



---

## **INFORME ANUAL**

**LICITACIÓN ABREVIADA No. 2018LA-000017-0012400001**

**Consultoría para la medición y calibración del oleaje reportado por la  
NOAA para el Golfo de Nicoya**

**INFORME ANUAL-2020**

**Realizado por: iMARES-INII-UCR**

**Para: Dirección de Infraestructura, DMP-MOPT**

**Diciembre 2020**



## **INFORME ANUAL 2020**



---

## Contenido

1.	JUSTIFICACIÓN.....	4
2.	ALCANCE DE LOS TRABAJOS .....	4
3.	INTRODUCCIÓN .....	5
3.1.	Objetivo .....	6
4.	DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS DURANTE EL AÑO 2020 .....	7
4.1.	Equipo de medición utilizado .....	7
4.2.	Localización del AWAC .....	8
4.3.	Visitas por mantenimiento .....	9
5.	DATOS OBTENIDOS DURANTE EL PERÍODO DE MEDICIÓN .....	10
5.1.	Definición de los parámetros del estado de mar .....	10
5.2.	Análisis de datos.....	12
6.	CONCLUSIONES .....	18
7.	ESTIMACIÓN DEL COSTO EN EL PERÍODO MEDIDO .....	19
8.	BIBLIOGRAFÍA .....	20
	APÉNDICE I.....	21
	APÉNDICE II.....	22



## **1. JUSTIFICACIÓN**

El Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT) promovió la Licitación Abreviada N° 2018LA-000017-0012400001 denominada “Consultoría para la medición y calibración del oleaje reportado por la NOAA para el Golfo de Nicoya”.

La Unidad de Ingeniería Marítima de Ríos y Estuarios (iMARES) a través de la FUNDACION UCR presenta oferta de servicios.

La Proveeduría institucional del MOPT adjudica el contrato mediante número de SICOP 20180700982-00 a la FUNDACIÓN UCR.

FUNDACIÓN UCR realiza por medio de la Unidad de Ingeniería Marítima de Ríos y Estuarios (iMARES), los trabajos según los términos solicitados en el Cartel de licitación.

El 11 de diciembre de 2018 se emite por parte de la División Marítimo Portuaria del MOPT la Orden de Servicio No.1, que establece esta misma fecha como la orden de inicio.

## **2. ALCANCE DE LOS TRABAJOS**

Realizar mediciones del estado del mar de oleaje cada 3 horas o máximo cada 6 horas durante un periodo de 4 años, en las proximidades de Cabo Blanco, para mejorar la calibración de la información generada de la NOAA. Lo anterior se logrará mediante:

- a. Suministrar y colocar un sensor autónomo para medición de oleaje tipo ADCP o similar que tenga capacidad para medir las características de estado de mar direccional y que garantice una precisión en la medición de la altura de ola al centímetro y en medición del período al segundo. (Hs, T, Dir).
- b. Previamente a la colocación del equipo éste será programado y calibrado, conforme las recomendaciones del fabricante.
- c. Colocar el sensor de medición en el sitio designado por la Administración, el cual no podrá estar a más de 20 metros de profundidad, ni menos de 10 metros



- d. Medir estados de mar de manera continua durante mínimo 15 minutos que serán representativos a estados de mar de 3 horas o máximo 6 horas. Cuando se deba sacar el equipo para descargar la información, se ofrece la colocación de otro equipo similar al ofrecido para así dar continuidad a las mediciones.
- e. Brindar el mantenimiento periódico que requiera el equipo para su correcto funcionamiento. El mantenimiento incluirá limpieza, descarga de datos, cambios de baterías, entre otros.
- f. Calibrar el punto de reanálisis de oleaje de la NOAA más cercano al sitio de medición con los datos instrumentales. En caso de requerir realizar propagaciones de oleaje, las propagaciones se efectuarán mediante modelos numéricos, que incluyen dentro de sus características los procesos de transformación que sucedan en la naturaleza del lugar.
- g. Generar 3 informes anuales de estados de mar medidos. Uno por cada año de contrato.
- h. Generar 1 informe final de calibración plurianual al cierre del último período de la consultoría. Para la calibración se incluirán los datos medidos desde el 2013, siempre y cuando la Administración los facilite.
- i. Generar un informe de avance de los trabajos cada 3 meses, detallando las actividades efectuadas en dicho periodo y documentando mediante registro fotográfico dichos trabajos.

### 3. INTRODUCCIÓN

Los datos de campo obtenidos mediante instrumentación adecuada y más aún las bases de datos extensas, son información valiosa en distintas disciplinas y en la ingeniería no es excepción. Los datos de campo permiten a los profesionales en ingeniería dedicados a labores de diseño o de gestión, mejorar sus diseños o tener mejor criterio para la toma de decisiones.

La ingeniería marítima es una disciplina que como muchas otras especialidades de la ingeniería requiere de información de campo para que el diseño de las obras sea segura, resistente y funcional. Entre las variables de clima marítimo que por sus efectos energéticos requiere de bases de datos extensas y de calidad se encuentra el oleaje.

La División Marítimo Portuaria (DMP) del MOPT, conociendo la importancia de contar con información de variables de clima marítimo, se ha dado a la tarea de iniciar con la generación de una base de datos



de oleaje. Para ello ha elegido medir la variable oleaje en Cabo Blanco, sitio que se localiza en la entrada al Golfo de Nicoya, siendo este último el lugar donde se ubica el principal puerto comercial en la fachada del Pacífico de Costa Rica.

Los datos de oleaje que se logren medir en Cabo Blanco tienen como propósito complementar mediciones realizadas previamente en la bahía de puerto Caldera. De esta manera se busca ampliar los registros existentes y debido a la ubicación de la medición, la información se puede hacer extensible hacia otros lugares mediante técnicas de regionalización.

Este documento corresponde según el contrato, al informe anual de las mediciones realizadas durante el año 2020, específicamente entre noviembre del 2019 a noviembre 2020. Durante este período se han realizado un total de cuatro visitas a Cabo Blanco. La primera visita se realiza noviembre del 2019 para colocar el equipo, la segunda en junio, la tercera en agosto y la cuarta en noviembre, estas tres últimas todas durante el año 2020. Estas visitas se han realizado con el propósito de recolectar la información medida y dar mantenimiento al equipo instalado.

El documento contiene los datos de oleaje representados por parámetros que caracterizan el estado de mar, específicamente altura de ola, el período y la dirección. Se ha realizado un análisis de los parámetros y sus estadísticos más representativos según lo solicitado en los términos de referencia del cartel; entre ellos se han incluido series temporales de altura de ola, período, dirección y gráficos que ilustran la distribución de ciertos estadísticos que representan los parámetros de oleaje medidos durante el período 2019-2020.

### **3.1. Objetivo**

Presentar según los términos de referencia contenidos en el Cartel, el avance de las actividades que se han llevado a cabo durante el período comprendido entre noviembre del 2019 y noviembre del 2020, con respecto a la medición de la variable oleaje en la entrada al Golfo de Nicoya.



---

#### 4. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS DURANTE EL AÑO 2020

##### 4.1. Equipo de medición utilizado

Para las mediciones se utiliza un equipo perfilador de corrientes y medidor de oleaje multidireccional tipo AST (Acoustic Surface Tracking), denominado AWAC de la marca Nortek, el cual puede medir las velocidades y las direcciones de las corrientes en capas de un metro, así como olas de todo tipo. Este equipo basa su medición de altura de ola por medio de una detección acústica de la superficie mediante un transductor vertical (Haz acústico en posición vertical). Una característica singular de este equipo es la posibilidad de medir directamente parámetros de oleaje como  $H_{\max}$  y  $H_{1/10}$ , entre otras. La precisión al medir la altura de ola es del centímetro y para el período es de medio segundo. El AWAC es un equipo sólido de 6,1 kg, cuya configuración física es de cuatro haces acústicos, uno vertical y los otros tres en un ángulo de 45°. Además, puede medir hasta una profundidad de 35 metros, utiliza baterías alcalinas de 9-18 V, donde la duración depende de configuración elegida y la cantidad de datos registrados. La memoria del equipo cuenta con una capacidad de 2 MB siendo capaz de registrar todos los datos a lo largo de la vida útil de la batería. En cuanto a su configuración de lectura de datos, se ha programado con una frecuencia de muestreo a 2 hz para que registre un total de 2048 datos, lo que equivale a un período de medición de aproximadamente 15 minutos, los cuales son representativos de cada 3h. La Figura 1 muestra el AWAC y la base utilizada para su fijación al fondo marino.



**Figura 1.** AWAC instalado en Cabo Blanco

#### **4.2. Localización del AWAC**

El AWAC se coloca aproximadamente en las coordenadas indicadas en el Cuadro 1, tal y como fue acordado entre iMARES y la Dirección de Obras Marítimo Portuarias de la División Marítimo Portuaria (DOMP-DMP) del MOPT:

**Cuadro 1. Coordenadas aproximadas del AWAC en Cabo Blanco**

Tipo de equipo	Sistemas de proyección	Este (m)	Norte (m)	Profundidad (m)
AWAC	CRTM05	375 945.810	1 056 474.381	16

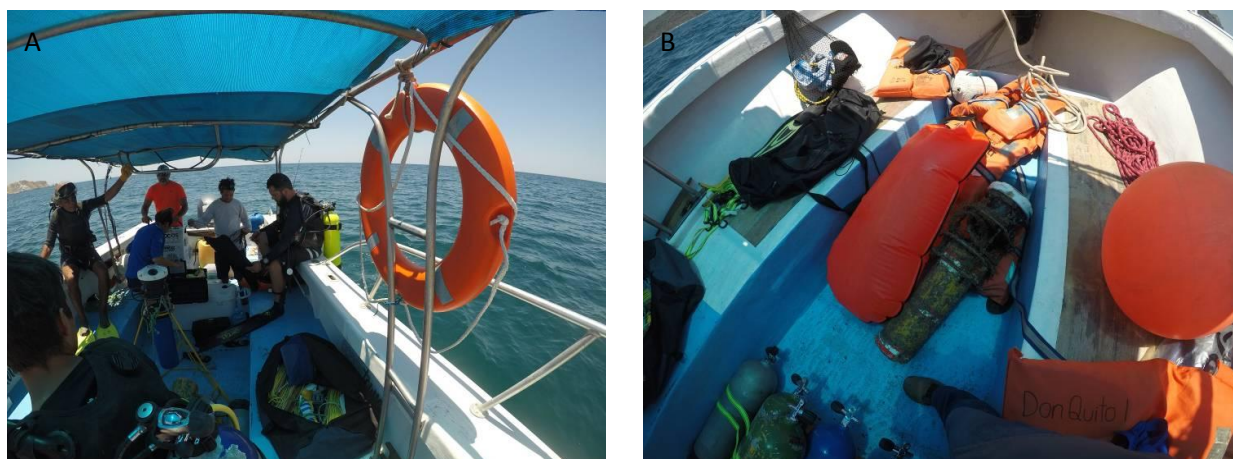
Fuente: iMARES, 2019.

Se adjunta en el apéndice I el mapa que muestra la ubicación del AWAC.



### 4.3. Visitas por mantenimiento

Durante el año 2020 se han realizado un total de tres visitas a Cabo Blanco con el fin de sustituir el equipo instalado por otro igual, para de esta manera procurar dar continuidad a las mediciones (ver Figura 2).



**Figura 2.** A) Personal para la gira de sustitución de equipo de medición. B) Equipo AWAC extraído durante una de las giras realizadas durante el año 2020.

La primera visita se realiza en el mes de junio, la segunda en agosto y la última en el mes de noviembre. La primera visita estaba programada para realizarse en el mes de abril del 2020, pero por razones de la pandemia del SARS-COV-2 la administración de la Universidad se tomó un tiempo para establecer nuevas directrices para las giras de campo. Por esta razón la gira se pospuso y fue posible realizarla hasta el mes de junio. Cuando se logra ir a cambiar el equipo y se llega al laboratorio de iMARES con el equipo sustraído, se detecta que las baterías se habían descargado, lográndose medir datos hasta el mes de mayo. Asimismo, se constató que durante el período de medición que se extendió de noviembre de 2019 a mayo del 2020, hubo problemas con el registro del parámetro de la dirección en ciertos períodos de tiempo y por lo tanto se tiene algunos faltantes de información.



Para evitar una pérdida de información y a su vez ajustarse a los nuevos lineamientos de giras de la Universidad, se decide programar visitas para mantenimiento y sustitución de equipos durante los meses de agosto y noviembre del 2020.

Durante la segunda visita realizada en el mes de agosto se recoge el equipo instalado y se sustituye por otro igual. Una vez descargados los datos en el laboratorio se comprueba que el equipo recolectó información de manera correcta. Para la tercera y última visita en el mes de noviembre se tiene resultados adecuados en cuento a los registros, no obstante por problemas de disponibilidad de equipos no fue posible instalar de manera inmediata otro equipo. Por lo tanto, se regresa una semana después, siempre durante el mes de noviembre y se coloca otro equipo en el mismo lugar del existente, de manera que para la próxima entrega de datos se contará con un faltante de información de aproximadamente una semana durante el mes de noviembre del 2020.

## **5. DATOS OBTENIDOS DURANTE EL PERÍODO DE MEDICIÓN**

### **5.1. Definición de los parámetros del estado de mar**

El período de medición efectivo se extiende desde el 13 de noviembre del 2019 al 19 de noviembre del 2020, ambos días inclusive. Se cuenta con estados de mar medidos cada 3 horas para un total de 2911, los cuales se han distribuido de la siguiente manera: 1567 estados de mar en el período de noviembre del 2019 a mayo del 2020, 672 estados de mar en el período de junio a agosto del 2020 y 672 estados de mar en el período de agosto a noviembre del 2020.

Los parámetros de oleaje representativos a cada estado de mar medidos de manera continua por el AWAC, y que se adjuntan al presente documento en formato de tabla en el apéndice II son: altura de ola de momento de orden cero ( $H_{m0}$ ), altura de ola significativa ( $H_s$ ), altura de ola un décimo ( $H_{1/10}$ ), altura de ola máxima ( $H_{max}$ ), altura de ola media ( $H_m$ ), período medio espectral ( $T_{m02}$ ), período pico ( $T_p$ ) y la dirección media ( $\theta$ ).

La  $H_{m0}$  se calcula a partir del análisis en el dominio de la frecuencia por medio de la aplicación de las siguientes fórmulas:

Momento de orden  $n$

$$m_n = \int_0^{\infty} f^n S(f) df \quad (1)$$

El momento de orden cero,  $m_0$ , representa el área bajo la curva de la densidad espectral.

$$m_0 = \int_0^{\infty} S(f) df \quad (2)$$

Altura de ola de momento de orden cero se define como:

$$H_{m0} = 4.004 \sqrt{m_0} \quad (3)$$

Algunos de estos parámetros están directamente relacionados con los equivalentes parámetros estadísticos obtenidos a partir del análisis en el dominio del tiempo. Uno de los más comunes es la relación de las alturas  $H_{m0}$  y  $H_s$ , que para datos medidos en Costa Rica la relación según (Quiros, s.f.) es la siguiente:

$$H_{m0} = 1.04 H_s \quad (4)$$

No obstante, al tener los registro de superficie libre el parámetro  $H_s$  se ha calculado a partir del método de pasos ascendentes por cero.

Altura de ola máxima,  $H_{max}$ : es la altura de ola correspondiente a la mayor ola que se encuentra en un registro de  $N$  olas.

Altura de ola un décimo,

$$H_{1/10} = \frac{10}{N} \sum_{i=1}^{N/10} H_i \quad (5)$$

Altura de ola media,

$$H_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i \quad (6)$$

donde  $N$  es el número de olas del registro.

Período medio espectral:

$$T_{m02} = \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \quad (7)$$



Frecuencia de pico,  $f_p$ : Se define como la frecuencia en la que la densidad espectral es máxima.

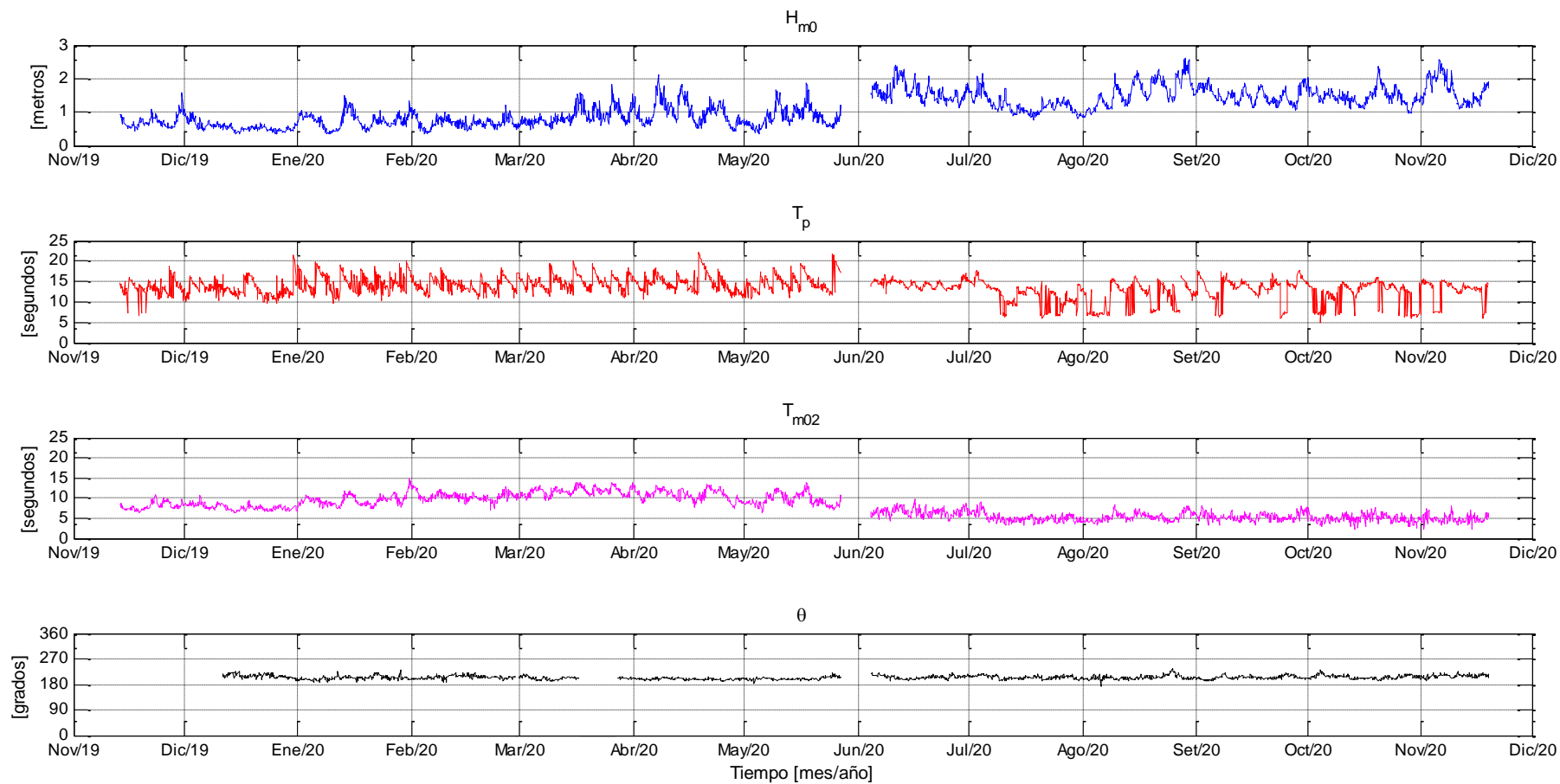
Periodo de pico: 
$$T_p = \frac{1}{f_p} \quad (8)$$

## 5.2. Análisis de datos

En este apartado se han incluido una serie de figuras que tienen como propósito ahondar en el análisis de la información medida. Para ello se han incorporado figuras que muestran el comportamiento, durante el período de medición, de los parámetros de oleaje solicitados en el cartel ( $H_{m0}$ ,  $T_p$ ,  $\theta$ ), además, se muestran las relaciones entre parámetros, gráficos de densidad relativa y distribución acumulada que ilustran la distribución de las magnitudes, y rosas de oleaje que muestran las direcciones de las olas.

La Figura 4 muestra las series temporales de los parámetros de  $H_{m0}$ , período pico  $T_p$ ,  $T_{m02}$ , y  $\theta$  correspondientes a los 2911 estados de mar medidos durante el período de estudio. Los valores de los parámetros de oleaje medidos durante el año 2020 se pueden catalogar que se ajustan al comportamiento normal a lo largo del año (iMARES, 2017) y (Alfaro, 2017). Los primeros meses del año, entre enero y abril, las alturas de olas son ligeramente menores y presentan una magnitud promedio de 0.8 metros, aumentan entre los meses de mayo a octubre presentando valores que superan los 2 metros en distintos momentos durante esos meses. Llama la atención dos períodos puntuales, una a finales del mes de octubre y otro en noviembre, separadas del orden de una semana cada una y que superan los 2 metros de altura. Estos eventos coinciden temporalmente cuando los huracanes Eta e Iota respectivamente impactaron de manera indirecta el país. Estos huracanes ocurrieron en el Caribe del país pero se logran evidenciar con estas mediciones sus efectos en la costa del Pacífico de Costa Rica.

En relación con el comportamiento del período pico, éste presenta un valor promedio de 13.5 segundos, pero existen valores reportados de hasta 22 segundos de máximo y de 8 segundos de valores mínimos. El parámetro  $T_{m02}$  presenta valores menores al  $T_p$  y de media de 8.5 segundos a lo largo del registro. Los valores de la dirección presentan poca variabilidad y como valor medio los  $200^\circ$  aproximadamente, lo cual confirma que la dirección reinante del oleaje que incide en las costas del Pacífico de Costa Rica es sursuroeste.



**Figura 4.** Series temporales de los parámetros  $H_{m0}$ ,  $T_p$ ,  $T_{m02}$  y  $\theta$  medidos por el AWAC entre noviembre del 2019 y noviembre 2020.

La Figura 5 corresponde al gráfico de dispersión  $H_{m0}$  vs  $T_p$ ; en éste se puede observar que existe dos familias de datos diferenciadas, uno con valores de  $T_p$  superiores a los 10 segundos y asociados a valores de  $H_{m0}$  entre 0.5 metros y hasta 2.5 metros, concentrándose la mayoría de los datos entre los 14 segundos de  $T_p$  y 1.5 metros de  $H_{m0}$ . La otra familia presenta valores de  $H_{m0}$  entre 1 y 2 metros asociados con valores de  $T_p$  de aproximadamente 7 segundos en promedio. La primera familia representa el oleaje de mar de fondo o tipo Swell y la segunda es la evidencia de oleaje local o tipo Sea.

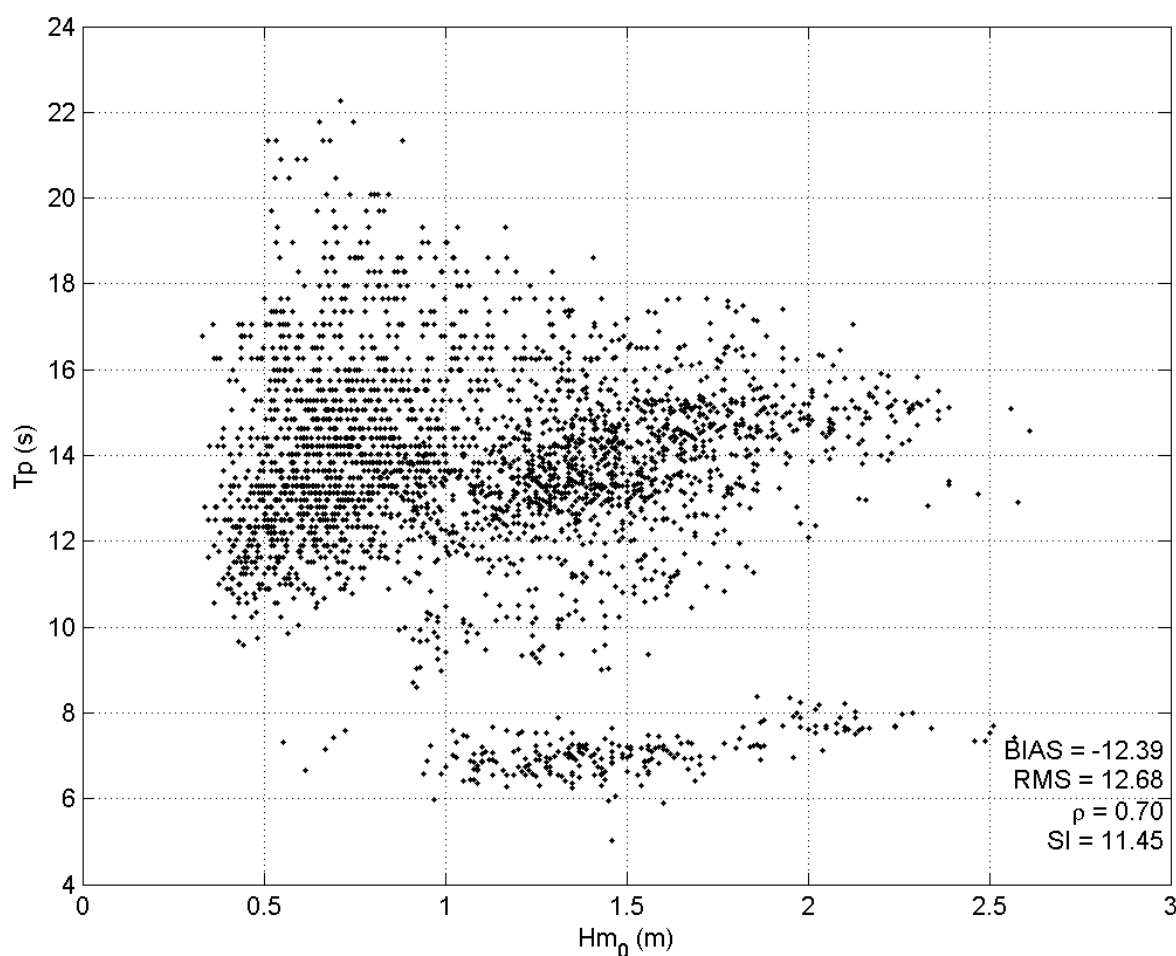
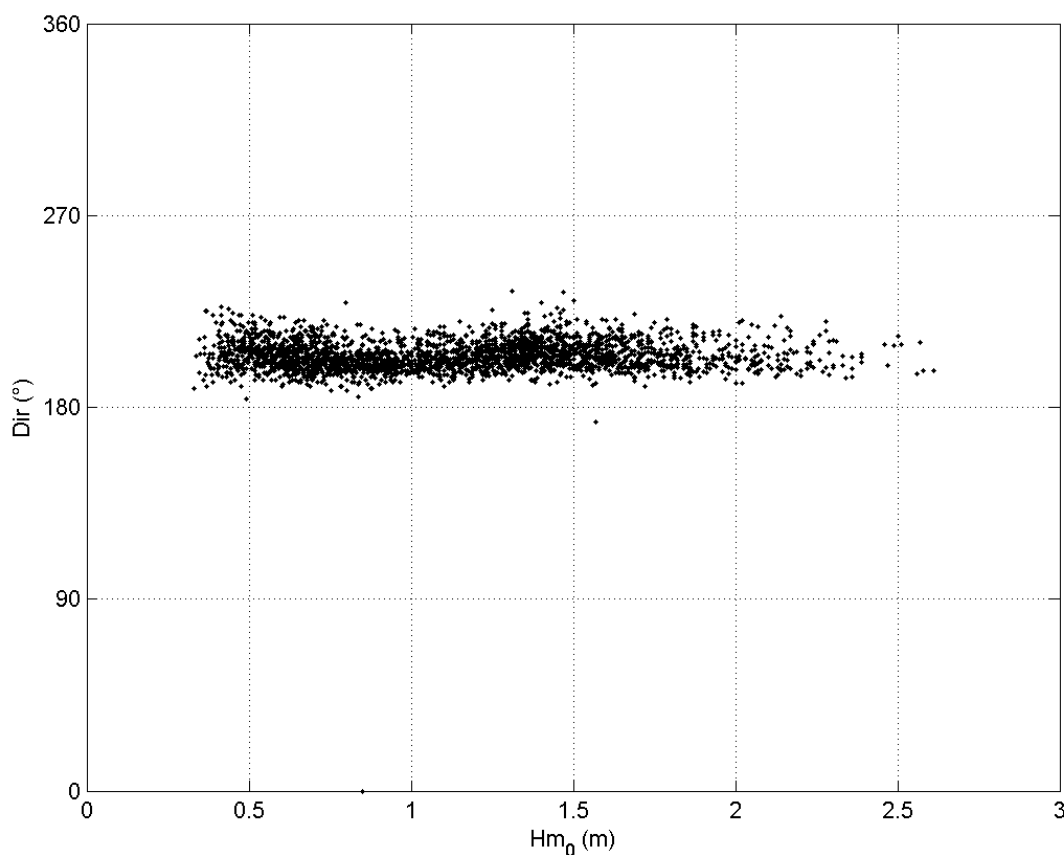


Figura 5. Gráfico de dispersión  $H_{m0}$  vs  $T_p$ .

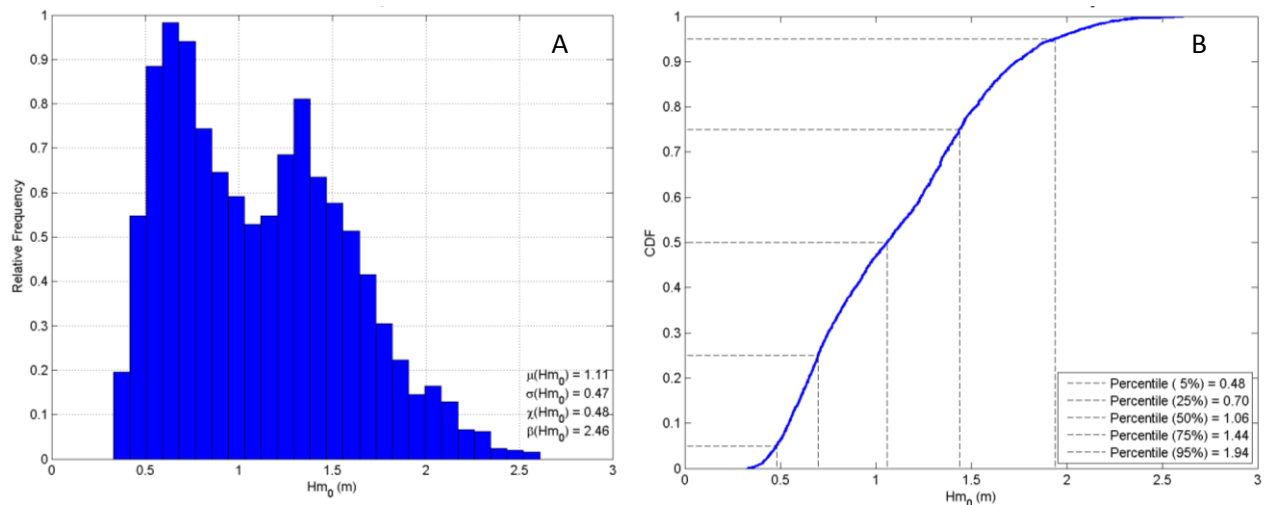
La Figura 6 muestra el gráfico de dispersión  $H_{m0}$  vs  $\theta$ ; en éste se destaca que las direcciones medidas durante el período se concentran en una franja entre los  $180^\circ$  y los  $225^\circ$ , lo cual concuerda con lo mostrado en gráfica de serie temporal de la Figura 4. Estos valores de dirección están asociados a los diferentes valores de  $H_{m0}$ , lo que demuestra que el oleaje que incide en las costas del Pacífico proviene del tercer cuadrante.



**Figura 6.** Gráfico de dispersión  $H_{m0}$  vs  $\theta$ .

La Figura 7 muestra los gráficos de frecuencia y probabilidad acumulada para el parámetro  $H_{m0}$ . La figura 7A) representa la frecuencia relativa del parámetro  $H_{m0}$  agrupado en clases, se observa que el valor medio de  $H_{m0}$  es de 1.1 metros con una desviación de 0.47 metros. La figura 7B) también representa como se distribuye las magnitudes de  $H_{m0}$ , pero genera información adicional como por ejemplo que el

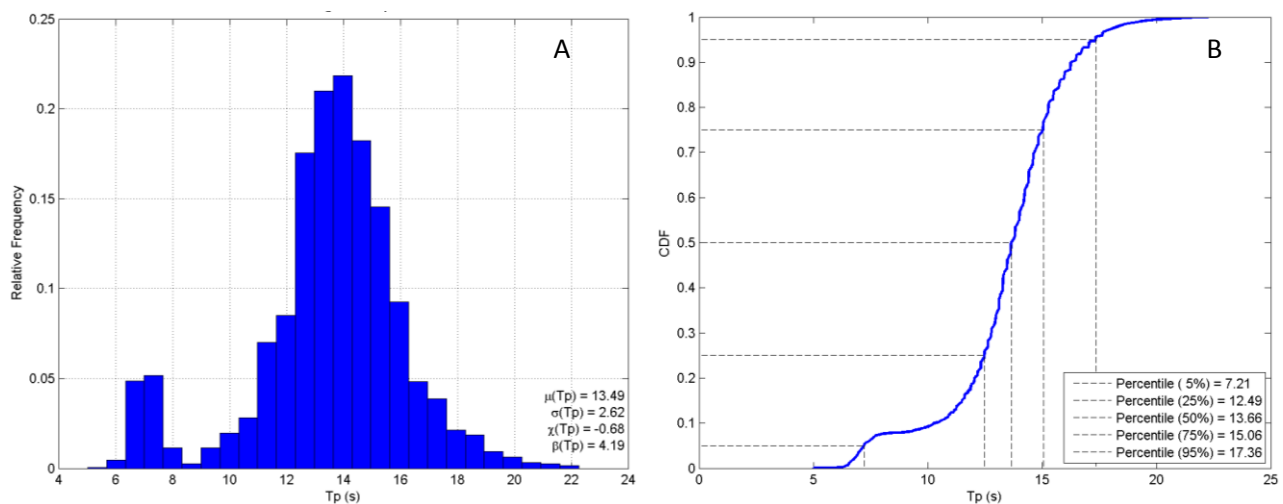
50 % del tiempo la magnitud de  $H_{m0}$  es de 1.06 metros, o que las magnitudes de  $H_{m0}$  de 1.94 metros tiene una probabilidad de no excedencia del 95 % del tiempo.



**Figura 7.** A) Histograma de  $H_{m0}$ . B) gráfico de probabilidad acumulada de  $H_{m0}$

La Figura 8 muestra los gráficos de frecuencia y probabilidad acumulada para el parámetro  $T_p$ . La figura 8A) representa la frecuencia relativa del parámetro  $T_p$ , se observa que el valor medio de  $T_p$  es de 13.49 segundos aproximadamente con una desviación de 2.62 segundos. La figura 8B) también representa como se distribuye las magnitudes de  $T_p$ , pero genera información como por ejemplo que el 50 % del tiempo la magnitud de  $T_p$  es de 13.66 segundos aproximadamente, o que las magnitudes de  $T_p$  de 17.36 segundos tiene una probabilidad de no excedencia del 95 % del tiempo, entendiéndose como tiempo el período de medición, el cual es prácticamente el año.





**Figura 8.** A) Histograma de  $T_p$ . B) Gráfico de probabilidad acumulada de  $T_p$

La Figura 9 muestra los gráficos de rosas de oleaje divididas en 16 segmentos correspondiente a los parámetros  $H_{mo}$  y  $T_p$ . Se constata que el oleaje reinante y dominante durante el período de medición corresponde a la dirección sursuroeste (SSO), lo cual corresponde aproximadamente al 90 % del tiempo, otro 10 % del tiempo proviene de la dirección suroeste (SO). La figura 9A) muestra que las alturas entre 1 y 1.5 metros, que son aproximadamente el 60 % del total de las olas medidas, presentan dirección SSO, existen otras magnitudes mayores y menores con menor ocurrencia y que también provienen de la misma dirección. La figura 9B muestra la rosa de  $T_p$ , donde se evidencia que aproximadamente el 45 % del tiempo las olas tienen magnitudes entre los 13 y 15 segundos, un 15% tienen magnitudes superiores o igual a 15 segundos y un 30% presentan magnitudes menores a 13 segundos. El restante 10% proviene de la dirección SO cuyas magnitudes presentan aproximadamente la misma distribución que la dirección SSO.

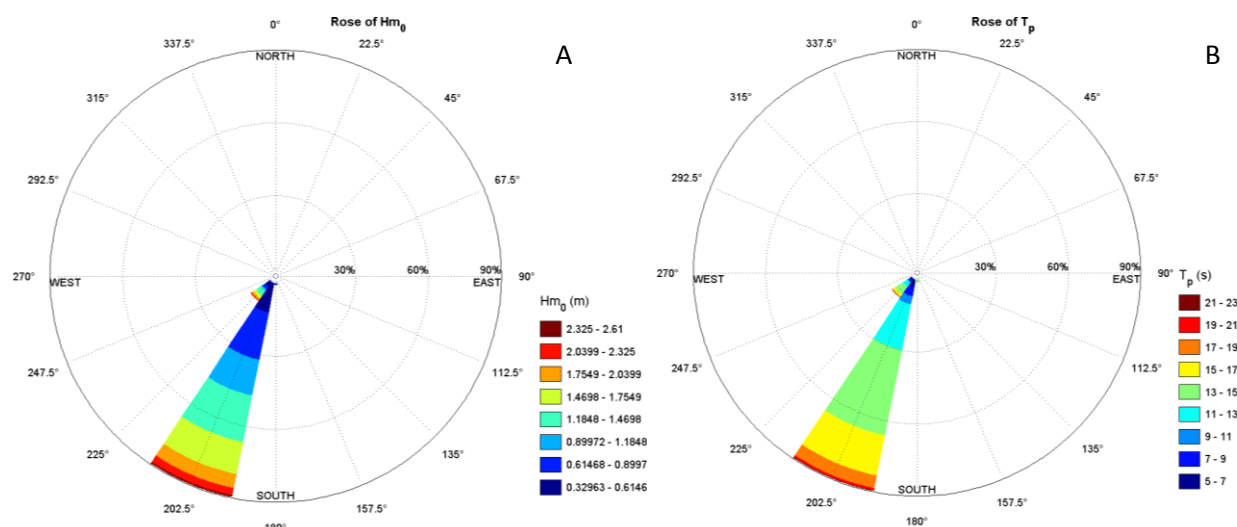


Figura 9. A) Rosa de  $H_{m0}$ . B) Rosa de  $T_p$

## 6. CONCLUSIONES

Se ha logrado medir la variable oleaje en la entrada al Golfo de Nicoya, específicamente en Cabo Blanco, de manera cuasicontinúa generando estados de mar cada 3 horas, mediante el reemplazo oportuno del equipo de medición instalado. Esto contribuye a que la base de datos sea homogénea en el tiempo y por ende en la calidad del análisis estadístico de la información.

A partir de los datos medidos, se ha realizado un análisis de estos mediante técnicas de estadística descriptiva, con el fin de evaluar el comportamiento de cada uno de los parámetros de oleaje.

Los distintos parámetros registrados durante el año 2020 tienen un comportamiento, tanto en magnitud como en dirección, similar a bases de datos instrumentales recolectadas en años previos y de reanálisis que se tienen en este sitio y en lugares cercanos.

Los datos medidos durante el período 2019 -2020 van a ampliar los registros actuales de bases de datos de oleaje, lo que favorecerá en los proyectos de ingeniería que se acometan en un futuro, así como también de otras disciplinas. Asimismo, los datos servirán como insumo para el informe plurianual que se debe de realizar al finalizar el período de esta contratación.



## 7. ESTIMACIÓN DEL COSTO EN EL PERÍODO MEDIDO

La cantidad de estados de mar medidos durante el período comprendido entre el 13 de noviembre del 2019 al 19 de noviembre del 2020 fue un total de 2911 El cuadro 1, lista de cantidades, muestra la estimación para el período con el respectivo costo asociado.

Cuadro 1. Lista de Cantidades y estimación de facturación para este período de medición.

Item	Nombre de la tarea	Unidad	Cantidad Estimada durante el año	Cantidad medida en el período	Saldo de cantidad	Precio unitario (Colones de Costa Rica)	Total cancelado (Colones de Costa Rica)	Total durante el período (Colones de Costa Rica)
1	Aplicación informática de estimación de altura de ola para la bahía de Caldera	Un	1	1	0	490.000,00	490.000,00	
3	Estados de mar medidos en un año, a partir de la orden de inicio de esta contratación	Un*	2920	2911	9	6500	0	18.921.500,00
							<b>Total monto en esta estimación Colones de Costa Rica</b>	18.921.500,00
							<b>IVA 2 %</b>	378.430,00
							<b>Total a cancelar (colones)</b>	19.299.930,00

\* Los precios indicados se mantendrán invariables durante el período de ejecución contractual. Con lo cual se entiende que para los períodos 2020, 2021 y 2022 la cantidad de estados de mar por cada año es aproximadamente 2920 y el precio unitario es de €6.500,00 (seis mil quinientos colones) por estado de mar.



---

## 8. BIBLIOGRAFÍA

Alfaro H., (2017). *Estudio de la dinámica del oleaje en el litoral Pacífico de Costa Rica: Metodologías de regionalización y avances en servicios relativos al clima marítimo*. (Tesis Doctoral). Universidad de Cantabria, Santander, España.

iMARES, 2017. *Informe de calibración de los datos de oleaje de la NOAA con mediciones de campo*. informe de consultoría. Contratación Directa No. 2013-CD000470-32800. San José, Costa Rica.

Quiros V. J., Sin fecha. *Caracterización de los parámetros de oleaje de la costa Pacífico de Costa Rica a partir de mediciones instrumentales*. (Trabajo final de graduación). Universidad de Costa Rica, San Pedro, Costa Rica.



## **APÉNDICE I**

### **PLANO DE UBICACIÓN**



## **APÉNDICE II**

### **DATOS DE PARÁMETROS DE OLEAJE**