

TÓPICOS METEOROLÓGICOS Y OCEANOGRÁFICOS

Ministerio de Ambiente y Energía - Instituto Meteorológico Nacional

Número **2**
ISSN 2953-738X

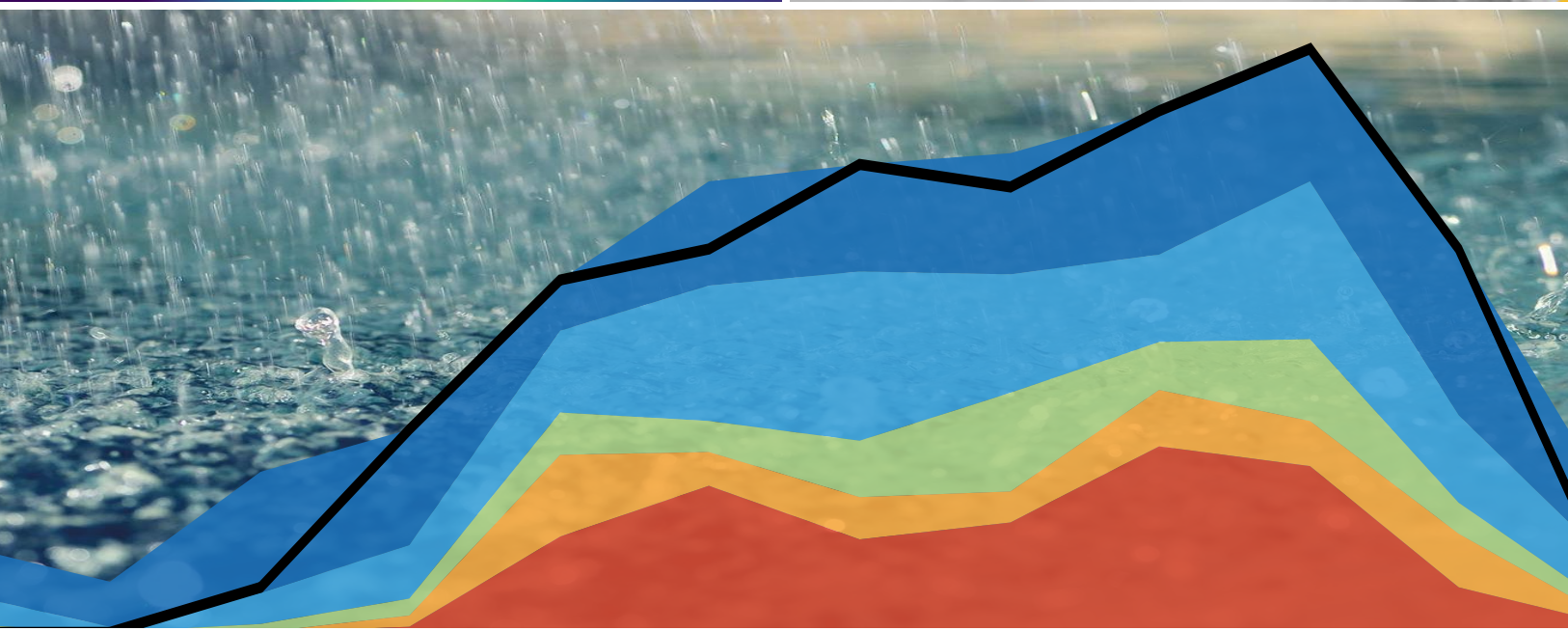
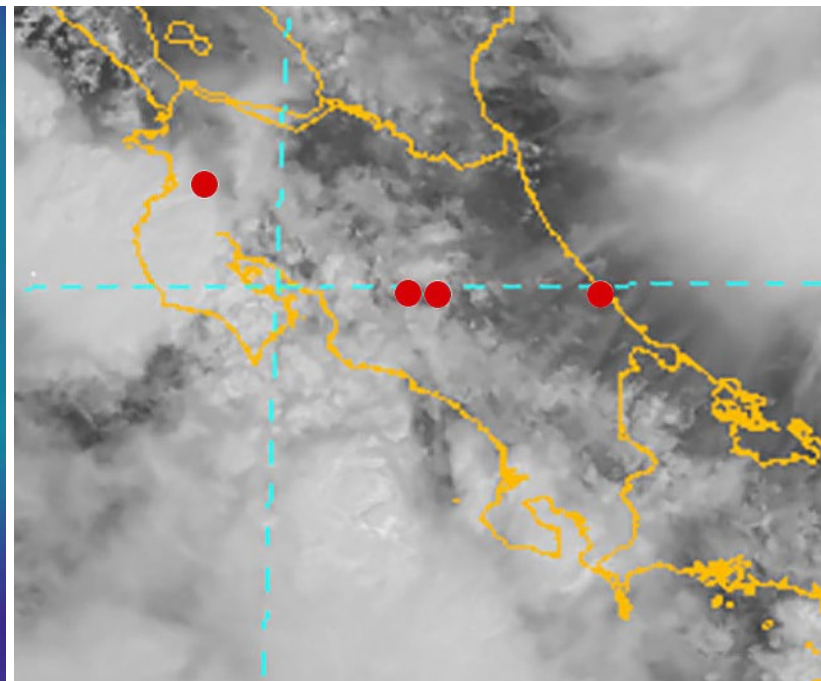
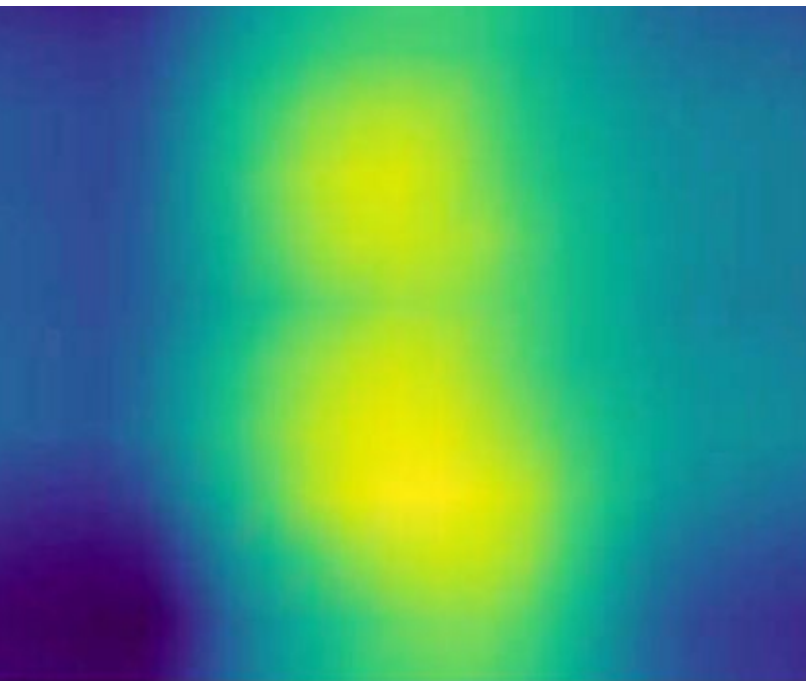


Instituto Meteorológico Nacional
Fundado en 1888

ISSN 2953-738X

Volumen 19

Diciembre 2020



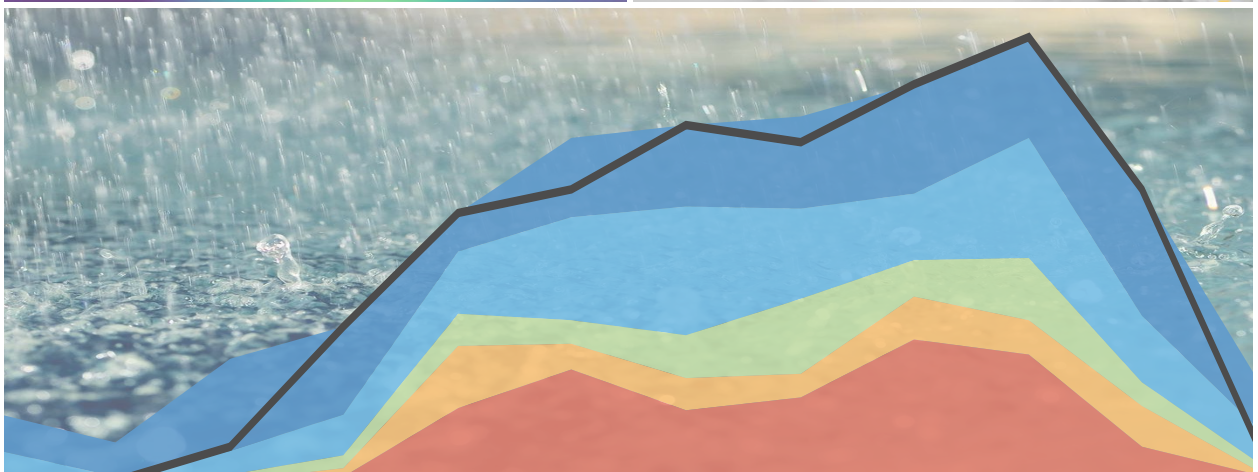
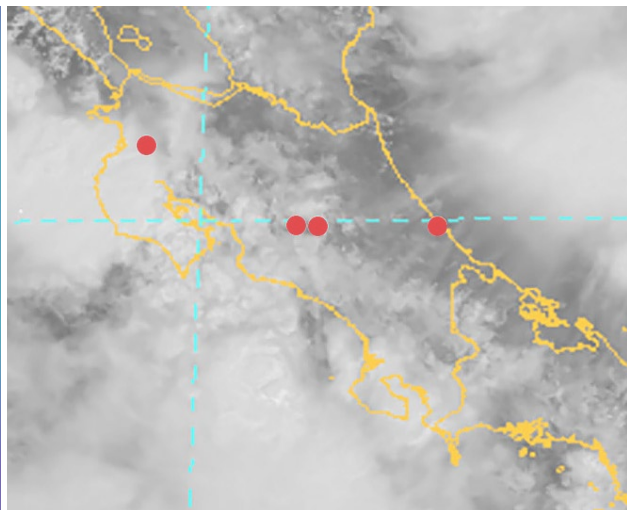
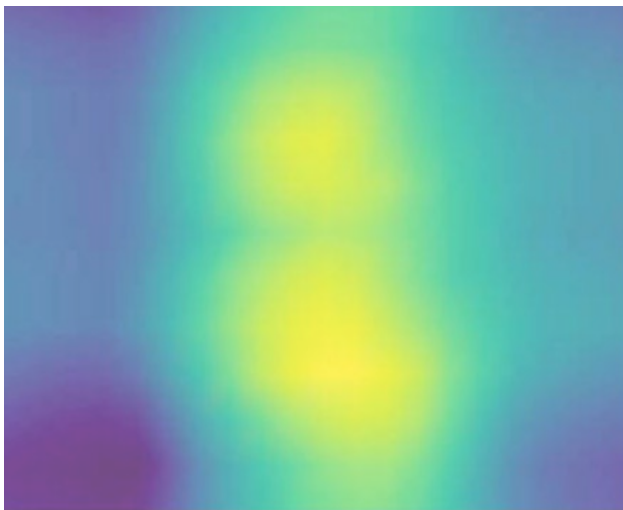
San José, Costa Rica

TÓPICOS METEOROLÓGICOS Y OCEANOGRÁFICOS

ISSN 2953-738X

Volumen 19

Diciembre 2020



Ministerio de Ambiente y Energía
Instituto Meteorológico Nacional

Coordinación general:
Lic. Werner Stolz España

Edición:
Dra. Gladys Jiménez Valverde

Comité editorial:
Ing. José Alberto Retana Barrantes
Lic. Luis Fernando Alvarado Gamboa
MSc. Eladio Solano León

Diseño y diagramación:
Rodrigo Granados Jiménez

Imágenes de portada:
Tomadas de los artículos incluidos en esta edición.

La revista "Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos" es publicada por el Instituto Meteorológico Nacional, Ministerio de Ambiente y Energía, Costa Rica. Tiene como finalidad dar a conocer los resultados de investigaciones y estudios en Ciencias de la Atmósfera y Oceanografía Física.

* Los artículos publicados en Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos expresan la opinión del autor y no necesariamente del Instituto Meteorológico Nacional

CONTENIDO

- | Pág. | Artículo |
|------|---|
| 5 | El extremo lluvioso de 1886 en Costa Rica: el año con más precipitación en la historia de San José
RODRIGO GRANADOS JIMÉNEZ |
| 39 | Desviaciones entre predicciones y mediciones de las mareas en Costa Rica, América Central
OMAR G. LIZANO
RODNEY E. MORA ESCALANTE |
| 49 | Variables meteorológicas aeronáuticas en los cuatro aeropuertos internacionales de Costa Rica durante la influencia del ciclón tropical Nate
JOSÉ PABLO VALVERDE MORA |
| 68 | Análisis estadístico, temporal y espectral de datos meteorológicos de la región de San Ramón, Alajuela
EDUARDO ARIAS NAVARRO
MIGUEL ÁNGEL JIMÉNEZ VARGAS |
| 84 | Modelos de biomasa y carbono en ecosistemas forestales naturales en Costa Rica
WILLIAM FONSECA GONZÁLEZ
FEDERICO ALICE GUIER
RONNY VILLALOBOS CHACÓN |

Desviaciones entre predicciones y mediciones de las mareas en Costa Rica, América Central

OMAR G. LIZANO ⁽¹⁾
RODNEY E. MORA ESCALANTE ⁽²⁾

Resumen

Las predicciones de marea que se usan en Costa Rica, están basadas en mediciones del nivel del mar de hace 40-50 años, y nunca se han evaluado las desviaciones de dichas predicciones con las mediciones reales. Este estudio evalúa el grado de ajuste de estos modelos predictivos, usando los datos de los mareógrafos que recientemente se han instalado en algunas costas de Costa Rica y con algunos registros históricos de mareas. Los resultados demuestran que las predicciones reproducen el patrón de las mediciones. Sin embargo, hay diferencias en ámbito de los valores de ambas series, lo que evidencia una falta de ajuste de datos. Las mediciones que se han hecho en Bahía Culebra del Pacífico Norte de Costa Rica, demuestran que hay grandes desviaciones con las predicciones. Las desviaciones son relativamente menores con las predicciones de la estación mareográfica de San Juan del Sur de Nicaragua, lo que indica la necesidad de mayor investigación en este campo en la región de América Central. La dinámica de nuestros mares y costas ha estado cambiando, y seguirá cambiando, por lo que es necesario un nuevo banco de datos que permitan la actualización de los niveles mareográficos en las costas de Costa Rica. Con esto se lograría no solo orientar las políticas sobre la Zona Marítima Terrestre (ZMT), sino que actualizar los modelos oceanográficos para el país.

PALABRAS CLAVE: MAREAS, COSTAS CARIBE Y PACÍFICO, COSTA RICA, PREDICCIÓN, ESTACIÓN DE MAREA, DESVIACIONES.

Abstrat

The tidal predictions used in Costa Rica are based on sea level measurements from 40-50 years ago. The deviations in these predictions with the measurements have never been evaluated. This study evaluates the degree of adjustment of these predictive models using the data of the tide gauges that have recently been installed in some Costa Rican coasts and also with some historical tide records. The results demonstrate that the predictions reproduce the pattern of the measurements. However, there are differences in the range values of both series, which shows the need of data adjustment. The measurements that have been made in Bahía Culebra in the North Pacific of Costa Rica show that there are significant differences with the predictions. The deviations are relatively minor with the predictions of the San Juan del Sur tidal station in Nicaragua, indicating the need for more research in this field in Central America. The dynamics of our seas and coasts has been changing, and will continue to change, which is why a new database is necessary to allow an update of the tidal levels on Costa Rican coasts. With this, it is possible not only to orient the policies on the Terrestrial Maritime Zone (ZMT), but also to update the oceanographic models and the applications derived from the knowledge of a new mean sea level for the country.

KEY WORDS: TIDES, CARIBBEAN AND PACIFIC COASTS, COSTA RICA, PREDICTION, TIDE STATION, DIFFERENCES.

- 1 Doctor en Oceanografía Física. Módulo de Información Oceanográfica (MIO). CIMAR. Universidad de Costa Rica. Correo electrónico: omar.lizano@ucr.ac.cr.
- 2 M.Sc. en Oceanografía Física. Módulo de Información Oceanográfica (MIO). CIMAR. Universidad de Costa Rica. Correo electrónico: rodney.moraescalante@ucr.ac.cr.

1. INTRODUCCIÓN

El conocimiento de las mareas es muy importante en la realización de múltiples actividades humanas, en la seguridad de la navegación marina en aguas poco profundas y en los trabajos de ingeniería costera. Son generadas principalmente por la Luna y en segundo término por el Sol. Al estar más cerca la Luna de la Tierra, produce mayor fuerza gravitacional que el Sol, por lo que su influencia sobre las mareas es mayor (Knauss, 1976). Como la posición de la Luna y del Sol se puede predecir con precisión cada día, con un estudio histórico de las componentes de las mareas en un lugar, se puede saber el comportamiento del componente astronómico de la marea a futuro con gran precisión, por eso se dice que las mareas se predicen, no se pronostican.

Tal como lo menciona Lizano (2006), las mareas son influenciadas por una gran cantidad de fenómenos tanto atmosféricos, como oceánicos. Las mareas experimentan cambios al entrar en las plataformas continentales: fricción, asomeramiento (cambio de la longitud y altura de la onda), compresión lateral (aumento de altura al entrar en una bahía o golfo estrecho), refracción (cambio de dirección y altura), reflexión y resonancia. También pueden ser influenciadas por la rotación de la Tierra, el viento, la presión atmosférica y por las corrientes marinas (Pugh, 1987).

Según el *Permanent Service for Mean Sea Level* (PSMSL), en 1941 se iniciaron mediciones del nivel del mar en Puntarenas. Se tomaron datos continuos hasta 1966 (Caldwell, Merrifield & Thompson, 2015), con lo cual se establecieron las componentes que generan la marea y desde el análisis armónico de las mismas, se elaboraron las predicciones para este lugar. Puntarenas se constituyó en la estación de referencia del Pacífico de Costa Rica (Lizano, 2006), sobre la cual se generaron las predicciones para las otras estaciones subordinadas de la costa Pacífica, utilizando ajustes en tiempo y altura.

Según Lizano (2006), es claro que las mareas en Costa Rica tienen características distintas entre ambas costas y aunque en el Pacífico las mareas tienen el mismo patrón semidiurno, presentan variaciones en el ámbito de altura según las características morfológicas y batimétricas de los sitios en donde se ubican.

La mayoría de casas comerciales como NOBELTEC, BUOYWEATHER, SURFLINE, WXTIDE32, STORM-SURF, entre otras, que ofrecen información oceanográfica, utilizan las predicciones en aplicaciones para celulares y computadoras para presentar información de mareas. Por ejemplo, desde NOBELTEC se pueden obtener predicciones desde el año 1901 hasta el 2099 (Anónimo, 2002).

El Módulo de Información Oceanográfica (MIO) del Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), Universidad de Costa Rica (UCR), también ofrece esta información al usuario del mar y se coloca en la plataforma Web o en la aplicación móvil (MIO CIMAR). Tal como lo menciona Lizano (2006), estas componentes para elaborar las predicciones fueron calculadas por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) y por la Canadian Hydrographic Service (CHS), hace mucho tiempo atrás.

Hasta el momento, no se conoce algún estudio en Costa Rica que determine la validez de las predicciones de mareas respecto de las mediciones. Con la disponibilidad de datos mareográficos de estaciones funcionando actualmente en nuestras costas y de algunos registros temporales históricos en lugares del Pacífico de Costa Rica, el presente artículo estudia las desviaciones entre estas dos fuentes de información. Esto permite evaluar el grado de exactitud de las predicciones de marea, la pertinencia de hacer nuevas mediciones y/o predicciones, o en su defecto, calcular los respectivos ajustes del nivel del mar para nuestras costas.

2. METODOLOGIA

Las series de los mareógrafos que actualmente están haciendo mediciones en las costas del país: Limón, Quepos e Isla del Coco, fueron obtenidas desde la página web de la Universidad de Hawaii. Las series históricas, como la de Puntarenas, también fue obtenida de la Universidad de Hawaii. Dichas series son registros horarios y tienen su debido Control de Calidad (CC). Las mediciones de la Marina de los Sueños en Bahía Herradura y las de la Marina de Papagayo en Bahía Culebra, no tienen su respectivo CC y son mediciones hechas minuto a minuto. Estas series fueron digitalizadas con programas en Fortran, para ajustarlas a series horarias. Estos datos fueron suministrados por la Red de Observación del Nivel del Mar de América Central (RONMAC) de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA).

Los datos medidos por los mareógrafos tienen niveles de referencia distintos y no están referidos

a los niveles mareográficos convencionales (Lizano, 2009). A todas las series se les eliminó la tendencia (utilizando la función “detrent” de Matlab, que sustrae la línea de mejor ajuste de los datos) y sus valores promedios fueron igualados a “0” (cero). De esta forma, al superponerlas fue más fácil visualizar sus diferencias y calcular el Error Medio Cuadrático (RMSE) que identificara su mejor ajuste.

La Raíz del Error Medio Cuadrático, definida como $RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - O_i)^2}$ por Schiller and Brassington (2011), fue calculado para evaluar el grado de ajuste o desviaciones en los valores de las series, donde “M” indica la predicción y “O” representa la medición.

3. RESULTADOS

En la figura 1, se presenta la posición de las siete estaciones mareográficas utilizadas en este estudio.

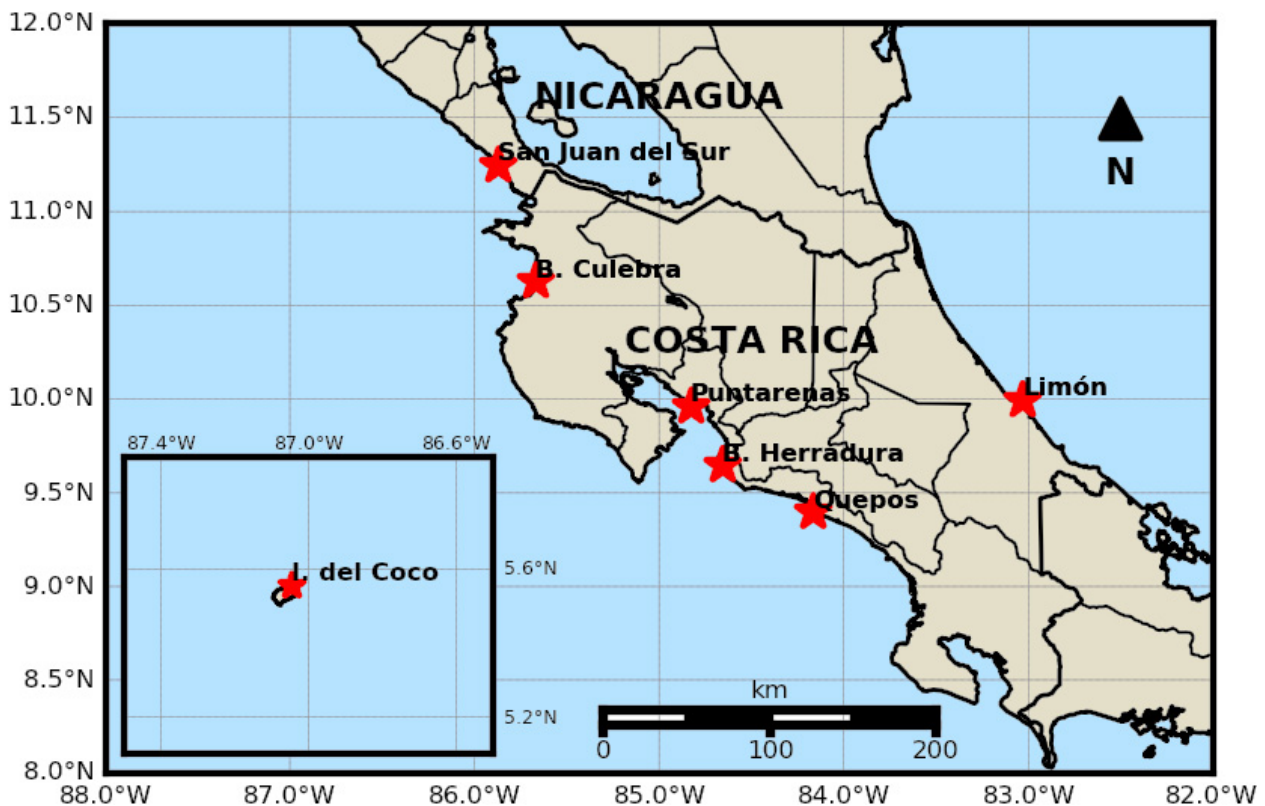


Figura 1. Mapa de ubicación de las estaciones mareográficas.

3.1. Predicciones y mediciones de marea en estaciones del Pacífico Central

La figura 2 presenta las predicciones y las mediciones de la marea horaria, en un mes particular, que se hicieron en Puntarenas mientras el mareógrafo estuvo funcionando. Se muestra la típica variación de la marea en un mes, con sus máximos quinquenales (Luna Nueva y Luna Llena) debido a la declinación de la Luna y el Sol, respecto del ecuador geográfico (Pugh, 2004). Esta marea coincidió con la marea equinoccial de otoño (Pugh, 2004; Lizano, 1997), con máximos de ámbito de marea alrededor de los días 27 y 28, con 3,71 m que corresponde a 3,29 m sobre del promedio de bajamares de sicigia, más 0,42

m bajo el promedio de sicigias (Lizano, 1997), la marea más alta que se puede dar en Puntarenas según las predicciones (Lizano, 1997; Lizano y Lizano, 2010).

En el cuadro 1 se muestra que para el Pacífico de Costa Rica, los valores de las predicciones y las mediciones de Puntarenas tienen las menores diferencias en las series estudiadas para esa región. La diferencia máxima calculada entre las pleamares (o bajamares) de un mismo ciclo de marea de las series fue de 0,24 m.

En la figura 3 se muestran las predicciones y mediciones de la estación ubicada en la Marina de Los Sueños, Bahía Herradura (ver figura 1). Es

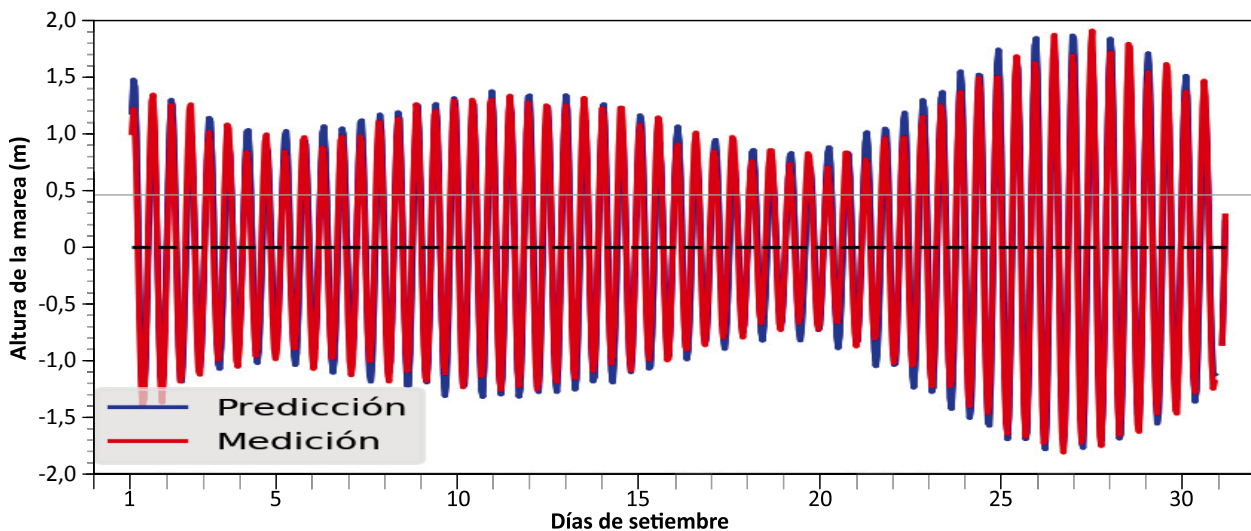


Figura 2. Datos horarios de predicción y medición de la marea en Puntarenas para el mes de setiembre de 1980.

Cuadro 1. Algunas características de las pronosticadas y medidas

Serie	Periodo	RSME (m)	Máxima diferencia (m)*
Puntarenas	Set., 1980	0,20	0,24
Bahía Herradura	May., 2015	0,25	0,45
Quepos	Feb., 2020	0,21	0,34
Isla del Coco	Feb., 2020	0,32	0,48
Bahía Culebra	Set., 2015	0,29	0,63
B. Culebra y SJ del Sur	Set., 2015	0,21	0,27
Limón	Oct., 2019	0,04	0,10

*Corresponde a la máxima desviación encontrada entre las pleamares (o bajamares) de un mismo ciclo de marea entre ambas series.

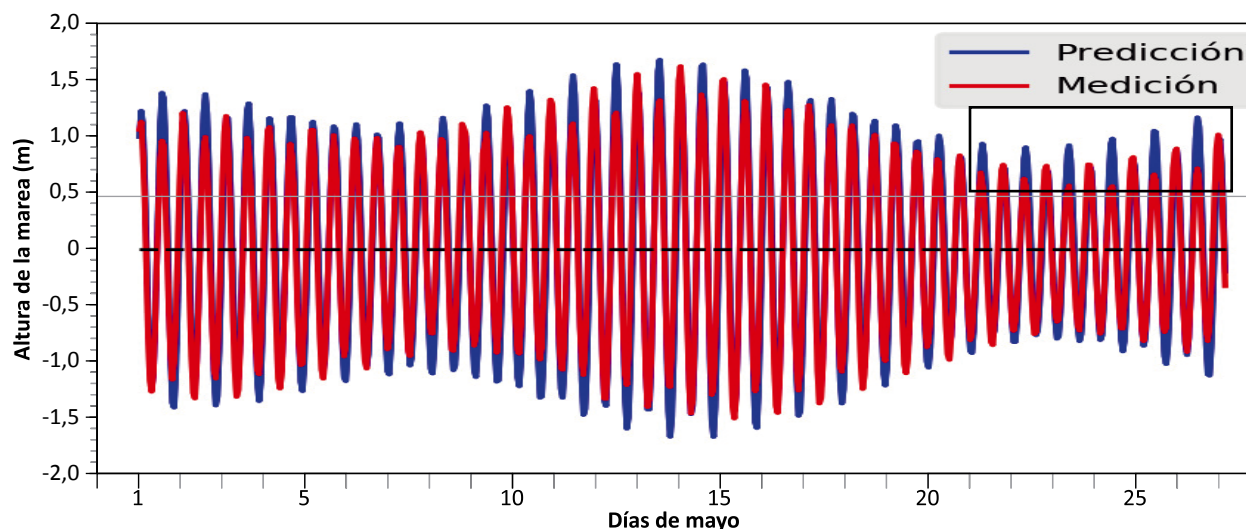


Figura 3. Predicción y medición de las mareas en Bahía Herradura para el mes de mayo del 2015.

pertinente mencionar, que las mediciones en este sitio, para ese mes, tienen una pendiente negativa en la serie ($-0,0019 \text{ m/min}$), la cual fue removida para correlacionarla con las predicciones. En la figura 3 se incluye un recuadro que muestra parte de la serie que será analizada posteriormente.

Ambas series siguen el mismo patrón, sin embargo, se muestra más desviación en los máximos y mínimos (pleamares y bajamares) de ambas series. Las diferencias entre ellas son mayores

($0,25 \text{ m}$) que la de Puntarenas, como muestra el cuadro 1. En su mayoría, las predicciones son sobrestimadas con respecto de las mediciones. Diferencias de hasta $0,45 \text{ m}$ pueden medirse entre algunos máximos o mínimos de las series.

Se ha señalado un recuadro que muestra diferencias interesantes en la desigualdad diurna, que están presentes en las mediciones y que no se reflejan en las predicciones, tal como se muestra en la figura 4.

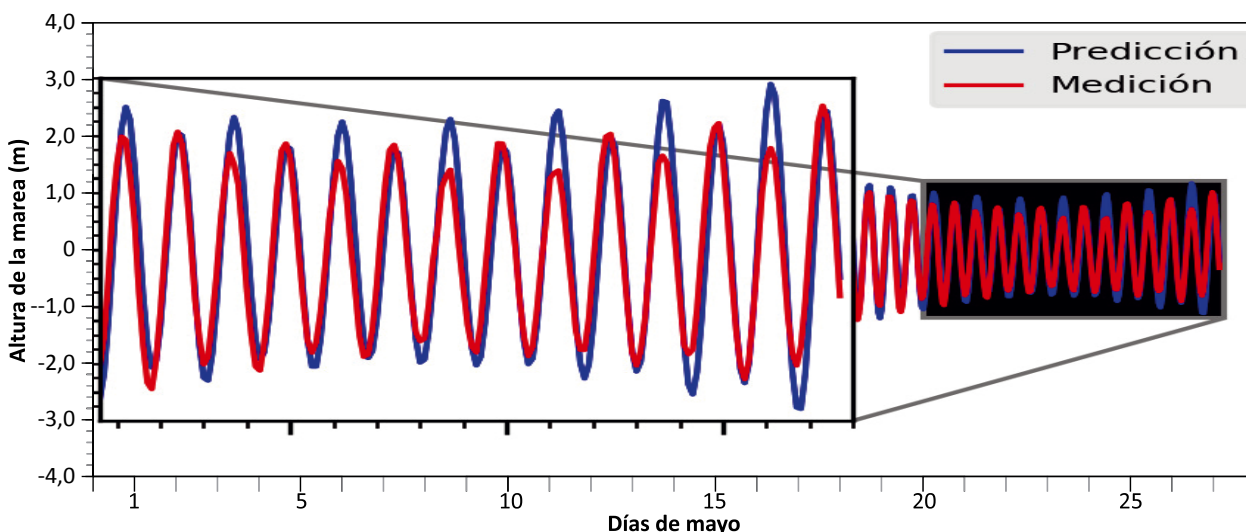


Figura 4. Ampliación de las predicciones y mediciones de la marea en Bahía Herradura, correspondiente al periodo del 20 al 27 de mayo del 2015 (área sombreada).

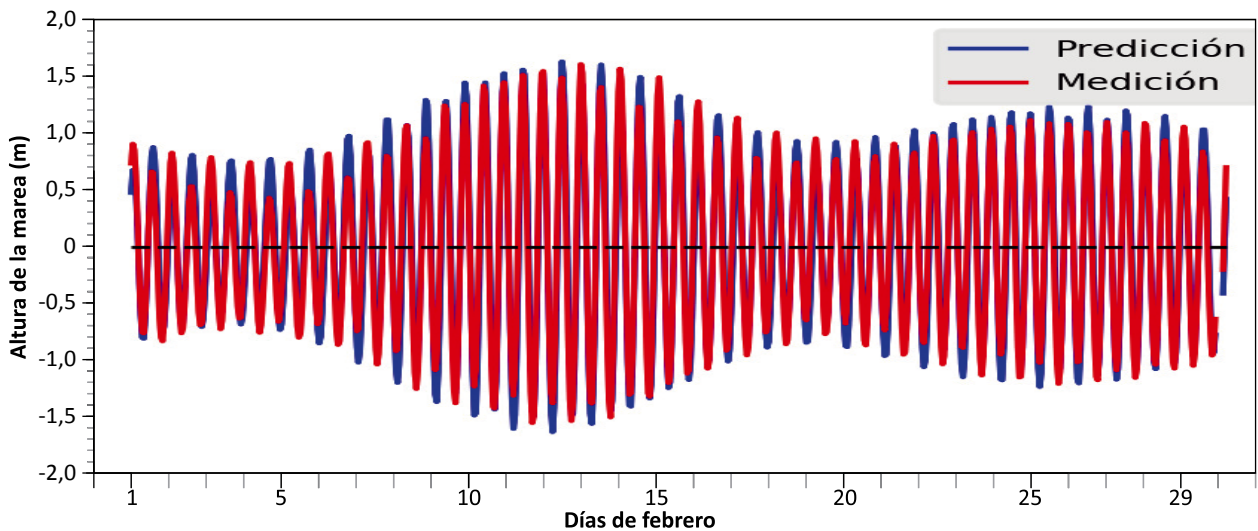


Figura 5. Predicción y medición de la marea en Puerto Quepos para el mes de febrero del 2020.

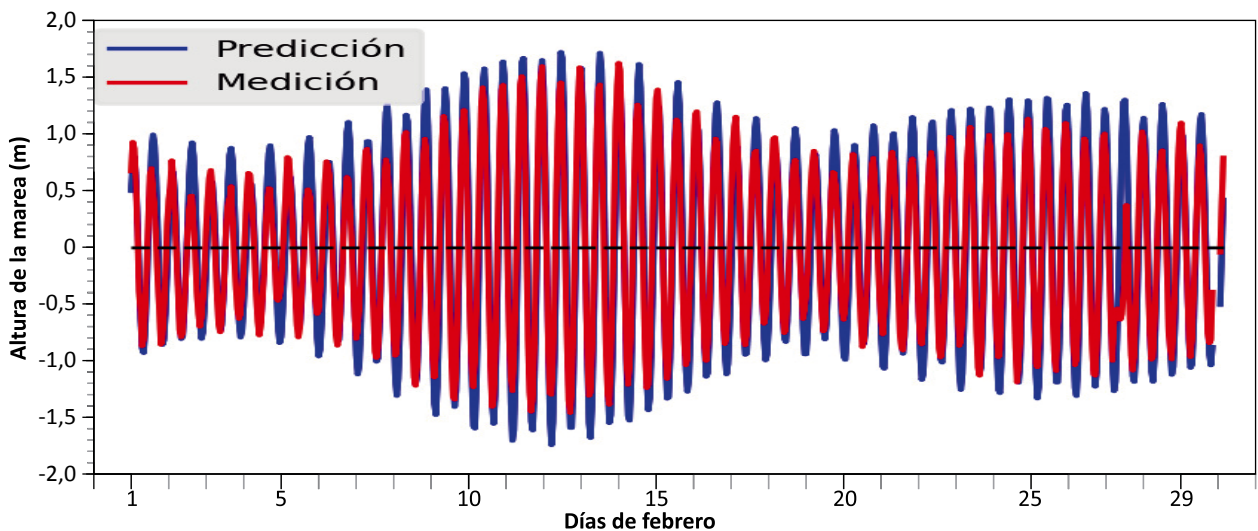


Figura 6. Predicción y medición de la marea en la Isla del Coco para el mes de febrero del 2020.

En la figura 5 se muestran las predicciones y mediciones de la marea en Puerto Quepos. Las desviaciones entre ellas (RMSE) son similares a las series de Puntarenas (cuadro 1). La diferencia máxima entre algunos ciclos de marea fue de 0,34 m.

En la figura 6 se muestran las variaciones de las predicciones y mediciones para la Isla del Coco. Ambas series siguen el mismo patrón. También se nota el mismo sesgo de los modelos al sobrestimar las predicciones, aunque aquí el error (RMSE) es el mayor de todos los sitios.

3.2. Predicciones y mediciones de marea en el Pacífico Norte

La serie de mareas medida en Bahía Culebra, también mostró una tendencia positiva (0,0064 m/min). Una vez eliminada la tendencia de las mediciones, la comparación con las predicciones en Bahía Culebra, se muestran en la figura 7.

Aunque ambas series siguen al mismo patrón, es claro que existe una diferencia sensible entre los máximos y los mínimos de los ciclos de marea de

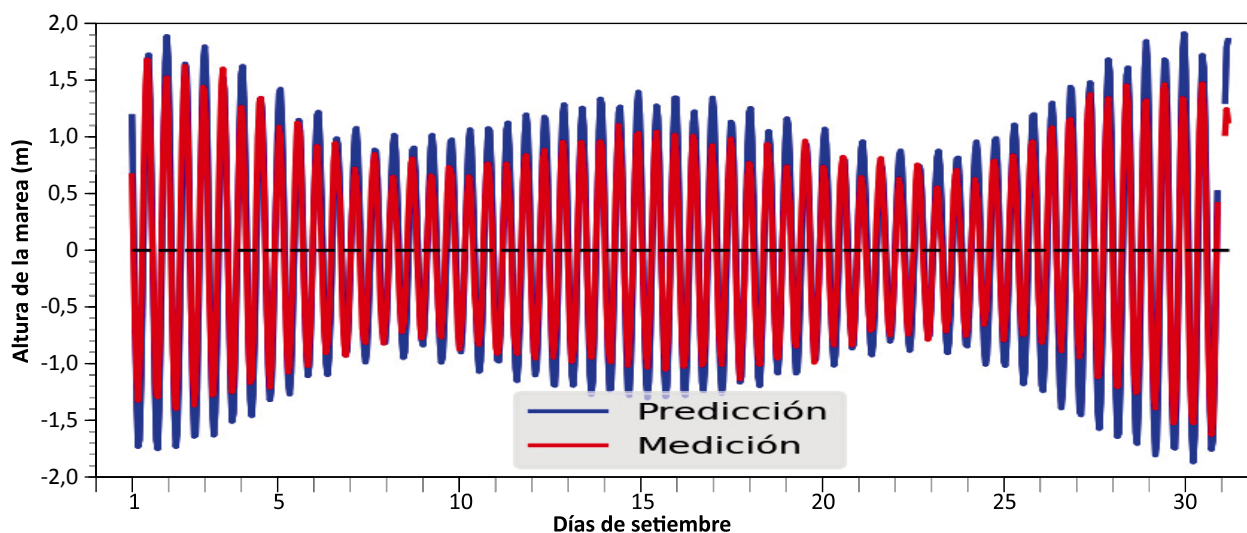


Figura 7. Variación de la marea predicha y medida en Bahía Culebra en el mes de setiembre del 2015.

ambas series, siendo mayores las predicciones en todos los casos. El RMSE (0,29 m) tiene uno de los valores más altos de todas las series estudiadas. También tiene la mayor diferencia máxima entre valores de las pleamares o bajamares de las series 0,63 m (ver cuadro 1).

Dado los resultados que obtuvo Lizano (2017, 2016-a, 2015 y 2014), en mediciones que hiciera en esta región en estudios privados, y dadas las menores diferencias entre valores de las pleamares

y valores de las bajamares que mostraban las series de estos sitios con las predicciones de San Juan del Sur de Nicaragua, que con las de Bahía Culebra, se buscó el grado de ajuste de la serie medida con la predicción de San Juan del Sur de Nicaragua. La figura 8 muestra estos resultados.

Es evidente el mejor ajuste (las menores desviaciones, RMSE = 0,21 m) entre estas dos series. Desviaciones máximas de 0,27 m (ver cuadro 1) se pudieron calcular para algunas

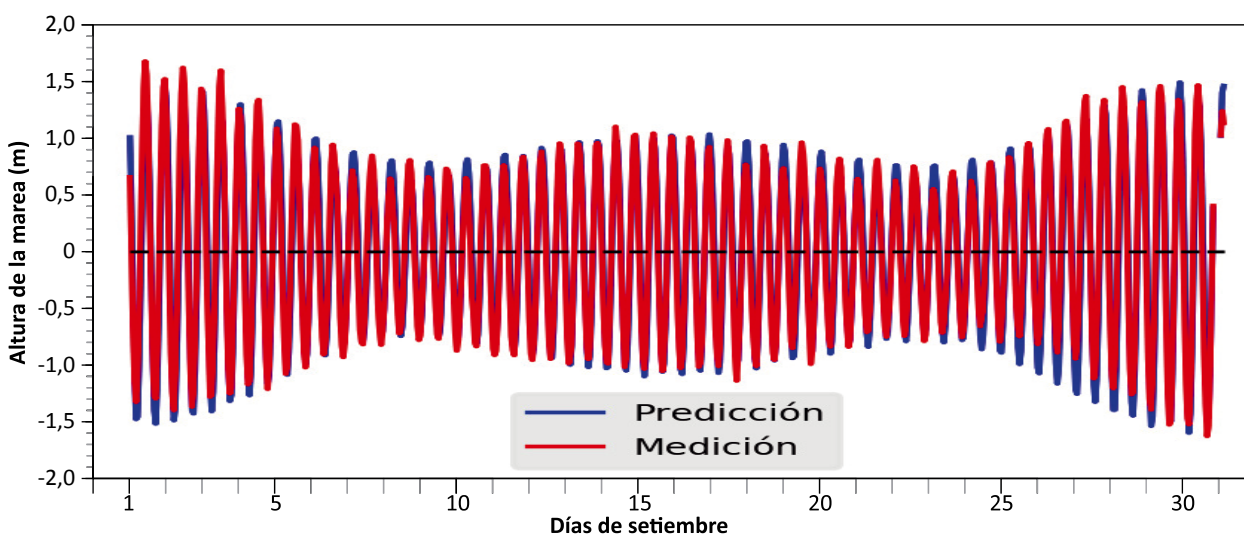


Figura 8. Variación de la marea predicha para San Juan del Sur de Nicaragua y la medida en Bahía Culebra en el mes de setiembre del 2015.

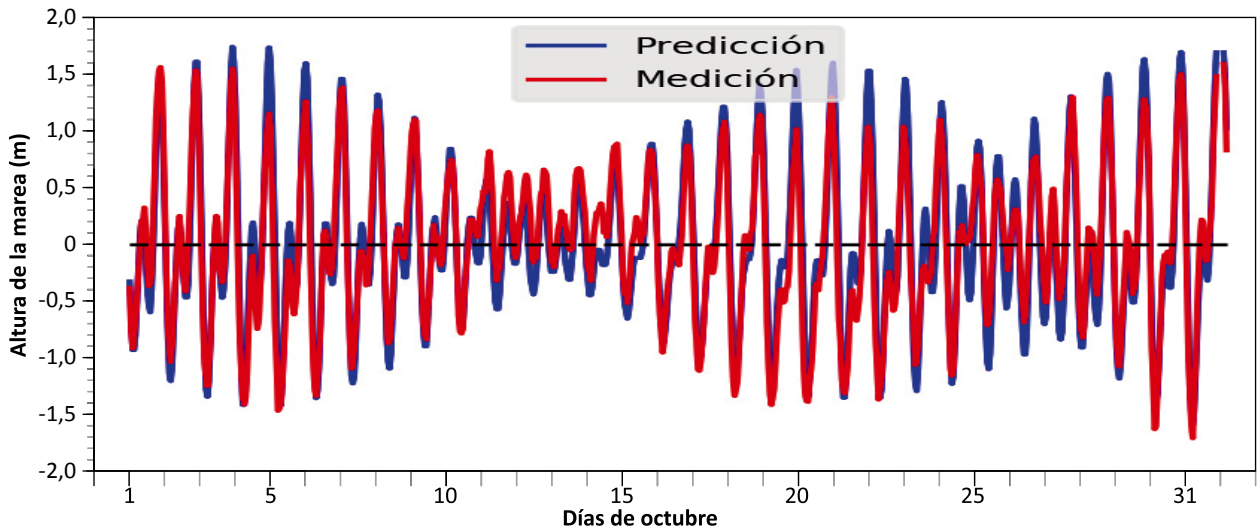


Figura. 9. Variación de la marea pronosticada y medida en Limón para el mes de octubre del 2019.

bajamares, lo cual es menor que la desviación calculada anteriormente con las predicciones de Bahía Culebra.

3.3. Predicciones y mediciones de marea en el Caribe

En la figura 9 se muestran las series de predicciones y mediciones de la marea en Puerto Limón. Ambas series se ajustan a un mismo patrón. La desviación máxima en este caso fue de 0,10 m, considerado alto en relación a las características del rango promedio de las mareas de 0,21 m para este sitio (Lizano, 2006). Sin embargo, dado el menor ámbito de marea de estas series y las diferencias entre los ciclos de marea, el RMSE es el menor de todos los casos estudiados (cuadro 1), lo que significa que esta estación tiene la menor dispersión de los datos predichos respecto de los medidos.

4. CONCLUSIONES

Aunque se hizo un muestreo, casi aleatorio y según la disponibilidad de registros de algunas mediciones de marea en las costas de Costa Rica,

es evidente que las predicciones tienen diferencias significativas según el lugar de medición.

Las predicciones de Puntarenas fueron levantadas con registros de marea de al menos 20 años, tiempo necesario para tener todas las variaciones astronómicas de la Luna (Lizano, 1997). Sin embargo, aún hay desviaciones con las mediciones que se hicieron en 1980, y más aún, en las estaciones subordinadas como Quepos y la Isla del Coco (febrero del 2020). Las predicciones de Bahía Herradura (basadas en ajustes de la estación de referencia de Puntarenas, Lizano (2006)), tienen una mayor dispersión entre los valores de sus series que la de Puntarenas. Diferencias de altura de 45 cm se pudieron encontrar como máxima en un mismo ciclo de marea entre sus series, siendo por lo general, mayores las predicciones que las mediciones. Pero además, en estas series de Bahía Herradura, como se puede ver en la figura 4, las predicciones no reproducen el patrón de desigualdad diaria (Pugh, 1987; Forrester, 1983), que sí tienen las mediciones (una marea alta más alta y la siguiente una alta más baja). Definitivamente en este lugar se hace necesario realizar más mediciones y nuevos ajustes en las predicciones.

En la Isla del Coco se notan diferencias importantes entre las predicciones y mediciones. Además, tiene el mayor valor del RMSE de todas las series medidas (ver cuadro 1). Es necesario realizar un análisis más detallado de las mediciones del mareógrafo recién instalado en la isla (Caldwell et al., 2015), que permita la elaboración de las respectivas componentes armónicas de la marea y se realicen los ajustes necesarios para tener mejores predicciones para este sitio.

Para el caso de Bahía Culebra, además de que los datos debieron ser sometidos a control de calidad (remover la tendencia), las predicciones propiamente del sitio, son mayores que las mediciones, con diferencias de más de 0,5 m. El análisis estadístico de estas series, muestra el segundo RMSE más alto de las series estudiadas (ver cuadro 1). Y como lo demuestra el mejor ajuste que tienen estas mediciones con la estación de San Juan del Sur de Nicaragua, es pertinente realizar más mediciones en este sitio y calcular los respectivos ajustes en las predicciones.

En el caso de Limón, se encontraron también diferencias significativas entre predicciones y mediciones. Más datos y ajustes se necesitan también para este lugar.

Tal como lo indica Pugh (1987), los niveles del mar varían según la dinámica oceánica y atmosférica del sitio. Es posible que parte de las diferencias encontradas entre las series, tengan relación con la dinámica propia del sitio, para el tiempo en que se hicieron las respectivas mediciones. Sin embargo, las predicciones de las mareas que actualmente se usan, se realizaron con mediciones del nivel del mar de Puntarenas de hace bastante tiempo, y para el resto de las estaciones subordinadas, con ajustes sin que se tomaran datos “in situ”. Desde entonces, han habido cambios en el océano y mares costeros de Costa Rica (Lizano, 2019; Lizano, 2016-b; Lizano, 2013; Lizano y Lizano, 2010), cambios atmosféricos (Alfaro, 2008; Alfaro y Hidalgo, 2016) y movimientos tectónicos

(Amador et. al., 1994; Chacón y Protti, 2011), por lo que es de vital importancia tener y mantener, no solo los registros actuales del nivel del mar, sino extender mediciones a otros sitios. Solo de esta manera podremos actualizar nuestros niveles de referencia, determinar un nuevo nivel medio del mar, y con ello los niveles mareográficos y topográficos convencionales, como el nivel “0” de topografía y el nivel “0” de batimetría, la pleamar ordinaria, etc. Con esta información se podrá delimitar también la zona pública, calibrar los modelos de oceanográficos y actualizar las aplicaciones que se derivan de los mismos.

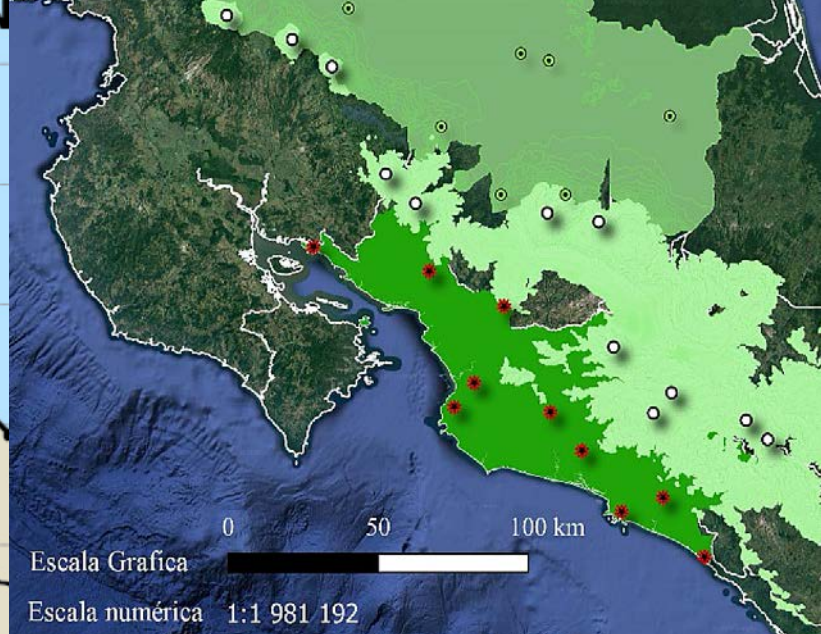
5. AGRADECIMIENTOS

A la Red de Observación del Nivel del Mar de América Central (RONMAC) de la Universidad Nacional, por enviarnos las series de mediciones de mareas de Bahía Herradura y Bahía Culebra. A los lectores anónimos que revisaron este artículo y que con sus contribuciones mejoraron el mismo.

6. LITERATURA CONSULTADA

- Amador, J., Chacón, E. y Lizano, O.G. (1994). Estudio de efectos geofísicos del Terremoto de Limón mediante percepción remota y análisis hidrometeorológico. *Revista Geol. América Central*. Vol. Esp. Terremoto de Limón: 153-170.
- Anónimo. (2002). *Tides & Currents for Windows*. Noveltec Corporation. Portland, Oregon. 52 p.
- Alfaro, E.J. (2008). Ciclo diario y anual de variables troposféricas y oceánicas en la Isla del Coco, Costa Rica. *Revista Biología Tropical*. Vol. 56 (Suplemento 2), 19-29.
- Alfaro, E.J. & Hidalgo, H.G. (2016). Climate of an oceanic island in the Eastern Pacific: Isla del Coco, Costa Rica, Central America. *Revista de Biología Tropical*. Vol. 64 (Suppl. 1): S59-S74.

- Chacón, S. & Protti, M. (2011). Modeling a tsunami from the Nicoya, Costa Rica, seismic gap and its potential impact in Puntarenas. *Journal of South American Earth Sciences*. 372-382.
- Caldwell, P.C., Merrifield, M.A. & Thompson, P.R. (2015). *Sea level measured by tide gauges from global oceans*. The Joint Archive for Sea Level holdings (NCEI Accession 0019568), Version 5.5, NOAA National Centers for Environmental Information, Dataset, doi:10.7289/V5V40S7W.
- Forrester, W.D. (1983). *Canadian Tidal Manual*. Department of Fisheries and Oceans. The Canadian Hydrographic Service. 135 p.
- Knauss, J. (1976). *Introduction to Physical Oceanography*. (2 ed.). New York, EEUU: Prentice Hall.
- Lizano, O.G. (2019). El calentamiento global y su relación con el impacto en la pesquería en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *InterSedes*. Vol. XX (41), 190-207.
- Lizano, O.G. (2017). *Implementación de una planta desalinizadora en Playa Mina, Guanacaste: componente oceanográfica*. Informe Técnico no publicado.
- Lizano, O.G. (2016-a). *Implementación de una planta desalinizadora en Playa Potrero, Guanacaste: componente oceanográfica*. Informe Técnico no publicado.
- Lizano, O.G. (2016-b). Distribución espacio-temporal de la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto alrededor del Domo Térmico de Costa Rica. *Revista Biología Tropical*. Vol. 64 (Suppl. 1): S135-S152.
- Lizano, O.G. (2015). *Determinación del nivel medio del mar en Playa Brasilito, y su relación con los mojones que definen la Zona Pública*. Contratado por Topografía Francisco Reyes. Guanacaste. Informe Técnico no publicado.
- Lizano, O.G. (2014). *Reserva Conchal. Implementación de una planta desalinizadora en Brasilito, Guanacaste: componente oceanográfico*. Informe Técnico no publicado.
- Lizano, O.G. (2013). Erosión en las playas de Costa Rica, incluyendo la Isla del Coco. *InterSedes*. Vol. XIV (17): 6-27.
- Lizano, O.G. (2009). Batimetría, modelos de elevación digital y sus aplicaciones. *Azimuth*. Vol. 4(10): 18-21.
- Lizano, O.G. (2006). Algunas características de las mareas en la costa Pacífica y Caribe de Centroamérica. *Ciencia y Tecnología*. Vol. 24: 51-64.
- Lizano, O.G. (1997). Las mareas extraordinarias de 1997 en la costa Pacífica de Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*. Vol. 4(2): 169-179.
- Lizano, M.A. y Lizano, O.G. (2010). Creación de escenarios de inundación en la Ciudad de Puntarenas ante el aumento del nivel del mar. *InterSedes*. Vol. XI (21): 215-229.
- Permanent Service for Mean Sea Level (s.f.). *Página principal*. Recuperado de: <https://www.psmsl.org>
- Pugh, D.T. (1987). *Tide, surges and mean sea-level*. John Wiley & Sons. Nueva York. 472 p.
- Schiller, A. & Brassington, G. B. (2011). Operational Oceanography in the 21st century. *En Ocean Forecasting Systems: Product Evaluation and Skill*: 601-631. Springer, Dordrecht.
- Universidad de Costa Rica (s.f.). *Módulo de Información Oceanográfica*. Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología. Recuperado de: <https://www.miocimar.ucr.ac.cr>
- Universidad de Hawaii (s.f.). *Página principal*. Recuperado de: <https://uhsic.soest.hawaii.edu/data/>
- Universidad Nacional (s.f.). *Red de Observación del Nivel del Mar de América Central*. Recuperado de: <http://www.ronmac.una.ac.cr>



Instituto Meteorológico Nacional

Sitio web:
www.imn.ac.cr

Teléfono: (506) 2222 5616

Apartado postal: 5583-1000
San José
Costa Rica

