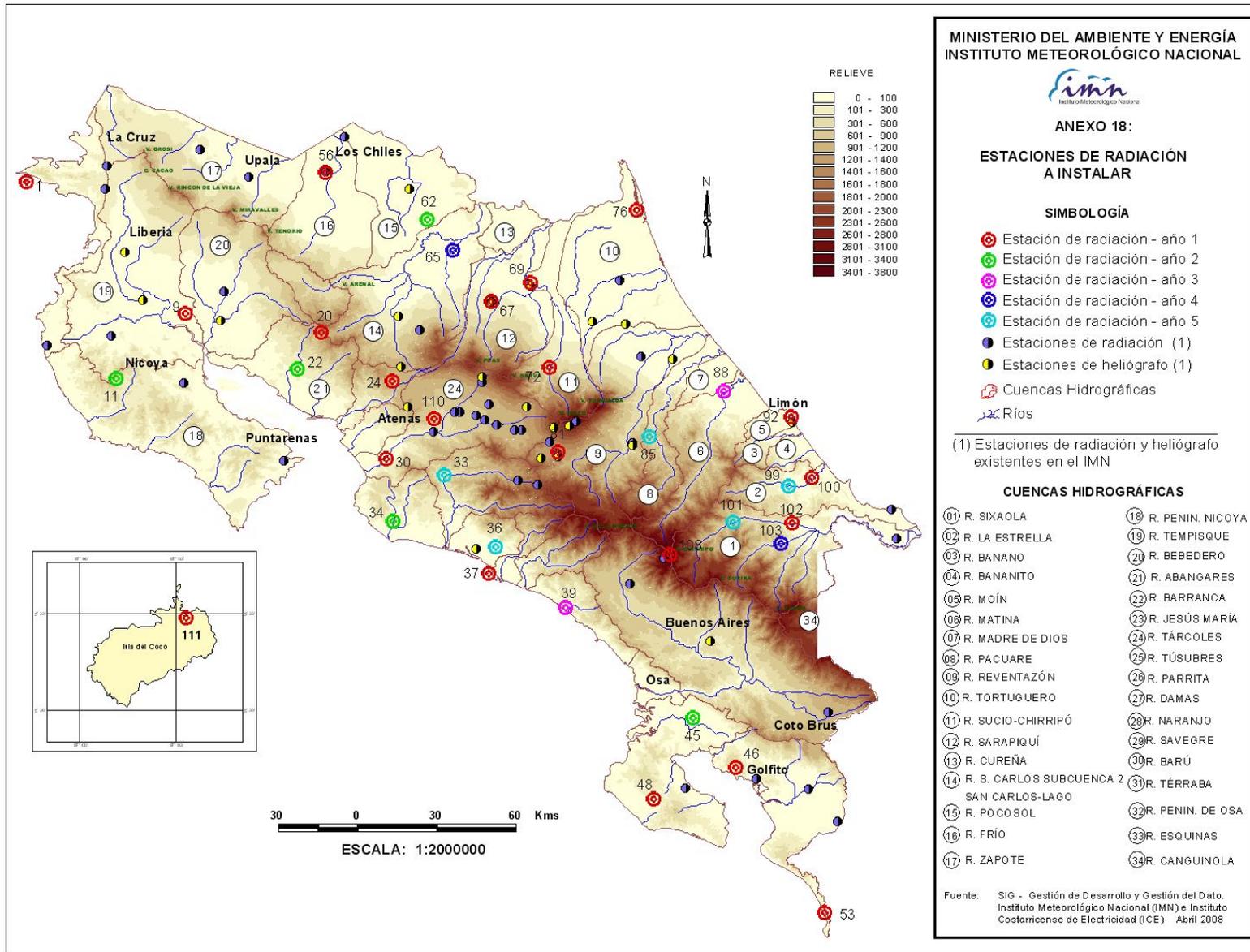


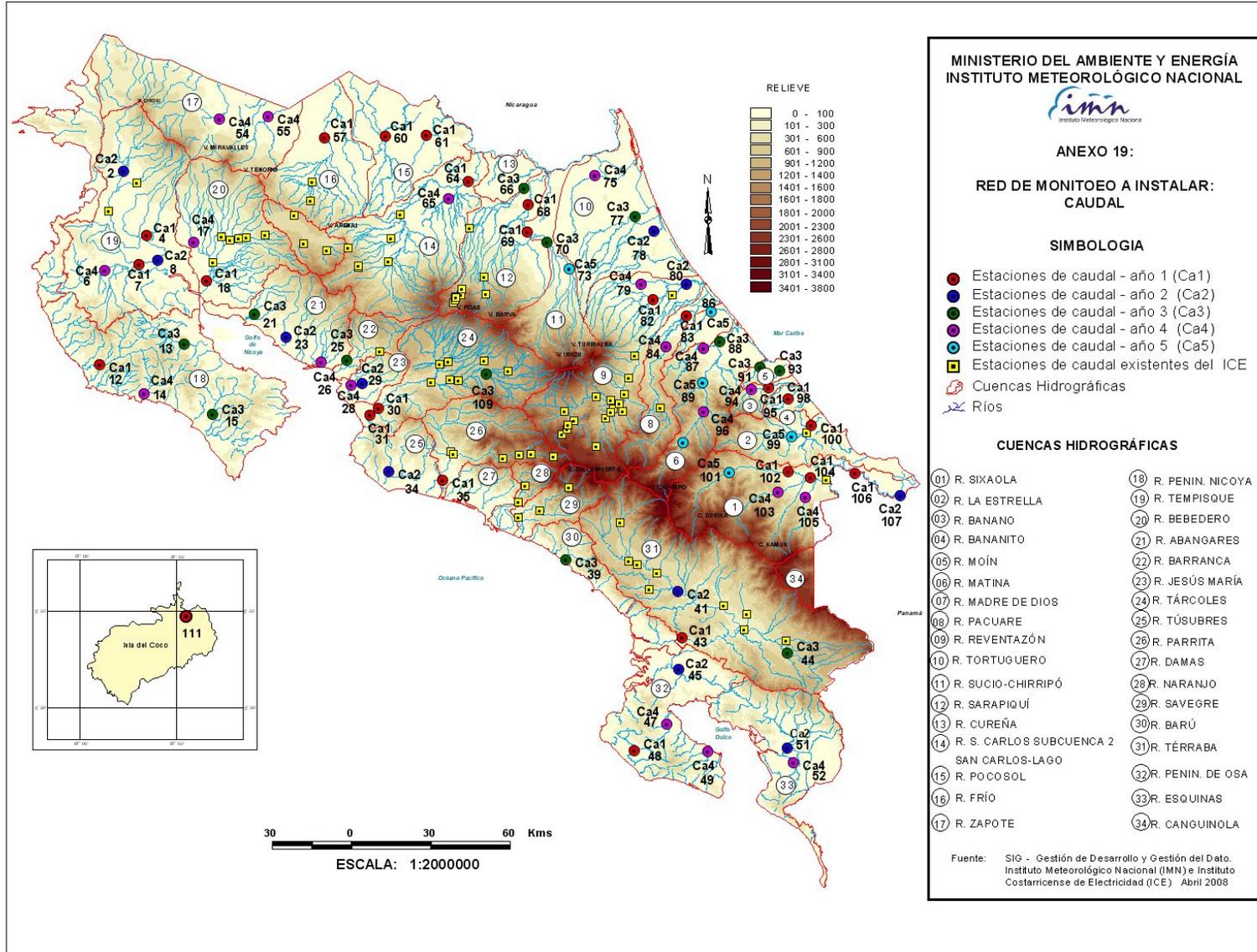












## ANEXO 20

### Presupuesto consolidado para todos los tipos de rubros (equipos e instalación) en US\$

Año 1		Año 2		Año 3		Año 4		Año 5		Totales
Rubro	Monto	Rubro	Monto	Rubro	Monto	Rubro	Monto	Rubro	Monto	
10 estac. pivote cc	148.590									148.590
15 estac. reforz. cc	112.175	4 estac. reforz. cc	32.250	2 estac. reforza. cc	17.550	3 estac. reforza. cc	25.075	1 estac. reforza. cc	10.150	197.550
3 estaciones marinas	36.725									36.725
15 estaciones reforzamiento hidromet.	96.425	18 estac. Reforz. hidromet.	106.900	16 estac. Reforz. hidromet.	99.700	16 estac. Reforz. hidromet.	120.550	8 estac. reforzamiento hidromet.	96.350	519.925
20 estac. cal. agua	166.800	7 estac. calidad agua	59.025	98 estac. calidad agua	67.600	5 estac. calidad agua	42.525			335.950
4 estac. contam. atmosférica	259.900									259.900
3 estaciones ASOS (J. Sant y Liberia)	200.000	2 estac. ASOS (Limón y T. Bolaños)	100.000							300.000
Repuestos para red actual	250.000									250.000
<b>Subtotal 1</b>	<b>1.270.605</b>		<b>298.175</b>		<b>184.850</b>		<b>188.150</b>		<b>106.500</b>	<b>2.048.290</b>
5 torres repetidoras, panel solar y transcep. us\$ 3500 c/u	17.500									17.500

**Continúa ANEXO 20**

Año 1		Año 2		Año 3		Año 4		Año 5		Totales
		Alquiller torres repetidoras panel solar y radio transcept.	2.000	Alquiller torres repetidoras panel solar y radio transcept.	2.100	Alquiller torres repetidoras panel solar y radio transcept.	2.100	Alquiller torres repetidoras panel solar y radio transcept.	2.200	8.400
Adquisición radio bases grupos 20 estaciones, US\$ 1500 c/u	4.500	Adquisición radio bases grupos 20 estaciones, US\$ 1500 c/u	1.500	Adquisición radio bases grupos 20 estaciones, US\$ 1500 c/u	1.500	Adquisición radio bases grupos 20 estaciones, US\$ 1500 c/u	1.500	Adquisición radio bases grupos 20 estaciones, US\$ 1500 c/u	1.500	10.500
<b>Subtotal 2</b>	<b>22.000</b>		<b>3.500</b>		<b>3.600</b>		<b>3.600</b>		<b>3.700</b>	<b>36.400</b>
Fungibles radiosonda	80.000	Fungibles radiosonda	80.000	Fungibles radiosonda	81.000	Fungibles radiosonda	81.000	Fungibles radiosonda	82.000	404.000
Laboratorios calibración	20.000	Laboratorios calibración	15.000	Laboratorios calibración	15.000	Laboratorios calibración	10.000	Laboratorios calibración	10.000	70.000
software tormentas eléct	15.000									15.000
		Reparación estación terrena satélites	30.000							30.000

**Continúa ANEXO 20**

Año 1		Año 2		Año 3		Año 4		Año 5		Totales
		Adquisición estación sat. Polares	75.000							75.000
								2 boyas marinas fijas 35.000 c/u	70.000	70.000
								2 Radar meteorológ 1.200.000 c/u	2.400.000	2.400.000
<b>Subtotal 3</b>	<b>115.000</b>		<b>200.000</b>		<b>96.000</b>		<b>91.000</b>		<b>2.562.000</b>	<b>3.064.000</b>
<b>Totales</b>	<b>1.407.965</b>		<b>501.675</b>		<b>284.450</b>		<b>282.750</b>		<b>2.672.200</b>	<b>5.148.690</b>