

# SINOLAM LNG TERMINAL, S.A.

## ESTUDIO HIDRODINÁMICO DE LA BAHÍA LAS MINAS INFORME DE RESULTADOS



PFR ENVIRONMENTAL, S.A.  
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES

ANCON. Avda. Morgan, Dúplex 301-A  
Ciudad de Panamá. República de Panamá

24 DE JULIO DE 2018

## PRESENTACIÓN Y EQUIPO TÉCNICO

La empresa **SINOLAM LNG TERMINAL, S.A.** ha encargado al laboratorio PFR ENVIRONMENTAL, SA, la Asistencia Técnica para el “ESTUDIO HIDRODINÁMICO DE LA BAHÍA LAS MINAS (COLÓN)”, cuyo Informe de Resultados se presenta a continuación.

Equipo técnico que ha participado en el estudio:

- Fernando J. Mariño Fernández, Ms Ingeniería Ambiental y Oceanografía. Director.
- Carlos A. Vega Morales. Licdo. Biología. Coordinador trabajos de campo.
- Maholy Moreno García. Licda.Biología. Apoyo trabajos de campo.
- Frankling Carrillo Quintero. Auxiliar. Apoyo trabajos de campo.

Rev. Nº	Motivo modificación	Aprobado por	Fecha Entrega
1	Edición original	Dr Fernando Mariño	24-07-2018

**Nº CONTRATO:** 168 - 201844

**AMBITO DE LA INSPECCION:** REGLAMENTARIO. NO SE HA OMITIDO NINGUN ASPECTO DEL AMBITO ORIGINAL DEL TRABAJO.

**IDENTIFICACION DEL ITEM INSPECCIONADO:** ESTUDIO HIDRODINÁMICO

**CONDICIONES GENERALES:** LOS ANALISIS LOS HA REALIZADO EL LABORATORIO PFR ENVIRONMENTAL, SA ACREDITADO POR EL CNA DE PANAMA Y SUS SUBCONTRATISTAS ACREDITADOS EN LA NORMA INTERNACIONAL UNE/EN/ISO 17025.

LA INSPECCION Y MUESTREO SE HA REALIZADO SEGÚN ESPECIFICACIONES RECOGIDAS EN LAS INSTRUCCIONES DEL SGC DE PFR ENVIRONMENTAL, SA CON REGISTROS PRIMARIOS DE LAS MEDIDAS IN SITU INCLUIDOS EN EL CUADERNO DE CAMPO DE LOS EQUIPOS.

- 1) El presente informe es copia fiel del original que mantiene PFR ENVIRONMENTAL, SA
- 2) Los resultados obtenidos sólo afectan a las muestras ensayadas.
- 3) El presente informe no debe ser reproducido ni total ni parcialmente sin la autorización expresa del responsable Técnico de PFR ENVIRONMENTAL, SA o del cliente.

LOS RESULTADOS DE LA PRESENTE INSPECCION Y ANÁLISIS SE REFIEREN EXCLUSIVAMENTE AL PEDIDO REALIZADO.

**DESIGNACION DEL DOCUMENTO:** ESTUDIO HIDRODINÁMICO BAHIA LAS MINAS 240718

**IDENTIFICACION DE LA VERSIÓN DEL DOCUMENTO:** 240718

## **ÍNDICE**

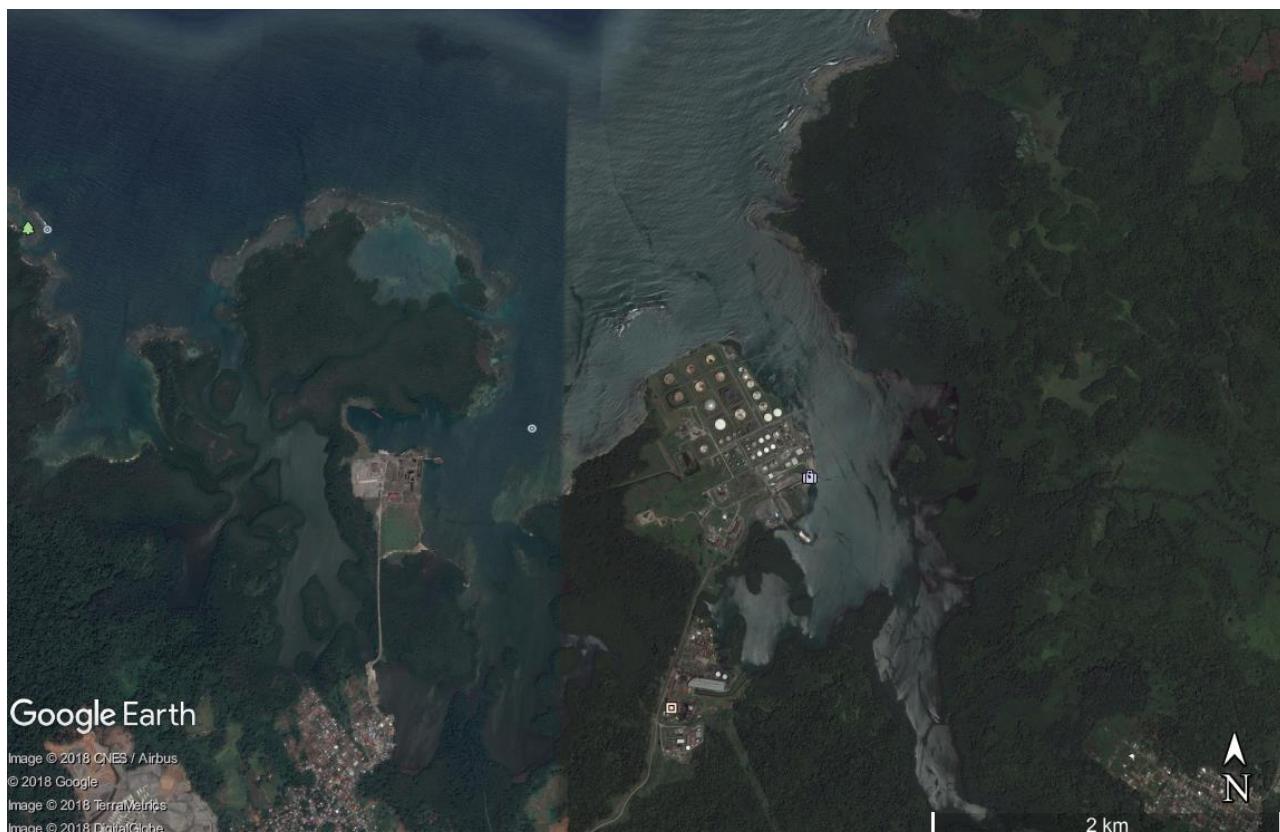
1.	<u>INTRODUCCIÓN</u>	4
2.	<u>METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS</u>	5
2.1.	Condiciones meteorológicas	5
2.2.	Estudio de corrientes	6
3.	<u>RESULTADOS</u>	8
3.1.	Condiciones meteorológicas	8
3.2.	Olas y mareas	11
3.3.	Corrientes	13
4.	<u>MODELO HIDRODINÁMICO</u>	17

## 1. INTRODUCCIÓN

Se presentan los resultados del estudio hidrodinámico realizado en la Bahía Las Minas (Colón) en el mes de julio de 2017.

Se completó un estudio lagrangiano de corrientes con derivadores autónomos, que se soltaron en dos días diferentes (10 y 14 de julio 2018) coincidiendo con marea vaciante y llenante. Los resultados con los derivadores, se completaron con el análisis de las condiciones meteorológicas y estado de las mareas en la época estudiada.

A partir de los resultados obtenidos, se establece un modelo conceptual descriptivo del comportamiento hidrodinámico de la Bahía Las Minas.



*Localización de la Bahía Las Minas.*

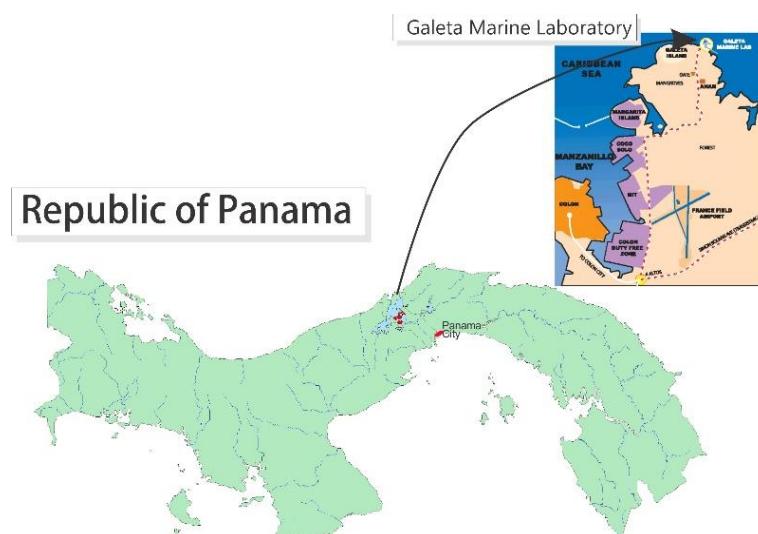
## **2. METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS**

## 2.1. Condiciones meteorológicas

Para obtener información meteorológica más precisa, se emplearon los datos meteorológicos del Smithsonian Tropical Research Institute (STRI) correspondientes a la estación La Galeta. La Galeta Marine Laboratory está situado en Galeta Point, a unos 5 km al este de la entrada al Canal de Panamá ( $9^{\circ} 24' 09.90''$  N,  $79^{\circ} 51' 39.00''$  W), muy próxima a Bahía Las Minas.

La estación Galeta es una estación climática totalmente automatizada que registra los datos oceanográficos y meteorológicos, que incluyen: radiación solar, velocidad del viento (km / h) y dirección (º) y temperatura del aire (ºC). Los datos originales se pueden descargar de la siguiente dirección web en STRI: [http://biogeodb.stri.si.edu/physical\\_monitoring/](http://biogeodb.stri.si.edu/physical_monitoring/).

El área estudiada experimenta una estación seca de 3-4 meses de duración. Además, la humedad relativa, la radiación solar, la velocidad del viento y la dirección muestran diferencias notables en la estación húmeda/seca. Por otro lado, la temperatura varía relativamente poco a lo largo del año.



## *Localización de la estación meteorológica del STRI en La Galeta.*

## 2.2. Estudio de corrientes

Para el estudio de corrientes en la Bahía Las Minas se empleó el método Lagrangiano<sup>1</sup>. Se realizaron dos muestreos en función del momento de la marea:

- Marea vaciante o marea bajando: martes 10 de julio de 2018. 9:30 am-12:30 pm.
- Marea llenante o marea subiendo: sábado 14 de julio 2018. 11:40 am-13:30 pm

Las mediciones se llevaron a cabo en el período de cuadratura en la fase de marea, de acuerdo con la Tabla de Mareas ACP 2017 (Sector del Caribe).

Se emplearon boyas derivadoras o drifter que se corresponden al modelo de cruceta, para las capas -1 y -5 m de profundidad, cuya área expuesta al flujo es de 0.5 m<sup>2</sup>. Cada derivador consta de un flotador acrílico esférico con un péndulo con forma de cruceta de PVC para maximizar la resistencia a la corriente en esa capa del mar.



*Derivadores de corrientes con GPS empleado en el estudio hidrodinámico de Bahía Las Minas*

---

<sup>1</sup> El método lagrangiano permite realizar una estimación de la velocidad y dirección de las corrientes, siendo más recomendable emplear métodos eulerianos a través de la instalación de perfiladores de corrientes en el fondo submarino para el registro de la velocidad y dirección de las mismas en toda la columna de agua y, por lo menos, durante un período mensual de mareas en diferentes épocas del año.

El posicionamiento de cada drifter se realizó mediante un GPS GT-730FL-S de la casa comercial Conrad Electronics, apoyado con medidas puntuales con un GPS modelo Garmin Map Source Sx c 76, y con el soporte de un bote de 7 m de longitud y 2,0 m de manga. Cada derivador fue monitoreado y se realizaron controles de posición simultáneos. Los registros se refirieron a coordenadas UTM datum WGS-84, en un intervalo promedio de 15-30 minutos durante los dos muestreos.

Las demarcaciones de los derivadores se trazaron en un Sistema de Información Geográfica (SIG) en ARCGIS 10.3 en coordenadas UTM a las trayectorias seguidas. Una vez que se estimaron las distancias, la velocidad y la dirección de cada derivación se trazaron en un plano georeferenciado.



*Derivadores de corrientes con GPS empleado en el estudio hidrodinámico de Bahía Las Minas*

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Condiciones meteorológicas

A partir de los datos reales obtenidos en la estación La Galeta del STRI<sup>2</sup> -y que se recogen en el Gráfico 1 adjunto- para los días 10 y 14 de julio 2018 y datos históricos entre el período 1975-2017 (Gráficos 2 y 3), se pueden destacar los siguientes aspectos:

- La temperatura del aire en los días del muestreo se ha mantenido en el rango de 24-28°C, con una marcada diferencia día-noche.
- La velocidad instantánea del viento ha variado en el rango de 20-30 km/h para el día 10/07/18 y entre 30-40 km/h para el día 14/07/18. El viento en las dos jornadas ha ido creciendo desde primeras horas de la mañana hasta el mediodía, alcanzando valores dentro de la Bahía de 7-8 m/s. Cabe destacar que durante el día 10/07/18, y durante la realización de las medidas, el viento fue muy flojo (<1 m/s). La dirección del viento en los dos días se ha mantenido en el cuadrante 0°-100°, con una dominancia del Norte en prácticamente todos los muestreos.
- En un ciclo anual, en la Bahía Las Minas y todo el área costera del litoral del Caribe panameño se distinguen dos períodos climáticos principales llamados época seca (verano) y época húmeda (invierno). Cuando se habla de época seca se hace referencia al incremento de las velocidades de los vientos en el área y a la disminución de las precipitaciones locales. Ésta época se inicia en diciembre y se extiende hasta marzo-abril, registrándose en la estación La Galeta vientos del N-NE y velocidades medias de 17-24 km/h.
- La época húmeda se inicia, generalmente, en abril-mayo y se extiende hasta diciembre. En esta época las condiciones climáticas se caracterizan por moderadas intensidades medias del viento, con valores entre los 9-12 km/h –mínimos en el mes de octubre- y componente W-NW en los meses de junio a agosto y S-SW en los meses de septiembre a noviembre.

---

<sup>2</sup> Al momento del cierre del presente informe, el STRI no había subido a la web el excell con los datos en bruto de las variables meteorológicas en la estación La Galeta.

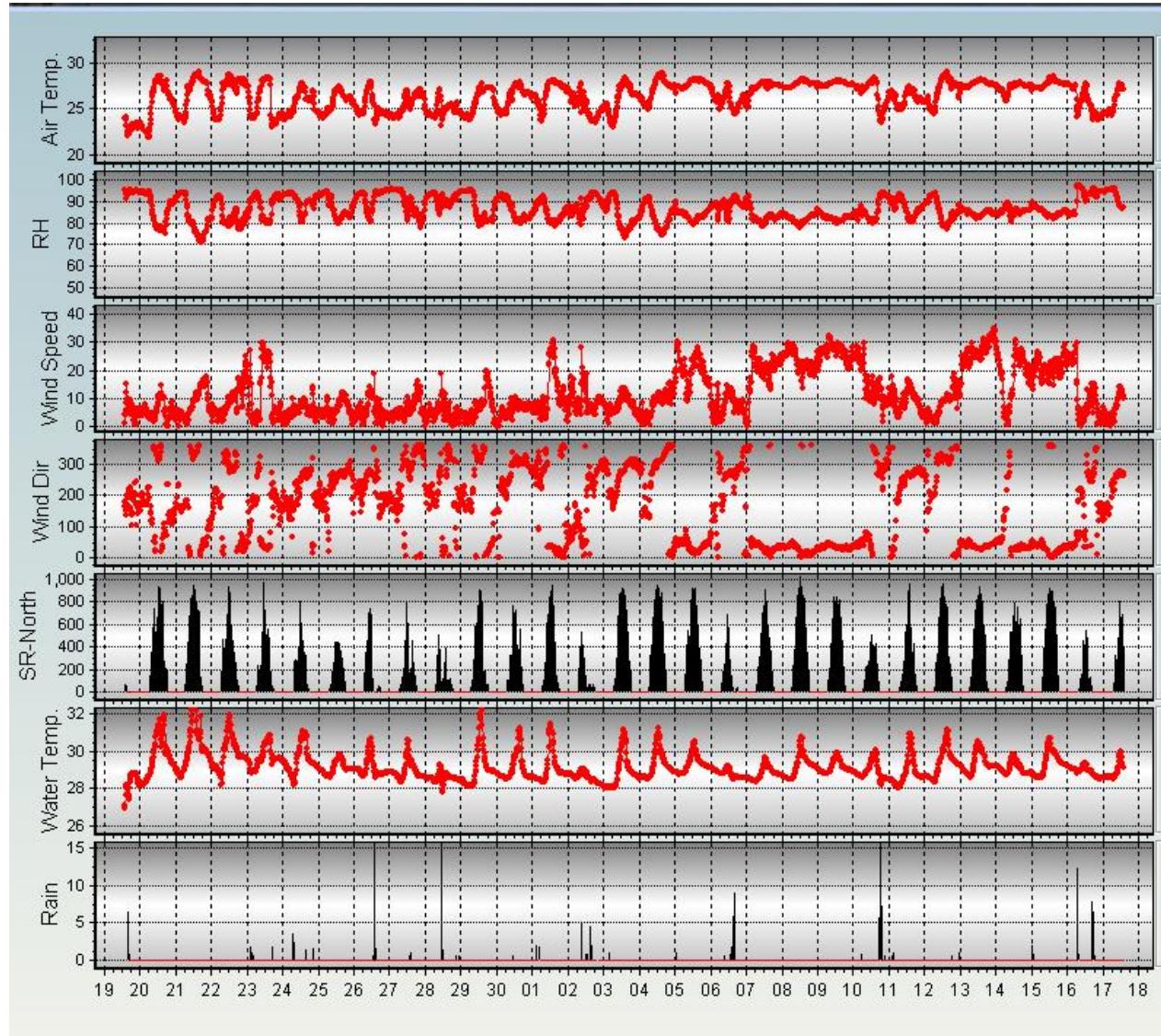


Gráfico 1. Resultados de mediciones instantáneas desde el 19 de junio al 18 de julio 2018. Estación la Galeta.

FUENTE: STRI. [http://biogeodb.stri.si.edu/physical\\_monitoring/](http://biogeodb.stri.si.edu/physical_monitoring/).

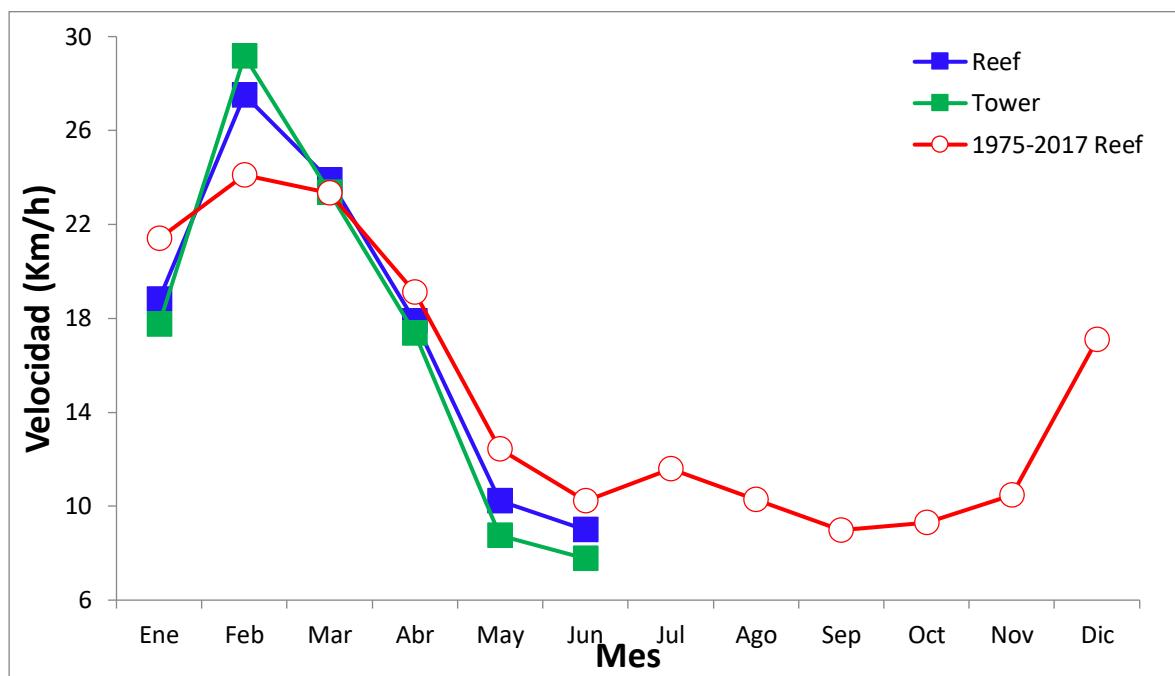


Gráfico 2. Evolución mensual de la velocidad del viento media en el período 1975-2017 en la estación La Galeta. FUENTE: STRI. [http://biogeodb.stri.si.edu/physical\\_monitoring/](http://biogeodb.stri.si.edu/physical_monitoring/).

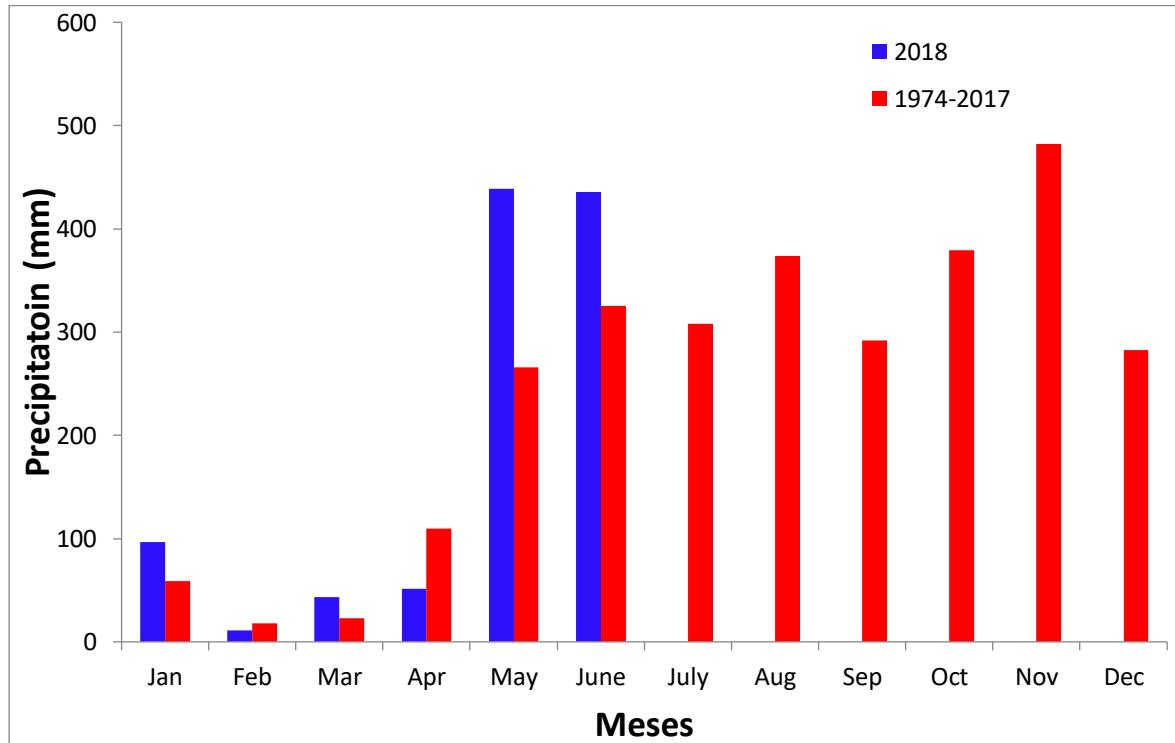


Gráfico 3. Evolución mensual de la precipitación en el período 1975-2017 en la estación La Galeta. FUENTE: STRI. [http://biogeodb.stri.si.edu/physical\\_monitoring/](http://biogeodb.stri.si.edu/physical_monitoring/).

---

### 3.2. Olas y mareas

El Gráfico 4 muestra la amplitud y el estado de la marea obtenido a partir de la Tabla de Mareas ACP 2018 durante el período de estudio (10-14 de julio de 2018).

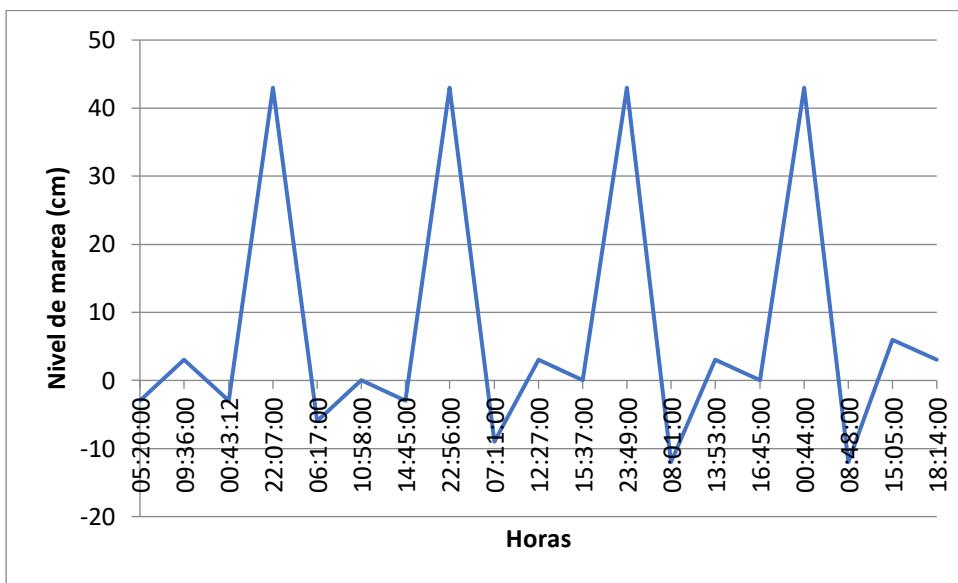


Gráfico 4. Nivel de marea durante los días 10-14 de julio de 2018.

FUENTE: Tabla de Mareas ACP 2018.

La amplitud de la marea oscila entre  $\pm 3-43$  cm y rara vez excede estos valores, nunca superando los 50 cm. Según Kwiecinski (1994), las mareas en el Caribe son generalmente de poca amplitud <0.5 m. Tiene un valor promedio de 0.27 my un valor máximo de 0.46 m. La acción física de las mareas sobre la dinámica del medio marino y el litoral es de baja intensidad. Por lo tanto, generan pequeñas velocidades de las corrientes, pero al igual que el oleaje, son importantes en la autorregulación de la zona costera.

En los Gráficos 5 y 6 se muestra el ciclo anual de la altura significativa en la boyá Panamá-Colón y la rosa de las olas en esa zona del litoral panameño. El ciclo anual presenta un comportamiento bimodal de la altura de ola significativa ( $H_s$ ) con un período más intenso entre (diciembre, enero y febrero), que es la estación seca en la región y un período ligeramente débil entre (junio, julio y agosto), que se debe a la presencia del "San Juan Veranillo" en el Caribe.

El período más débil de altura significativa de ola ocurre entre septiembre, octubre y noviembre, que es el período donde ocurre la estación húmeda y donde los vientos alisios alcanzan valores mínimos en las zonas costeras del Caribe. El 70% de las olas provienen del Norte con una dispersión del 10% de las direcciones NE, SE y WNW.

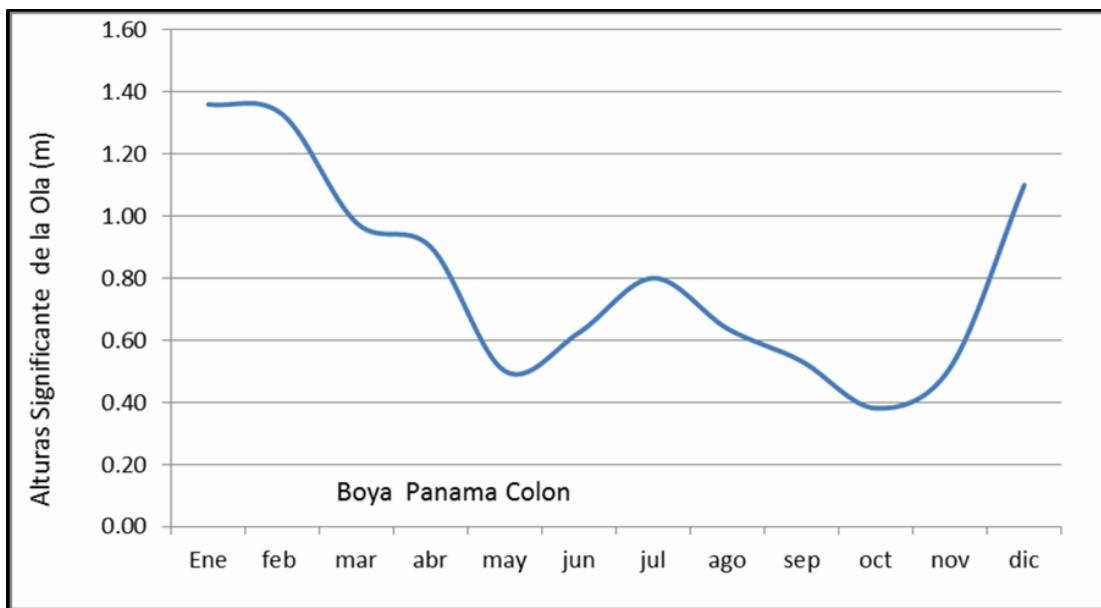


Grafico 5. Ciclo anual de la altura significativa en la boyta Panamá-Colón.

FUENTE: Información proporcionada por el autor.

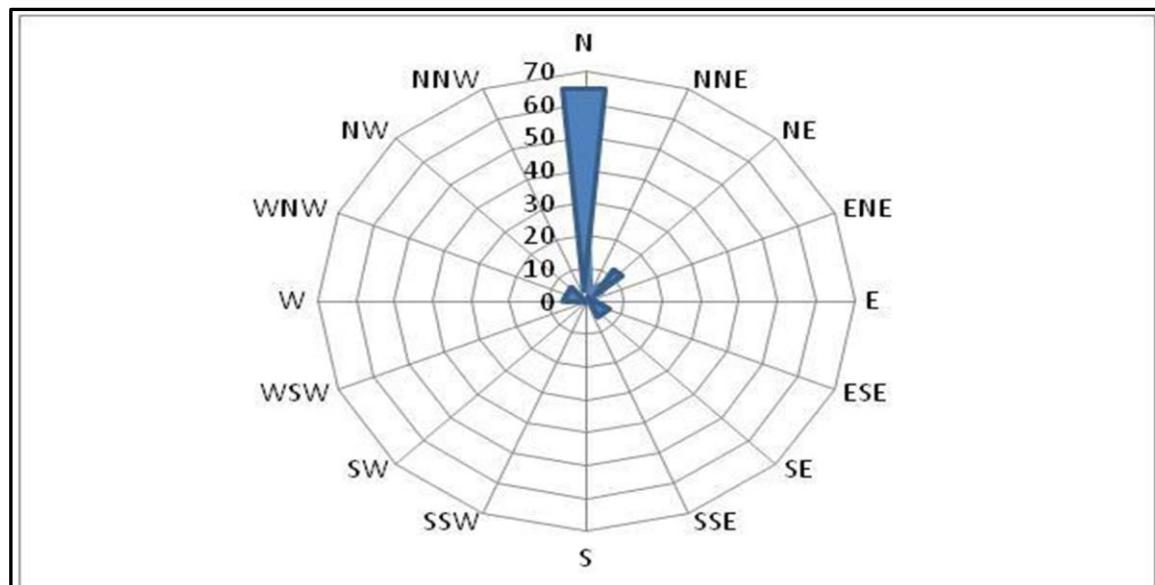


Grafico 6. Rosa de las olas. FUENTE: Información proporcionada por el autor.

### 3.3. Corrientes

Los resultados para los diferentes derivadores y situaciones de marea se incluyen en las tablas adjuntas:

P	Puntos	E	N	Marea	Lugar	hora	Derivador	Fecha
1	7BV	630259.00	1038488	Vaciante	Interior	10:00	C1-1	10-jul-18
2	1	630183.00	1038673	Vaciante	Interior	10:41	C1-1	10-jul-18
3	2	630152.00	1038851	Vaciante	Interior	11:36	C1-1	10-jul-18
4	3	630130.00	1038880	Vaciante	Interior	12:21	C1-1	10-jul-18
5	7BV	630259.00	1038488	Vaciante	Interior	10:00	C1-5	10-jul-18
6	4	630206.00	1038633	Vaciante	Interior	10:41	C1-5	10-jul-18
7	5	630188.00	1038759	Vaciante	Interior	11:38	C1-5	10-jul-18
8	6	630168.00	1038792	Vaciante	Interior	12:21	C1-5	10-jul-18
9	3VB	629400.00	1039907	Vaciante	Exterior	10:12	C2-1	10-jul-18
10	1	629421.00	1040370	Vaciante	Exterior	11:07	C2-1	10-jul-18
11	3VB	629400.00	1039907	Vaciante	Exterior	11:15	C2-1	10-jul-18
12	2	629211.00	1040100	Vaciante	Exterior	12:15	C2-1	10-jul-18
13	3VB	629400.00	1039907	Vaciante	Exterior	10:12	C2-5	10-jul-18
14	3	629400.00	1039957	Vaciante	Exterior	11:11	C2-5	10-jul-18
15	7BV	630259.00	1038488	Llenante	Interior	11:42	C1-1	14-jul-18
16	1	630210.00	1038356	Llenante	Interior	12:30	C1-1	14-jul-18
17	2	630173.00	1038248	Llenante	Interior	13:20	C1-1	14-jul-18
18	7BV	630259.00	1038488	Llenante	Interior	11:44	C1-5	14-jul-18
19	3	630286.00	1038305	Llenante	Interior	12:32	C1-5	14-jul-18
20	4	630245.00	1038081	Llenante	Interior	13:22	C1-5	14-jul-18
21	3VB	629400.00	1039907	Llenante	Exterior	11:55	C2-5	14-jul-18
22	1	629365.00	1039700	Llenante	Exterior	13:03	C2-5	14-jul-18
23	3VB	629400.00	1039907	Llenante	Exterior	11:55	C2-1	14-jul-18
24	2	629079.00	1039702	Llenante	Exterior	13:13	C2-1	14-jul-18

ESTUDIO HIDRODINÁMICO DE LA BAHÍA LAS MINAS  
INFORME DE RESULTADOS

---

MUESTREO 10/07/2018 (Marea vacante)

Vértice	Derivador	Hora	Distancia metros	Tiempo (minutos)	Tiempo (Segundo)	Velocidad m/s	Dirección		Coordenada Inicial del segmento		Coordenada Final del segmento	
							Rumbo	Grado, min., seg.	E	N	E	N
7BV-1	C1-1	10:00-10:41	200	41	2460	0.08	N 22d20'0" W	112° 20' 0"	630259	1038488	630183	1038673
1-2	C1-1	10:41-11:36	181	55	3300	0.05	N 9d52'46" W	99° 52' 46"	630183	1038673	630152	1038851
2-3	C1-1	11:36-12:21	36	45	2700	0.01	N 37d11'5" W	127° 11' 5"	630152	1038851	630130	1038880
<hr/>												
7BV-4	C1-5	10:00-10:41	154	41	2460	0.06	N 20d4'42" W	110° 4' 42"	630259	1038488	630206	1038633
4-5	C1-5	10:41-11:38	127	57	3420	0.04	N 8d7'48" W	98° 7' 48"	630206	1038633	630188	1038759
5-6	C1-5	11:38-12:21	39	43	2580	0.01	N 31d13'6" W	121° 13' 6"	630188	1038759	630168	1038792

Vértice	Derivador	Hora	Distancia metros	Tiempo (minutos)	Tiempo (Segundo)	Velocidad m/s	Dirección		Coordenada Inicial del segmento		Coordenada Final del segmento	
							Rumbo	Grado, min., seg.	E	N	E	N
3BV-1	C2-1	10:12-11:07	463	55	3300	0.14	N 2d35'49" E	87° 24' 11"	629400	1039907	629421	1040370
3BV-2	C2-1	11:15-12:15	270	60	3600	0.08	N 44d24'0" W	134° 24' 0'	629400	1039907	629211	1040100
3BV-3	C2-5	10:12-11:11	50	59	3540	0.01	N	90° 0' 0"	629400	1039907	629400	1039957

ESTUDIO HIDRODINÁMICO DE LA BAHÍA LAS MINAS  
INFORME DE RESULTADOS

---

MUESTREO 14/07/18 (Marea llenante)

Vértice	Derivador	Hora	Distancia metros	Tiempo (minutos)	Tiempo (Segundo)	Velocidad m/s	Dirección		Coordenada Inicial del segmento		Coordenada Final del segmento	
							Rumbo	Grado, min., seg.	E	N	E	N
7BV-1	C1-1	11:42-12:30	141	48	2880	0.05	S 20d21'56" W	249º 38' 4"	630259	1038488	630210	1038356
1-2	C1-1	12:30-13:20	114	50	3000	0.04	S 18d54'40" W	251º 5' 20"	630210	1038356	630173	1038248
<hr/>												
7BV-3	C1-5	11:44-12:32	185	48	2880	0.06	S 8d23'35" E	278º 23' 35"	630259	1038488	630286	1038305
3-4	C1-5	12:32-13:22	228	50	3000	0.08	S 10d22'20" W	259º 37' 40"	630286	1038305	630245	1038081

Vértice	Derivador	Hora	Distancia metros	Tiempo (minutos)	Tiempo (Segundo)	Velocidad m/s	Dirección		Coordenada Inicial del segmento		Coordenada Final del segmento	
							Rumbo	Grado, min., seg.	E	N	E	N
3BV-2	C2-1	11:55-13:13	381	18	1080	0.35	S 9d35'49" W	212º 33' 49"	629400	1039907	629079	1039702
3BV-1	C2-5	11:55-13:03	210	8	480	0.44	S 57d26'11" W	260º 24' 11"	629400	1039907	629365	1039700

De los resultados de las mediciones, se destacan los siguientes aspectos:

- En la situación de marea vaciante (ver Plano adjunto) correspondiente al martes 10/07/18, los dos derivadores soltados en la boyá interna (Boyá n° 7B) siguen un rumbo claramente hacia el N-NW, según el eje principal de orientación de la Bahía Las Minas. Las velocidades han variado de 0.01-0.08 m/s en superficie (derivador C1-1) a 0.01-0.06 con el derivador de -5 m de profundidad (C1-5).
- En la misma situación de marea vaciante, los dos derivadores soltados en la parte más externa de la bahía (Boyá n° 3) han tenido un rumbo más disperso (ver Plano adjunto), pero también claramente en dirección de salida de la marea, hacia el N-NW-NE. En este caso, las velocidades de los dos derivadores han variado de 0.01-0.14 m/s, siendo la más alta la correspondiente al derivador de superficie (C2-1).
- En la situación de marea llenante correspondiente al sábado 14/07/18, los dos derivadores soltados en la boyá interna (Boyá n° 7B) han seguido un rumbo hacia el interior de la bahía (ver Plano adjunto), es decir, S-SW. Las velocidades del derivador superficial (C1-1) han variado entre 0.04-0.05 m/s y el situado a -5 m de profundidad (C1-5) entre 0.06-0.08 m/s.
- En la misma situación de marea llenante, los derivadores soltados en la parte externa (Boyá n° 3) siguen rumbo S-SW (ver Plano adjunto), con velocidades altas de 0.35-0.44 m/s. Cabe destacar, que durante este monitoreo el viento empezó a soplar con fuerza de 8 m/s y dirección N-NE, aumentando la componente superficial del flujo y contribuyendo al desplazamiento de los derivadores.

#### 4. MODELO HIDRODINÁMICO

Teniendo en cuenta los datos recabados en campo y los registros de áreas similares a la Bahía Las Minas, se puede adelantar una descripción del modelo hidrodinámico general en esta zona:

- La zona estudiada se corresponde con la parte más externa de la Bahía Las Minas, de mayor anchura (2500-2800 m) y que presenta una orientación según un eje SE-NW (148°). Esta zona externa cuenta con un canal de unos 12 m de profundidad - con máximas profundidades de 13-14 m- y unos 700-800 m de anchura que es periódicamente dragado. Los bordes del canal ascienden con mayor inclinación en la margen izquierda que en la derecha, conformando una plataforma somera dominada por manglar, arena, limo y formaciones aisladas de pastos y corales, especialmente en la margen derecha.
- En la parte más interna de la Bahía Las Minas concurren varios flujos de agua dulce correspondientes a ríos y quebradas de su cuenca, que por tener menor densidad, se mueven en superficie. En situaciones de precipitaciones normales, es previsible que la zona de mezcla y compensación hidráulica se produzca en la parte más interna de la bahía, no apreciándose en el perfil de densidades diferencias significativas en la zona externa de la bahía en donde se realizaron los trabajos.
- El efecto del viento y situaciones micro-mareales sobre la capa superficial (1-5 m de profundidad) de medición en la parte externa de la bahía, evidenciado en los resultados del presente estudio, es una fuente de origen de las perturbaciones en los registros de las corrientes.
- En este sentido, estudios en áreas similares demuestran que el viento superficial y el régimen de mareas ejercen una acción directa sobre los procesos hidrodinámicos en el área estudiada.

- Se pueden plantear dos hipótesis en relación a la hidrodinámica de la bahía: una es que la corriente de marea puede ser considerada de una manera bidimensional con respecto a la profundidad, permitiendo obtener un resultado muy aproximado con modelos numéricos promediados en la vertical; la otra hipótesis indica que el efecto del viento, la fricción y el empuje sobre el área, son transmitidos en profundidad de acuerdo con la distribución parabólica de profundidad hasta el fondo.
- En el presente caso, donde las corrientes generadas son resultado de las mareas y el efecto del viento, se estima que estas tienen una trayectoria plana a causa de las aguas someras con profundidades menores a 30 m y por ende, la espiral de Eckman puede ser totalmente obviada dentro de los procesos hidrodinámicos.
- En cualquier caso, las componentes de flujo variarán según el eje principal de la bahía, con flujos dominantes hacia el N-NW en vacante y flujos dominantes hacia el interior de la bahía en la llenante y con rumbos S-SW. Las velocidades y rumbos de los flujos pueden variar de forma local por la acción del viento, pero siempre tendrán una componente dominante en el canal central y más difusa en las márgenes y bocana de la bahía.