

Panamá, 11 de mayo de 2022

Ingeniero

**DOMILUIS DOMÍNGUEZ E.**

Director Nacional de la Dirección de Evaluación de Impacto Ambiental

Ministerio de Ambiente

Ciudad de Panamá, Panamá

**Asunto:** Proyecto "Ampliación de los Entronques Costa del Este e Hipódromo- Corredor Sur"

**Estimado Ingeniero Domínguez:**

Hacemos referencia a la Nota DEIA-DEEIA-AC-0048-1403-2022, con fecha del 14 de marzo de 2022, en la cual se notifica y solicita la segunda información aclaratoria al Estudio de Impacto Ambiental (EslA), categoría II, denominado "AMPLIACIÓN DE LOS ENTRONQUES COSTA DEL ESTE E HIPÓDROMO – CORREDOR SUR", promovido por la empresa ENA SUR, S.A., el cual ha de desarrollarse en los corregimientos de Juan Díaz y Parque Lefevre, distrito y provincia de Panamá.

Con el objeto de aclarar las observaciones indicadas en la nota DEIA-DEEIA-AC-0048-1403-2022, adjuntamos informe con las respuestas a cada una de sus consultas.

Esperando que la información brindada permita continuar con el proceso de evaluación del Estudio de Impacto Ambiental.

Sin otro particular por el momento.

Atentamente,



**Luis A. Ábrego G.**  
Gerente General

Adjunto:

- (1) informe impreso.
- (1) formato digital, incluye coordenadas en Shapefile y Excel.



República de Panamá  
PROMOTOR: ENA SUR, S.A.



PROYECTO:  
“AMPLIACIÓN DE LOS ENTRONQUES COSTA DEL ESTE E HIPÓDROMO –  
CORREDOR SUR”

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL  
CATEGORÍA II

**RESPUESTA A LA NOTA ACLARATORIA  
DEIA-DEEIA-AC-0048-1403-2022**

ELABORADO POR: PROYECO S.A.  
N° DE REGISTRO IAR-001-2017

MAYO  
2022



## TABLA DE CONTENIDO

Respuesta 1, Sección a.....	2
Respuesta 2, Sección a.....	6
Respuesta 3, Sección a.....	10

## ÍNDICE DE ILUSTRACIÓN

ILUSTRACIÓN 1. LOCALIZACIÓN DEL CAMPAMENTO – ENTRONQUE COSTA DEL ESTE. ....	3
ILUSTRACIÓN 2. LOCALIZACIÓN DE CAMPAMENTO (1) – ENTRONQUE HIPÓDROMO.....	4
ILUSTRACIÓN 3. LOCALIZACIÓN DE CAMPAMENTO (2) – ENTRONQUE HIPÓDROMO.....	5

## ÍNDICE DE TABLA

TABLA 1. ZONA DE CAMPAMENTO TEMPORAL - ENTRONQUE COSTA DEL ESTE.....	3
TABLA 2. ZONA DE CAMPAMENTO TEMPORAL (1) - ENTRONQUE HIPÓDROMO. ....	4
TABLA 3. ZONA DE CAMPAMENTO TEMPORAL (2) - ENTRONQUE HIPÓDROMO. ....	4
TABLA 4. EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN – ENTRONQUE COSTA DEL ESTE.....	7

En respuesta a la nota No. **DEIA-DEEIA-AC-0048-1403-2022**, notificada por la empresa ENA SUR, S.A., el 14 de marzo de 2022, segunda aclaratoria al Estudio de Impacto Ambiental Categoría II del proyecto denominado "**AMPLIACIÓN DE LOS ENTRONQUES COSTA DEL ESTE E HIPÓDROMO – CORREDOR SUR**", ubicado en el corregimiento de Juan Díaz y corregimiento de Parque Lefevre, distrito y provincia de Panamá.

1. En respuesta a la pregunta 6, de la primera información aclaratoria solicitada mediante nota DEIA-DEEIA-AC-0014-2001, referente al literal **a**, donde se solicitaba aportar coordenadas UTM con Datum de referencia del sitio donde se instalarán las tinajas, se presentan las coordenadas de las zonas de campamentos temporales a utilizar durante la ejecución del proyecto, en las cuales estarán ubicadas las tinajas; Tabla 4. Zona de Campamento Temporal-Entronque Costa del Este; Tabla 5. Zona de Campamento Temporal (1) – Entronque Hipódromo; Tabla 6. Zona de Campamento Temporal (2) – Entronque Hipódromo. Sin embargo, las coordenadas de la Tabla 4 y Tabla 5 son iguales. Dado lo anterior, **se solicita:**
  - a. Verificar y aportar las coordenadas UTM de las zonas de campamento temporal a ubicarse en el Entronque Coste del Este, Entronque Hipódromo e indicar su respectiva área.

### Respuesta 1, Sección a.

El concreto es el principal material usado en la construcción, lo cual, es transportado al sitio mediante equipo pesado (mixer), por tal motivo, es fundamental que estos equipos mezcladores cuenten con un sitio para el lavado de la Tolva y la pala principal de descargue.

Por lo antes mencionado, en la construcción se ha implementado la fabricación temporal de tina de lavado, las cuales, son ubicadas en la zona del campamento o un sitio dentro de la huella del proyecto que sea accesible al tránsito del camión.

Para el proyecto presentado, el Promotor tiene contemplado colocar estas tinajas temporales dentro de la huella de los campamentos ubicados en servidumbre del Promotor. A continuación, se presentan las coordenadas de las zonas campamentos temporales a utilizar durante la ejecución del proyecto, teniendo en cuenta que, **La Tabla 1** es referente a la **Tabla 4** de la primera aclaratoria, y **La Tabla 2** es referente a la **Tabla 5** de la primera aclaratoria

Tabla 1. Zona de Campamento Temporal - Entronque Costa del Este.

Entronque Costa del Este		
Punto	Coordenada X	Coordenada Y
P-01	996135.12	667201.29
P-02	996055.44	667154.60
P-03	996047.49	667170.48
P-04	996127.88	667215.90
P-05	996163.02	667233.92
P-06	996167.57	667224.43

Área aproximada 2,098.46 m<sup>2</sup>

Fuente: PROYECO S.A., 2022.

Ilustración 1. Localización del Campamento – Entronque Costa del Este.



Fuente: PROYECO S.A., 2022.

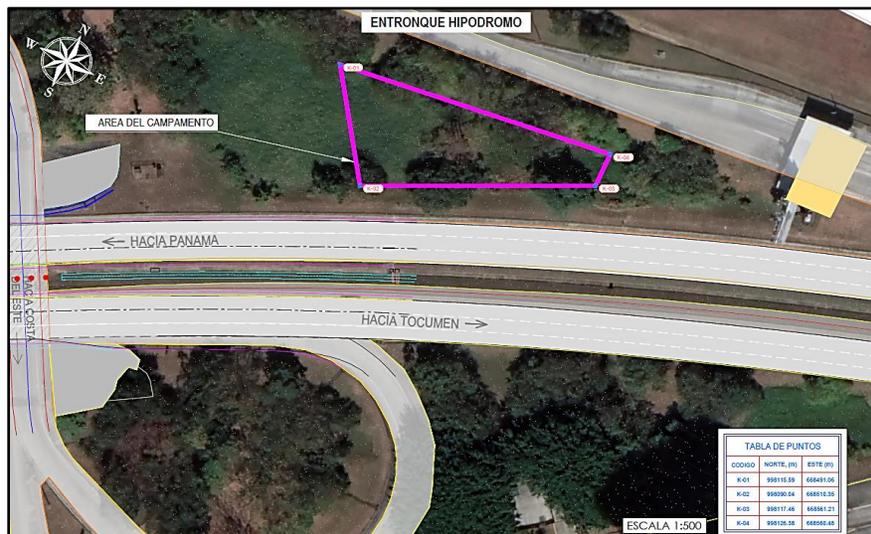
Tabla 2. Zona de Campamento Temporal (1) - Entronque Hipódromo.

Entronque Hipódromo		
Punto	Coordenada X	Coordenada Y
P-01	998115.59	668491.06
P-02	998090.04	668510.35
P-03	998117.46	668561.21
P-04	998126.38	668560.48

Área aproximada 1,227.75 m<sup>2</sup>

Fuente: PROYECO S.A., 2022.

Ilustración 2. Localización de Campamento (1) – Entronque Hipódromo.



Fuente: PROYECO S.A., 2022.

Tabla 3. Zona de Campamento Temporal (2) - Entronque Hipódromo.

Entronque Costa del Este		
Punto	Coordenada X	Coordenada Y
H-01	997876.58	668276.79
H-02	997843.81	668235.61
H-03	997805.71	668199.86
H-04	997801.89	668204.48
H-05	997839.35	668240.71
H-06	997872.69	668278.91

Área aproximada 617.67 m<sup>2</sup>

Fuente: PROYECO S.A., 2022.

Ilustración 3. Localización de Campamento (2) – Entronque Hipódromo.



Fuente: PROYECO S.A., 2022.

2. En respuesta a la pregunta 12, de la primera información aclaratoria solicitada mediante nota DEIA-DEEIA-AC-0014-2001-2022, referente al literal **a**, Presentar un diagnóstico de las posibles afectaciones al Conjunto Monumental Histórico de Panamá Viejo y las medidas de mitigación correspondientes; literal **(b)** Valorizar los impactos producto del diagnóstico realizado en el literal anterior e integrarlos en la Tabla 52. Evaluación de Impactos Ambientales en la Fase de Construcción-Entronque Costa del Este, del EsIA. Se indica que el análisis geofísico y el monitoreo de vibraciones está contemplado dentro del Costo de la Gestión Ambiental estimado en el EsIA Capítulo 10, Apéndice 10.11, tiene un valor monetario del 5% de la inversión, lo que equivale a setecientos setenta y cinco mil balboas (B/. 775,000.00). Sin embargo, no se incluyó en el literal **(b)** Tabla 52, la valoración de posibles impactos a generarse en el literal **(a)**. **Por lo que se solicita:**

a. Valorizar los impactos producto del diagnóstico realizado en el literal **(a)** e integrarlos en la Tabla 52. Evaluación de Impactos Ambientales en la Fase de Construcción-Entronque Costa del Este, del EsIA

## Respuesta 2, Sección a

El diagnóstico presentado en la primera aclaratoria fue referente a los trabajos relacionados con la construcción de una superestructura y una infraestructura compuesta por vigas cabezales en cada apoyo, y pilas que continúan hasta el lecho rocoso ubicado entre 5 y 7 metros de profundidad.

- Infraestructura: Pilas vaciadas en sitio dentro de una perforación previa en el número y diámetro indicados en el proyecto. Dicha perforación se realizará con máquina roto- perforadora y encamisado, logrando perforar y extraer aproximadamente 600 m<sup>3</sup> de material del lecho marino.
- Subestructura: Viga cabezal de hormigón armado coronando las pilas de cimentación donde se colocarán las vigas que forman la superestructura, de acuerdo con la distribución marcada en el diseño.
- Superestructura: Vigas tipo AASHTO trabajando en colaboración de una losa de concreto armado en el espesor indicado en el proyecto, con medias barreras New Jersey en los extremos.
- Fundaciones y Estructuras: Para la construcción de la cimentación del viaducto elevado en la zona marina, se utilizarán plataformas de trabajo auto elevables y se realizarán los trabajos en período de marea alta para reducir problemas a la hora del traslado de materiales y equipos al sitio de trabajo.

Como resultado del diagnóstico se identificó que el impacto posible a generarse hacia el Conjunto Monumental Histórico de Panamá Viejo es el **Aumento de Vibraciones**. A continuación, se incluye el impacto en la Tabla 52. Evaluación de Impactos Ambientales en la Fase de Construcción-Entronque Costa del Este, del EsIA, y es referido en esta segunda aclaratoria mediante la **Tabla 4**, en la sección socioeconómico cultural.

En la fase de operación se considera el estado actual del sitio.

Tabla 4. Evaluación de Impactos Ambientales en la Fase de Construcción – Entronque Costa del Este.

FASE DE CONSTRUCCIÓN		TIPOLOGÍA DEL IMPACTO											IM	Descripción
		C	I	EX	SI	PE	EF	MO	AC	MC	RV	PR		
MEDIO	IMPACTO AMBIENTAL	+	Baja (1)	Puntual (1)	Sin	Fugaz (1)	Largo	Simple (1)	Inmediato (1)	Corto plazo (1)	Irregular (1)	≤25	Bajo	
		-	Media (2)	Parcial (2)	sinergismo (1)	Temporal (2)	término (1)							Med. plazo (2)
		Negativo	Alta (4)	Extensa (3)	Sinérgico (2)	Persistente (3)	Medio término (2)	Acumulativo (2)	Med. plazo (2)	Mitigable (4)	Continuo (4).	De 51 a 75	Severo	
			Muy Alta (8)	Total (4)	Muy sinérgico (4)	Permanente (4)	Inmediato (4)		Irrecuperable (8)	Largo plazo (3)		≥76	Crítico	
FÍSICO	1. Aumento de ruido ambiental.	-	2	1	1	2	4	2	1	2	2	24	Bajo	
	2. Aumento de ruido ocupacional.	-	2	1	2	2	4	2	1	4	2	27	Moderado	
	3. Contaminación atmosférica por partículas de polvo.	-	1	1	1	2	4	2	1	4	2	22	Bajo	
	4. Contaminación atmosférica por emisión vehicular.	-	2	2	2	3	4	1	1	4	4	33	Moderado	
	5. Generación de olor por remoción de sustrato durante el desbroce y trabajo marino.	-	2	2	1	1	4	2	1	1	2	23	Bajo	
	6. Contaminación de las aguas por desechos sólidos.	-	2	1	1	3	1	1	1	4	4	24	Bajo	
	7. Contaminación de las aguas por sedimentación.	-	4	2	1	2	1	4	1	4	3	34	Moderado	
	8. Generación de desechos líquidos.	-	2	2	1	1	1	4	1	4	4	27	Moderado	
	9. Erosión del suelo	-	4	2	1	2	4	4	1	4	3	37	Moderado	
	10. Contaminación por sustancia tóxica	-	2	1	1	1	1	4	1	4	3	24	Bajo	

FASE DE CONSTRUCCIÓN		TIPOLOGÍA DEL IMPACTO											IM	Descripción
		C	I	EX	SI	PE	EF	MO	AC	MC	RV	PR		
MEDIO	IMPACTO AMBIENTAL	+	Baja (1)	Puntual (1)	Sin	Fugaz (1)	Largo	Simple (1)	Inmediato (1)	Corto plazo (1)	Irregular (1)	≤25	Bajo	
		-	Media (2)	Parcial (2)	sinergismo (1)	Temporal (2)	término (1)							Medio
		Negativo	Alta (4)	Extensa (3)	Sinérgico (2)	Persistente (3)	término (2)	Acumulativo (2)	Mitigable (4)	Largo plazo (3)	Continuo (4).	De 51 a 75	Severo	
			Muy Alta (8)	Total (4)	Muy sinérgico (4)	Permanente (4)	Inmediato (4) Crítico (+4)		Irrecuperable (8)	Irreversible (4).	≥76	Crítico		
	11. Pérdida de reservorio de CO <sub>2</sub> por tala de manglar.	-	4	2	1	2	4	4	1	4	3	2	38	Moderado
	12. Pérdida de la cobertura boscosa	-	4	2	1	2	4	4	1	2	2	2	34	Moderado
BIOLÓGICO	13. Pérdida del hábitat como sitio de anidación y refugio de fauna.	-	2	2	1	2	4	4	1	4	3	2	31	Moderado
	14. Migración de la fauna silvestre.	-	2	1	1	2	4	4	1	2	2	2	26	Moderado
	15. Repoblación de bosque con especies nativas.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	16. Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> por restauración y compensación de manglar.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	17. Generación de empleo temporal.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
SOCIOECONÓMI CO-CULTURAL	18. Incremento de la economía local.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	19. Incomodidad por maquinaria en el área.	-	2	1	2	2	4	4	1	2	2	2	27	Moderado
	20. Posible deterioro de las vías públicas.	-	1	2	2	2	4	4	4	2	2	1	28	Moderado

FASE DE CONSTRUCCIÓN		TIPOLOGÍA DEL IMPACTO											IM	Descripción
		C	I	EX	SI	PE	EF	MO	AC	MC	RV	PR		
MEDIO	IMPACTO AMBIENTAL	+ Positivo	Baja (1)	Puntual (1)	Sin	Fugaz (1)	Largo	Simple (1) Acumulativo (2)	Inmediato (1) Med. plazo (2) Mitigable (4) Irrecuperable (8)	Corto plazo (1) Med. plazo (2) Largo plazo (3) Irreversible (4).	Irregular (1) Periódico (2); Continuo (4).	≤25 De 26 a 50 De 51 a 75 ≥76	Bajo Moderado Severo Crítico	
		-	Media (2)	Parcial (2)	sinergismo (1)	Temporal (2)	Indirecto (1)							Medio término (2)
		Negativo	Alta (4)	Extensa (3)	Sinérgico (2)	Persistente (3)	Directo (4)							Inmediato (4) Crítico (+4)
	21. Riesgos de accidentes viales.	-	4	1	2	4	4	4	1	8	4	4	45	Moderado
	22. Aumento de vibraciones	-	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	22	Bajo
PAISAJE	23. Alteración visual y paisajística.	-	2	2	1	2	4	2	1	2	3	2	27	Moderado

Fuente: PROYECO S.A., 2021.

El Impacto Aumento de Vibraciones se evaluó con una importancia de 22 considerado como bajo, debido a que los trabajos en el área de mar y cercanos al Conjunto Monumental tendría una intensidad media con una extensión parcial, y una persistencia temporal con un efecto indirecto. Adicional, no se realizó una valoración monetaria de este impacto debido a que su importancia es menor al solicitado que es de 29. De requerirse alguna aplicación de medida, se utilizará un porcentaje de lo dispuesto en el costo de la Gestión Ambiental.

3. En respuesta a la pregunta 13, de la primera información aclaratoria solicitada mediante nota DEIA-DEEIA-AC-0014-2001-2022, referente al literal **b**, donde se solicitaba realizar estudio relativo a las condiciones de oleaje, mareas y corrientes elaborado por profesional idóneo y sustentar la metodología utilizada. Al respecto, se indica que en Anexo 4 se presenta la información solicitada; sin embargo, en dicho anexo solo se presenta el Informe Geotécnico "Estudio de Suelos en Costa del Este". **Por lo que se solicita:**
- a. Realizar estudio relativo a las condiciones de oleaje, mareas y corrientes elaborado por profesional idóneo y sustentar la metodología utilizada.

### Respuesta 3, Sección a.

En el anexo, se presenta el Informe Técnico del Estudio de marea, oleaje y corriente, firmado por el profesional idóneo responsable de su elaboración.

República de Panamá

PROMOTOR: ENA SUR, S.A.



PROYECTO:

**“AMPLIACIÓN DE LOS ENTRONQUES COSTA DEL ESTE E  
HIPÓDROMO – CORREDOR SUR”**

***ANEXO***

ABRIL, 2022



**proyeco**

# AMPLIACIÓN DE LOS ENTRONQUES COSTA DEL ESTE – HIPÓDROMO- CORREDOR SUR

## ESTUDIO DE OLEAJE, MAREAS Y CORRIENTES

FECHA: abril de 2022

**PROYECO S.A.**

Avenida Los Periodistas,  
Urbanización Los Ángeles, Corregimiento de Betania, Panamá  
Teléfono: (507) 203-2989

[www.proyeco.es](http://www.proyeco.es)



**ROGER FIDEL SANJUR CASTILLO**  
INGENIERO CIVIL  
LICENCIA No. 2015-006-148

*Rojer*

FIRMA

Ley 15 del 26 de enero de 1959  
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	5
2. CLIMA .....	6
3. PRECIPITACIÓN .....	7
4. HIDROLOGÍA.....	11
4.1. Calidad de aguas superficiales .....	13
4.2. Identificación de los sitios propensos a inundaciones .....	14
5. PRINCIPALES FENÓMENOS OCEANOGRÁFICOS EN EL ÁREA DEL PROYECTO .....	16
5.1. Corrientes:.....	16
5.2. Aumento del nivel del mar .....	17
5.3. El afloramiento en el Golfo de Panamá .....	18
5.4. El Fenómeno del Niño .....	18
6. ANÁLISIS DE CONDICIONES DE VIENTO.....	19
7. MAREA.....	27
7.1. Establecimiento del nivel medio del Mar.....	28
7.1.1 Amplitud de mareas .....	33
7.2. Predicción de Mareas locales.....	34
8. OLEAJE .....	39
8.1. Condiciones hidrodinámicas de la Bahía de Panamá .....	52

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones Meteorológicas más cercanas al proyecto .....	8
Tabla 2. Hato Pintado, Precipitación Mensual 1987-2022.....	8
Tabla 3. Balboa FAA, Precipitación Mensual 1979-2022.....	9
Tabla 4. Resultados de análisis de agua de mar de la zona. ....	13
Tabla 5. Velocidades máximas de viento en m/s, por mes por dirección.....	21
Tabla 6. Periodos de retorno de la velocidad del viento según los datos de NOAA en el mar.....	27
Tabla 7. Niveles característicos de referencia de la Marea en Balboa.....	28
Tabla 8. Recurrencia de niveles Máximos de marea.....	31
Tabla 9. Marea Balboa FAA - Pacífico 2022 hoja 01/04 .....	35
Tabla 10. Marea Balboa FAA - Pacífico 2022 hoja 02/04 .....	36
Tabla 11. Marea Balboa FAA - Pacífico 2022 hoja 03/04 .....	37
Tabla 12. Marea Balboa FAA - Pacífico 2022 hoja 04/04 .....	38
Tabla 13. Diagrama de dispersión de olas del modelo WAVERYS. Dirección de pico espectral desde el SUR .....	46
Tabla 14. Diagrama de dispersión de olas del modelo WAVERYS. Dirección de pico espectral desde el SSW .....	46
Tabla 15. Condiciones de oleaje para cada periodo de retorno según dirección de incidencia de interes. ....	48
Tabla 16. Condiciones de Altura de ola significativa en el borde oceánico del .....	51

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Clasificación Climática de Panamá según McKay .....	6
Ilustración 2. Isoyetas anuales del área de estudio. ....	7
Ilustración 3. Grafica de Lluvia mensual estación Hato Pintado .....	9
Ilustración 4. Grafica de Lluvia mensual estación Balboa FAA.....	10
Ilustración 5. Gráfico Precipitación histórica estación Balboa FAA.....	11
Ilustración 6. Cuenca Hidrográfica de los Entronques .....	12
Ilustración 7. Índice de Calidad de aguas en los cauces aledaños al proyecto. ....	14
Ilustración 8. Mapa de Susceptibilidad a inundaciones, por cuenca. ....	15
Ilustración 9. Mapa de Zonas marino-costeras vulnerables al Cambio Climático. ....	16
Ilustración 10. Mapa de áreas inundables por aumento del nivel del mar. ....	18
Ilustración 11. Ubicación estaciones meteorológicas de referencia. ....	20
Ilustración 12. Velocidades Horarias máximas del viento por dirección .....	22
Ilustración 13. Velocidades Horarias máximas del viento por cuadrante.....	23
Ilustración 14. Distribución direccional de las velocidades horarias del viento. ....	24
Ilustración 15. Rosa de Frecuencia y velocidades media y máxima del Viento en el mar (1997 – 2006) .....	25
Ilustración 16. Rosa de Frecuencia de velocidades del viento clasificada por dirección (1997 – 2006)	25
Ilustración 17. Estadística de Frecuencia de Velocidades del Viento clasificada por dirección.....	26
Ilustración 18. Distribución y fases de la Marea Semidiurna .....	28
Ilustración 19. Niveles de referencia en estación Balboa .....	29
Ilustración 20. Regresión de niveles Máximos Anuales de Marea.....	30
Ilustración 21. Línea de tendencia niveles Medios anuales en la Estación Balboa.....	32
Ilustración 22. Periodo de retorno de niveles extremos en Balboa incluyendo el efecto del cambio climático .....	33
Ilustración 23. Predicción de marea locales, valores máximos año 2022.....	34
Ilustración 24. Oleaje oceánico hacia la Ciudad de Panamá. ....	40
Ilustración 25. Ubicación de punto de grilla modelo Waverys Copernicus. ....	41
Ilustración 26. Rosa de alturas significativa de olas por dirección de incidencia media. ....	42
Ilustración 27. Rosa de alturas significativa de olas clasificada por dirección de incidencia del pico de energía.....	43
Ilustración 28. Rosa de período de pico de olas clasificada por dirección de incidencia media .....	44
Ilustración 29. Rosa de período de pico de olas clasificada por dirección de incidencia del pico de ....	45
Ilustración 30. Distribución seleccionada para alturas de olas provenientes del SUR .....	47
Ilustración 31. Distribución de extremos seleccionada para alturas de olas provenientes del SSW.....	48
Ilustración 32. Transformación de olas oceánicas provenientes del SWW. ....	50
Ilustración 33. Transformación de olas oceánicas provenientes del Sur .....	50
Ilustración 34. Alturas significativas de ola generadas por vientos locales de 11 m/s de intensidad ...	52
Ilustración 35. Modelación Hidrodinámica. ....	53
Ilustración 36. Modelación Hidrodinámica. ....	53

## 1. INTRODUCCIÓN

El Golfo de Panamá está caracterizado por su pendiente leve que hace que su plataforma continental tenga una gran extensión (plataforma continental amplia) y la cual aporta características particulares a toda su extensión. En el Golfo de Panamá, la oceanografía y la calidad del agua están altamente influenciadas por dos macadas estaciones climáticas. Este golfo tiene una figura semicircular de unos 28,850 km<sup>2</sup>, que alcanza los 200 metros de profundidad a unos 170 km de la entrada sur del Canal de Panamá y tiene una profundidad promedio de 60m. El Golfo de Panamá presenta un intricado sistema de corrientes, denominado la Contracorriente Ecuatorial, también conocida como Corriente Colombiana, que se mueve de Este a Oeste. Esta corriente es más fuerte en los meses de septiembre y octubre, con una velocidad promedio de 0.3 nudos (0.15cm/s) a 18 m de profundidad y 0.7 nudos (0.35cm/s) a 36 m de profundidad

Las mareas son muy diferentes en ambas costas de Panamá, en la costa del pacifico, las mareas son semi-diurnas, variando mucho (aproximadamente 5m). En el caribe, las mareas son diurnas o semi-diurnas, tienen menos variación (aproximadamente 1 m), son irregulares y ampliamente influenciada por las condiciones meteorológicas.

El fenómeno del niño provoca ocasionalmente cambios drásticos en las aguas del golfo, incluyendo un aumento en la temperatura del agua, y la salinidad, acompañado de un descenso en las concentraciones de nutrientes en el Golfo de Panamá.

Por lo antes mencionado, para el **proyecto** denominado “**AMPLIACIÓN DE LOS ENTRONQUES COSTA DEL ESTE E HIPÓDROMO – CORREDOR SUR**”, se está presentado este estudio de oleaje, mareas y corrientes que complementa la información brindada en el estudio de impacto ambiental. Para este estudio, se presenta información de las mareas, condiciones de precipitación, las corrientes y alturas del oleaje, el cual, la empresa ejecutora tendrá en cuenta durante las actividades en el tramo marino.

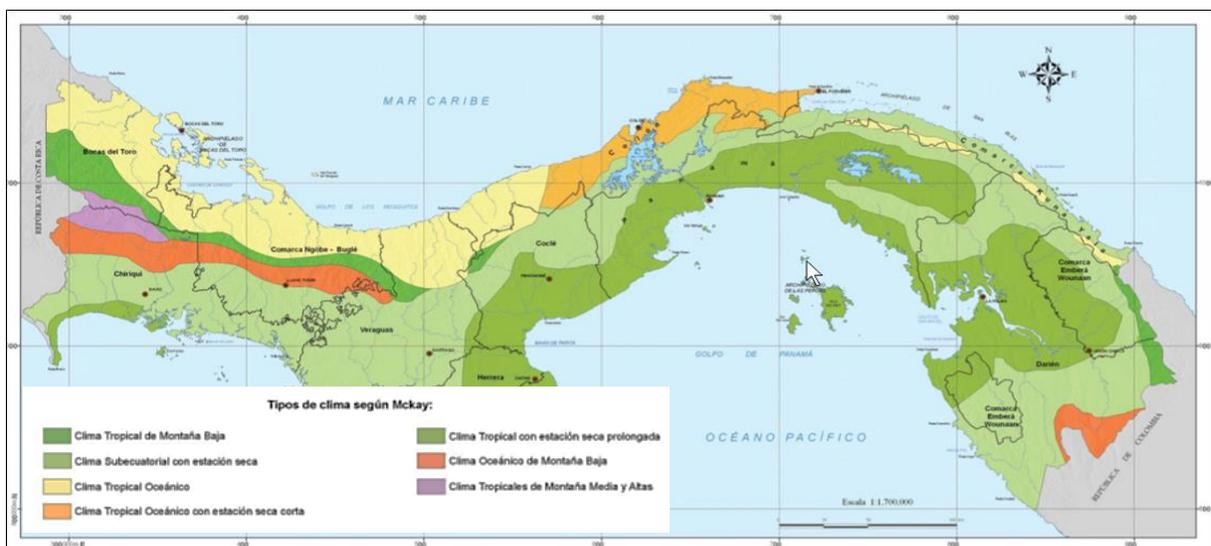
## 2. CLIMA

Panamá está ubicado dentro de la zona ecuatorial de baja presión en donde convergen los vientos alisios del hemisferio norte y el hemisferio sur para formar la zona de convergencia intertropical (ZCIT). Las grandes masas oceánicas del caribe y del pacífico son la principal fuente de humedad en la atmósfera.

El clima de la zona tiene una gran influencia marítima, las masas de aire que se desplazan en ambas vertientes está determinada por la interacción océano-atmósfera, que caracteriza el calor y la humedad del mismo. Asimismo, el relieve del territorio afecta el régimen térmico del aire y la circulación atmosférica, y modula el régimen pluviométrico.

El proyecto se ubica en un área de Clima Tropical Oceánico con Estación Seca Prolongada acorde a la clasificación climática del Dr. Alberto A. McKay (2000). Este tipo de clima se caracteriza por temperaturas medias de 27 a 28°C, a temperatura promedio anual máxima es de 32.0 ° C y la mínima es de 22.0 ° C. Durante la estación seca presenta fuertes vientos, con predominio de nubes medias y altas; hay baja humedad relativa y fuerte evaporación. Los totales pluviométricos anuales, siempre inferiores a 2,500 mm, siendo los más bajos de todo el país.

Ilustración 1. Clasificación Climática de Panamá según McKay

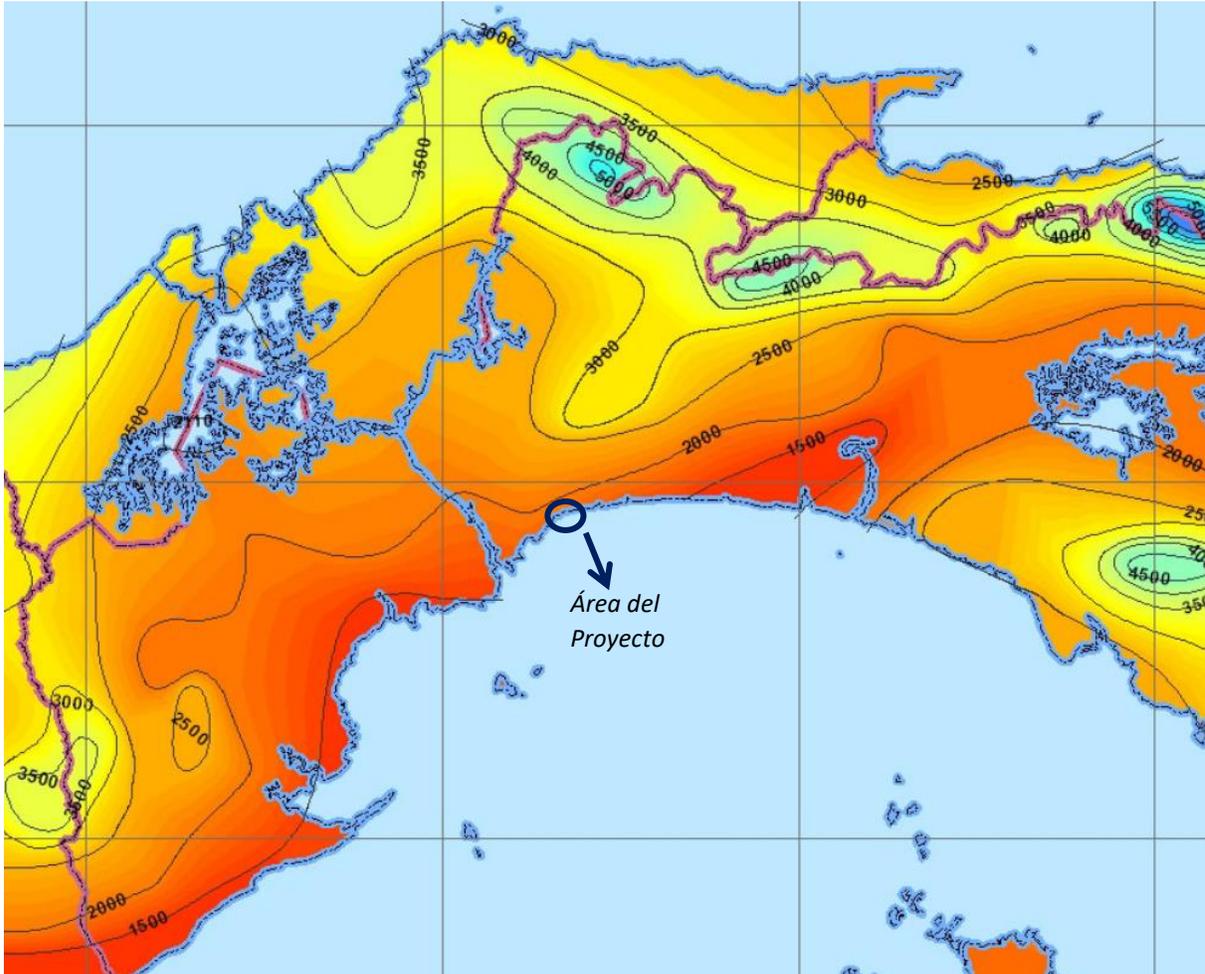


Fuente: Atlas Ambiental de la Republica de Panama, 1era Version, 2010, MiAmbiente,

### 3. PRECIPITACIÓN

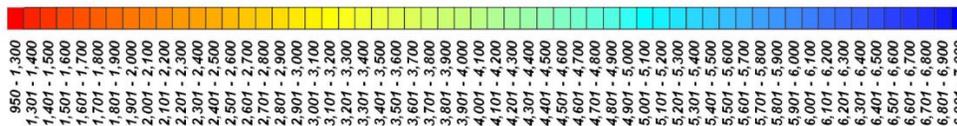
El área del proyecto se encuentra en un rango de precipitación según el mapa de isoyetas de la República entre 1,500 y 2,000mm.

Ilustración 2. Isoyetas anuales del área de estudio.



**LEYENDA**

Precipitación en Milímetros



Límites

-  costa y lagos
-  límite internacional
-  límite provincial

Fuente: Empresa de Transmisión Eléctrica (ETESA S.A.) 2007.

Para el análisis y desarrollo de las características de la precipitación de la zona se utilizaron los datos históricos de las siguientes estaciones meteorológicas, que son las más cercana al proyecto.

**Tabla 1. Estaciones Meteorológicas más cercanas al proyecto**

Código	Nombre	Provincia	Tipo de estación	Elevación msnm	Coord. Este	Coord. Norte	Operador	Período de Estudio
142-020	Hato Pintado	Panamá	CA	45	663297	996197	ETESA	2010-2020
142-017	Balboa FAA	Panamá	AA	10	659466	991727	ACP	2010-2020

Fuente: ETESA S.A.

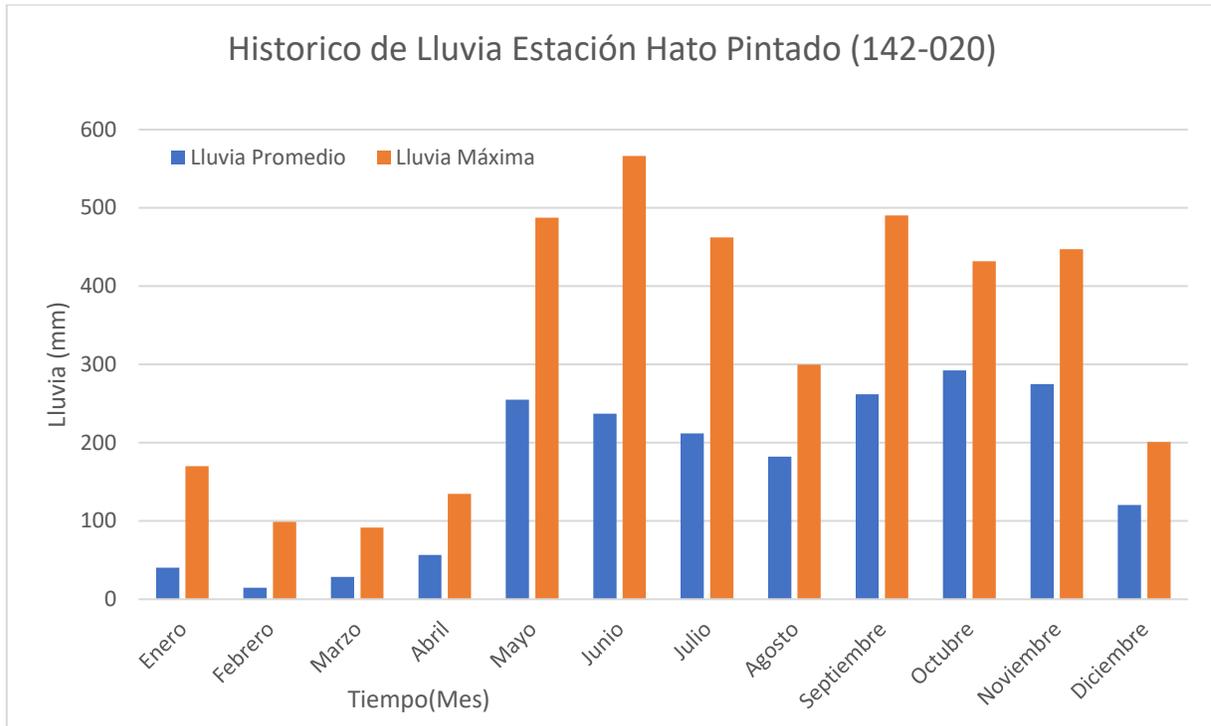
A continuación, se muestran los datos de precipitación histórica presentados por ETESA sobre la lluvia promedio mensual y lluvia máxima mensual histórica en la estación de Hato Pintado (142-020).

**Tabla 2. Hato Pintado, Precipitación Mensual 1987-2022.**

Meses	Precipitación promedio	Precipitación Máxima
	(mm)	(mm)
Enero	33.5	124
Febrero	16.9	54
Marzo	26.5	168
Abril	68.2	153.9
Mayo	266	454.5
Junio	228.5	366
Julio	213.9	395.7
Agosto	225.7	392.4
Septiembre	261.1	529.8
Octubre	285.5	454.6
Noviembre	297.3	518
Diciembre	120.7	309.7

Fuente: ETESA, S.A.

**Ilustración 3. Grafica de Lluvia mensual estación Hato Pintado**



Fuente: ETESA, S.A.

Según los datos históricos, se presentan períodos de poca lluvia entre los meses de enero a marzo, con lluvias que no superan los 35mm al mes en promedio, mientras que los meses de transición de abril y diciembre muestran promedios de lluvia entre 60 y 120mm. El resto de los meses corresponden al periodo lluvioso, los promedios mensuales están entre 213 y 300mm de lluvia, siendo noviembre el mes más lluvioso con 297.3mm como promedio.

En la siguiente tabla, se muestra los datos de precipitación máxima mensual de la estación Balboa FAA (142-017).

**Tabla 3. Balboa FAA, Precipitación Mensual 1979-2022.**

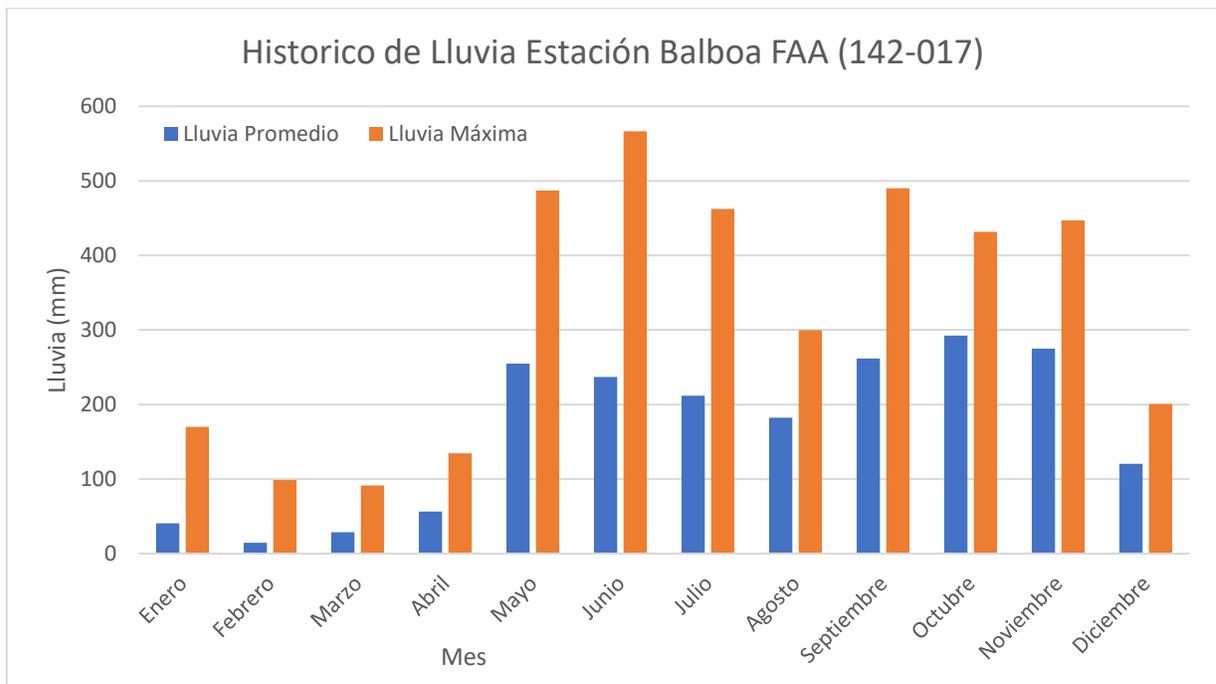
Meses	Precipitación promedio	Precipitación Máxima
	(mm)	(mm)
Enero	40.5	170.1
Febrero	14.8	98.9
Marzo	28.6	91.4
Abril	56.4	134.5
Mayo	255.1	487.3

Meses	Precipitación promedio	Precipitación Máxima
	(mm)	(mm)
Junio	237	566.3
Julio	211.7	462.2
Agosto	182.3	299.7
Septiembre	261.7	490.2
Octubre	292.3	431.7
Noviembre	274.8	447.1
Diciembre	120.6	200.7

Fuente: ETESA, S.A.

El periodo de poca lluvia fue en los meses de enero a marzo con valores que no superan los 45mm, mientras que los meses de mayo, septiembre, octubre, y noviembre presentan los valores máximos entre 255.1 y 292.3 mm en promedio mensual.

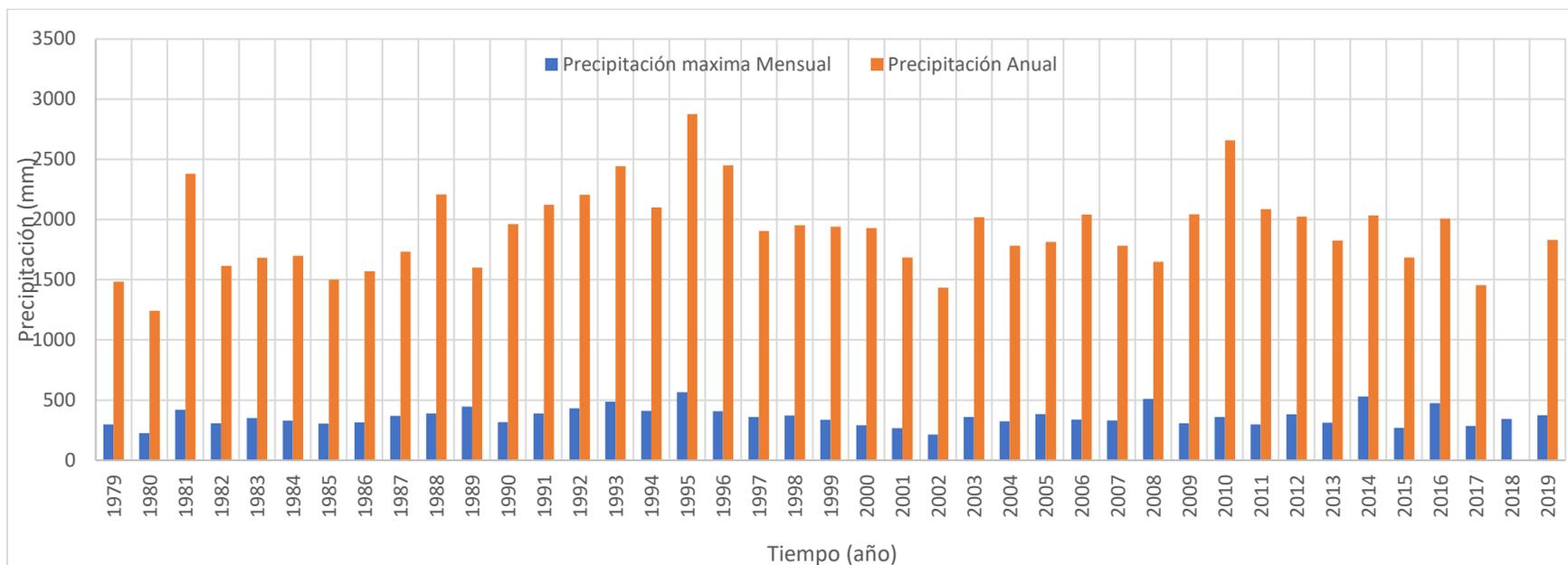
**Ilustración 4. Grafica de Lluvia mensual estación Balboa FAA**



Fuente: ETESA, S.A.

Se demuestra que para el 1995 fue el año más lluvioso con una precipitación anual de 2875.3 mm, seguido el año 1981 con un valor de 2380 mm y el año más seco fue en el 1980 con una precipitación de 1242.1mm.

Ilustración 5. Gráfico Precipitación histórica estación Balboa FAA



Fuente: Elaboración propia, Datos: STRI, Monthly summaries of the Panama Canal Authority meteorological monitoring program

#### 4. HIDROLOGÍA

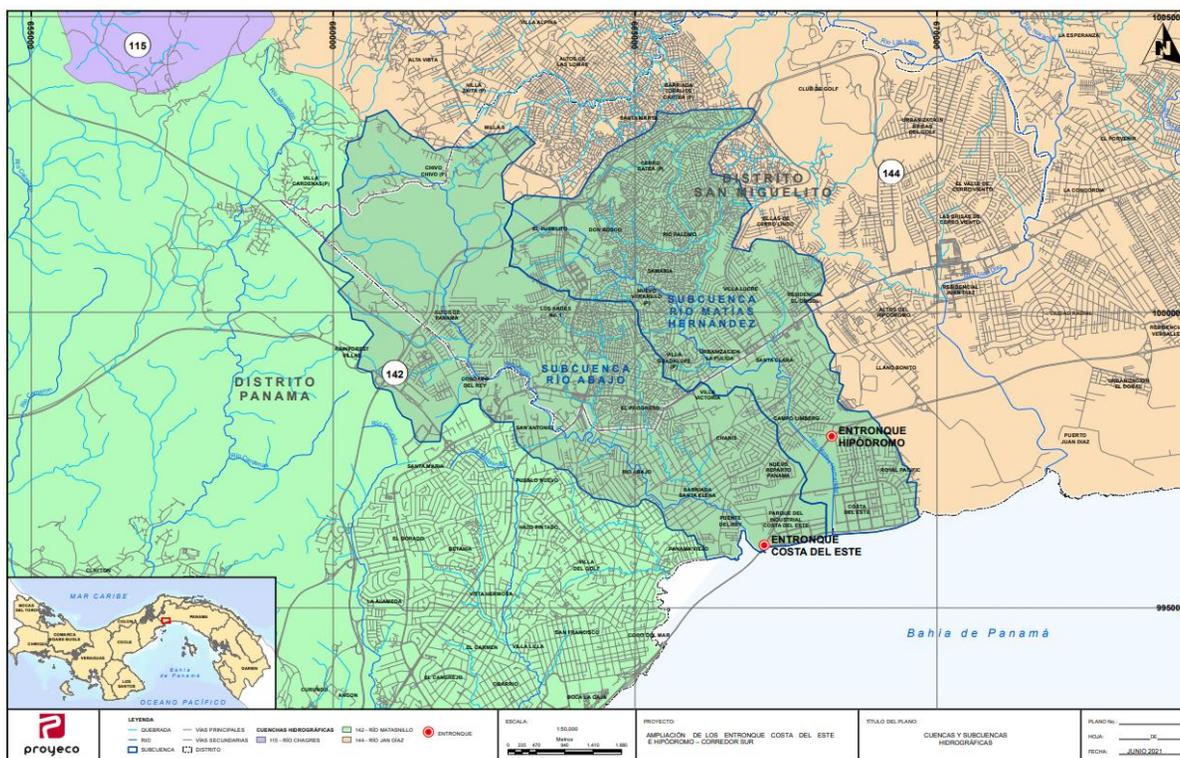
El territorio continental e insular de la república de Panamá, con un área de 75,524 km<sup>2</sup>, se ha dividido en 52 cuencas hidrográficas. De estas cuencas, 18 están en la vertiente del mar Caribe (30% del territorio nacional) y le corresponden números impares comenzando desde la 87 hasta la 121; y 34 pertenecen a la vertiente del océano Pacífico (70% del territorio nacional), con números pares desde la 100 hasta la 166.

Ambos Entronques pertenecen a la Cuenca Hidrográfica 142; correspondiente a los ríos Caimito y Juan Díaz, con una superficie de 383.0 km<sup>2</sup>, siendo el Río Matasnillo el más importante de la cuenca con 6 km, y está dentro de la región hídrica del Pacífico Central. Dentro de la huella del proyecto no se cuenta con presencia de cuerpos de agua fluviales.

## ENTRONQUE DE COSTA DEL ESTE

Este Entronque se encuentra a aproximadamente 377.3 metros al oeste de la desembocadura del río “Rio abajo” en el Océano Pacífico, y a 1.1 kilómetros al este de la desembocadura del Río “Matías Hernández”. Adicional, los trabajos serán desarrollados en una zona costera, por lo que si hay presencia de masas continentales del Océano Pacífico.

Ilustración 6. Cuenca Hidrográfica de los Entronques



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1. Calidad de aguas superficiales

El proyecto no interviene en ningunos de los cauces próximos a la zona.

Para el caso de la calidad de agua de mar, es importante resaltar que el área del proyecto se encuentra cerca de dos desembocaduras de los ríos Matías Hernández y Matasnillo, los cuales arrojan un ICA (Índice de calidad de agua) entre contaminado y altamente contaminado, según información del Atlas Ambiental de Panamá. Cabe destacar que la calidad del agua marina se ve contaminada desde estos puntos, además de otros factores antropogénicos, provenientes principalmente de las actividades realizadas por los seres humanos en el mar. En la Ilustración 7, se puede apreciar el mas de 80% de los ríos de la cuenca 142 se encuentran contaminados y altamente contaminados, por lo que se incluyen en esta cifra a los ríos "Rio Abajo" y "Matías Hernández", que son los más próximos al área de estudio.

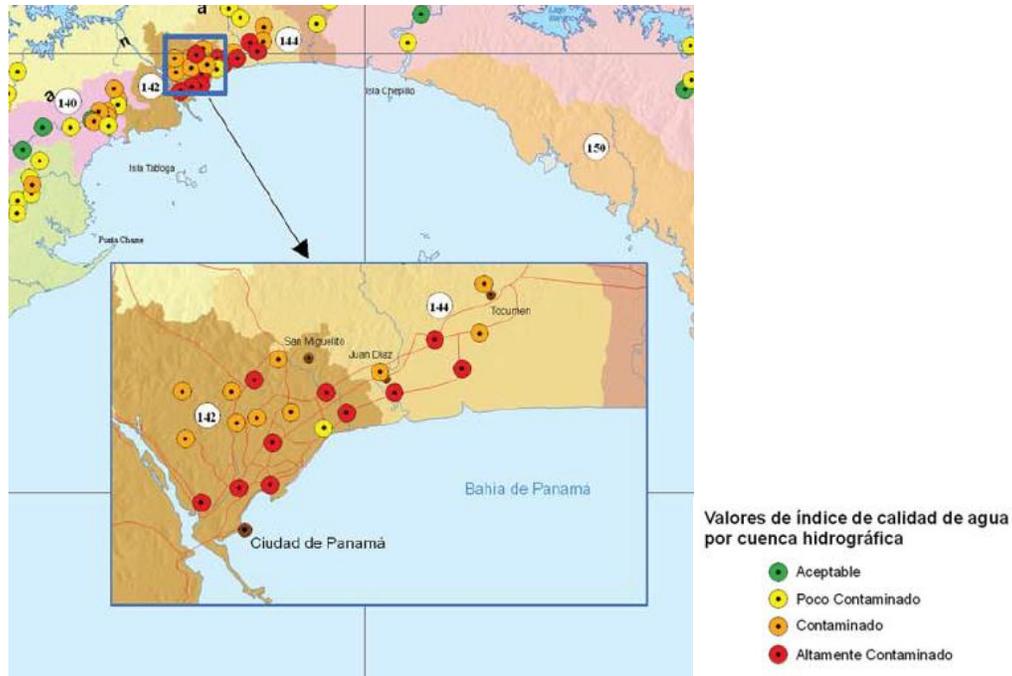
Para el presente Proyecto sea ha realizado un muestreo u análisis de agua de mar en donde se han obtenido resultados superior al límite máximo de distintos parámetros que se muestran a continuación.

**Tabla 4. Resultados de análisis de agua de mar de la zona.**

Parámetro	Símbolo	Unidad	Método	Resultado	Incertidumbre	L.M.C.	Límite máximo
Coliformes Termotolerantes o Fecales	C.F.	NMP/ 100 mL	SM 9222 D	21000,00	± 354,9	1,0	<50,0
Coliformes totales	C.T.	NMP/ 100 mL	SM 9223 B	72700,00	±1228,6	1,0	<500,0
Demanda Bioquímica de oxígeno	DBO5	mg/L	SM 5210 B	31,50	±0,51	1,0	<2,0
Solidos Suspendidos	S.S.T.	mg/L	SM 2540 D	434,44	±3,0	7,0	<50,0
Turbiedad	UNT	UNT	SM 2130 B	232,50	±0,03	0,07	<25,0

*Fuente: Elaboración propia, Análisis por Laboratorio Ambiental y de higiene ocupacional ENVIRLAB*

**Ilustración 7. Índice de Calidad de aguas en los cauces aledaños al proyecto.**



*Fuente: Mapa de índice de calidad de agua de Panamá.*

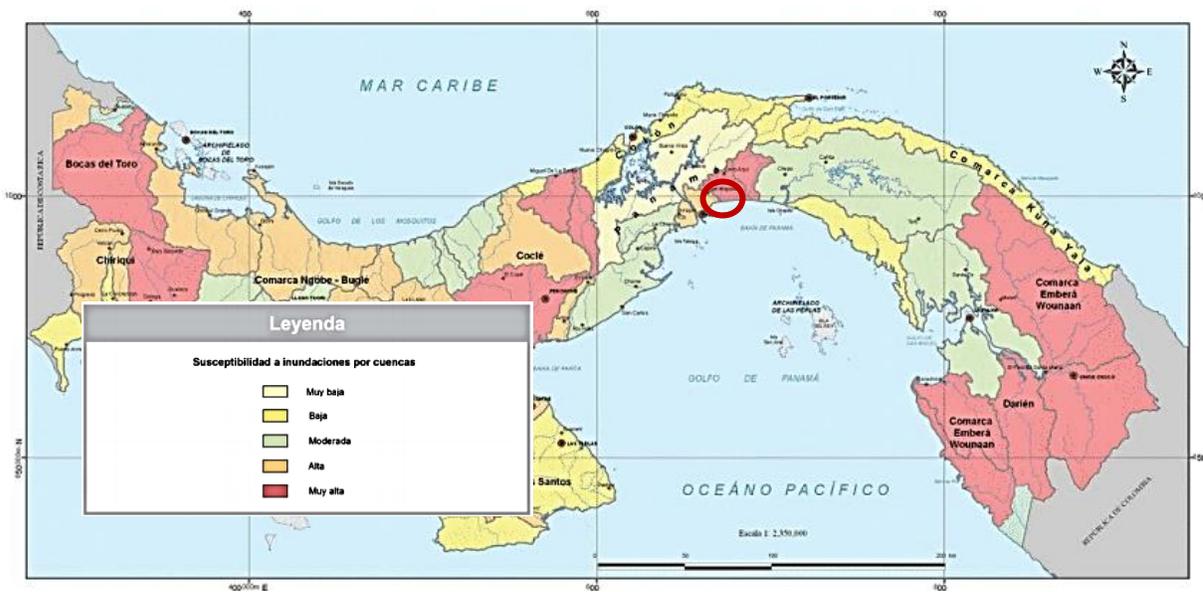
La calidad del agua superficial se verá afectado durante la fase de construcción por las siguientes actividades: perforación en lecho marino y construcción de las obras hidráulicas. La calidad del agua puede ser descrita por distintos parámetros físicos, químicos, bioquímicos y bacteriológicos. Por el tipo de actividad se seleccionó a los sólidos totales suspendidos (turbiedad) como el parámetro para valorar el cambio de calidad del agua.

#### **4.2. Identificación de los sitios propensos a inundaciones**

El último evento de magnitud que reveló el patrón de vulnerabilidad creciente en el país se remite a diciembre de 2010, cuando fuertes lluvias que se prolongaron por 17 horas, provocaron inundaciones que impactaron seriamente al país, dejando a gran parte de la ciudad de Panamá sin agua potable por semanas. Las lluvias obligaron al cierre del tránsito en el Canal de Panamá, hecho que solo había ocurrido tres veces en los 96 años de operación de este pasaje bi-oceánico estratégico (Sanahuja, 2011).

Según el mapa de susceptibilidad a inundaciones por cuenca del Atlas Ambiental de la República de Panamá (2010) el área (cuenca 142) presenta una susceptibilidad alta a inundaciones. Esta información basada en datos obtenidos de acuerdo con los registros de inundaciones de la base de datos de SINAPROC. En referencia a este riesgo, cabe resaltar que las inundaciones registradas en las cuencas de la ciudad de Panamá suelen ser producidas por la obstrucción de cauces por desechos sólidos depositados en estos, aunados a altos índices de precipitación. Sin embargo, como ya ha sido mencionado anteriormente, el área de influencia directa del proyecto no se encuentra próxima a ríos ni se requiere de estos recursos para ninguna de las actividades del proyecto.

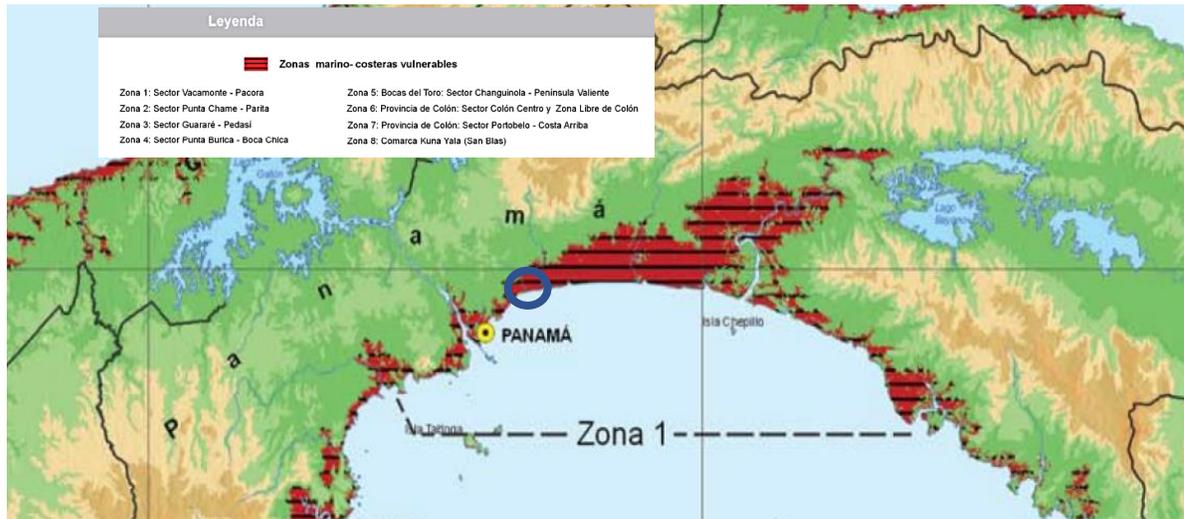
**Ilustración 8. Mapa de Susceptibilidad a inundaciones, por cuenca.**



*Fuente: Ministerio de Ambiente, Atlas Ambiental, 2010*

En Panamá, se han identificado 8 zonas costeras vulnerables a los efectos de este fenómeno ambiental, abarcando una de ellas el área de influencia directa del Entronque a realizarse en Costa del Este. Se trata de la Zona N°1, que va desde Vacamonte hasta Pacora, con una extensión de 64,572 ha. Las ocurrencias de inundación por oleajes, o subidas de nivel del mar fuera de lo usual, son inexistentes en toda la zona, sin embargo, es considerada una zona de riesgo por encontrarse en área de costa.

**Ilustración 9. Mapa de Zonas marino-costeras vulnerables al Cambio Climático.**



*Fuente: Ministerio de Ambiente, Atlas Ambiental, 2010*

## 5. PRINCIPALES FENÓMENOS OCEANOGRÁFICOS EN EL ÁREA DEL PROYECTO

### 5.1. Corrientes:

Nuestro país tiene un sistema de corrientes particular y muy propio de ambientes costeros con diferencias significativas entre ambos sectores Caribe y Pacífico e inclusive el Pacífico presenta características divergentes en sus cuerpos de agua.

El patrón prevaleciente de corrientes en el Golfo de Panamá básicamente está dominado por la presencia ciclónica de la Corriente de Colombia, que presenta un ancho en superficie de 200 km y ejerce una influencia hasta los 250 m de profundidad. La misma viaja de este a oeste, inicia su recorrido en las costas de Darién y termina en la de Los Santos, con una velocidad que oscila entre 0.3 a 1.5 nudos, según la época del año (generalmente son más fuertes durante la época lluviosa). De igual manera, su proximidad o lejanía de la costa, varía con las condiciones ambientales<sup>1</sup>.

Durante la fase ascendente de la marea y ante las condiciones de flujo en la Bahía, se presentan velocidades medias de 0.16 a 0.25 m/s con dirección noroeste, aunque esto puede variar en su dirección y de magnitud en la parte interior de la Bahía,

<sup>1</sup> IGNTG. 2007

respondiendo a las condiciones geomorfológicas del fondo marino. En tanto que, durante la fase descendente, reflujo, el patrón de circulación sigue las direcciones de la configuración de la costa y el fondo hacia el Sur, Sudeste y Sudoeste. En la pleamar y particularmente en bajamar, las corrientes son muy pequeñas, aunque en mareas vivas tienden a aumentar. De acuerdo con los resultados obtenidos por Arauz (2002), existe un retraso de fase de 90° entre el máximo nivel de marea y el máximo de la intensidad de corrientes de mareas, esto significa, que en momentos extremos del nivel del mar (pleamar y bajamar) las corrientes deben ser cero en ausencia de otras corrientes.

Las corrientes de las costas del Pacífico, se presenta con más fuerza durante la estación lluviosa y se desplaza a una velocidad entre 0. Y 1.5 nudos dependiendo de la época del año, y un ancho en superficie de 20km y ejerce una influencia de 250m de profundidad<sup>2</sup>.

## **5.2. Aumento del nivel del mar**

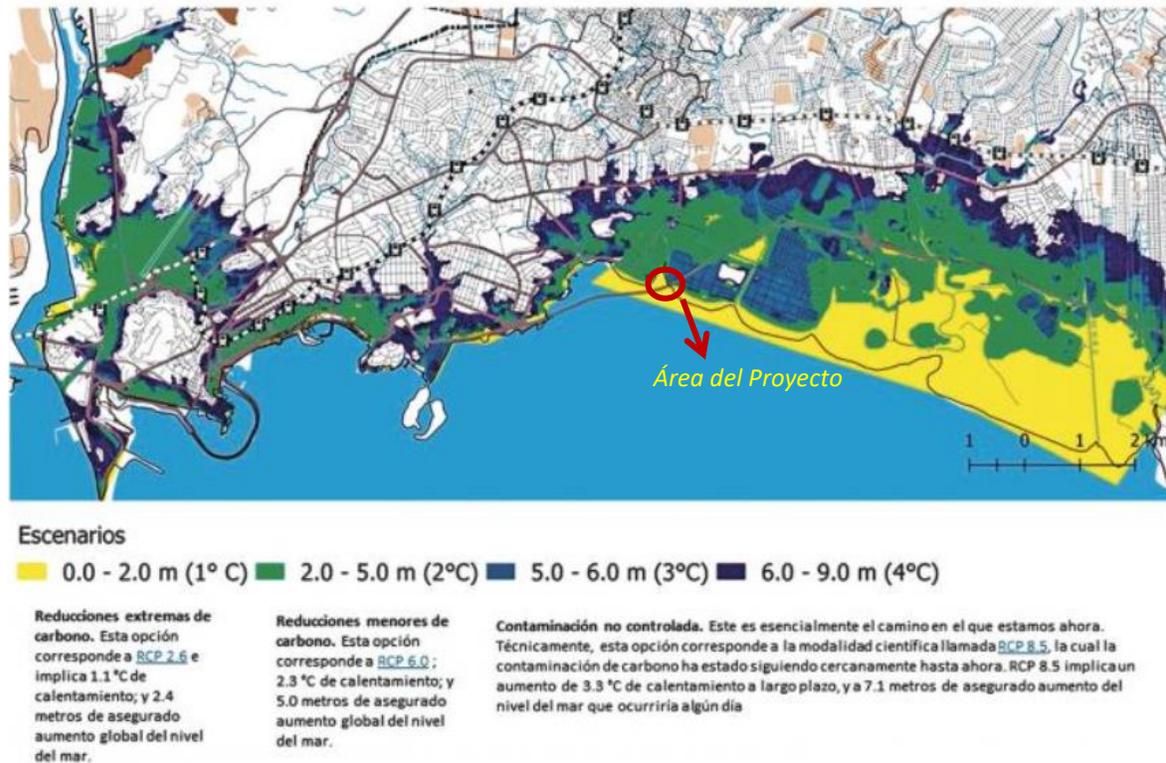
El nivel del mar en el Océano Pacífico está ascendiendo un promedio de 1.5 mm por año, es decir 15 cm por siglo, ver Ilustración 21. Este ascenso puede estar atribuido al fenómeno del calentamiento global está produciendo el deshielo de los Polos. Por tal motivo, esta tasa de ascenso podría aumentar con el pasar del tiempo sino logra controlarse la producción de monóxido de carbono y otros gases de efecto invernadero que retiene la atmósfera.

En un informe del IPCC, se establece que este proceso continuará más allá de 2100, incluso si se logra una reducción en la emisión de los gases de invernadero. Esto como efecto del aumento de la temperatura global, previsto para 2030, el cual puede causar suficiente "inestabilidad de la capa de hielo marino en la Antártida o la pérdida irreversible de la capa de hielo de Groenlandia, lo que podría provocar un aumento de varios metros en el nivel del mar durante cientos o miles de años".

---

<sup>2</sup> ARAP (2010). EsIA en Zonas Marino Costeras y Aguas Continentales.

Ilustración 10. Mapa de áreas inundables por aumento del nivel del mar.



Fuente: Metromapas.net

Entre las áreas bajo riesgo por el aumento del nivel del mar estarían barrios con un alto valor de la vivienda, como la zona costera de Bella Vista, San Francisco, Costa del Este y Santa María, barrios de clase media como Chanis y Río Abajo y barrios pobres, como El Chorrillo y Boca La Caja.

### 5.3. El afloramiento en el Golfo de Panamá

En el Golfo de Panamá se observa el fenómeno de afloramiento durante la estación seca. Entre mediados de diciembre y finales de abril, los vientos alisios del Norte y Noroeste soplan con violencia, esto produce un desplazamiento del agua superficial hacia mar afuera, en dirección sur. Esta agua es reemplazada por agua proveniente de los 75 a 150m de profundidad.

### 5.4. El Fenómeno del Niño

El Pacífico, es afectado severamente por el fenómeno de El Niño, el cual, ocasiona cambios drásticos en todos los parámetros ambientales, entre estos, se destacan un

notable aumento en la temperatura del agua y la salinidad, acompañado de un descenso en las concentraciones de nutrientes en el Golfo de Panamá, lo que a su vez produce una merma en la productividad de las aguas costera. Sin embargo, el mejor indicio de la presencia del fenómeno dentro del Golfo de Panamá lo constituye el aumento en el nivel del mar.

## **6. ANÁLISIS DE CONDICIONES DE VIENTO**

En primer lugar, se analizan los datos diarios de viento disponible en la página web de hidromet (ETESA) de las estaciones "Albrook (AAC)" y "Tocumen (AAC)". El periodo de análisis de ambas estaciones es de enero 2013 a marzo 2022.

- Albrook AAC: Aeropuerto Marcos A. Gelabert, Autoridad de Aeronáutica Civil (AAC)
- Tocumen AAC: Aeropuerto INTL. de Tocumen, Autoridad de Aeronáutica Civil (AAC)

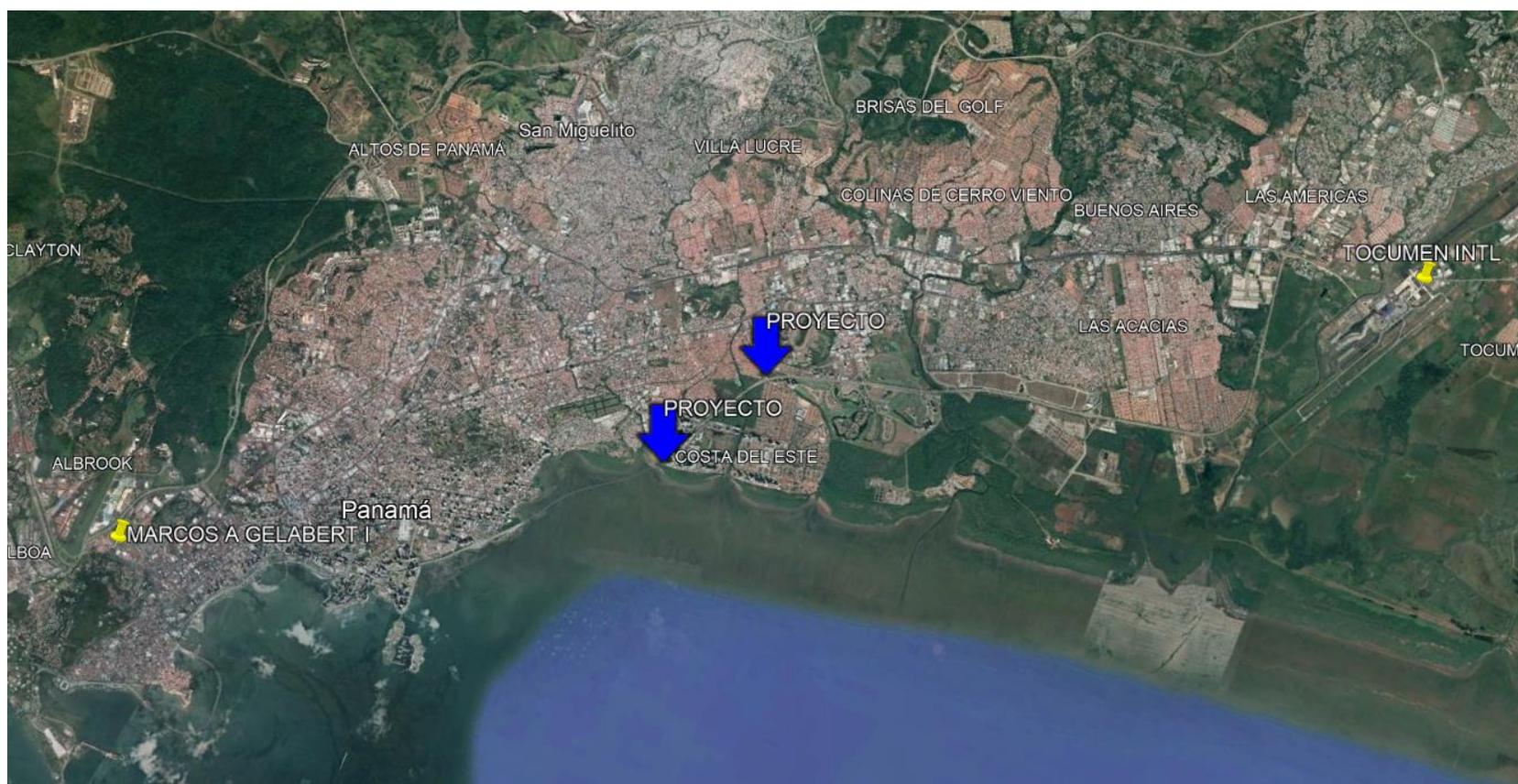
Las ubicaciones de las estaciones en los aeropuertos se muestran en Ilustración 11.

Si bien la longitud del registro de la estación de Aeropuerto Marcos A. Gelabert es adecuada para este tipo de análisis, se encuentra afectada por la presencia de elevaciones orográficas (Cerro Ancón) y antrópicas (edificios de la ciudad).

Finalmente, para apreciar la dirección y valores máximos de intensidad de viento se ha utilizado la estación del Aeropuerto INTL. de Tocumen.

Por otro lado, se verificó que los mayores valores de intensidad horaria decaen rápidamente, por ejemplo, la intensidad máxima de 12.9 m/s, si se promedia en dos horas cae a 12.35 m/s y si se promedia en 3 horas, a 10.8 m/s. Cabe destacar que para que se genere en la zona un oleaje de altura significativa relevante, se requiere que el viento tenga una duración del orden de 3 horas.

**Ilustración 11. Ubicación estaciones meteorológicas de referencia.**



*Fuente: Elaboración propia.*

A continuación, se muestra la tabla de valores máximo de viento en la Estación Tocumen (AAC) por mes Por dirección de viento.

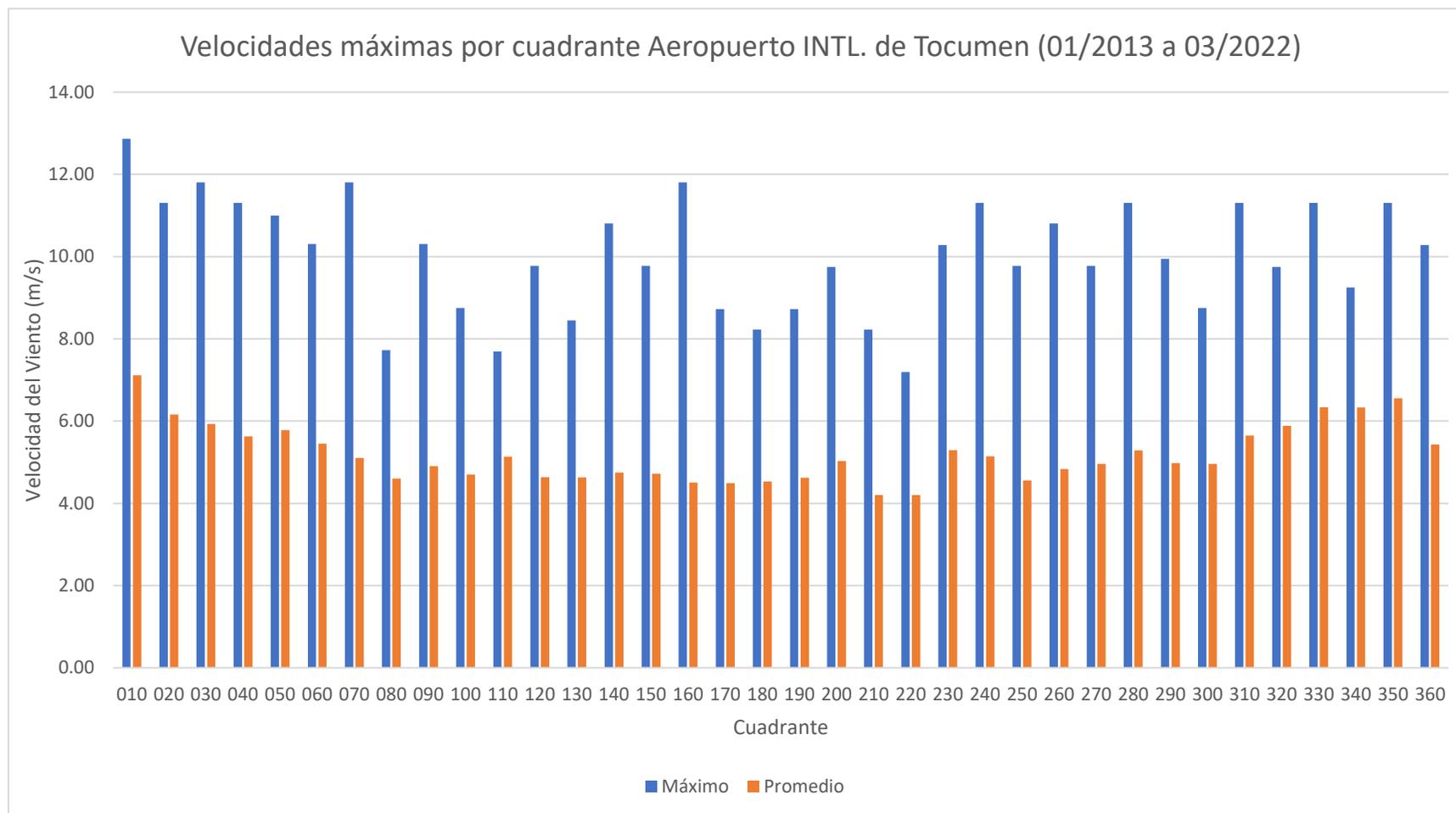
**Tabla 5. Velocidades máximas de viento en m/s, por mes por dirección.**

Dirección	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Max. general
N	11.31	11.31	11.81	8.72	11.31	7.69	11.31	9.25	9.78	12.86	11.00	10.81	11.81
NNE	10.31	11.31	10.78	11.81	7.72	8.75	10.81	10.81	7.19	7.69	6.19	9.25	11.81
NE	9.78	11.00	11.31	8.22	8.22	6.19	10.81	11.31	7.19	7.19	7.19	9.00	11.31
ENE	8.72	7.19	10.28	11.81	10.28	11.31	10.31	7.72	9.50	10.31	7.72	9.78	11.81
E	6.17	6.67	8.22	5.67	7.22	10.31	6.17	6.69	8.75	6.19	7.72	7.72	10.31
ESE	5.14	5.67	5.67	2.56	9.78	7.22	7.19	6.17	6.69	6.69	7.69	5.14	9.78
SE	5.14	5.14	6.69	7.19	8.44	8.22	10.81	7.19	5.67	7.19	5.56	4.64	10.81
SSE	5.14	4.64	6.17	6.17	6.69	6.47	6.17	7.72	6.69	11.81	9.78	4.11	11.81
S	6.36	5.50	7.72	7.72	7.72	6.17	7.72	6.69	8.72	7.50	8.72	6.17	8.72
SSO	4.11	4.11	5.14	6.69	6.17	6.69	7.19	8.22	7.19	9.75	9.25	5.67	9.75
SO			6.17	7.19	7.72	10.28	8.22	4.64	5.67	7.19	7.19		10.28
OSO	7.19	8.72		6.17	5.67	5.14	8.22	9.78	7.19	5.00	11.31	4.11	11.31
O	7.19	8.22	7.72	11.31	7.19	7.72	7.19	11.31	9.78	10.28	10.81	7.72	11.31
ONO	8.75	7.72	9.25	8.22	7.00	6.17	7.72	9.94	8.22	7.00	7.50	7.19	9.94
NO	8.22	11.31	11.00	7.50	5.64	8.75	7.72	8.22	9.25	9.25	8.22	9.75	11.31
NNO	9.25	9.78	8.33	9.94	8.22	8.22	6.17	5.64	11.31	7.19	6.17	7.00	11.31
Max general	11.31	11.31	11.81	11.81	11.31	11.31	11.31	11.31	11.31	12.86	11.31	10.81	12.86

Fuente: Elaboración propia, datos: Hidromet, ETESA Panamá, Datos diarios Estación Tocumen (AAC).

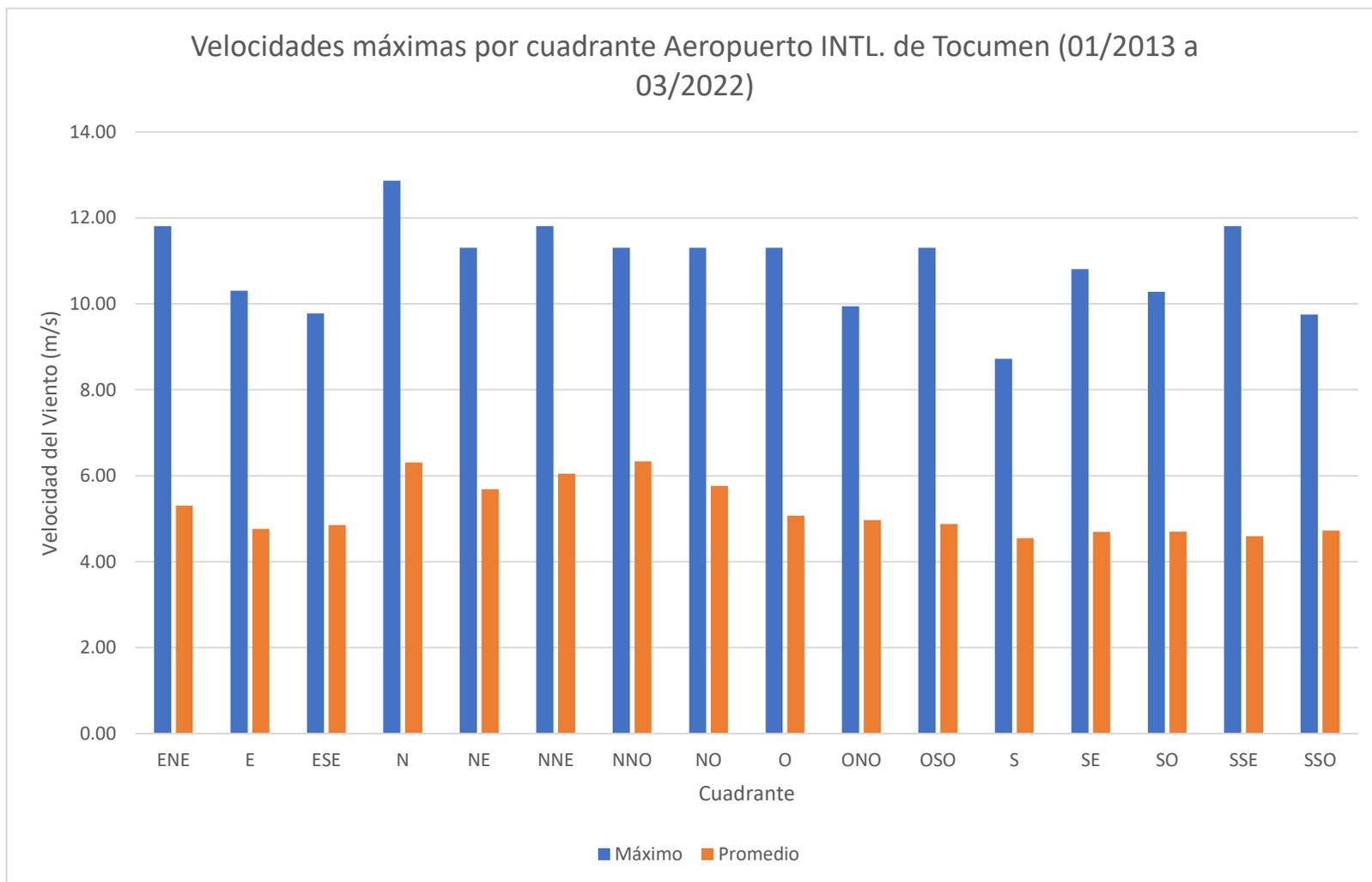
Luego de analizar los datos se obtienen las siguientes graficas:

Ilustración 12. Velocidades Horarias máximas del viento por dirección



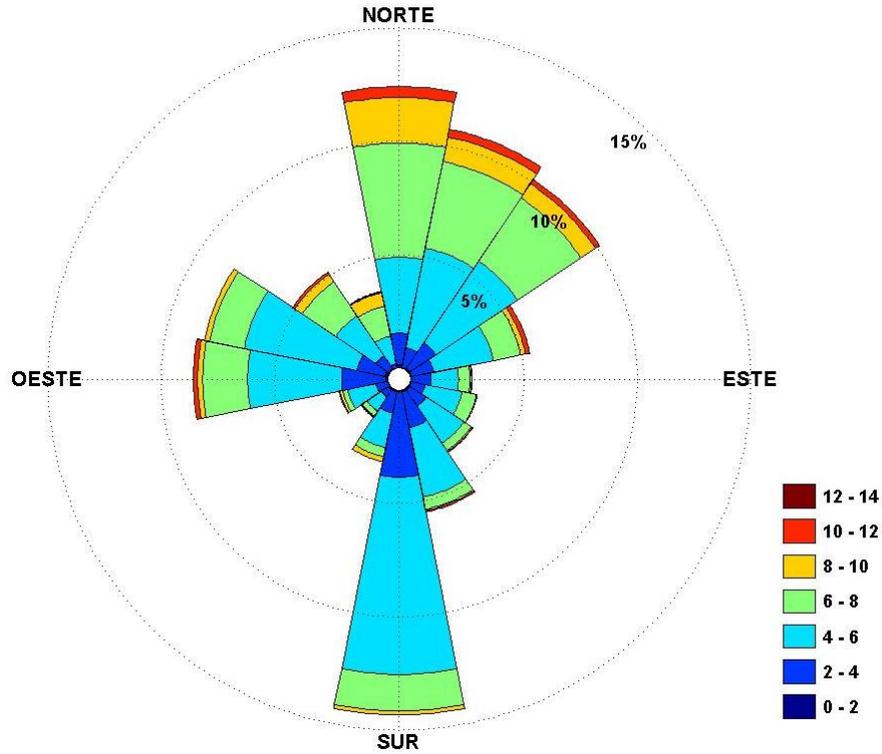
Fuente: Elaboración propia, datos: Hidromet, ETESA Panamá, Datos diarios Estación Tocumen (AAC).

Ilustración 13. Velocidades Horarias máximas del viento por cuadrante



Fuente: Elaboración propia, datos: Hidromet, ETESA Panamá, Datos diarios Estación Tocumen (AAC).

Ilustración 14. Distribución direccional de las velocidades horarias del viento.

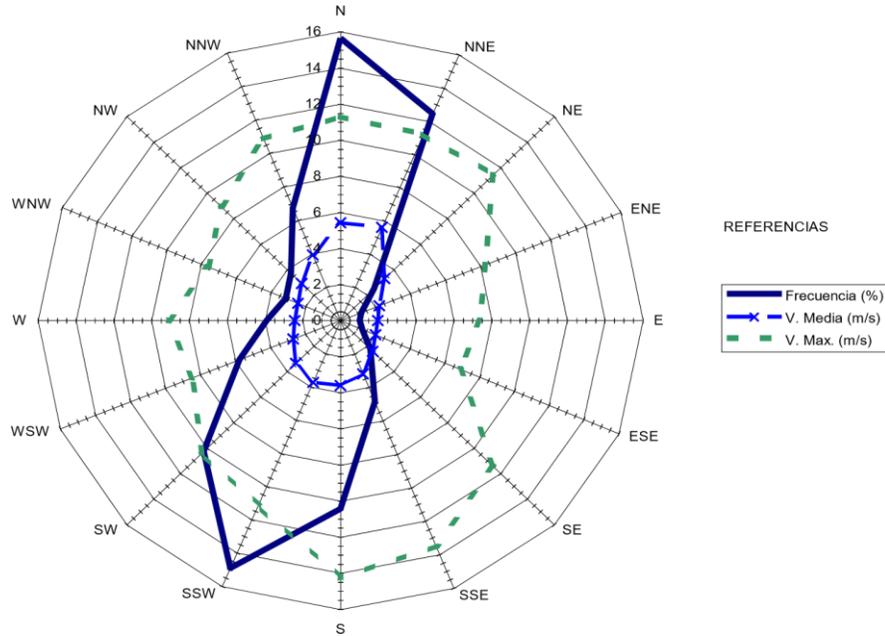


Fuente: Elaboración propia, datos: Hidromet, ETESA Panamá, Datos diarios Estación Tocumen (AAC).

Como antecedente de interés, en el Estudio de Impacto Ambiental – Categoría I del Proyecto del Rompeolas de Muelle Multipropósito (2011), las condiciones de viento se determinaron mediante el procesamiento de 10 años de registros de la National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA) de EEUU, en base a datos cada 3 horas de la Serie Histórica 1997-2006, para la Altura Significativa (Hs), Período y Dirección de Incidencia de las olas, correspondientes al punto de grilla de Latitud 8° y Longitud 78° 45´ ubicado en aguas profundas (unos 100 metros de profundidad).

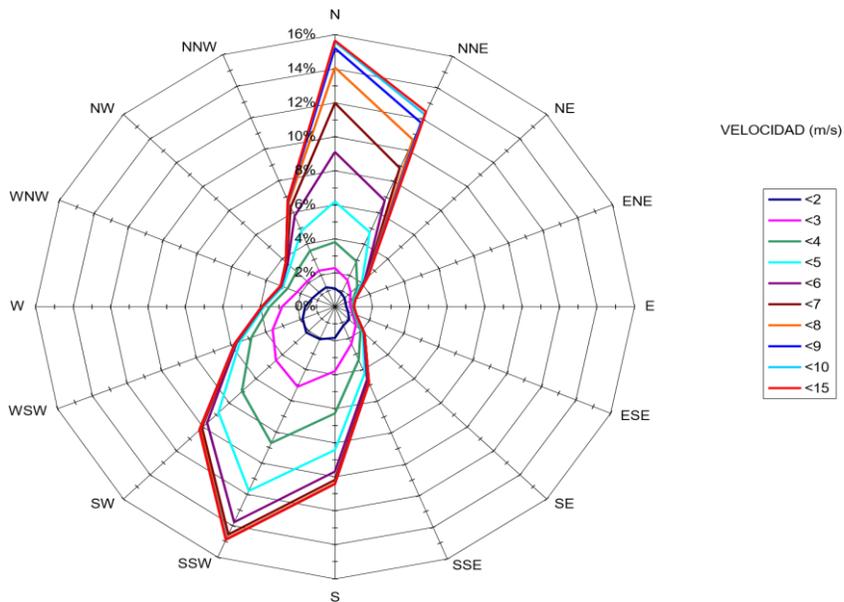
La estadística direccional de vientos se presenta en las ilustraciones Ilustración 15 e Ilustración 16. Puede apreciarse la fuerte predominancia de los sectores S-SW y N-NE en la frecuencia de los vientos. También soplan vientos intensos del SSE, pero con frecuencias mucho menores. Estos resultados presentan gran similitud con los resultados obtenidos por la estación del Aeropuerto INTL. de Tocumen.

Ilustración 15. Rosa de Frecuencia y velocidades media y máxima del Viento en el mar (1997 – 2006)



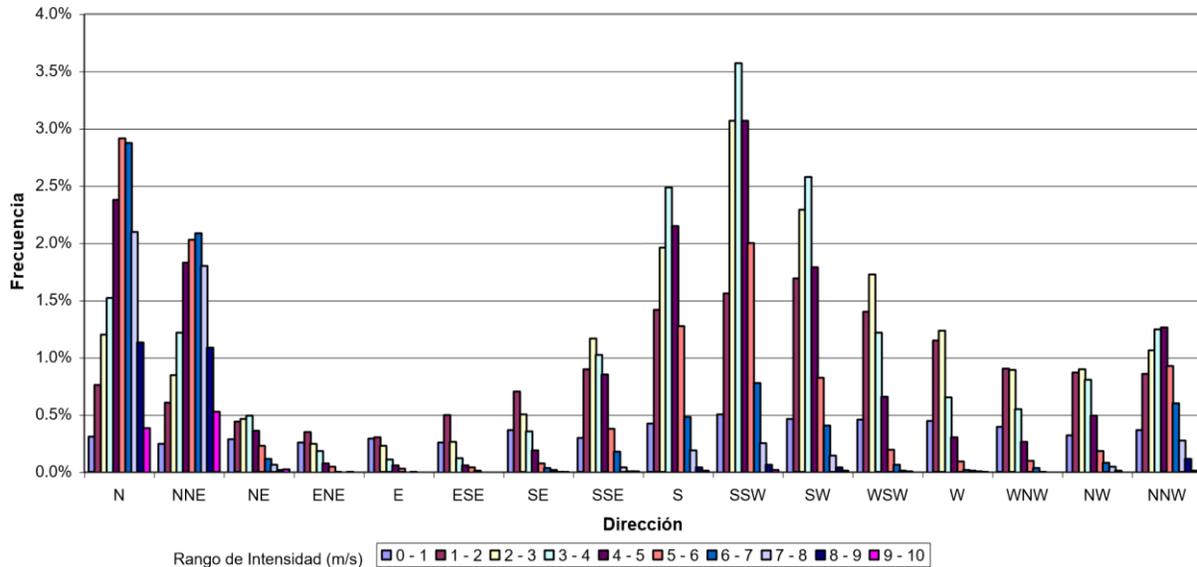
Fuente: Estadística Direccional de vientos en el Golfo de Panamá (Datos NOAA - MODELO  
WAVEWATCH: 8° N - 78. 75° O)

Ilustración 16. Rosa de Frecuencia de velocidades del viento clasificada por dirección (1997 – 2006)



Fuente: Estadística Direccional de vientos en el Golfo de Panamá (Datos NOAA - MODELO  
WAVEWATCH: 8° N - 78. 75° O)

**Ilustración 17. Estadística de Frecuencia de Velocidades del Viento clasificada por dirección**



Fuente: Estadística Direccional de vientos en el Golfo de Panamá (Datos NOAA - MODELO WAVEWATCH: 8° N - 78. 75° O)

En resumen, los vientos más frecuentes son del cuadrante Norte-NE y se verifican vientos de mayor intensidad media en la estación seca (fines de noviembre a abril). En cambio, los vientos del cuadrante Sur-SW son más frecuentes en los meses lluviosos siendo los que pueden generar sobre el Golfo de Panamá los oleajes incidentes en la zona de estudio con mayor altura.

Las velocidades máximas con 3 hr de duración para diferentes períodos de retorno fueron estimadas empleando una función logarítmica de tipo.

$$V \text{ (m/s)} = A * \log(\% \text{ exceso}) + B$$

- % exceso = porcentaje del tiempo en que una velocidad del viento es igualada o excedida.
- (frecuencia acumulada), el cual resulta equiparable a  $Dt * 100 / Tr$ , siendo:
  - $Tr$  = período de retorno (recurrencia) en años del evento
  - $Dt$  = intervalo entre datos = 3 horas

Resultan los siguientes valores de velocidad del viento, con adecuados ajustes y altos coeficientes de correlación lineal, según se indica en la Tabla 6.

Tabla 6. Periodos de retorno de la velocidad del viento según los datos de NOAA en el mar.

Dirección	SSW-S	SSE	SE	ESE-E	NE*ENE	NNE	NW-N	SW-W
Coef. Correl.	0.974	0.970	0.992	0.973	0.990	0.949	0.959	0.969
Tr (años)	Vel. (m/s)							
2	11.8	10.7	8.9	7.0	10.8	11.8	11.9	10.2
5	13.1	12.0	10.2	8.0	12.2	12.4	12.7	11.2
10	14	13.0	11.2	8.7	13.3	12.8	13.2	12.0
25	15.3	14.4	12.6	9.6	14.7	13.4	13.9	12.9
50	16.2	15.4	13.6	10.4	15.8	13.8	14.4	13.7
100	17.2	16.4	14.6	11.1	16.9	14.2	15.0	14.4

Fuente: Estadística Direccional de vientos en el Golfo de Panamá (Datos NOAA - MODELO WAVEWATCH: 8° N - 78. 75° O)

Se puede apreciar que para 100 años de recurrencia las menores velocidades provienen del ESE-E alcanzando los 11 m/s, mientras que de otros cuadrantes las velocidades oscilan entre 14 y 17 m/s. Las mismas se reducen entre 0.5 y 1 m/s para 50 años de recurrencia.

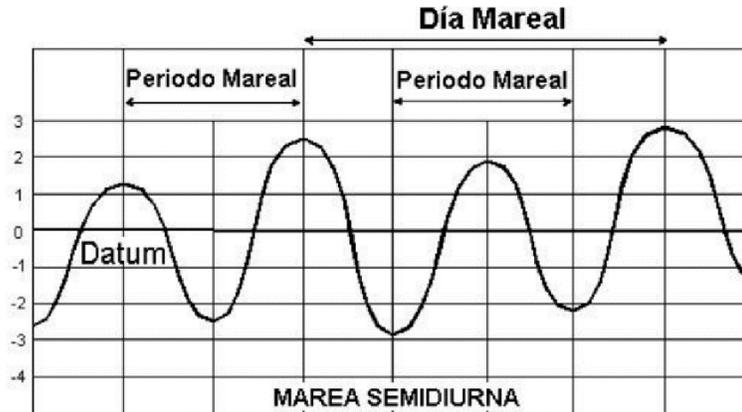
Si bien este análisis parte de datos de ola cada 3 horas, los mismos no son valores promedio en ese lapso, por lo que las intensidades que se verifican con una duración suficiente como para generar las mayores olas, probablemente no superen los 11 m/s.

## 7. MAREA

Las costas del Pacífico de Panamá se caracterizan por la presencia de mareas predecibles, conocidas como semidiurnas, con dos niveles máximos y dos niveles mínimos por día, en un periodo de 24 horas. Dentro de la misma se pueden contemplar la presencia de tres a cuatro periodos de marea, en un periodo aproximado de 24 horas 50 minutos.

Las mareas en el Golfo de Panamá no solo se deben a causas astronómicas, sino que también están fuertemente influenciadas por la forma ístmica del país. Son de carácter semidiurna con dos pleamares y dos bajamares con un periodo aproximadamente de 12.4 horas y desigualdades diurnas del 7% del valor medio de la amplitud.

Ilustración 18. Distribución y fases de la Marea Semidiurna



Fuente: <http://www.ideam.gov.co>

### 7.1. Establecimiento del nivel medio del Mar

El nivel medio del mar (MSL) se define como el promedio de las alturas que han alcanzado las aguas cada hora, observadas continuamente durante un determinado periodo. La firmeza de cualquiera conclusión en relación con cambios en el nivel depende de la longitud de la serie temporal y de la calidad de los datos. La fuente de los datos para caracterizar el comportamiento de ese nivel en la Bahía de Panamá está basada en las observaciones directas y continuas del nivel del mar del mareógrafo existente de Balboa

Los niveles de agua marina en la ciudad de Panamá pueden caracterizarse mediante la información provista por la Autoridad del Canal de Panamá (A.C.P.) para la estación Balboa, la cual se encuentra ubicada en 8° 57' de Latitud Norte y 79° 34.4' de Longitud Oeste, en la desembocadura sur del Canal de Panamá. El nivel de referencia utilizado por la A.C.P. se denomina Nivel de Referencia Preciso (Precise Level Datum o P.L.D.)

Los niveles característicos del mar en Balboa se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 7. Niveles característicos de referencia de la Marea en Balboa.

CERO DE MAREAS = MEAN LOW WATER SPRING (M.L.W.S.)	2.591	m debajo del Nivel Medio (M.S.L.)
	2.322	m debajo del P.L.D. A.C.P.*
CERO DEL REGISTRO DE MAREAS	3.658	m debajo del P.L.D. A.C.P.*
	3.927	m debajo del Nivel medio (M.S.L.)
	1.336	m debajo del M.L.W.S.

\* Nivel de Referencia Preciso (Precise Level Datum o P.L.D.)

Fuente: Estación Diablo Heights

El nivel máximo horario registrado entre 1907 a 2010 es de 3.31 m (respecto al M.S.L.). El máximo instantáneo registrado indicado por la A.C.P. según el Formato SK 52-98 del Panamá Canal Eng. Div. Nov. 1967, es de 3.33 m, sólo 2 cm superior.

El nivel mínimo horario registrado es de -3.61 m. El mínimo instantáneo indicado por la A.C.P. en el Formato SK 52-98 del Panamá Canal Eng. Div. Nov. 1967, es de -3.71 m.

Existen algunas discrepancias menores con las referencias de nivel indicadas en el Documento "Monitoreo de Mareas en los Litorales Pacífico y el Caribe, de las Costas Panameñas. Sistema de Referencia Geocéntrico para Las Américas (SIRGAS)" (Autoridad Nacional de Administración de Tierras. Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia), que se ilustran en la siguiente figura.

Ilustración 19. Niveles de referencia en estación Balboa



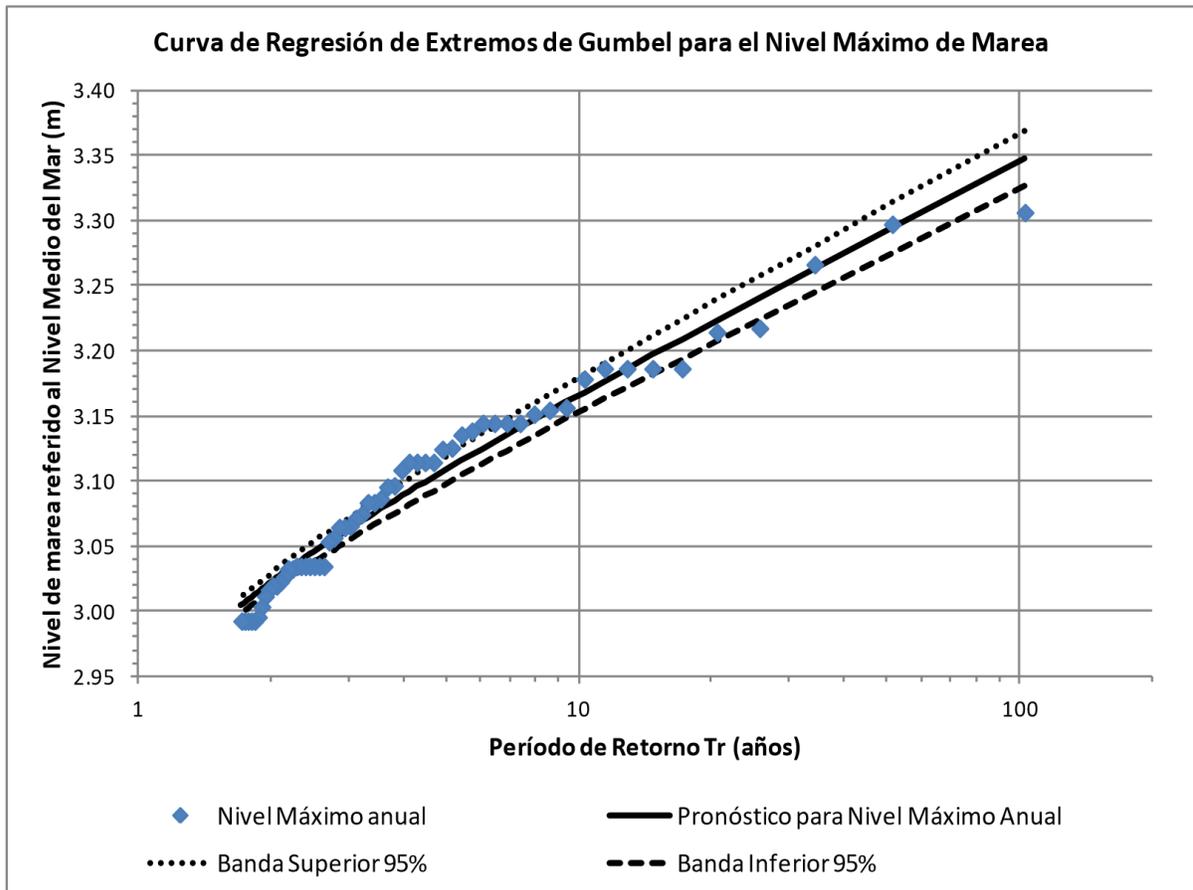
Fuente: Monitoreo de Mareas en los litorales Pacífico y el Caribe, de las costas panameñas. ANATI (2013)

Las Mareas de Sicigias, son las mareas de mayor amplitud que ocurren en períodos de luna llena y luna nueva. Basado en las elevaciones medias de mareas para el período de 19 años, 1916-1934, según el ANATI el Nivel Medio de las mareas bajas de Sicigias está 7.617 pies (2,322 m) por debajo del Nivel de Referencia del Canal (PLD). Por lo tanto, el nivel Medio del Mar (MSL) está aproximadamente a **0.31 m por encima del PDL en Balboa.**

El siguiente gráfico muestra el ajuste de la estadística de niveles horarios máximos anuales mediante una distribución de extremos de Gumbel:

- $H_s (\text{máx.}) = a + b * y$
- $y = \text{Variable reducida} = -\ln(-\ln(1 - 1/Tr))$
- $Tr = \text{Período de Retorno del evento (recurrencia), en años}$
- El coeficiente de correlación obtenido fue  $R = 0.98567$ .

**Ilustración 20. Regresión de niveles Máximos Anuales de Marea**



Los niveles pronosticados que se presentan en la tabla siguiente tienen una banda de incertidumbre de +/- 2 cm con una probabilidad del 95%, según se puede apreciar en las bandas presentadas en el gráfico precedente.

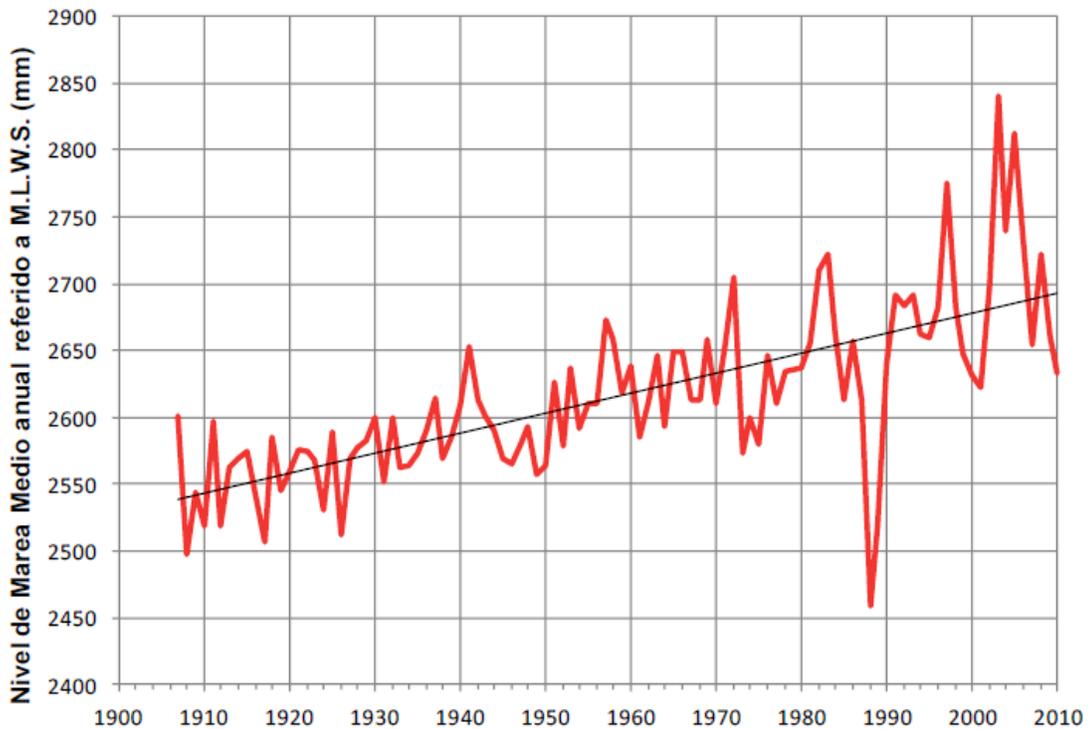
**Tabla 8. Recurrencia de niveles Máximos de marea**

Tr	Nivel M.S.L.	Nivel M.L.W.S.
(años)	(m)	(m)
2	3.02	5.61
5	3.11	5.70
10	3.17	5.76
25	3.24	5.83
50	3.29	5.88
100	3.35	5.94

Los niveles máximos anuales presentan escasa variación, a tal punto que en varias oportunidades los niveles máximos de años sucesivos son idénticos. El nivel máximo horario registrado presenta una recurrencia algo superior a los 50 años.

El Nivel Medio del mar está aumentando en las costas panameñas como en todo el planeta. La Ilustración 21 se muestra la tendencia calculada de los Niveles Medios Anuales obtenidos procesando el registro de niveles horarios. El nivel del mar se incrementa cada año en promedio en 1,5 mm, es decir, se estiman 15 cm por siglo.

Ilustración 21. Línea de tendencia niveles Medios anuales en la Estación Balboa



*Estación Diablo Heights*

En la Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático – Panamá (Ministerio de Ambiente, 2018), se indica que mediante datos satelitales el incremento de niveles en Colón 1992-2012 equivale 1.8 mm/año, mientras que según datos de mareógrafo entre 1909 y 1979 alcanzaba 1.4 mm/año, de lo cual se deduce un probable aumento de la tasa de incremento del nivel de mar. Por lo tanto, se contempla un margen de seguridad de 10cm para un periodo de retorno de 50 años y 15 para un periodo de retorno de 100 años. Las condiciones de niveles de marea considerando la posible sobre elevación del Nivel del Mar son las siguientes:

**Ilustración 22. Periodo de retorno de niveles extremos en Balboa incluyendo el efecto del cambio climático**

Tr	Nivel de diseño M.S.L.	Nivel de diseño M.L.W.S.
(años)	(m)	(m)
2	3.1	5.7
5	3.2	5.8
10	3.3	5.9
50	3.4	6.0
100	3.5	6.1

No obstante, al considerar la combinación entre el nivel del mar y el oleaje, no se considera razonable que las condiciones máximas se combinen simultáneamente.

### 7.1.1 Amplitud de mareas

#### Marea de Sicigias típica

Una marea sinusoidal con nivel medio 0 m (respecto al MSL) y con amplitud 5.2 metros.

#### Marea Máxima

Las mareas de tipo extraordinario pueden tener amplitudes muy superiores a las de sicigias, tal como por ejemplo la ocurrida el 17/10/1997, durante la cual se alcanzó una cota máxima de 5.9 m al cero local (3.31 m al nivel medio - MSL), y una cota mínima igual a -2.86 m MSL, siendo la amplitud igual a 6.17 m.

Para considerar una condición de máxima, se tuvieron en cuenta los registros históricos de niveles de marea máxima y mínima. La pleamar Máxima es igual a 3.66 m PLD (3.35 MSL) y la bajamar mínima -3.44 m PLD (-3.75 MSL), siendo la diferencia igual a 7.1 m. Dado que la simultaneidad de estos valores extremos es improbable, se consideró una marea máxima simétrica con respecto al nivel medio, con una pleamar

igual a **3.35 m MSL** y una bajamar igual a -3.35 m MSL, siendo la amplitud igual a 6.7 m. El periodo de marea correspondiente se consideró igual a 12 horas.

## 7.2. Predicción de Mareas locales.

La Autoridad del canal de Panamá suministra cada año un calendario sobre tablas de mareas. Las tablas de marea están basadas en el mismo nivel de referencia utilizado para las cartas de navegación de la localidad. El nivel de referencia de las mareas en Balboa (Pacífico) es el NIVEL MEDIO DE LAS MAREAS BAJAS DE SICIGIA, el cual está, según el Servicio Geodésico y de Costas de los Estados Unidos, 8.6 pies por debajo del Nivel Medio del Mar en Balboa. Las Mareas de Sicigia, también conocidas como Marea Sicigial, son las mareas extremas que ocurren en períodos de luna llena y luna nueva. Basado en las elevaciones medias de mareas para el período de 19 años, 1916-1934, el NIVEL MEDIO DE LAS MAREAS BAJAS DE SICIGIA está 7.617 pies por debajo del Nivel de Referencia del Canal (PLD).

Las amplitudes de las Mareas se ubican entre los valores de -0.55 m para bajamarea y 5.36 m para pleamar. Además, se tiene una amplitud máxima de 5.54m

**Ilustración 23. Predicción de marea locales, valores máximos año 2022**

	Nivel Max (m) MLWS	Nivel Min (m) MLWS	Amplitud (m)	Nivel Max (m) MSL	Nivel Min (m) MSL
02/feb./2022	4.97	-0.55	5.52	2.34	-3.18
13/mar./2022	5.36	-0.18	5.54	2.73	-2.81
12/ago./2022	5.36	-0.12	5.48	2.73	-2.75

*Fuente: Tabla de Mareas, Autoridad del Canal de Panamá (ACP),*





Tabla 11. Marea Balboa FAA - Pacífico 2022 hoja 03/04

Balboa, Océano Pacifico año 2022  
Horas y Niveles de Mareas Altas y Bajas

Julio				Agosto				Septiembre																	
Hora	Nivel			Hora	Nivel			Hora	Nivel			Hora	Nivel												
	h	m	pies	cm		h	m	pies	cm		h	m	pies	cm		h	m	pies	cm						
1	1124	2.7	82	442	16	7	-1.1	-34	1	1217	2.0	61	463	16	31	-0.5	-15	1	39	1.2	37	16	125	2.1	64
Vie	1728	14.7	448		Sáb	1142	-0.1	-3	Lun	1821	14.9	454		Mar	653	17.2	524	Jue	648	15.9	485	Vie	740	15.2	463
	2341	1.3	40			1758	17.2	524							1256	0.2	6		1306	1.4	43		2005	13.9	424
															1913	16.1	491		1909	15.0	457				
2	603	14.5	442		17	7	-1.1	-34	2	30	1.3	40		17	115	0.5	15	2	120	1.8	55	17	211	3.4	104
Sáb	1202	2.8	85		Dom	632	17.4	530	Mar	645	15.2	463		Mié	736	16.5	503	Vie	726	15.6	475	Sáb	821	14.1	430
	1807	14.5	442			1232	0.1	3		1255	2.1	64			1343	1.1	34		1351	1.9	58		1441	3.4	104
						1850	16.8	512		1857	14.7	448			1958	15.1	460		1952	14.5	442		2051	12.7	387
3	18	1.6	49		18	56	-0.4	-12	3	108	1.7	52		3	202	1.7	52	3	206	2.6	79	18	304	4.5	137
Dom	639	14.5	442		Lun	721	17.0	518	Mié	719	15.2	463		Jue	820	15.4	469	Sáb	810	15.0	457	Dom	909	12.9	393
	1241	3.0	91			1323	0.7	21		1336	2.4	73			1432	2.2	67		1444	2.5	76		1538	4.3	131
	1844	14.3	436			1940	16.0	488		1934	14.4	439			2044	13.9	424		2042	13.7	418		2152	11.8	360
4	57	2.0	61		19	146	0.5	15	4	149	2.3	70		19	252	2.9	88	4	302	3.3	101	19	405	5.4	165
Lun	714	14.4	439		Mar	809	16.4	500	Jue	756	15.0	457		Vie	906	14.3	436	Dom	904	14.3	436	Lun	1014	12.1	369
	1323	3.3	101			1417	1.5	46		1422	2.7	82			1526	3.2	98		1545	3.1	94		1642	4.9	149
	1922	14.0	427			2030	15.0	457		2017	13.9	424			2137	12.8	390		2148	13.1	399		2314	11.5	351
5	138	2.5	76		20	238	1.6	49	5	234	2.8	85		5	345	4.0	122	5	408	3.9	119	20	515	5.8	177
Mar	750	14.3	436		Mié	859	15.5	472	Vie	839	14.6	445		Sáb	1000	13.3	405	Lun	1016	13.7	418	Mar	1136	11.8	360
	1408	3.5	107			1512	2.3	70		1513	3.0	91			1623	4.0	122		1655	3.3	101		1751	4.9	149
	2002	13.6	415			2124	14.0	427		2107	13.4	408			2242	11.9	363		2311	12.9	393				
6	222	3.0	91		21	332	2.6	79	6	327	3.3	101		6	445	4.9	149	6	523	4.0	122	21	32	11.8	360
Mié	830	14.2	433		Jue	952	14.7	448	Sáb	932	14.3	436		Dom	1105	12.6	384	Mar	1141	13.7	418	Mié	626	5.5	168
	1457	3.7	113			1609	3.0	91		1611	3.1	94			1725	4.4	134		1810	3.0	91		1246	12.2	372
	2048	13.2	402			2224	13.1	399		2211	13.0	396			2358	11.7	357						1857	4.5	137
7	310	3.3	101		22	428	3.6	110	7	428	3.7	113		7	550	5.3	162	7	32	13.5	411	22	128	12.5	381
Jue	916	14.0	427		Vie	1051	13.9	424	Dom	1039	14.1	430		22	1215	12.5	381	Mié	640	3.6	110	Jue	729	4.8	146
	1550	3.6	110			1707	3.5	107		1717	3.1	94			1831	4.4	134		1257	14.3	436		1338	12.9	393
	2143	13.0	396			2331	12.5	381		2327	13.0	396							1922	2.2	67		1952	3.7	113
8	403	3.6	110		23	526	4.3	131	8	537	3.7	113		8	105	11.9	363	8	138	14.5	442	23	210	13.4	408
Vie	1012	14.0	427		Sáb	1152	13.5	411	Lun	1153	14.2	433		Mar	658	5.2	158	Jue	750	2.5	76	Vie	819	3.8	116
	1647	3.5	107			1807	3.8	116		1827	2.7	82			1315	12.7	387		1400	15.2	463		1421	13.8	421
	2248	12.9	393												1933	4.0	122		2023	1.1	34		2037	2.8	85
9	501	3.6	110		24	36	12.3	375	9	41	13.6	415		9	158	12.5	381	9	234	15.7	479	24	247	14.3	436
Sáb	1115	14.3	436		Dom	627	4.6	140	Mar	651	3.4	104		24	758	4.6	140	Vie	848	1.3	40	Sáb	901	2.6	79
	1748	3.0	91			1249	13.4	408		1303	14.8	451			1405	13.2	402		1455	16.1	491		1500	14.6	445
	2356	13.3	405			1907	3.7	113		1936	1.9	58			2025	3.2	98		2114	0.1	3		2116	1.8	55
10	604	3.5	107		25	132	12.5	381	10	145	14.5	442		10	242	13.3	405	10	325	16.7	509	25	322	15.2	463
Dom	1218	14.8	451		Lun	727	4.6	140	Mié	800	2.5	76		25	847	3.7	113	Jue	937	0.1	3	Dom	938	1.6	49
	1852	2.4	73			1340	13.5	411		1405	15.6	475			1448	13.8	421		1546	16.8	512		1537	15.3	466
						2002	3.3	101		2036	0.8	24			2107	2.4	73		2200	-0.7	-21		2152	1.1	34
11	59	14.0	427		26	221	12.9	393	11	244	15.5	472		11	321	14.0	427	11	412	17.4	530	26	356	15.9	485
Lun	711	3.0	91		Mar	822	4.2	128	Jue	859	1.3	40		11	928	2.8	85	Dom	1022	-0.6	-18	Lun	1013	0.8	24
	1318	15.4	469			1425	13.8	421		1503	16.3	497			1528	14.4	439		1634	17.2	524		1613	15.9	485
	1954	1.4	43			2050	2.7	82		2129	-0.3	-9			2145	1.6	49		2242	-1.0	-30		2226	0.6	18
12	158	14.8	451		27	306	13.4	408	12	340	16.4	500		12	357	14.7	448	12	457	17.7	540	27	430	16.4	500
Mar	814	2.2	67		Mié	908	3.6	110	Vie	951	0.3	9		27	1005	2.0	61	Lun	1104	-0.9	-27	Mar	1048	0.2	6
	1415	16.1	491			1508	14.1	430		1558	16.9	515			1606	15.0	457		1719	17.1	521		1650	16.2	494
	2051	0.4	12			2131	2.1	64		2217	-1.1	-34			2221	1.0	30		2323	-0.8	-24		2301	0.3	9
13	255	15.6	475		28	347	13.9	424	13	432	17.2	524		13	432	15.3	466	13	540	17.6	536	28	505	16.8	512
Mié	911	1.3	40		Jue	950	3.0	91	Sáb	1039	-0.4	-12		28	1041	1.4	43	Mar	1145	-0.6	-18	Dom	1124	0.0	0
	1511	16.7	509			1550	14.5	442		1651	17.3	527			1643	15.4	469		1802	16.7	509		1728	16.3	497
	2143	-0.5	-15			2209	1.5	46		2303	-1.4	-43			2255	0.6	18						2337	0.5	15
14	351	16.4	500		29	426	14.3	436	14	522	17.6	536		14	506	15.7	479	14	2	-0.2	-6	29	542	16.8	512
Jue	1004	0.5	15		Vie	1028	2.5	76	Dom	1125	-0.7	-21		14	1115	1.0	30	Mié	621	17.1	521	Jue	1201	0.1	3
	1608	17.1	521			1630	14.8	451		1741	17.3	527													

Tabla 12. Marea Balboa FAA - Pacífico 2022 hoja 04/04

Balboa, Océano Pacífico año 2022  
Horas y Niveles de Mareas Altas y Bajas

Octubre			Noviembre			Diciembre			
Hora	Nivel	cm	Hora	Nivel	cm	Hora	Nivel	cm	
1	57	1.6	49	136	3.8	116	335	2.9	88
Sáb	703	16.0	488	742	13.9	424	947	14.0	427
	1328	1.4	43	1402	3.4	104	1604	2.6	79
	1935	15.0	457	2015	13.0	396	2229	14.6	445
2	147	2.6	79	227	4.8	146	443	3.1	94
Dom	751	15.2	463	826	12.9	393	1104	13.6	415
	1423	2.3	70	1456	4.4	134	1710	3.0	91
	2029	14.1	430	2108	12.2	372	2338	14.6	445
3	247	3.5	107	328	5.6	171	550	2.9	88
Lun	850	14.2	433	925	12.0	366	1215	13.7	418
	1528	3.0	91	1558	5.0	152	1814	3.1	94
	2138	13.4	408	2223	11.8	360	2335	13.4	408
4	358	4.1	125	438	5.9	180	39	14.9	454
Mar	1007	13.5	411	1046	11.7	357	652	2.5	76
	1641	3.4	104	1705	5.2	158	1314	14.0	427
	2304	13.3	405	2343	12.0	366	1913	2.9	88
5	515	4.1	125	547	5.6	171	131	15.2	463
Mié	1137	13.5	411	1204	12.0	366	748	2.0	61
	1756	3.2	98	1810	4.8	146	1405	14.4	439
							2007	2.6	79
6	24	13.9	424	43	12.7	387	217	15.5	472
Jue	631	3.5	107	650	4.9	149	836	1.5	46
	1252	14.2	433	1301	12.7	387	1450	14.7	448
	1906	2.5	76	1908	4.2	128	2053	2.3	70
7	127	15.0	457	128	13.6	415	259	15.6	475
Vie	738	2.4	73	742	3.8	116	919	1.0	30
	1352	15.1	460	1346	13.6	415	1532	14.8	451
	2005	1.6	49	1957	3.3	101	2135	2.1	64
8	219	16.0	488	206	14.6	445	339	15.6	475
Sáb	833	1.3	40	826	2.6	79	958	0.7	21
	1443	16.0	488	1425	14.6	445	1613	14.9	454
	2055	0.7	21	2040	2.3	70	2214	2.0	61
9	305	16.8	512	242	15.5	472	418	15.5	472
Dom	920	0.3	9	906	1.5	46	1035	0.7	21
	1530	16.5	503	1503	15.4	469	1653	14.9	454
	2139	0.1	3	2119	1.5	46	2251	2.1	64
10	349	17.3	527	318	16.4	500	456	15.3	466
Lun	1002	-0.4	-12	944	0.5	15	1111	0.8	24
	1613	16.8	512	1542	16.1	491	1731	14.8	451
	2219	-0.1	-3	2157	0.8	24	2329	2.3	70
11	430	17.5	533	355	17.0	518	535	14.9	454
Mar	1041	-0.6	-18	1021	-0.2	-6	1147	1.2	37
	1655	16.7	509	1622	16.5	503	1809	14.5	442
	2257	0.0	0	2235	0.4	12			
12	510	17.3	527	435	17.3	527	7	2.7	82
Mié	1119	-0.3	-9	1100	-0.5	-15	613	14.5	442
	1735	16.3	497	1704	16.7	509	1225	1.7	52
	2335	0.6	18	2314	0.4	12	1847	14.2	433
13	548	16.7	509	517	17.3	527	47	3.2	98
Jue	1156	0.3	9	1140	-0.4	-12	651	14.0	427
	1814	15.7	479	1749	16.6	506	1305	2.3	70
				2356	0.8	24	1924	13.9	424
14	13	1.5	46	601	16.9	515	131	3.8	116
Vie	626	15.9	485	1223	0.1	3	731	13.4	408
	1235	1.2	37	1835	16.1	491	1348	3.0	91
	1852	14.9	454				2003	13.5	411
15	52	2.6	79	42	1.5	46	220	4.2	128
Sáb	703	15.0	457	649	16.3	497	813	12.8	390
	1316	2.3	70	1312	0.9	27	1435	3.6	110
	1931	13.9	424	1926	15.5	472	2046	13.2	402
				135	2.4	73			
				742	15.4	469			
				1409	1.9	58			
				2024	14.7	448			

Canal de Panamá (HIAM)

Jorge F. Rodríguez C.

● Luna Nueva

◐ Cuarto Creciente

○ Luna Llena

◑ Cuarto Menouante

## 8. OLEAJE

Según CIFSA, 1998 aproximadamente, durante el 60% del año aparecen olas largas oceánicas procedentes del Sur, con alturas significante de 1.9 m. Mientras, que durante el 40% del año restante se observan olas más pequeñas (0.6 m) y cortas generadas por los vientos de componente Norte, Oeste y Este.

En concordancia con lo arriba expuesto se puede decir que, el oleaje incidente en el área se compone de las olas generadas localmente por vientos que soplan estacionalmente en el Golfo de Panamá y de las olas que penetran en el desde aguas profundas provenientes del Sur y Sudeste, ingresando principalmente por refracción y difracción. Recordando que, la generación de las olas por efecto del viento se desarrolla a lo largo del mar produciendo olas de mayor altura y periodo cuanto mayor es la distancia de acción en función de la intensidad del viento, asumiendo que su duración es suficientemente prolongada.

Por lo tanto, el oleaje generado por los vientos locales puede considerarse en función de las estadísticas que predominan los vientos soplando desde direcciones con capacidad de formar olas que incidan en la zona del proyecto.

Por otro lado, la energía del oleaje oceánico que arriba a la costa procedente del Sur se ve disipada por el promontorio de rocas sumergido que sirve de rompeolas natural, de la energía que no alcanza a mitigarse una porción se refleja y el resto se transmite en la dirección de avance de la ola ocasionando una menor altura del oleaje.

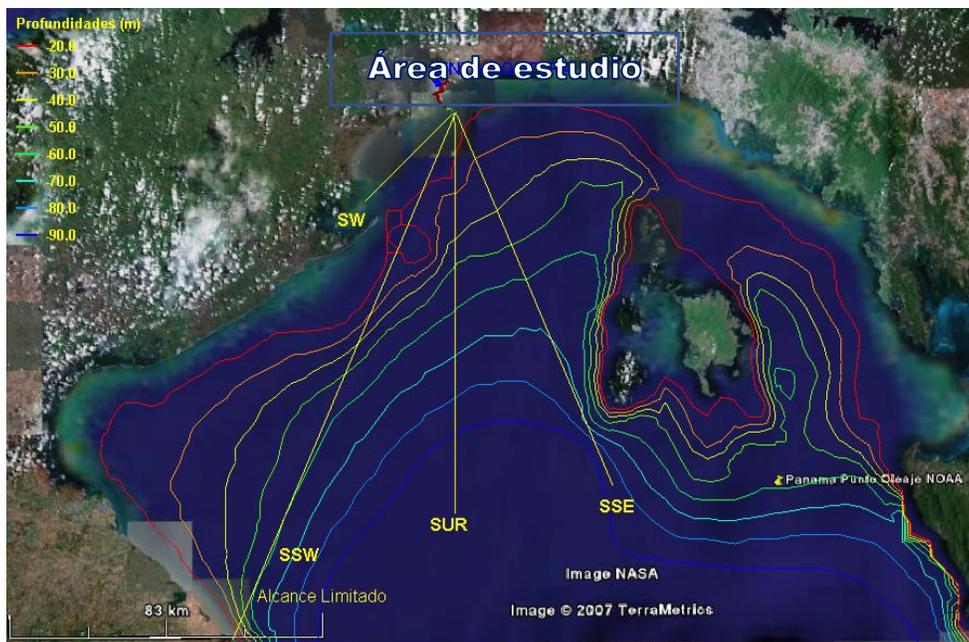
Se considera importante señalar que el área de estudio ya fue impactada por la construcción del Tramo Marino del Corredor Sur en años anteriores. Por otra parte, el proyecto de estudio no plantea ninguna construcción que suponga cambios en las corrientes, mareas u oleajes del área de influencia.

La generación de las olas por efecto del viento se desarrolla a lo largo del mar generando ondas de mayor altura y período cuanto mayor es la distancia de acción, hasta alcanzar un límite (mar plenamente desarrollado) que es función de la intensidad del viento (asumiendo que su duración es suficientemente prolongada).

Dado que éste es un proceso que se desarrolla sobre el océano, el empleo de información marítima de vientos resulta más adecuado que utilizar información terrestre, dado que los vientos en tierra son afectados por la orografía y la rugosidad del terreno y la vegetación existente.

Tal como se muestra en la Ilustración 14, Ilustración 15 e Ilustración 16 las direcciones predominantes del viento se mueven de sur a norte. Influenciada por la forma de la bahía de Panamá, en la Ilustración 24 se muestran las direcciones que pueden tener mayor impacto en la generación de olas con incidencia en la zona de interés, que son la Sur y SSE, las que no están limitadas por bordes terrestres. La dirección SSW se encuentra limitada por el propio Istmo de Panamá y mucho más la SW. La estadística direccional de vientos puede apreciarse la fuerte predominancia de los sectores S-SW y N-NE en la frecuencia de los vientos. También soplan vientos intensos del SSE, pero con frecuencia mucho menor.

**Ilustración 24. Oleaje oceánico hacia la Ciudad de Panamá.**

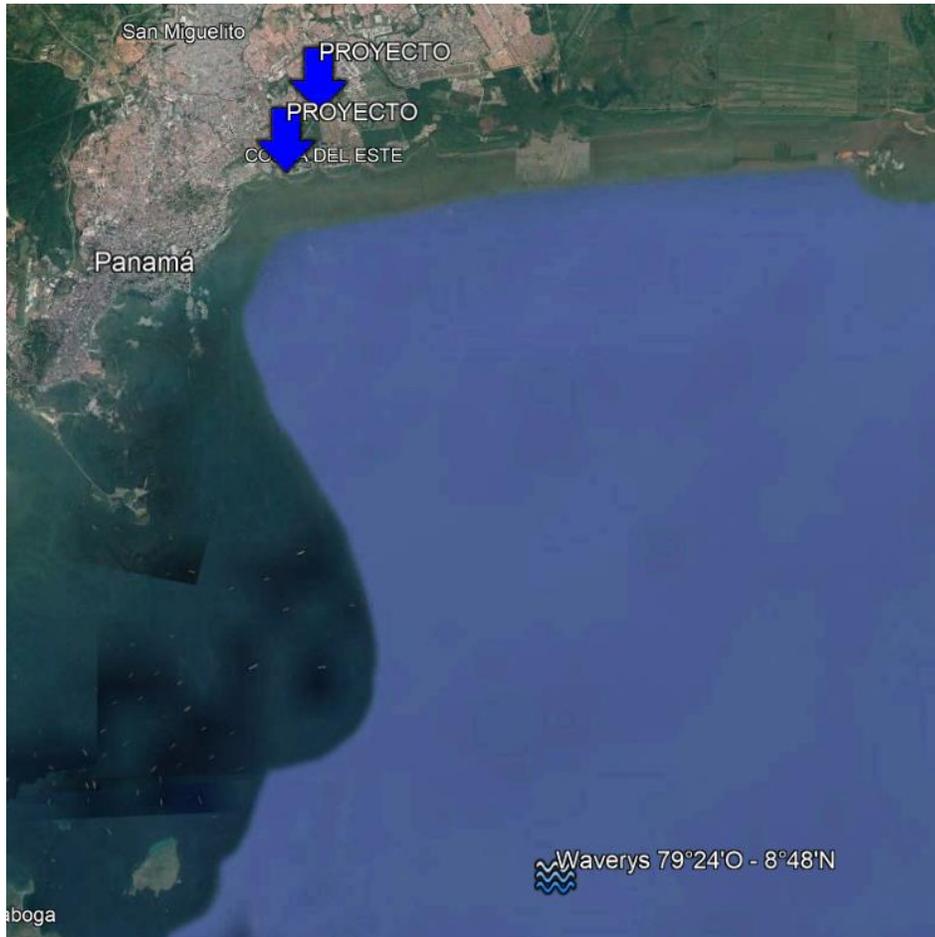


*Fuente: Datos NOAA.*

Para considerar la información de oleaje incidente se ha tomado como referencia los datos del modelo Waverys de Copernicus en una grilla ubicada en la bahía de Panamá

a 24 Km al sur este de la ubicación del proyecto. En la Ilustración 25 se muestra la ubicación de la grilla evaluada.

**Ilustración 25. Ubicación de punto de grilla modelo Waverys Copernicus.**



Fuente: Elaboración Propia

Se descargaron y analizaron los datos de altura significativa  $H_s$ , período medio  $T_m$  y de pico del espectro de energía  $T_p$ , con sus direcciones, y las componentes de altura, período y dirección de las olas generadas por vientos locales y de aquellas propagadas desde aguas profundas (Swell), para evaluar cuál es el origen de las mayores olas incidentes en la zona.

En la Ilustración 26 e Ilustración 27 se presentan los diagramas de dispersión (rosas) de alturas significativas de olas clasificadas por la dirección media de incidencia y por la dirección del pico de energía del espectro, respectivamente.

Se puede apreciar que cuando se clasifican por la dirección del pico, las olas se concentran más en la dirección de incidencia Sur, indicando ello que las demás direcciones, donde el alcance o Fetch de generación es menor, tienen una baja influencia en la agitación global.

Ilustración 26. Rosa de alturas significativa de olas por dirección de incidencia media.

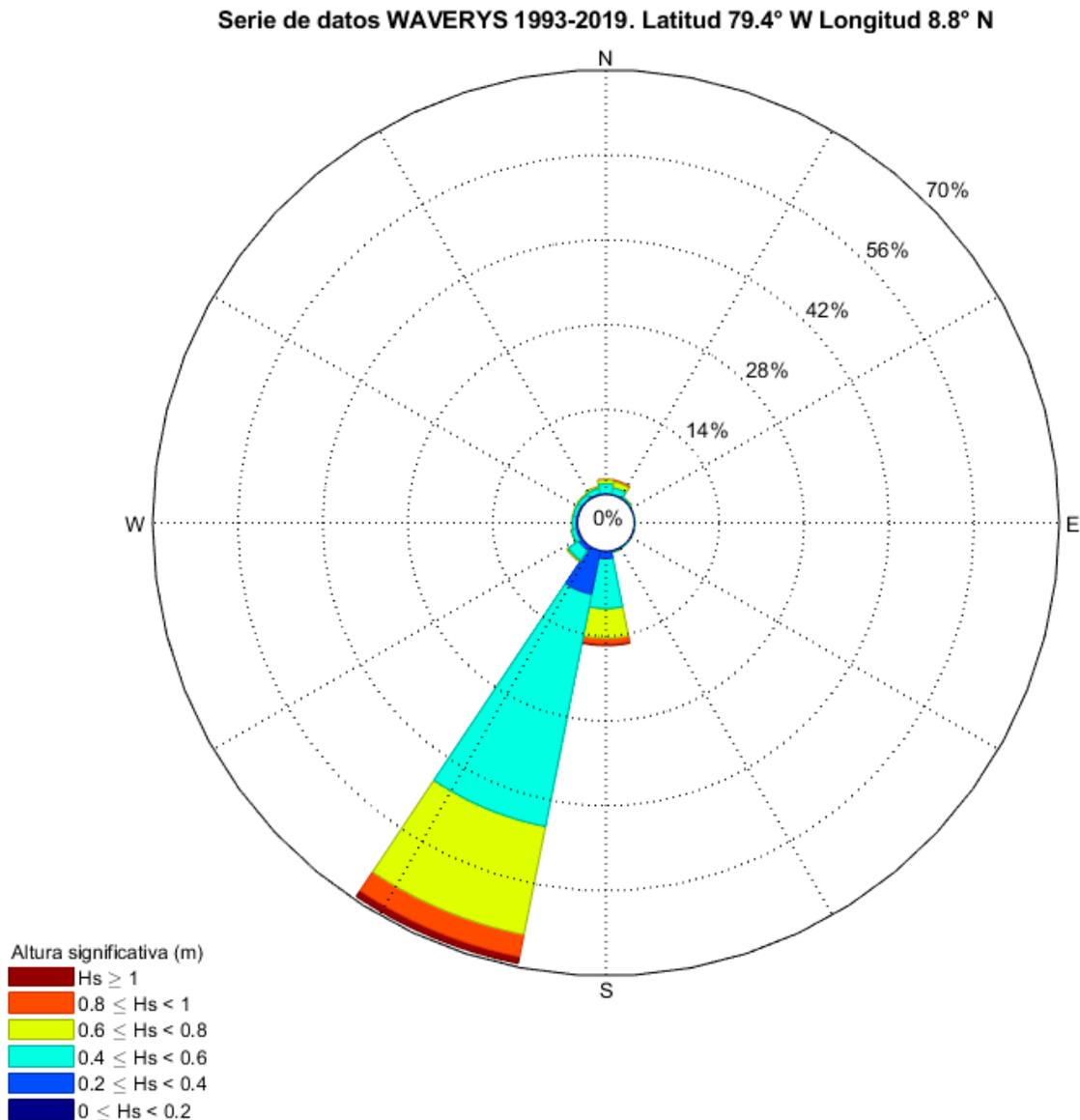
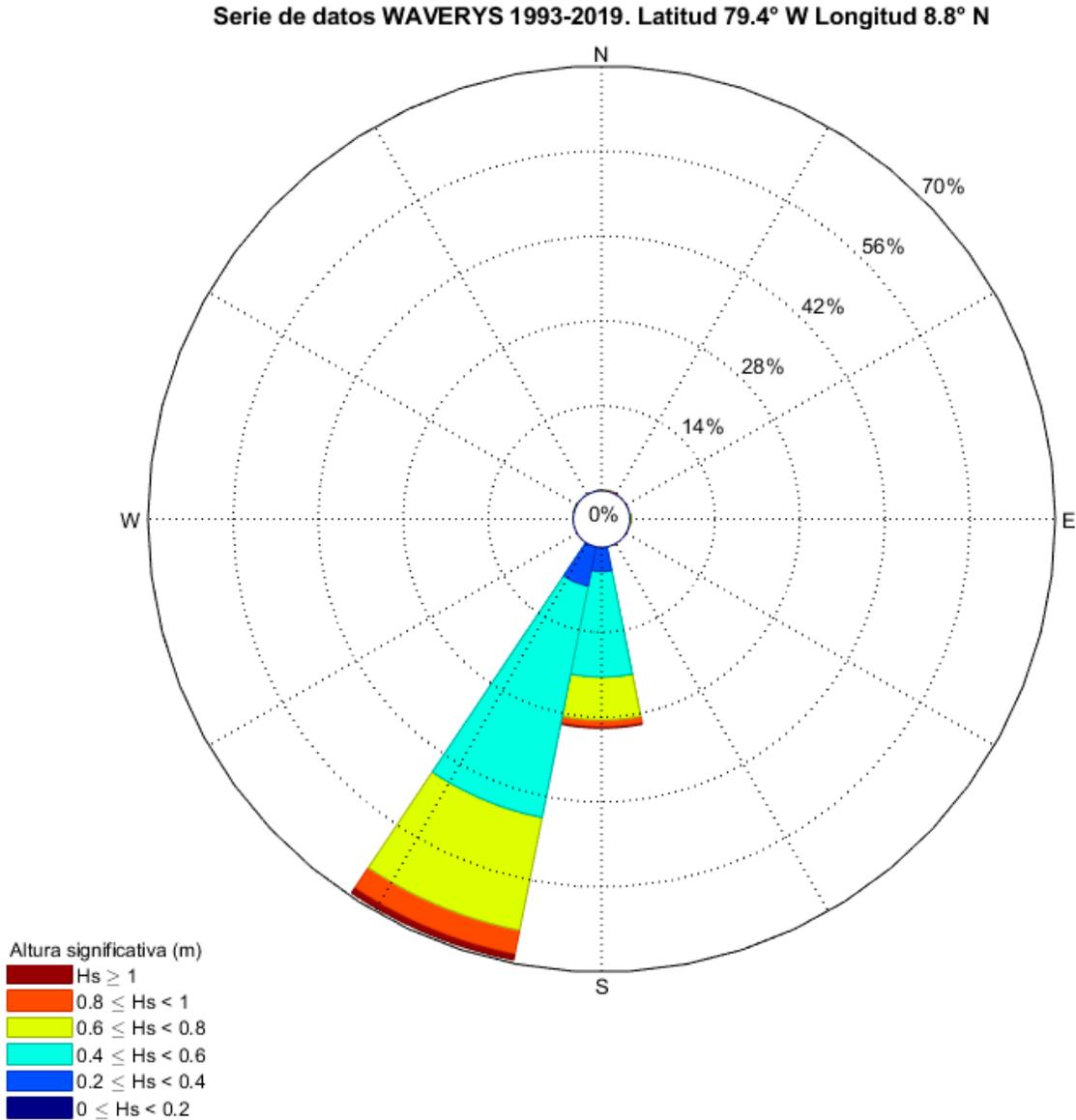


Ilustración 27. Rosa de alturas significativa de olas clasificada por dirección de incidencia del pico de energía



En la Ilustración 28 e Ilustración 29 se presenta los diagramas de dispersión (rosas) de períodos de pico de las olas clasificadas por la dirección media de incidencia y por la dirección del pico de energía del espectro.

**Ilustración 28. Rosa de período de pico de olas clasificada por dirección de incidencia media**

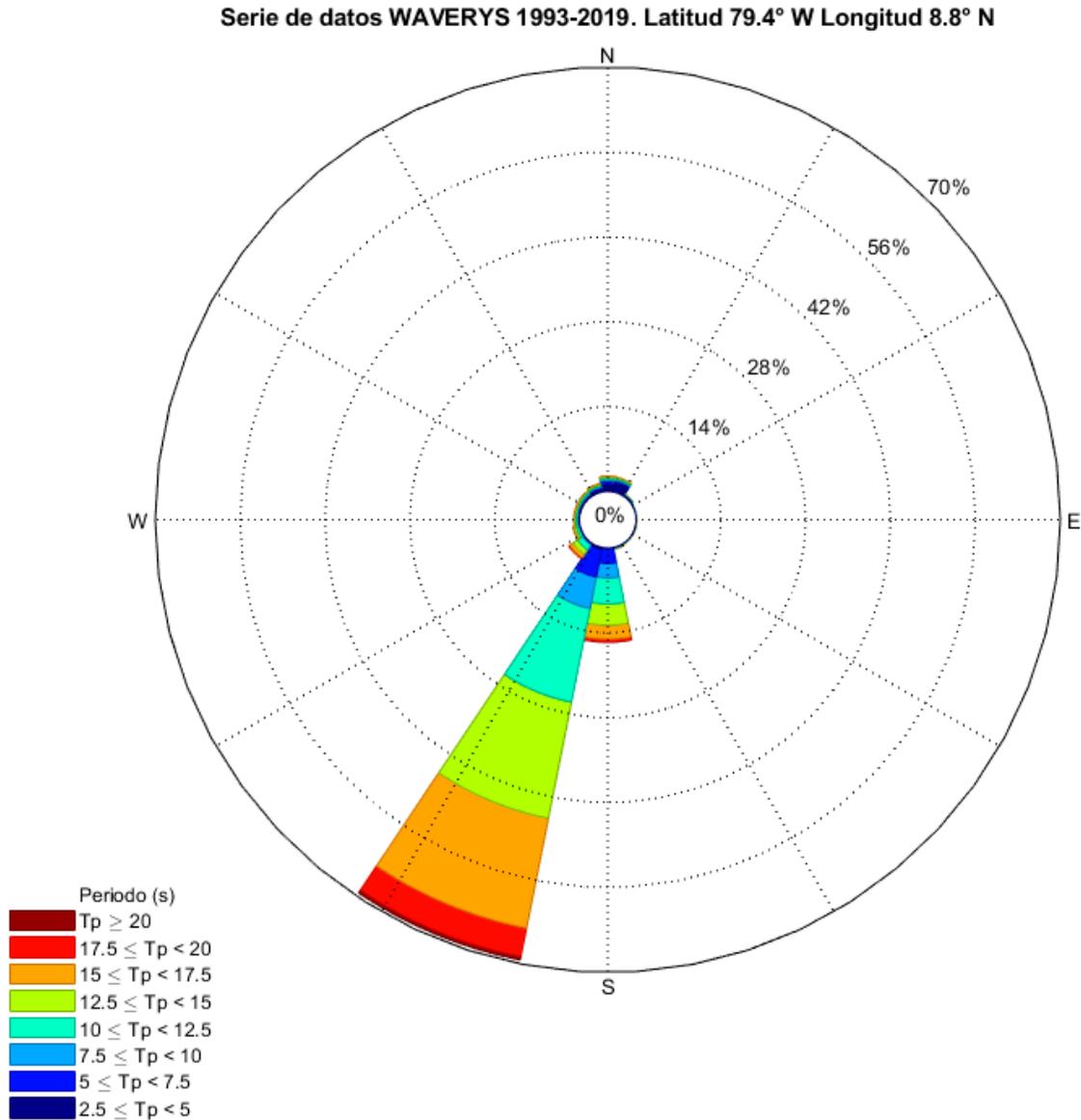
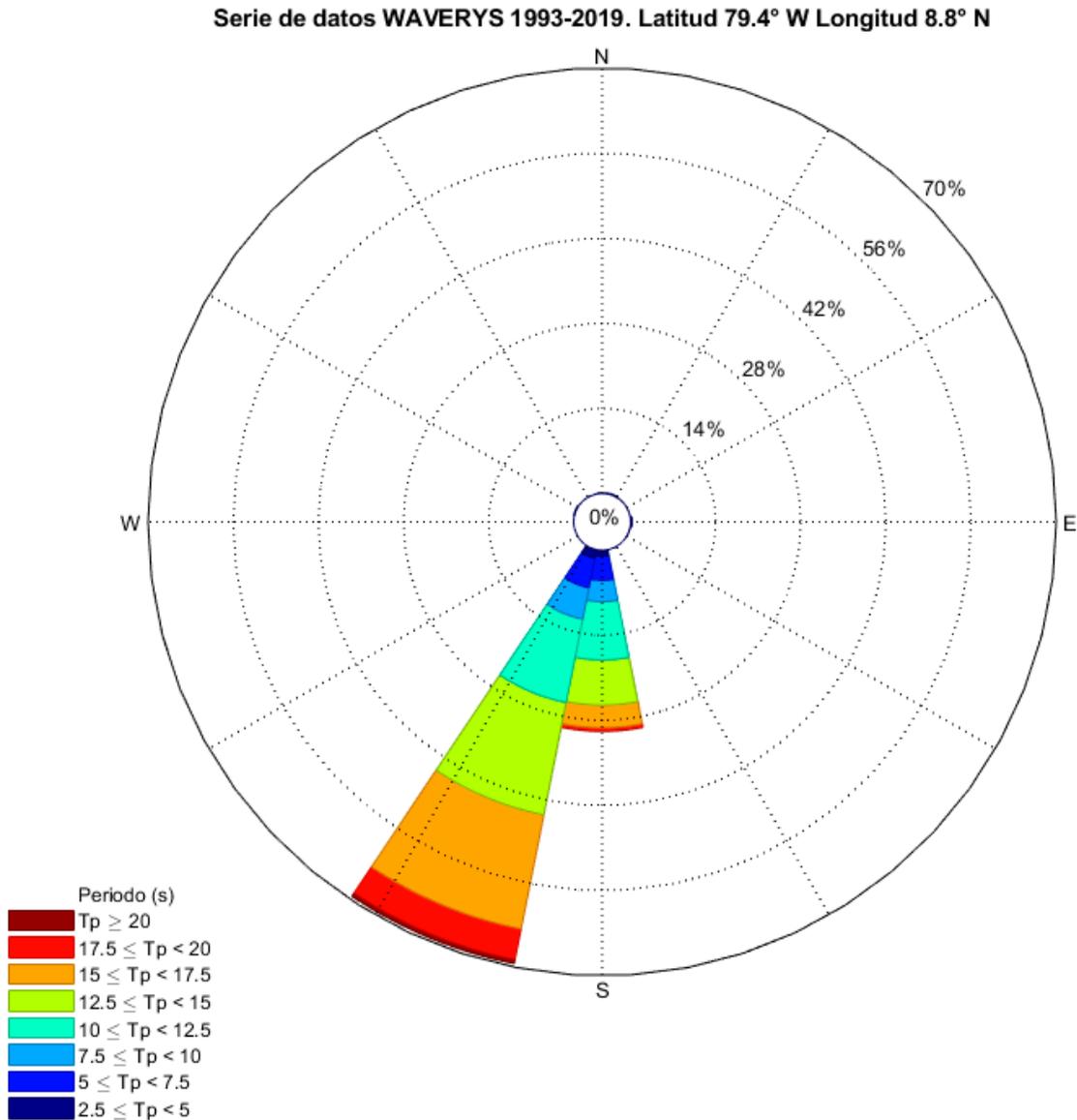


Ilustración 29. Rosa de período de pico de olas clasificada por dirección de incidencia del pico de Energía



En la Tabla 13 y Tabla 14 se presentan los diagramas de dispersión de altura significativa y período de pico total y para cada una de las direcciones de incidencia del oleaje.

**Tabla 13. Diagrama de dispersión de olas del modelo WAVERYS. Dirección de pico espectral desde el SUR**

Hs (m)\Tp (s)	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	> 24	TOTAL
0.0-0.2					0.001%								0.00%
0.2-0.4	0.03%	0.05%	0.30%	0.38%	2.02%	0.57%	0.47%	0.12%	0.04%	0.01%	0.01%		3.98%
0.4-0.6	0.52%	0.04%	2.63%	1.63%	5.11%	3.94%	2.95%	1.03%	0.14%	0.02%	0.00%		18.01%
0.6-0.8	0.27%	0.04%	1.14%	0.71%	1.04%	1.02%	1.59%	0.53%	0.09%	0.02%	0.00%		6.46%
0.8-1.0	0.02%	0.11%	0.27%	0.11%	0.08%	0.10%	0.23%	0.11%	0.01%				1.04%
1.0-1.2		0.03%	0.08%	0.03%	0.00%	0.01%	0.04%	0.01%	0.00%				0.20%
1.2-1.4		0.02%	0.03%	0.01%				0.00%	0.00%	0.00%			0.07%
1.4-1.6		0.00%	0.01%	0.00%		0.00%		0.00%					0.02%
1.6-1.8		0.00%	0.01%	0.00%	0.00%								0.01%
> 1.8						0.001%		0.001%					0.003%
<b>TOTAL</b>	0.83%	0.30%	4.47%	2.87%	8.25%	5.64%	5.28%	1.81%	0.28%	0.05%	0.01%		29.80%

**Tabla 14. Diagrama de dispersión de olas del modelo WAVERYS. Dirección de pico espectral desde el SSW**

Hs (m)\Tp (s)	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	> 24	TOTAL
0.0-0.2							0.001%	0.001%					0.003%
0.2-0.4	0.06%	0.03%	0.37%	0.48%	2.60%	1.28%	1.14%	0.41%	0.15%	0.05%	0.02%	0.01%	6.59%
0.4-0.6	0.67%	0.10%	2.90%	2.84%	7.41%	8.31%	10.73%	5.56%	1.50%	0.36%	0.07%	0.01%	40.47%
0.6-0.8	0.35%	0.09%	1.31%	1.01%	1.35%	1.95%	6.11%	3.97%	1.09%	0.15%	0.01%		17.39%
0.8-1.0	0.01%	0.29%	0.35%	0.17%	0.15%	0.18%	1.01%	1.30%	0.41%	0.04%			3.91%
1.0-1.2		0.23%	0.14%	0.06%	0.04%	0.02%	0.10%	0.19%	0.07%	0.00%			0.85%
1.2-1.4		0.08%	0.03%	0.01%	0.00%		0.01%	0.01%	0.01%	0.00%			0.15%
1.4-1.6		0.01%	0.02%		0.00%				0.003%				0.04%
1.6-1.8			0.01%						0.003%				0.02%
> 1.8			0.004%										0.004%
<b>TOTAL</b>	1.09%	0.85%	5.14%	4.57%	11.56%	11.73%	19.10%	11.44%	3.22%	0.60%	0.11%	0.01%	69.42%

Se puede apreciar que las olas más frecuentes tienen alturas de 0.4 a 0.6 m, seguidas por el rango de 0.6 a 0.8 m, con dos modas de períodos, uno entre 14 y 16 segundos, y otro entre 10 y 12 segundos. Las olas de mayor altura tienen períodos entre 6 y 8, entre 10 y 12, y entre 16 y 18 segundos, por lo que el rango de posibilidades es muy extendido. La altura significativa promedio del oleaje es igual a 0,55 m

Se ha realizado un análisis de valores extremos a fin de obtener la altura significativa de ola para períodos de retorno  $T_r$  entre 5 y 100 años empleando diversas distribuciones estadísticas, las cuales fueron evaluadas en función de los criterios de Chi-cuadrado ( $\chi^2$ ) y el Error Medio, además de verificar visualmente cuales ajustan mejor los valores extremos.

Las distribuciones que se ajustaron a los valores externos son: para la dirección Sur es valores extremos generalizados con ajuste máxima verosimilitud (GEV MV) y para la dirección SSW valores extremos generalizados con ajuste de Método de Momentos (GEV MM).

**Ilustración 30. Distribución seleccionada para alturas de olas provenientes del SUR**

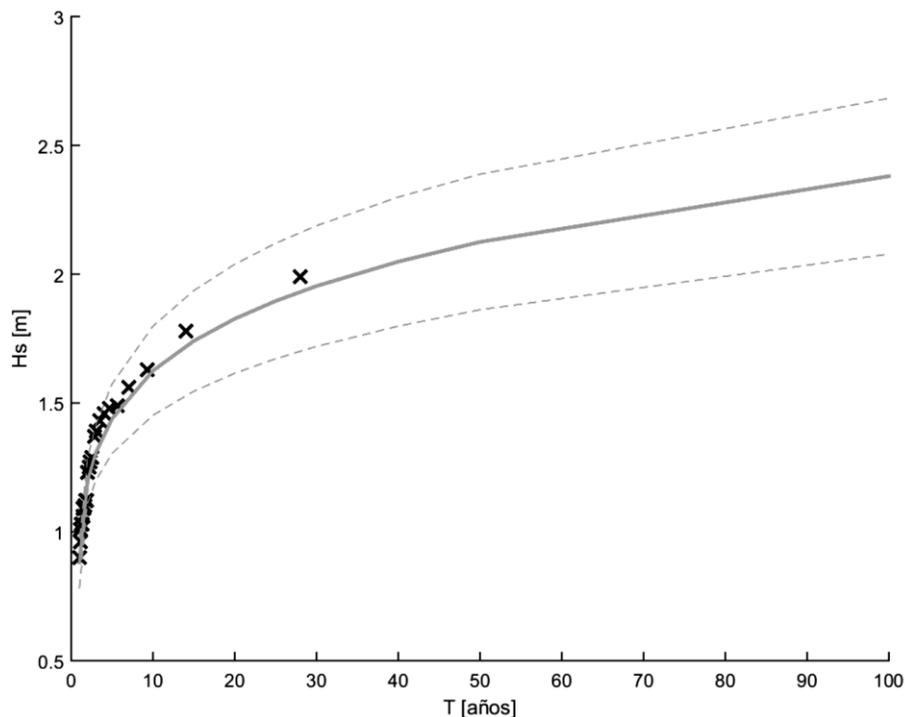
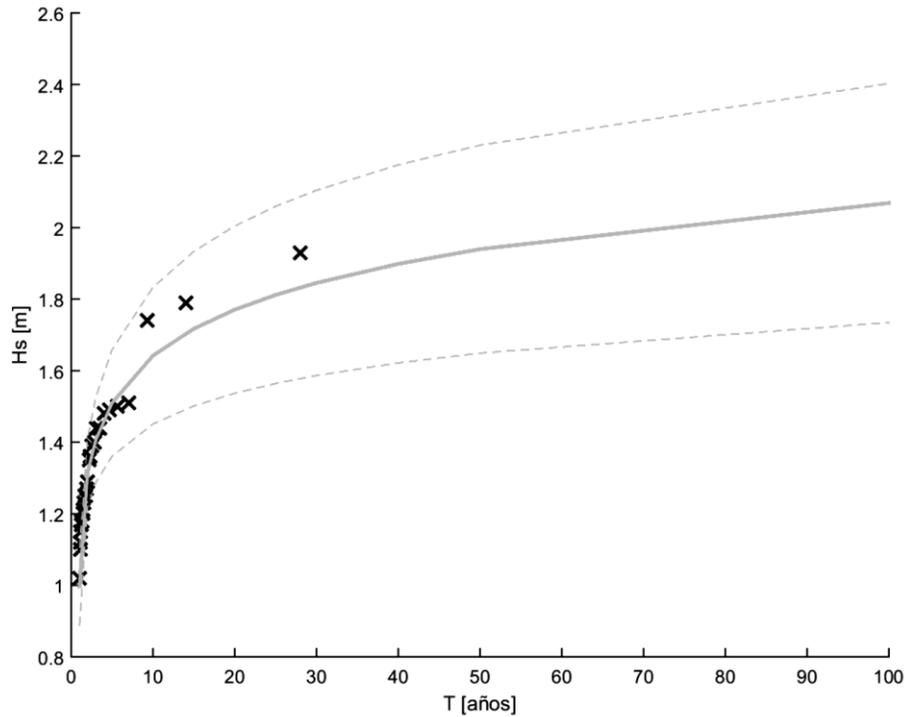


Ilustración 31. Distribución de extremos seleccionada para alturas de olas provenientes del SSW.



En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos de Hs para cada cuadrante desde el cual inciden olas hacia el sector de interés.

Tabla 15. Condiciones de oleaje para cada periodo de retorno según dirección de incidencia de interés.

Recurrencia	S	SSW
Tr [años]	GEV MV	GEV MM
1	0.88	1
2	1.2	1.31
5	1.44	1.51
10	1.63	1.64
20	1.83	1.77
25	1.9	1.81
50	2.13	1.94
100	2.38	2.07

### Transformación del oleaje oceánico en el golfo de panamá

Para trasladar el oleaje desde el punto de grilla hasta la zona del Tramo Marino del Corredor Sur se ha utilizado el modelo STWAVE (Steady State Spectral WAVE). El

modelo STWAVE fue desarrollado por Jane McKee Smith, Ann R. Sherlock y Donald T. Resio del Coastal and Hydraulics Laboratory, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg. STWAVE es un modelo robusto y muy flexible que simula el crecimiento, propagación y transformación de olas sobre la costa, incluyendo los siguientes efectos:

- Bajío (aumento de la altura de ola al disminuir la profundidad de agua).
- Refracción por profundidad.
- Difracción por transferencia lateral de energía.
- Interacción entre olas con diferentes direcciones.
- Generación de oleaje por el viento.
- Rotura, redistribución y disipación de la energía.

Como resultado de la aplicación del modelo se obtuvieron las características de las olas (altura, período y dirección) transformadas para cada uno de los puntos de una grilla. Adicionalmente a la propagación de las, el modelo STWAVE permite la generación y transformación de olas locales a partir de los vientos actuantes sobre el área.

El cómputo de la difracción en el modelo emplea un procedimiento aproximado de dispersión lateral de la energía de ola, el cual resulta suficiente en un caso como la presente área de estudio.

Ilustración 32. Transformación de olas oceánicas provenientes del SWW.

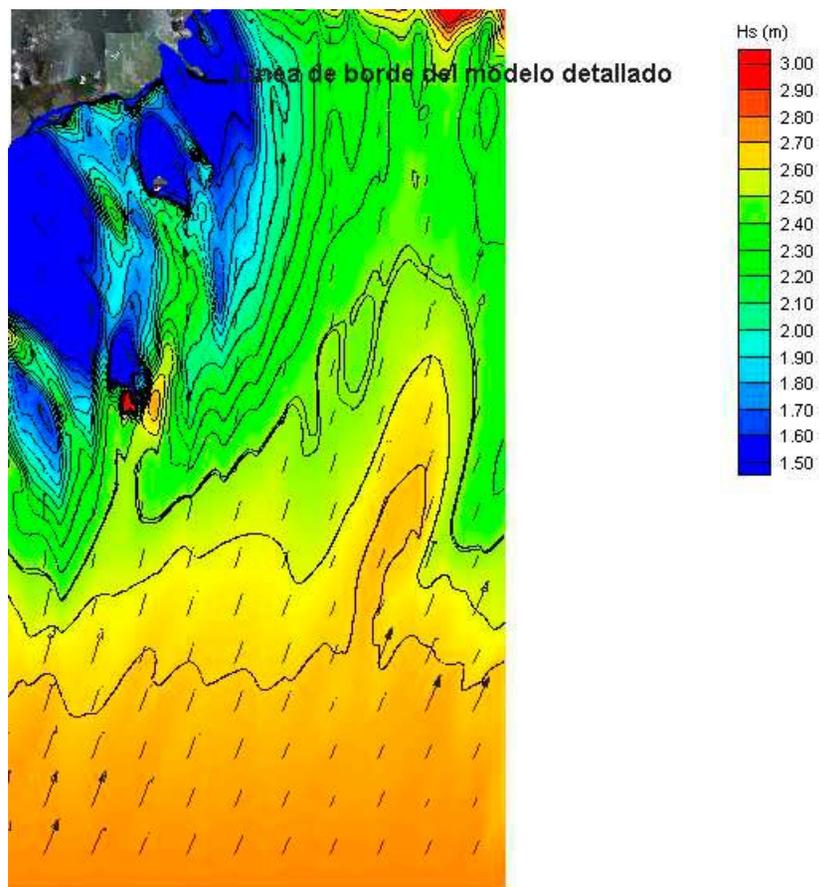
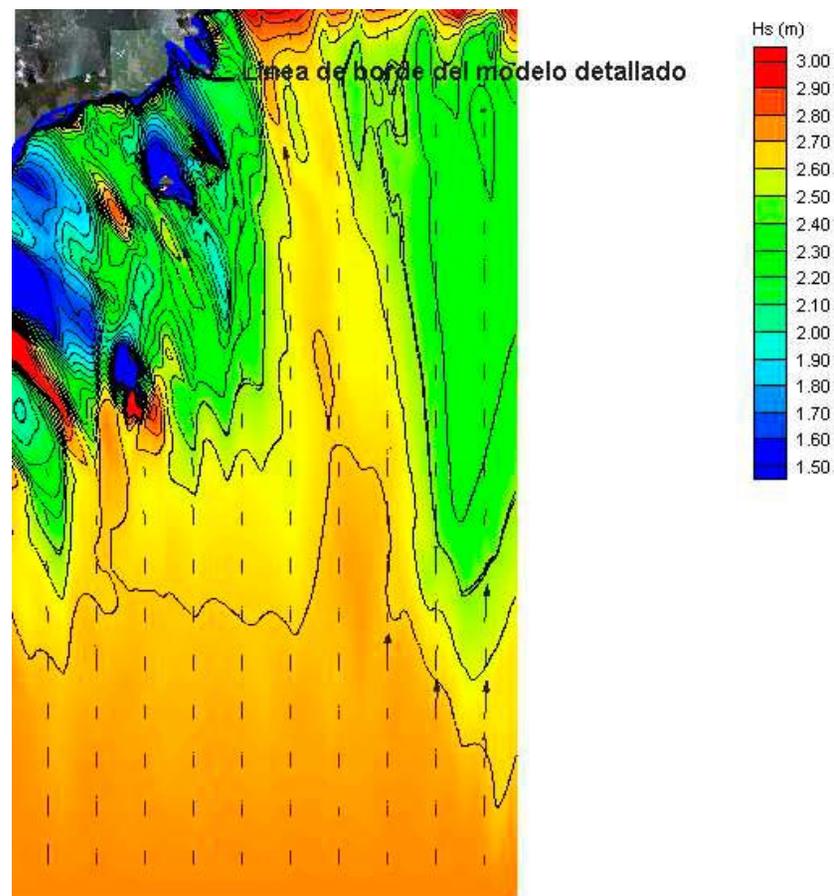


Ilustración 33. Transformación de olas oceánicas provenientes del Sur



El análisis de las relaciones entre la altura significativa y el período de pico del espectro, muestran que existen dos modas (ver figura siguiente), una correspondiente a olas generadas localmente por viento con períodos de hasta unos 7 segundos, siendo el período de las mayores olas del orden de 5 a 6 segundos, y otra correspondiente a ondas oceánicas, con períodos entre 9 y 20 segundos, y excepcionalmente hasta 21 segundos, siendo el período de las mayores olas en el registro, del orden de 17 segundos en primer lugar, y de 12.5 a 13.5 segundos en segundo lugar.

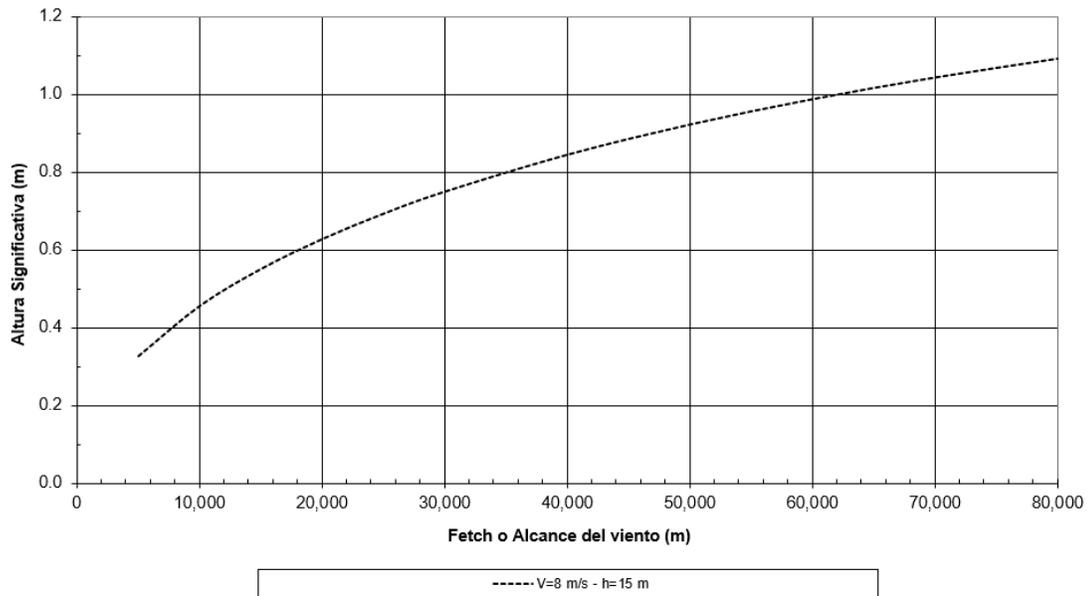
En función de los resultados obtenidos se adoptaron como condición de borde del modelo detallado, olas incidiendo con ángulo SSE (22,5° desde el Sur). La siguiente tabla presenta las alturas significativas de olas para recurrencias de 1, 50 y 100 años. Se puede estimar en primera aproximación, que la altura de ola para 1 año de recurrencia sería del orden de 2/3 de la altura de recurrencia centenaria, y que la diferencia entre 50 y 100 años es de sólo un 6%.

**Tabla 16. Condiciones de Altura de ola significativa en el borde oceánico del modelo detallado.**

Tr (Años)	Hs (m)
1	1.1
50	1.65
100	1.75

Una verificación se puede realizar considerando una velocidad del viento típica con 3 horas de duración para una recurrencia del orden de 50 a 100 años, que puede estimarse en unos 11 m/s, y calcular la altura significativa y período de las olas generadas desde las direcciones limitadas por las costas. Las distancias sobre el agua donde el viento puede actuar (Fetch) varían entre unos 60 y 80 km en esas direcciones. Las profundidades medias sobre toda la transecta en condiciones de pleamar son de unos 15 metros, reduciéndose en el sector más cercano a la costa. Empleando la formulación de cálculo de las olas generadas por el viento recomendada por el Shore Protection Manual, se obtienen las alturas de ola que se presentan en la Ilustración 34.

**Ilustración 34. Alturas significativas de ola generadas por vientos locales de 11 m/s de intensidad**



Se puede apreciar que las alturas significativas de ola son del orden de 1.1 metros, con lo que se consideran validados los órdenes de magnitud resultantes. Los períodos de pico calculados son del orden de unos 4 segundos.

Se estima una altura extraordinaria de ola de 5.25m para un periodo de retorno de 100, y por lo tanto está por debajo del nivel de trabe y súper estructura del viaducto propuesto en el presente proyecto.

### **8.1. Condiciones hidrodinámicas de la Bahía de Panamá**

La modelación hidrodinámica genera los niveles de agua y velocidades de la corriente en el dominio de cálculo.

Existe información antecedente sobre la circulación de agua en el entorno de la Bahía de Panamá, la cual se encuentra altamente influenciada por la corriente de Colombia, que induce una circulación neta o residual de Este a Oeste, tal como se puede apreciar en la Ilustración 35 e Ilustración 36.

Ilustración 35. Modelación Hidrodinámica.

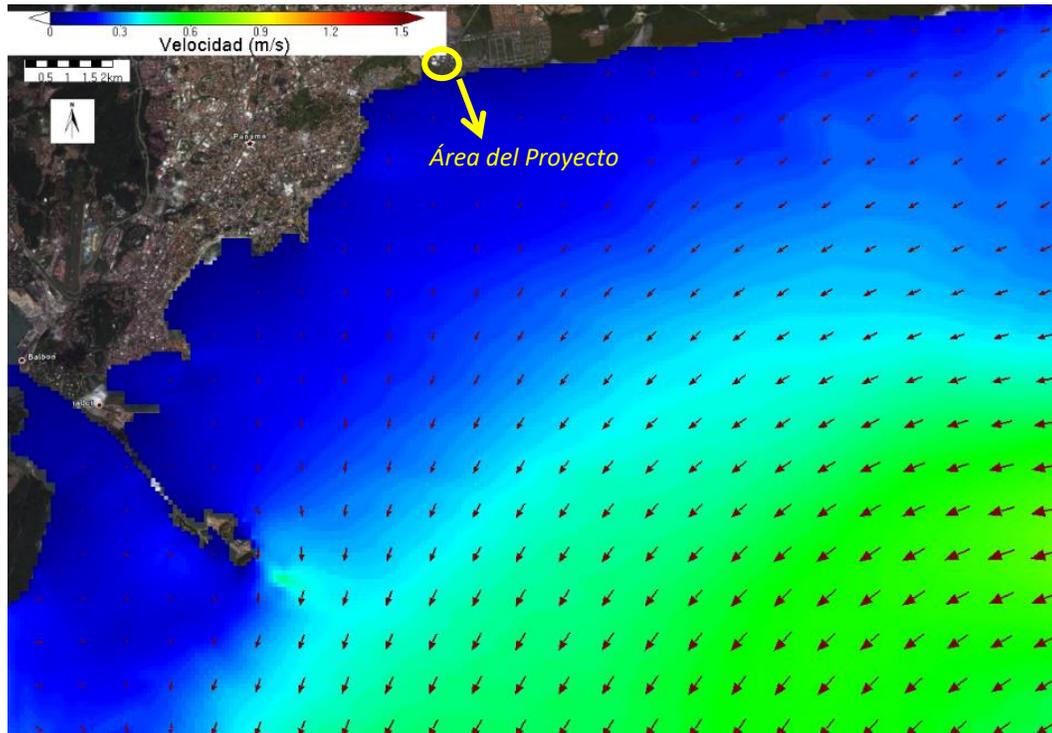
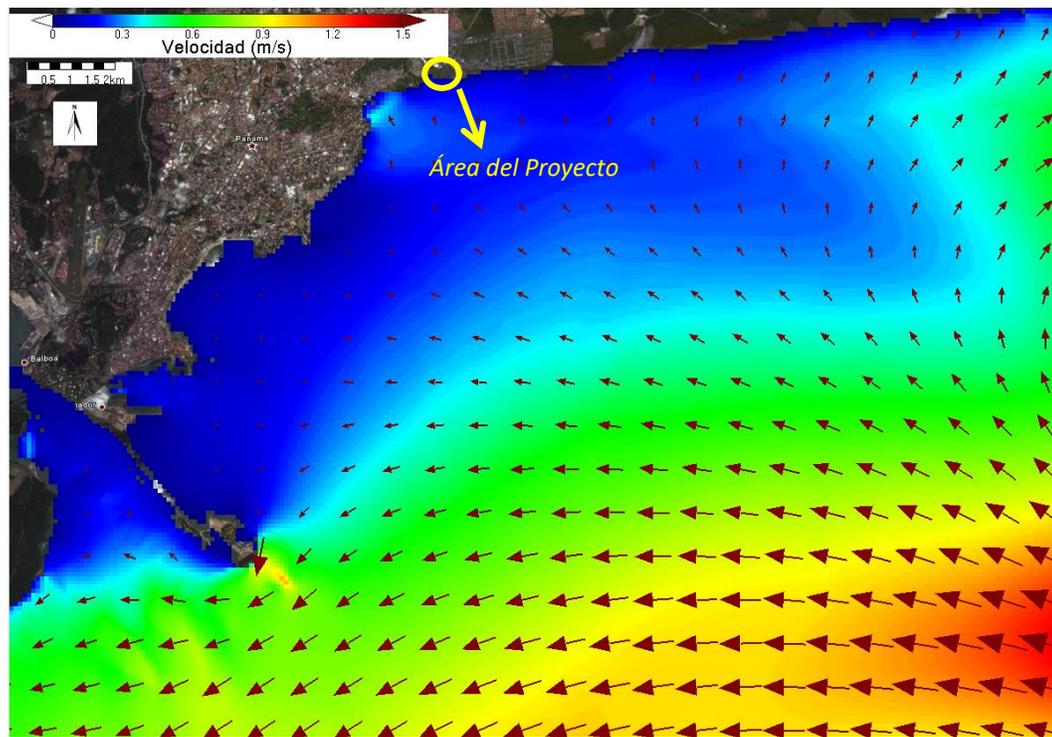


Ilustración 36. Modelación Hidrodinámica.



Al estar ubicada en la zona de borde oceánico alejada de las corrientes oceánicas de altamar, las velocidades de corriente en la zona del proyecto son muy bajas (no siendo afectada por la presencia del tramo marino, ni las adecuaciones del presente proyecto), y por lo tanto no alcanza a remover el sedimento por sí misma, en cambio puede transportar fuera del área costera el material puesto en suspensión por el oleaje, tanto por efecto del flujo que ingresa y sale en cada ciclo de marea, como por la débil corriente residual orientada hacia el Oeste. Resulta, por lo tanto, que no es esperable que se produzcan efectos desfavorables sobre la estabilidad costera del entorno urbano, debido a la construcción del proyecto.