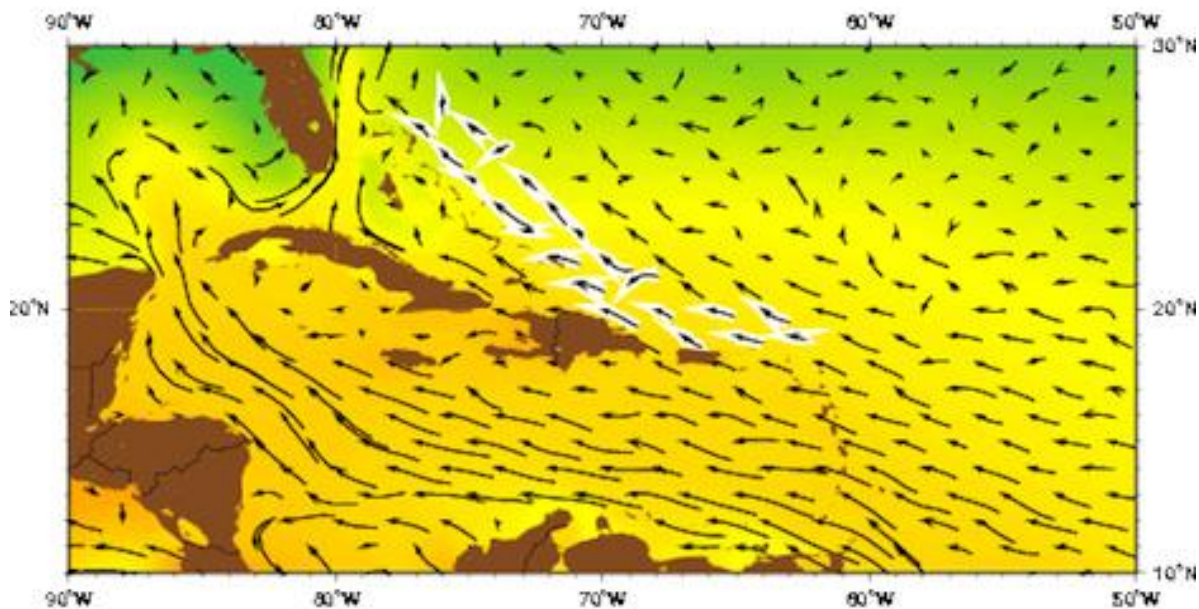


También era difícil ver la corriente Antillana en los mapas topográficos, ya que su expresión de superficie era relativamente débil.

La corriente marina Antillana fluye hacia el Norte, al Este de las Antillas y se une a la Corriente de Florida pasadas las Bahamas. Sus aguas se concentran en un fuerte flujo concentrado hacia el Noroeste unos 80-100 km de ancho centrada en 400 m (Lee et al., 1996). Hay evidencias de cierta recirculación y el desequilibrio dentro de esta recirculación genera estimados para el transporte que van 2-7 Sv (transporte neto) con una media de flujo hacia el Norte, de  $5 \pm 2$  Sv a 27°N (Lee et al., 1996). Olsen et al (1984) encontraron un valor similar de 4 Sv. a lo largo de la frontera a 23°N. En contraste, Schmitze y McCartney (1993) reportaron un valor mucho mayor, de 12 Sv y Schmitz et al, (1992) informe de 10 Sv. Parece indicar la existencia de una señal variable en la corriente Antillana "(MGSVA CIMAS 2006).

Esta corriente marina está actualmente siendo monitoreada a largo plazo y surte efecto a partir de 800 metros de profundidad hasta la superficie. Su presencia es altamente estacional, lo que hace aún más difícil el definir sus parámetros.

#### **4.4.1. Patrones trayectorias estacionales de la Corriente Antillana MGSVA CIMAS 2006**



**Figura 4. 29. Enero-Febrero-Marzo**

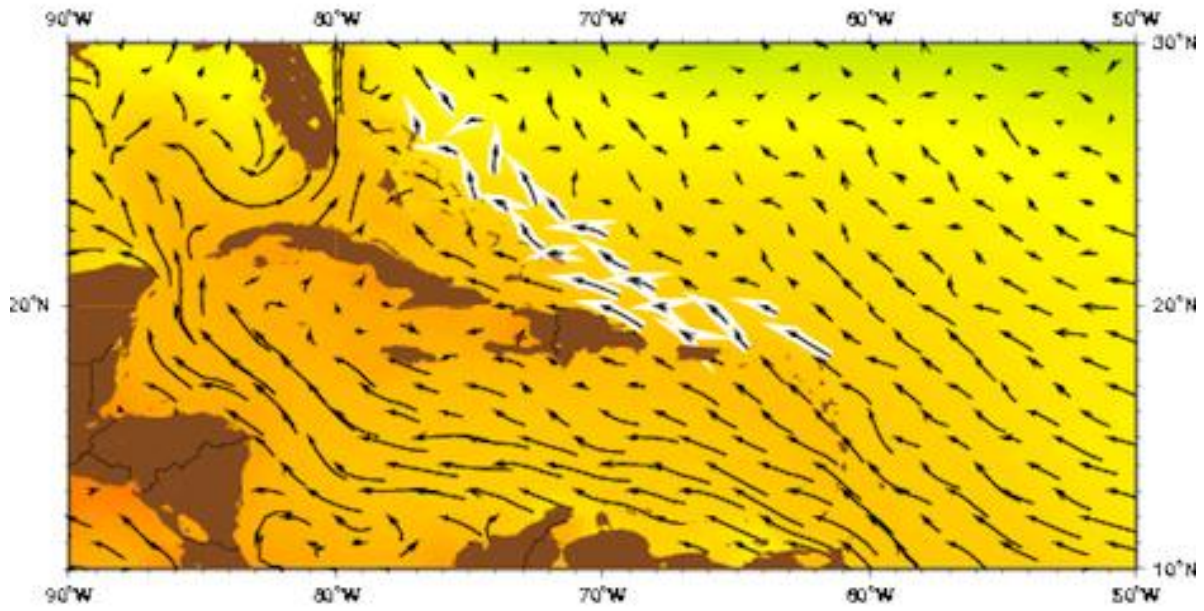


Figura 4. 30. Abril – Mayo – Junio

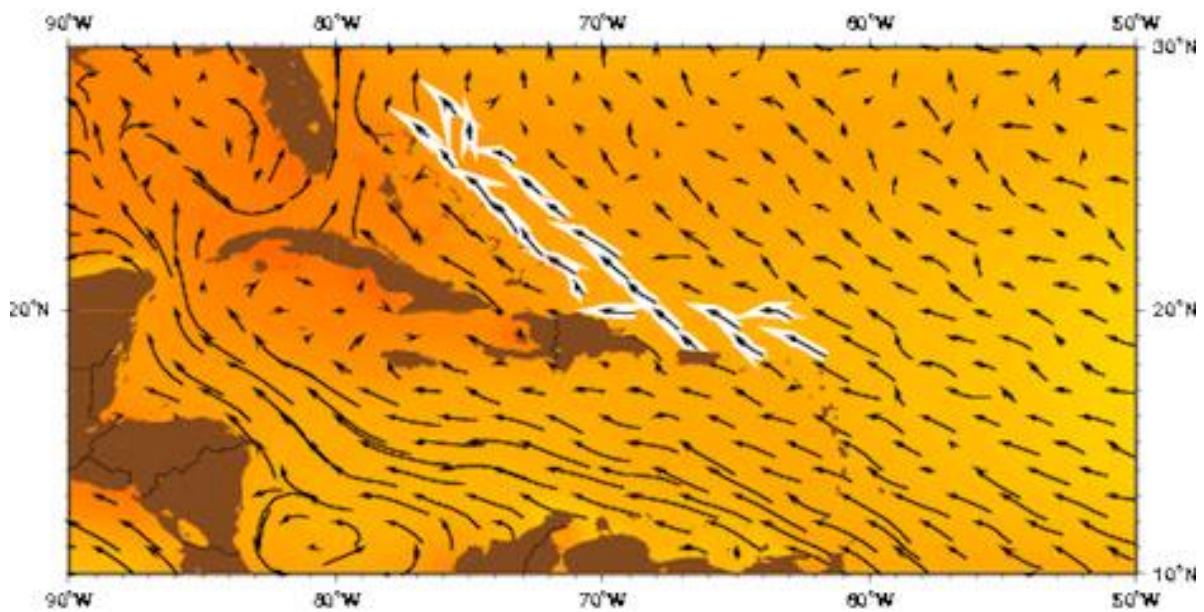


Figura 4. 31. Julio – Agosto – Septiembre

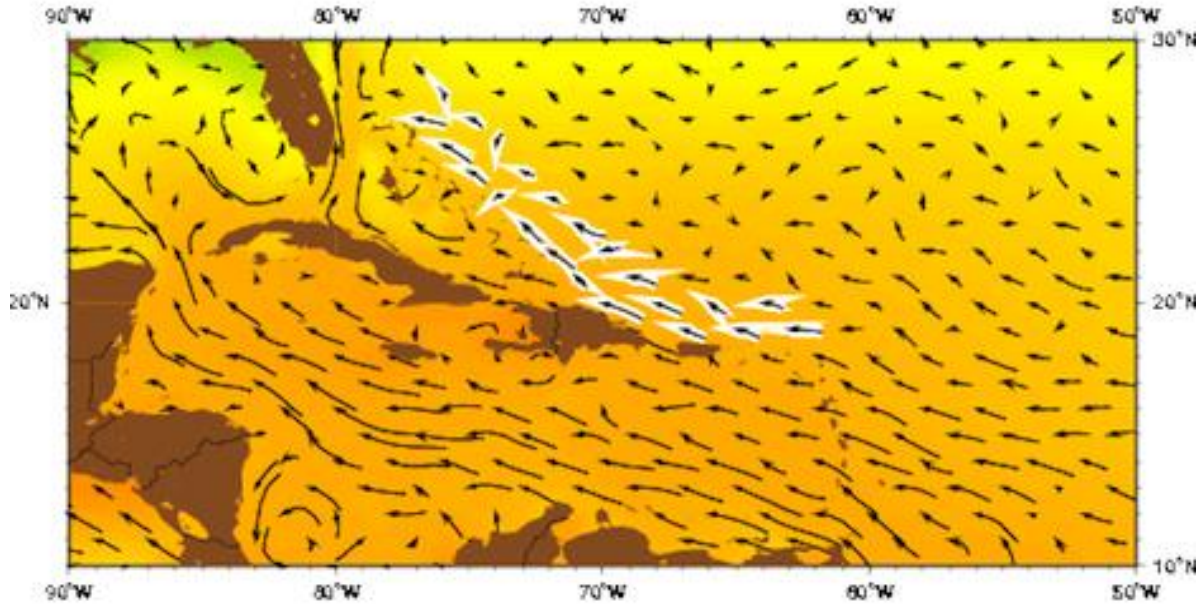


Figura 4. 32. Octubre – Noviembre – Diciembre

#### 4.4.2. Corrientes marinas locales:

Con la finalidad de determinar los patrones locales de corrientes marinas para las obras marinas existentes y propuestas del proyecto, se llevaron a cabo mediciones de campo con boyarines inerciales, sobretodo en presencia de condiciones de oleajes normales típicos de la zona provenientes desde el cuadrante NE desde Agosto hasta Noviembre 2009.

Estos 3 boyarines claramente identificados fueron soltados desde un bote y sus ubicaciones en el tiempo fueron medidas sincronizadamente cada 2 minutos en tiempo con 2 estaciones totales Trimble 3305DR de 5" de precisión angular desde la costa en varios puntos de triangulación georreferenciados con GPS diferencial.

Cuadro 4. 13. Resultados de las mediciones del estudio oceanográfico  
ESTUDIO OCEANOGRAFICO PETROX COSTAMBAR

Velocidad ( cm/seg )														
Fecha:	08/07/09				Fecha:	09/07/09			Fecha:	30/09/09		Fecha:	11/08/09	
B1	B2	B3	B4	B1	B2	B3	B1	B2	B1	B2	B1	B2		
10.2	11.5	12.2	16.8	5.6	8.3	13.2	35.0	15.7	19.5	7.8				
12.1	9.9	25.8	18.9	7.0	4.7	7.4	23.5	43.3	4.9	6.1				



<b>ESTUDIO OCEANOGRAFICO PETROX COSTAMBAR</b>											
<b>Velocidad ( cm/seg )</b>											
Fecha:	08/07/09			Fecha:	09/07/09			Fecha:	30/09/09	Fecha:	11/08/09
B1	B2	B3	B4	B1	B2	B3	B1	B2	B1	B2	
11.3	11.5	26.9	17.5	2.9	9.8	5.8	21.3	20.7	8.2	19.6	
8.9	12.6	8.1	18.2	4.9	9.9	4.1	29.7	17.5	14.3	4.9	
10.9	6.3	2.9	18.2	3.8	6.5	3.3	54.2	22.2	15.0	9.1	
11.9	18.4	2.3	33.2	2.1	55.8	2.7	16.9	53.1	9.4	8.8	
13.8	15.9	3.1	16.2	1.3	27.4	2.1	29.4	39.8	6.3	37.7	
15.1	15.9	1.5	14.8	3.8	7.6	1.6	72.7	41.5	15.6	23.7	
15.0	15.2	2.3	17.2	2.3	12.4	1.2	16.0	227.7	2.9	8.0	
10.4	11.3	2.9	18.9		16.7		58.9	81.1	10.8	31.4	
	10.0	4.2	18.6		40.4		472.9	30.1	3.4		
		5.8	20.9		10.3			34.5	7.4		
		6.0	21.0		17.3			99.1	15.8		
			20.0					50.8	14.3		
			22.0					78.1	12.3		
			22.0					163.9	3.1		
			14.8					73.1	13.5		
			16.1					112.1	8.9		
								182.8			
								58.3			
								48.9			
								150.5			
								81.6			
								47.4			
								32.6			

<b>ESTUDIO OCEANOGRAFICO PETROX COSTAMBAR</b>												
<b>Velocidad ( cm/seg )</b>												
Fecha:	08/07/09				Fecha:	09/07/09			Fecha:	30/09/09	Fecha:	11/08/09
<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>B4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>		
<b>11.96</b>	<b>12.59</b>	<b>8.00</b>	<b>19.18</b>	<b>3.74</b>	<b>17.47</b>	<b>4.60</b>	<b>75.50</b>	<b>72.26</b>	<b>10.31</b>	<b>15.71</b>		
<b>Velocidad Promedio:</b>												
	Hacia el W											
	Hacia el N											
	Hacia el S											

Si bien los corrientímetros digitales aportan valores puntuales más precisos de la velocidad y dirección de un punto específico del litoral, los boyarines inerciales permiten detectar mejor las trayectorias reales de la masa de agua en movimiento así como los fenómenos de remolinos, corrientes de resaca (rip currents) y corrientes reflejadas generadas por las formaciones submarinas.

Generalmente la corriente marina local resultante en el área mar adentro en donde estará ubicada la monoboya tiene una dirección primaria coincidente con el oleaje imperante, predominantemente Este-Oeste, paralela a la costa y sus velocidades son bajas con valores entre los 15cm/s a 23 cm/s con un promedio de 18cm/s.

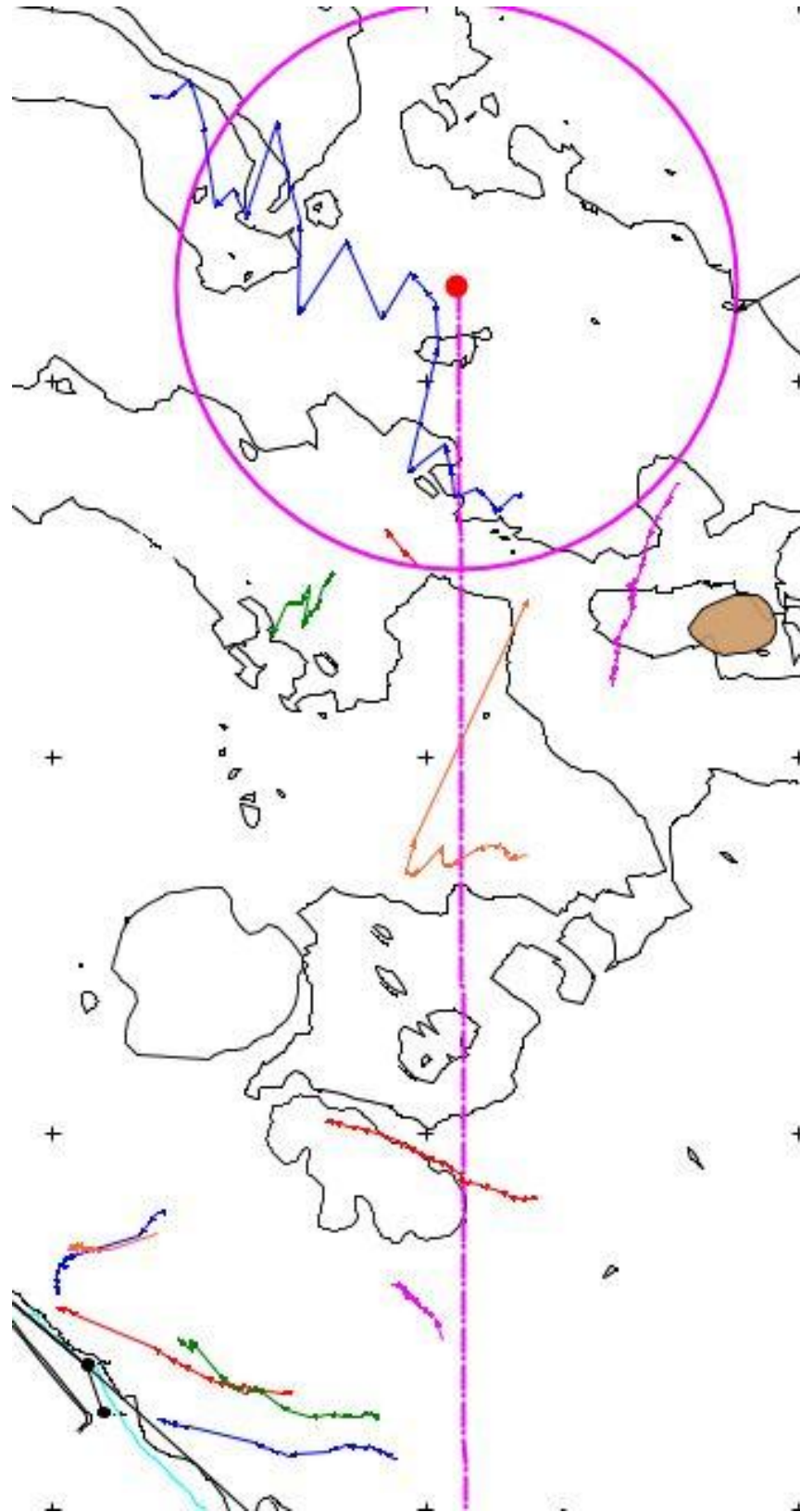


Figura 4. 33. Vectores de las corrientes marinas en la zona del oleoducto y monoboya

A manera de síntesis se puede afirmar que las corrientes marinas locales del área están determinadas por el movimiento dinámico de las olas y las mareas en base al relieve del fondo marino rocoso y de la costa, que presentan un patrón típico de altamar de Este hacia el Oeste .

Las irregularidades de la costa y del relieve del fondo tienen una gran influencia en la velocidad de las corrientes, observándose Rip Currents o corrientes de resaca hacia altamar en varias zonas de la rompiente del oleaje en Punta Cafemba-Costambar .

Dentro de la bahía de Puerto Plata al generarse un efecto de cancelación de las corrientes marinas locales en el área del delta del Río San Marcos por el encuentro o choque de las olas que entran a la bahía con la masa de agua fluvial descargada por el río, se genera una fuerte decantación de los sólidos en suspensión, resultando en una alta sedimentación que se deposita en toda el área del fondo submarino de la dársena del puerto comercial de Puerto Plata, que requiere de dragados periódicos para garantizar el calado mínimo de este puerto, mientras que otra gran parte de los finos en suspensión descargados por el río San Marcos fluyen a todo lo largo del litoral occidental de la bahía hasta salir de la misma por Punta Cafemba, siendo arrastrados hacia el Oeste por las corrientes marinas predominantes fuera de esta formación.

#### **4.4.3. Mareas**

Las mareas normales por su escaso rango de variación en la costa Norte de la isla de La Hispaniola no son de importancia para las fases de construcción ni operación de este proyecto, pero los niveles de las mareas de tormenta si son uno de los parámetros críticos para el diseño de obras costeras.

En la costa Norte de la República Dominicana la marea normal es predominantemente del tipo diurno. La banda de marea diurna se extiende en Océano Atlántico Ecuatorial hacia el Sur en gran parte del Mar Caribe, pero en ella se internan algunas áreas donde la marea semidiurna es más fuerte.

Aunque en la zona de estudio se instalaron varios mareógrafos de operación continua (Puerto Plata, Sánchez y Samaná) a mediados de la década de los años 50 a cargo de la Marina de Guerra Dominicana (MG) y supervisada por el Instituto Cartográfico Militar (ICM), estos medidores no se encuentran en operación desde hace más de 25 años por falta de mantenimiento y reemplazo tecnológico.

Los datos estadísticos de niveles históricos registrados por el mareógrafo de Puerto Plata son:

Nivel Máximo Extremo Pleamar	NMEP	+0.63m
Nivel Medio de Pleamar	NMP	+0.44 m
Nivel Medio del Mar	NMM	±0.0 m
Nivel Medio de Bajamar	NMB	-0.44 m
Nivel Mínimo Extremo Bajamar	NMEB	-0.64 m

No obstante, también se dispone de los datos suministrados por la NOAA, que describen de forma adecuada la componente armónica de la marea normal. De acuerdo con esta fuente ,, las diferencias de nivel máximas diarias tienen una amplitud de 0.6 metros y se producen asociadas a las mareas de sicigia.

Estación	Lat	Lon	Rango	Primavera	Elev
Puerto Plata	19° 49'	70° 42'	0.702 m	0.366 m	2.041 m

<http://tidesandcurrents.noaa.gov/>

Entre los meses de Septiembre y Octubre ocurren las pleamares más altas y entre los meses de Enero y Febrero las bajamares más bajas, con una diferencia máxima entre sus niveles medios mensuales de 0.25 m. Esta diferencia obedece a la influencia directa gravitatoria astronómica de la distancia entre el Sol y la Tierra.

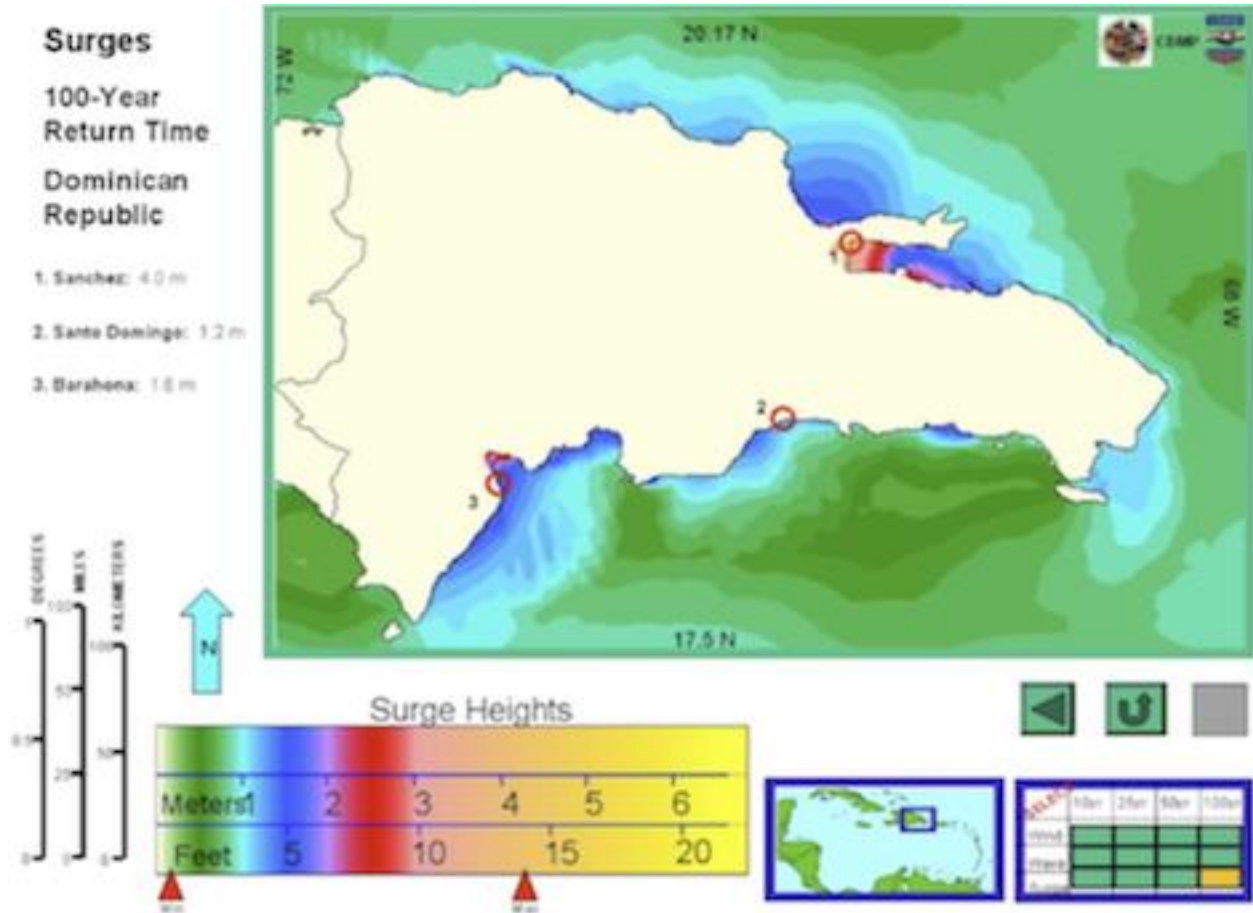


Figura 4. 34. Nivel de marea máxima con periodo de retorno de 100 años (CDMP-USAID)

Los niveles extraordinarios asociados con las mareas de tormentas y huracanes son publicados por el National Hurricane Center de la NOAA según sus categorías en la escala de intensidad Saffir-Simpson:

Categoría	Rango Vientos	Elevación Marea batistrópica
I	119 a 153 kph	+1.2 m a +1.5 m
II	154 a 177 kph	+1.8 m a +2.4 m



III	178 a 209 kph	+2.7 m a +3.6 m
IV	210 a 249 kph	+4.1 m a +5.2 m
V	> 250 kph	> +5.3 m

Como se puede observar, los valores de los niveles de estas mareas de tormenta (Storm Surge) asociados a las categorías de las intensidades de los huracanes son aplicables para el cuadrante NE de estos fenómenos y en el caso en particular de Puerto Plata solo estaría expuesta a los cuadrantes SW y SE de cualquier huracán que cruce por esta región, por la pérdida de energía que experimenta al tocar tierra, por lo que se esperan valores menores que los máximos indicados arriba. Aun con el paso de un huracán superior a Categoría 3, los vientos interactuarán con la loma Isabel de Torres y no se generarán las velocidades máximas de vientos ni los niveles máximos de mareas indicados.

Para huracanes con Categoría III o mayor, que pasen dentro de un radio de 100 km al Norte (mar adentro) del proyecto, sus mareas extraordinarias no afectarían en ningún modo las instalaciones terrestres de la terminal, ya que sólo inciden en los diseños de la porción marina del oleoducto y la monoboya/PLEM, por lo que se recomienda un diseño de estos componentes para la marea máxima asociada de +2.1m con un periodo de retorno de 100 años asociado a un huracán Categoría 3 pero con vientos máximos sostenidos de 150 kph.

En ningún caso, Petrox contempla la operación de las instalaciones marinas de la terminal durante eventos extremos de mareas, oleajes y/o vientos por razones de seguridad de los buques así como de reducción de riesgos de accidentes y cualquier potencial derrame de combustibles, de ahí que no se considera en este EIA y PMAA este escenario de operación bajo condiciones extremas climatológicas para fines de impactos ni su mitigación.

#### **4.4.4. Oleaje**

##### **4.4.4.1. Régimen regular**

El oleaje es uno de los factores que mayor incidencia tiene para el diseño de obras costeras y mitigación de derrames de líquidos contaminantes.

Para la definición precisa de los procesos litorales, se requiere la determinación exacta del oleaje por dirección en altamar, para luego transformarlo hasta la costa, mediante las modificaciones producto de los fenómenos de refracción, reflexión, propagación, viscosidad, fricción y difracción, los cuales son introducidos a medida que disminuye la profundidad del fondo marino.

En la República Dominicana no existe estación alguna equipada con medidores espectrales direccionales de oleajes. Aún así, la Oficina Nacional de Meteorología aportó las estadísticas de oleajes en el Mar Caribe confeccionadas en base a los reportes de las embarcaciones en altamar durante 5 años, del 1965 al 1969.

De acuerdo a estas estadísticas, la altura de ola, período y dirección predominante en el Mar Caribe es:

Altura de olas:	1.0 a 1.5 m.
Periodo de olas:	menor de 5 segundos
Dirección:	Este-Noreste

En vista de que los barcos tienden a evadir los disturbios atmosféricos, podemos concluir que estas estadísticas pueden ser consideradas adecuadas para describir las características del oleaje en condiciones normales para la navegación.

Sin embargo, desde el punto de vista de la ingeniería costera, estos datos no son suficientes y fue indispensable la estimación y definición clara y precisa de las dimensiones del oleaje, normal y anormal, por dirección en la zona del estudio, con la finalidad de calcular las olas de diseño para las diferentes estructuras del componente marino del proyecto.

Para el cálculo del oleaje normal se emplearon las condiciones meteorológicas ordinarias, mientras que para el análisis de las olas anormales se consideraron los huracanes y tormentas tropicales.

En la actualidad, existen varias fuentes que suministran información estadística acerca del comportamiento de las olas en la región del Caribe. La mayoría de estas estadísticas se sustentan en observaciones sistemáticas de la dirección y altura del oleaje a partir de estimaciones directas desde embarcaciones y los registros de las boyas del National Weather Service de los Estados Unidos.

Entre las fuentes que dan una descripción más completa se destacan el Global Waves Statistics, el Atlas of Sea and Swell Charts y los registros las boyas de medición del Nacional Data Buoy Center (NDBC), que suministran información directa y nutren las estadísticas de oleaje regionales mediante modelos de simulación por extrapolación.

De acuerdo con el CEM (2002), los parámetros más utilizados en la caracterización del oleaje son la altura media del tercio de las olas más altas de todas las olas registradas, que se conoce como la altura significativa y la altura media del 10% de las olas más altas registradas,  $H_{1/10}$ .

Entre todos estos parámetros, el más empleado es la altura significativa que se denota por  $H_s$  o  $H_{1/3}$  ya que es el que mejor se correlaciona con la apreciación visual de este parámetro.

Otros indicadores utilizados para describir la altura del oleaje son el promedio de la altura de todas las olas del registro analizado, que se denomina altura media ( $H$ ), la altura más alta del registro  $H_{max}$  y la altura de la raíz media cuadrática de todas las observaciones ( $H_{rms}$ ).

La probabilidad de que la altura de las olas sea mayor, menor o igual que determinada ola de diseño  $H_d$ , se determina por la expresión:

$$P(H > H_d) = m/N$$

$$P(H \leq H_d) = 1 - m/N$$

Donde  $m$  es el número de olas mayores que  $H_d$ .

El concepto de altura de la ola significativa fue definido inicialmente por Sverdrup y Punk (1947) y puede determinarse directamente a partir de los registros de oleaje, para lo que se utiliza el método conocido como análisis "wave by wave" (ola por ola):

$$H_s = 1/n/3 \sum_{i=1}^{n/3} H_i$$

Donde  $n$  es el numero de alturas de las olas individuales ( $H_i$ ) en un registro ordenado de mayor a menor.

De forma análoga, la altura de la raíz media cuadrática ( $H_{rms}$ ) se calcula a partir de la expresión:

$$H_{rms} = \sqrt{1/n \sum_{j=1}^n H_j^2}$$

El periodo pico ( $T_p$ ) se determina de forma similar.

El CEM (2002) reconoce que  $H_s$  y  $H_{mo}$  son aproximadamente iguales cuando los perfiles de oleaje irregular tienen forma sinusoidal. Sin embargo, cuando las olas se aproximan a la costa y su altura se incrementa antes del punto de rotura, se tornan no lineales y de forma empinada más que sinusoidal, por lo que se rompe la igualdad entre  $H_s$  y  $H_{mo}$ , son equivalentes (dentro de un 10% de variación) siempre que la profundidad en metros sea mayor o igual que  $0.0975T_p^2$ .

A continuación se presenta un resumen de las principales características del oleaje en la zona de estudio, a partir de la información suministrada por el Global Waves Statistics y los registros de las boyas oceanográficas del Nacional Data Buoy Center (NDBC).

El Global Waves Statistics presenta una descripción direccional de la altura y periodo de las olas en términos de probabilidad para diferentes áreas geográficas.

El oleaje que afecta la costa meridional de la República Dominicana se corresponde con el área 47 de esta fuente y en ella están contenidas tanto las estadísticas de oleaje Sea como Swells

#### 4.4.4.2. Areas del Global Waves Statistics que suministran información para las costas de la Republica Dominicana.

De acuerdo con los datos suministrados por el Global Waves Statistics, en la región existe un predominio de las olas procedentes del Este, seguidas por el Noreste y el Sureste

**Cuadro 4. 14. Frecuencia de ocurrencia del oleaje por rumbos para el Área 47 del Global Waves Statistics (Costas de la República Dominicana)**

Direcciones	Rumbo	Observaciones %
Norte	0	3.79%
Noreste	45	27.73%
Este	90	51.60%
Sureste	135	9.72%
Sur	180	2.15%
Suroeste	225	0.99%
Oeste	270	1.01%

Noroeste	315	1.27%
Desconocidas		1.74%
Todas las direcciones		100.00%

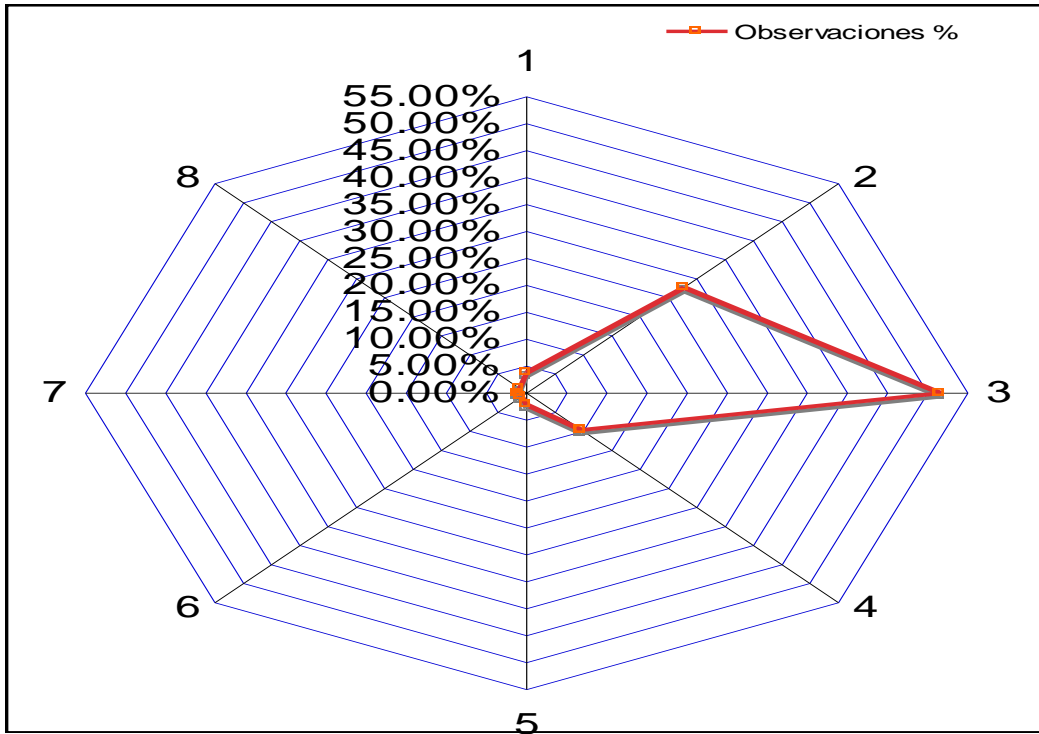


Figura 4. 35 Incidencia de oleajes por dirección

4.4.4.3. **Envolvente de incidencia de oleajes al proyecto:**

Las direcciones de incidencia de los oleajes normales y anormales en el área de Puerto Plata son aquellas comprendidas entre Norte-Noreste y Noreste-Este.

Según los reportes del Global Waves Statistics, las olas procedentes del Noreste son las que inciden con mayor frecuencia sobre la zona de estudio (27.73 %). Desde esta dirección generalmente las olas tienen alturas inferiores a 2 metros y periodos de 4 a 6 segundos. Las olas con altura superior a 3.5 a 4.0 metros presentan una probabilidad de no excedencia de 0.99, al igual que las olas con un periodo mayor a los 7 a 9 segundos respectivamente.

Podemos ver en la siguiente gráfica de la simulación regional del CDMP y USAID que la altura del oleaje significativo anormal para un periodo de retorno de 100 años para Puerto Plata es de 6.0 m



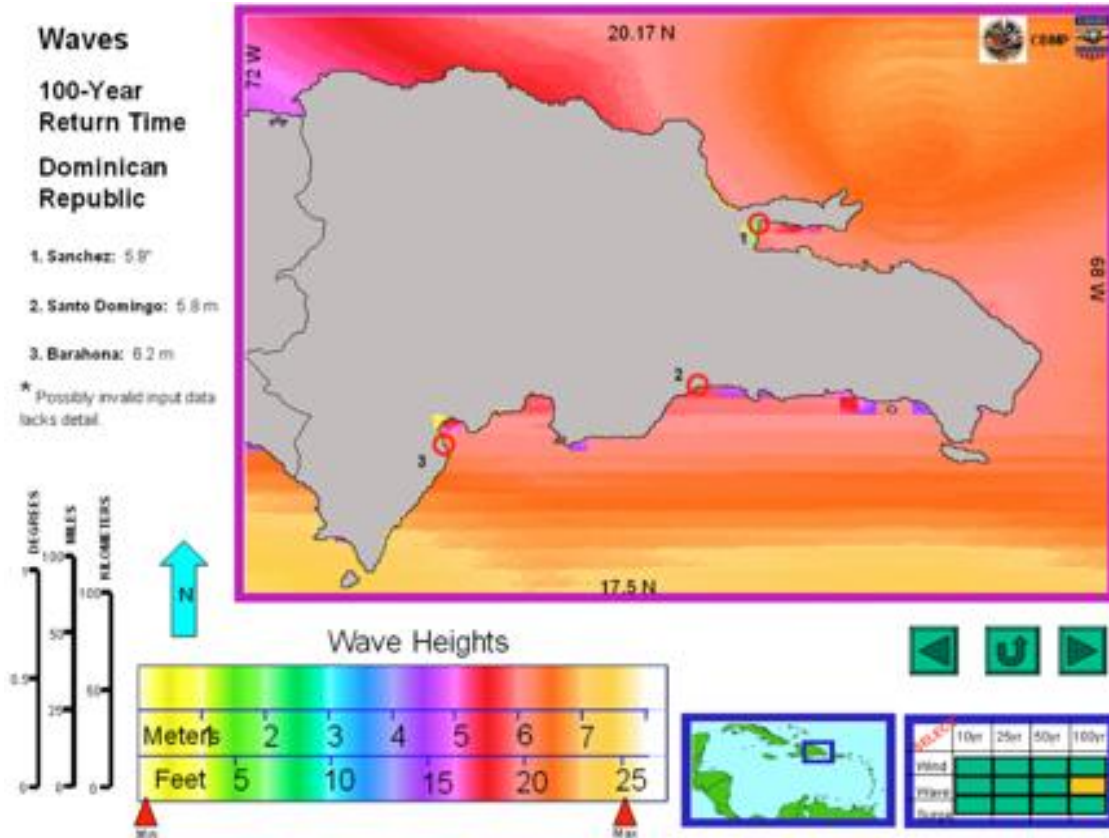


Figura 4. 36. Mapa de Olas Significativas con periodo de retorno de 100 años

4.4.4.4. Características generales del oleaje que afecta la zona según el Area 47 del Global Waves Statistics

Rumbo	Oleaje Habitual		Oleaje extremo	
	Altura (m)	Periodo (s)	Altura (m)	Periodo (s)
Este (51.6%)	<1.6	4.0-5.0	3.5	7.1
Noreste (27.73%)	<1.9	4.0-6.0	4.1	8.7

4.4.4.5. **Olas normales en altamar en las costas del país:**

Un dato disponible obtenido en la Secretaria de Estado de Obras Publicas y Comunicaciones, SEOPC, fue la simulación computarizada de las olas normales en altamar fue realizada por el equipo técnico de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) en 1987, y revisada posteriormente por la firma dominicana INCOCI, en el 1989 empleando el método Sverdrup-Munk-Bretschneider (SMB) y los datos horarios de vientos de año 1983 al 1985 de la estación meteorológica de Las Américas.

Los resultados de olas normales en el Caribe aportados por JICA 1987 fueron:

Altura de olas $H_{0.1/10}$	1.47 m
Periodo de ola $T_{0.1/10}$	4.78 seg

La dimensión de campo de generación de viento, fetch, fue limitada a 110 kilómetros. Los valores de las frecuencias de ocurrencia por dirección y altura, por dirección, altura y periodo, axial como por altura y periodo global para todas las direcciones consideradas fueron tabulados por JICA. Así mismo, la distribución probabilística y la probabilidad de no excedencia de la altura del oleaje por dirección y global fueron computadas y graficadas.

El empleo de la ola  $H_{0.1/10}$  y no la tradicionalmente empleada de  $H_{0.1/3}$ , lo cual implica el promedio del 10% de las olas más grandes en el espectro, lo recomienda entre otros, el "Shore Protection Manual de 1984", volumen I, teniendo en consideración los numerosos fracasos catastróficos observados en las obras costeras diseñadas con el valor previo, tales como el rompeolas de Sines en Portugal.

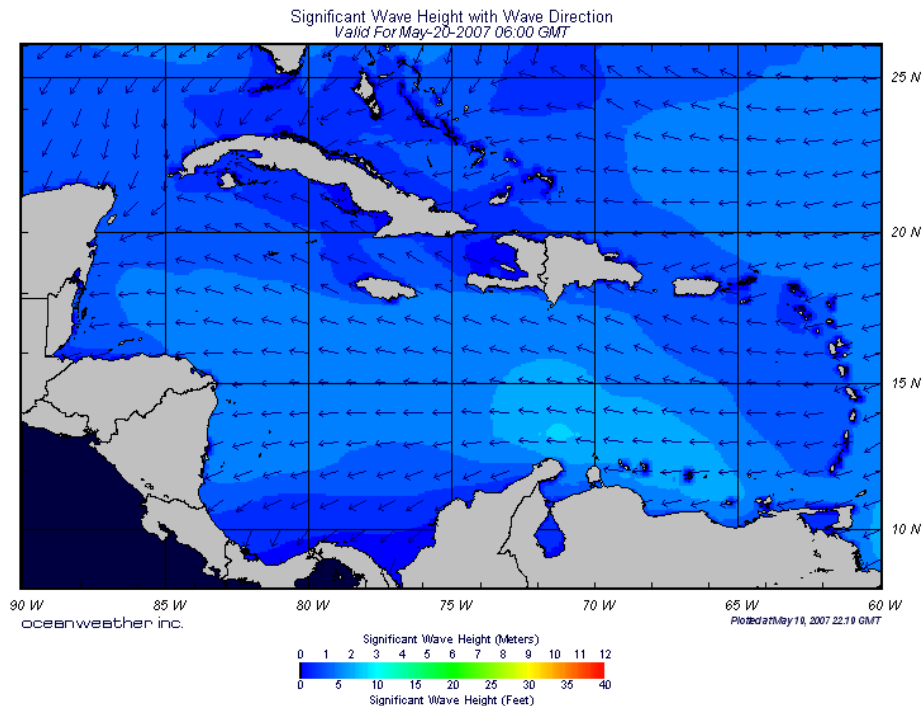


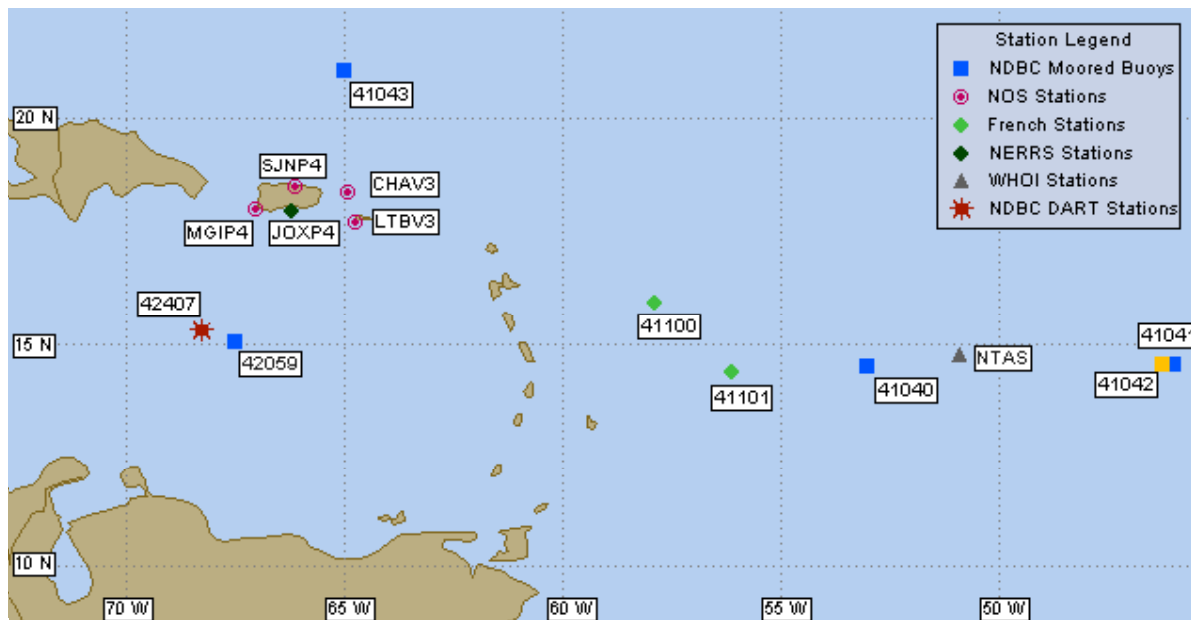
Figura 4. 37. Mapa de dirección y alturas de olas significativas H1/3 típicas en altamar generado cada 6 horas por Oceanweather.com

#### 4.4.4.6. National Data Buoy Center (NDBC):

La NDBC es una dependencia de la National Weather Service (NWS), quien a su vez es una dependencia de la NOAA y esta del Departamento de Comercio de los EUA. Es una entidad dedicada al monitoreo permanente y al registro de las mediciones de una red mundial de boyas especialmente diseñadas para la medición de los parámetros físicos de los oleajes, mareas y corrientes marinas así como las climatología de los mares y océanos.

El portal de esta boya de la NBDA en el Internet es:

[http://www.ndbc.noaa.gov/station\\_page.php?station=41043](http://www.ndbc.noaa.gov/station_page.php?station=41043)



**Figura 4. 38. Mapa de todas las boyas instaladas NDBC para huracanes**

Además de las estadísticas generales, para la región del Caribe se dispone de las mediciones de oleaje escalar realizadas desde la Boya 41043 del Nacional Data Buoy Center (NDBC). Esta boya fue instalada en Abril del 2007 como parte de la Red de Monitoreo de Huracanes del Caribe, colocada en los 20.99º grados de latitud Norte y 65.01º grados de longitud Oeste y es la más cercana ubicada en altamar a la costa Norte del país por lo que representa los oleajes sin distorsión de masas terrestres cercanas. Los registros disponibles en su portal cubren los meses de Abril 2007 hasta la fecha.

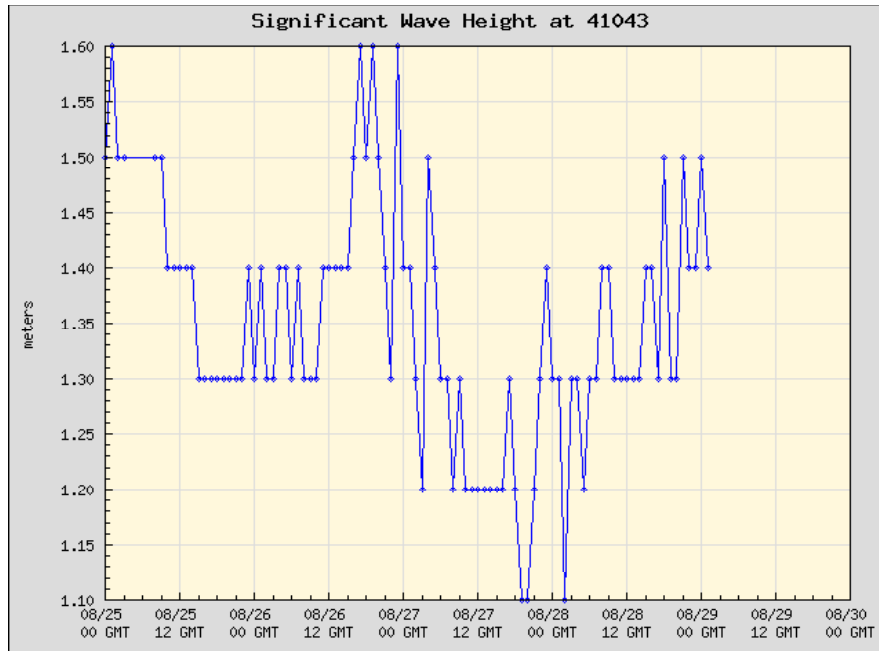


Figura 4. 39. Alturas significativas en altamar medida por boya 41043

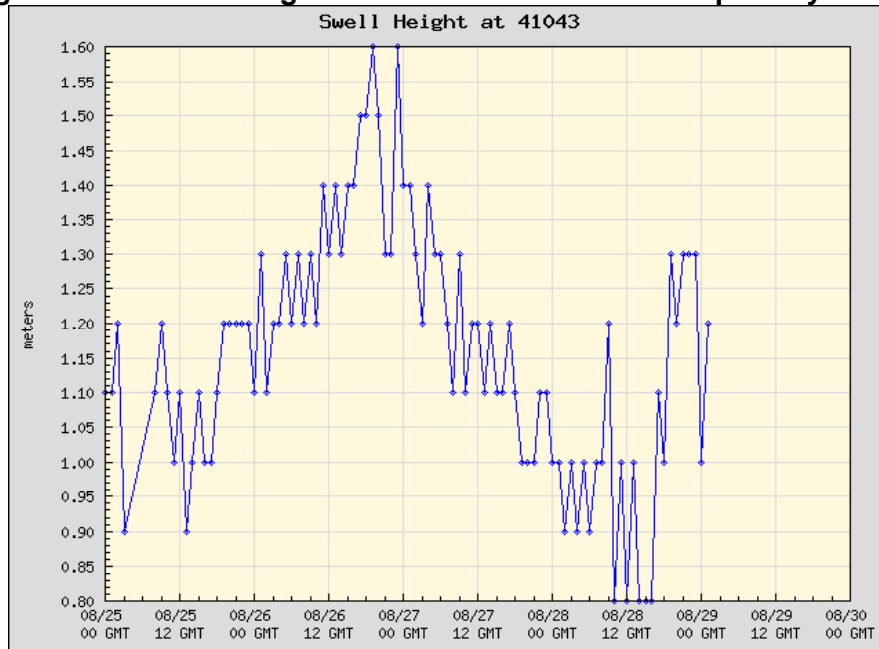


Figura 4. 40. Alturas Swells en altamar medida por boya 41043



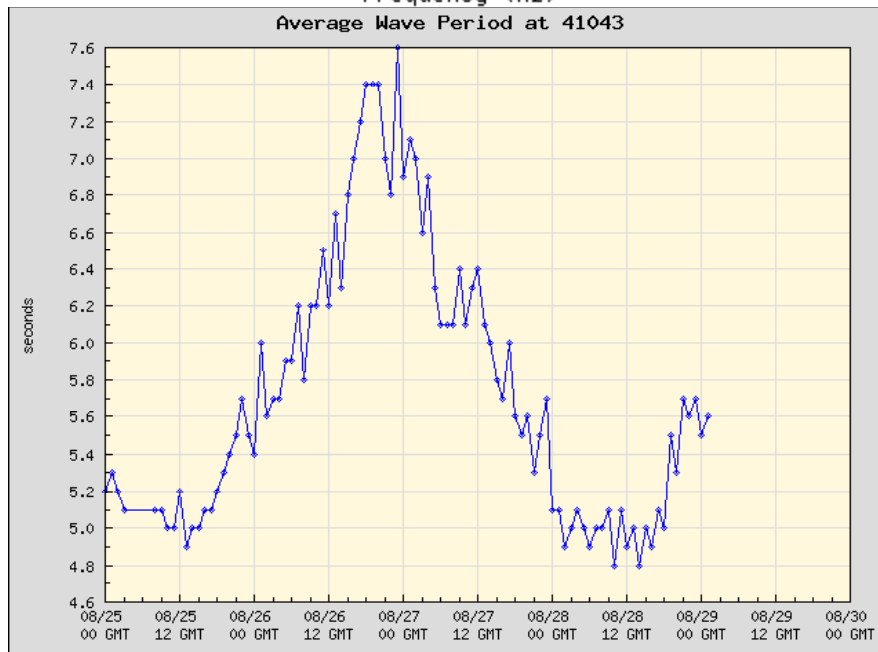
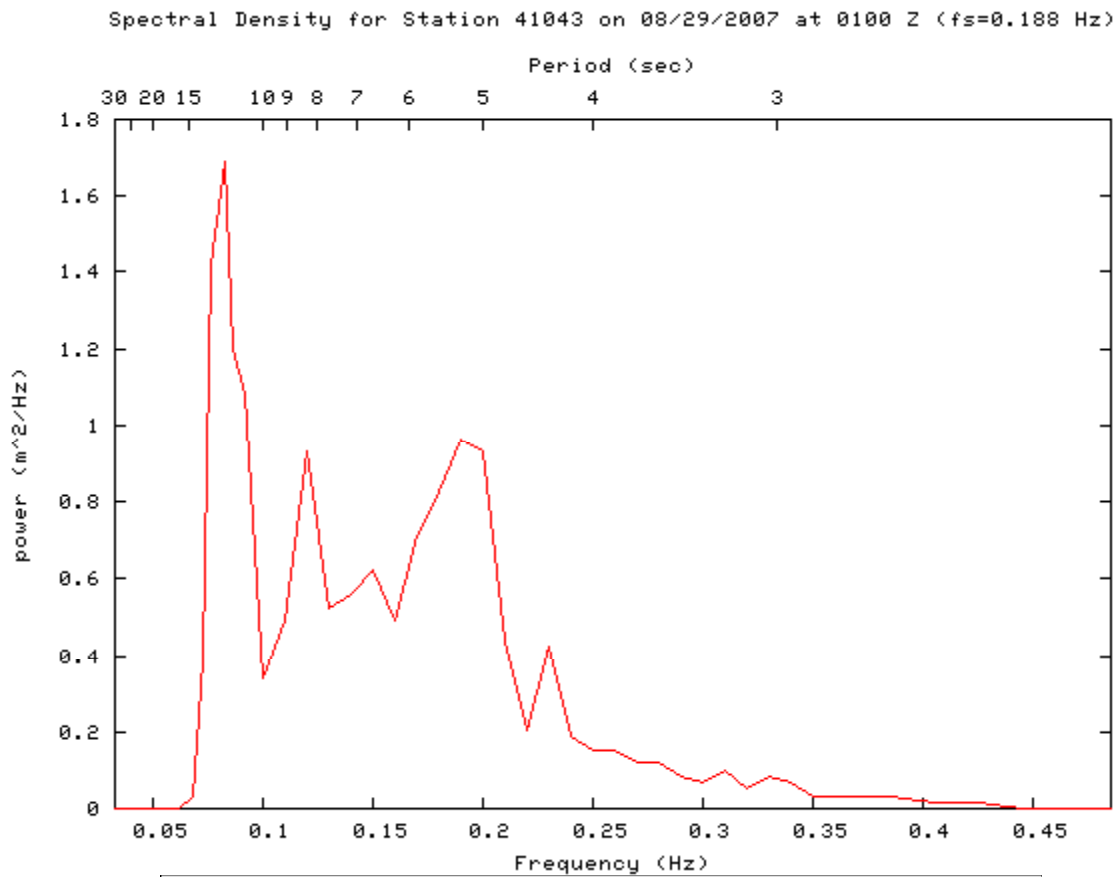


Figura 4. 41. Periodo promedio en altamar medida por boya 41043

En el periodo analizado, la mayor parte de las olas tuvieron alturas entre 1.5 y 2.0 metros que son valores similares a los determinados para la altura significativa, de acuerdo con los reportes del Global Waves Statistics.

Considerando de forma integral la información suministrada por las diferentes fuentes de oleaje, se puede afirmar que los reportes del Global Waves Statistics, son los que mejor describen actualmente, la dinámica de la región para oleajes normales tanto en la costa Norte como la costa Sur del país.

#### 4.4.4.7. Olas anormales en altamar: Caribe/Océano Atlántico

Dos métodos fueron empleados para obtener las olas anormales para la región:

1.- La JICA utilizó el método de Wilson para los 5 huracanes con velocidades de vientos superiores de 40 m/seg en los últimos 30 años.

Los resultados de JICA fueron los siguientes:

Huracán	Allen	David	Beulah	Inez	Flora
Año	1980	1979	1967	1966	1963
Altura m	4.5	6.6	5.1	3.8	2.1
Periodo seg	8.3	10.0	8.5	7.2	6.1
dirección	SE	SE	SSE	ESE	SSE

En el reporte final del "Plan Maestro de Desarrollo del Puerto de San Pedro de Macorís", la JICA 1987 recomienda utilizar una ola de diseño con una probabilidad de retorno de 50 años, con una altura  $H_{os}$  de 7 metros y un periodo  $T_{os}$  de 10 segundos para todas las obras costeras en el Sur del país

Los cálculos de las olas anormales en altamar realizados por la empresa consultora dominicana INCOCI en el 1989, empleando el método de Petruaskas-Aagaard (1970), modificado por Goda (1976), en base a los datos de vientos máximos por dirección de la estación meteorológica de Las Américas a 30 kms al Este de la ciudad de Santo Domingo en la costa Sur.

La dimensión de campo de generación de viento, fetch, fue limitada a 70 kilómetros en vista de que los huracanes nunca permiten la generación completa del oleaje, al tener un fetch de dimensiones variable y móvil axial como velocidades y sentidos alternados de vientos, limitando la transferencia del esfuerzo cortante del viento al mar y tamaño máximo de oleaje. La distribución probabilística y la probabilidad de no excedencia y periodo de retorno de la altura del oleaje por dirección fueron computadas y tabuladas.

INCOCI tras un análisis de regresión múltiple de los datos de los periodos de retorno de huracanes de JICA 87, logró establecer una ecuación de una curva de ajuste con una excelente correlación  $R= 1.00$ . Dicha correlación es muy superior a la computada por la JICA de 0.91. Esto permite la estimación del periodo de retorno de cualquier altura de ola. Los resultados de este modelaje fueron:

T retorno	50	40	20	10	t	a	b
H sureste	7.57	7.25	6.28	5.28	9.6	1.38	2.17
H sur	7.01	6.41	5.51	4.59	8.7	1.28	2.72
H suroeste	6.49	6.15	5.08	3.99	7.0	1.52	1.57

Adicionalmente, se calculó mediante el método del CERC SPM 1984 y los resultados fueron similares, tanto para huracanes de categoría 3 como de categoría 4, pudiendo concluirse que los valores de retorno son válidos estadísticamente para fines de diseño.

La NOAA tiene compiladas las estadísticas de las trayectorias de las tormentas y huracanes por categoría de intensidad que han pasado en un radio de 100 kms de Puerto Plata:

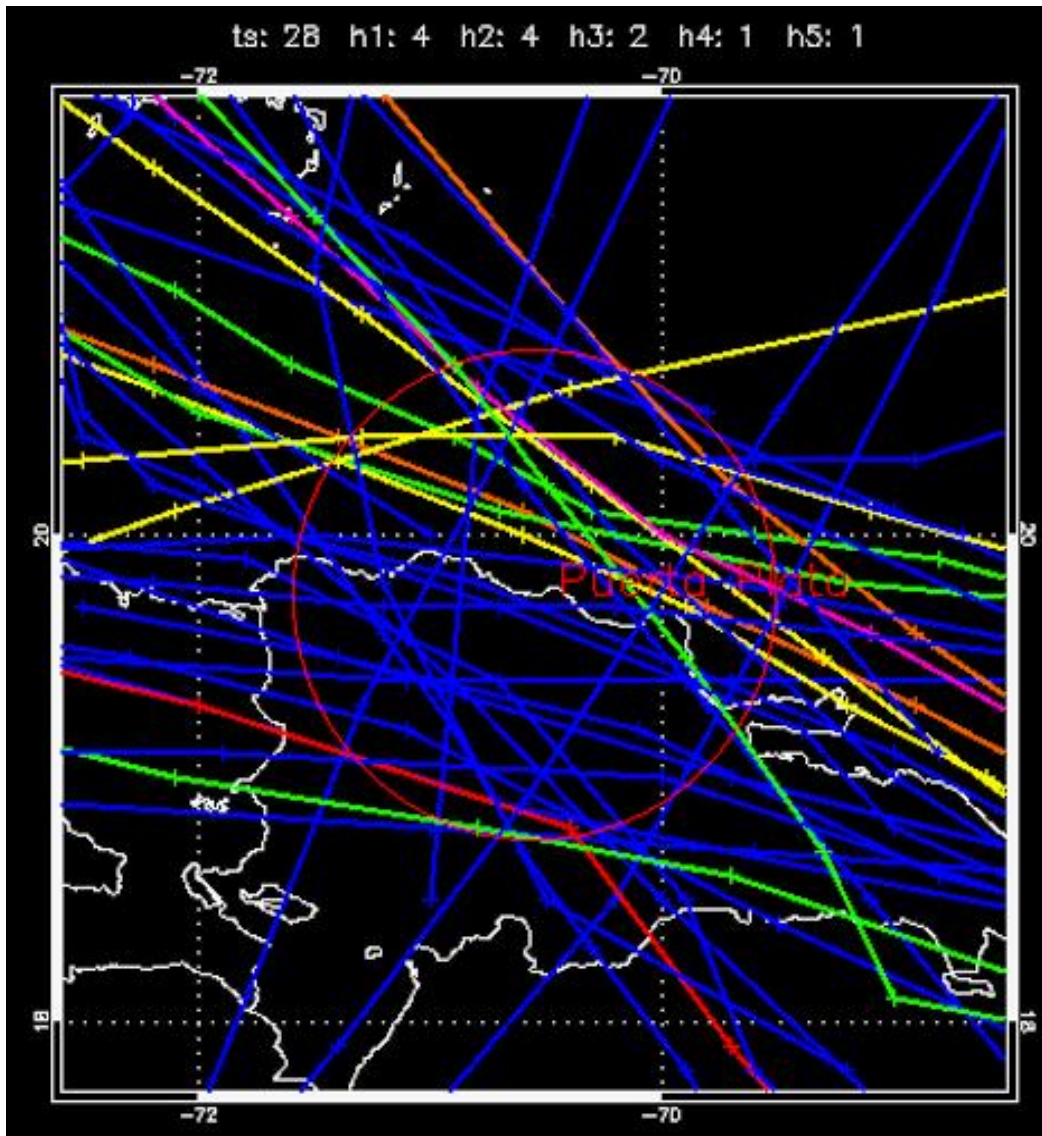


Figura 4. 42. Trayectorias de disturbios climáticos del 1851 al 2008 Puerto Plata

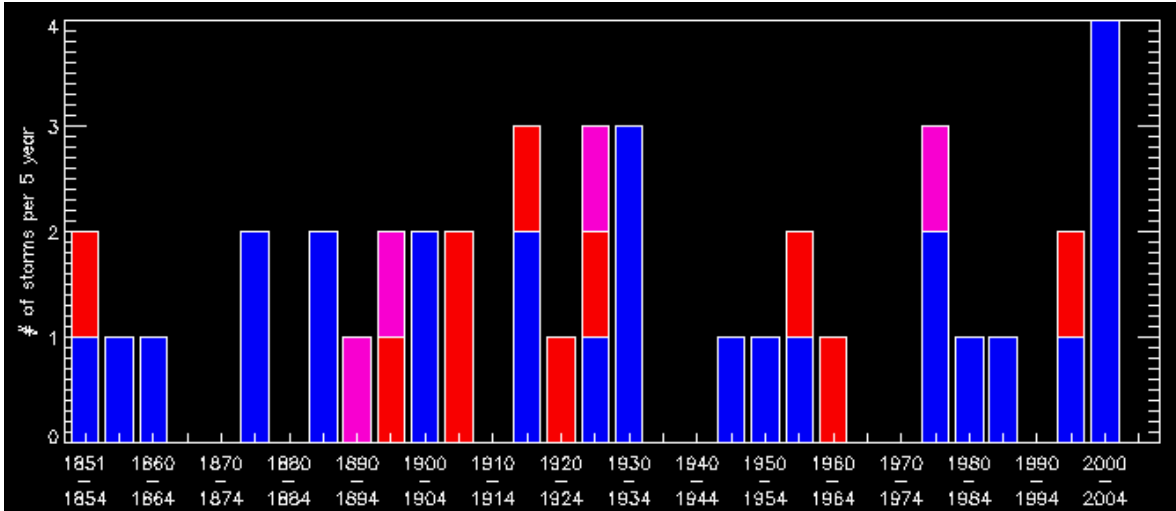


Figura 4. 43. Ocurrencia de disturbios atmosféricos dentro de un radio de 100 km de Puerto Plata por lustros del 1851 al 2004 NOAA

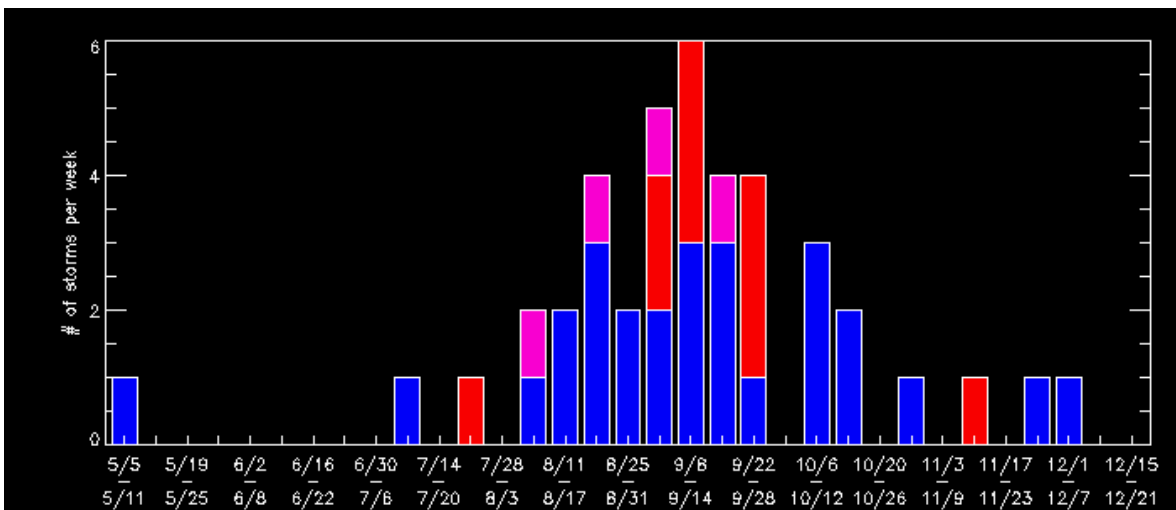


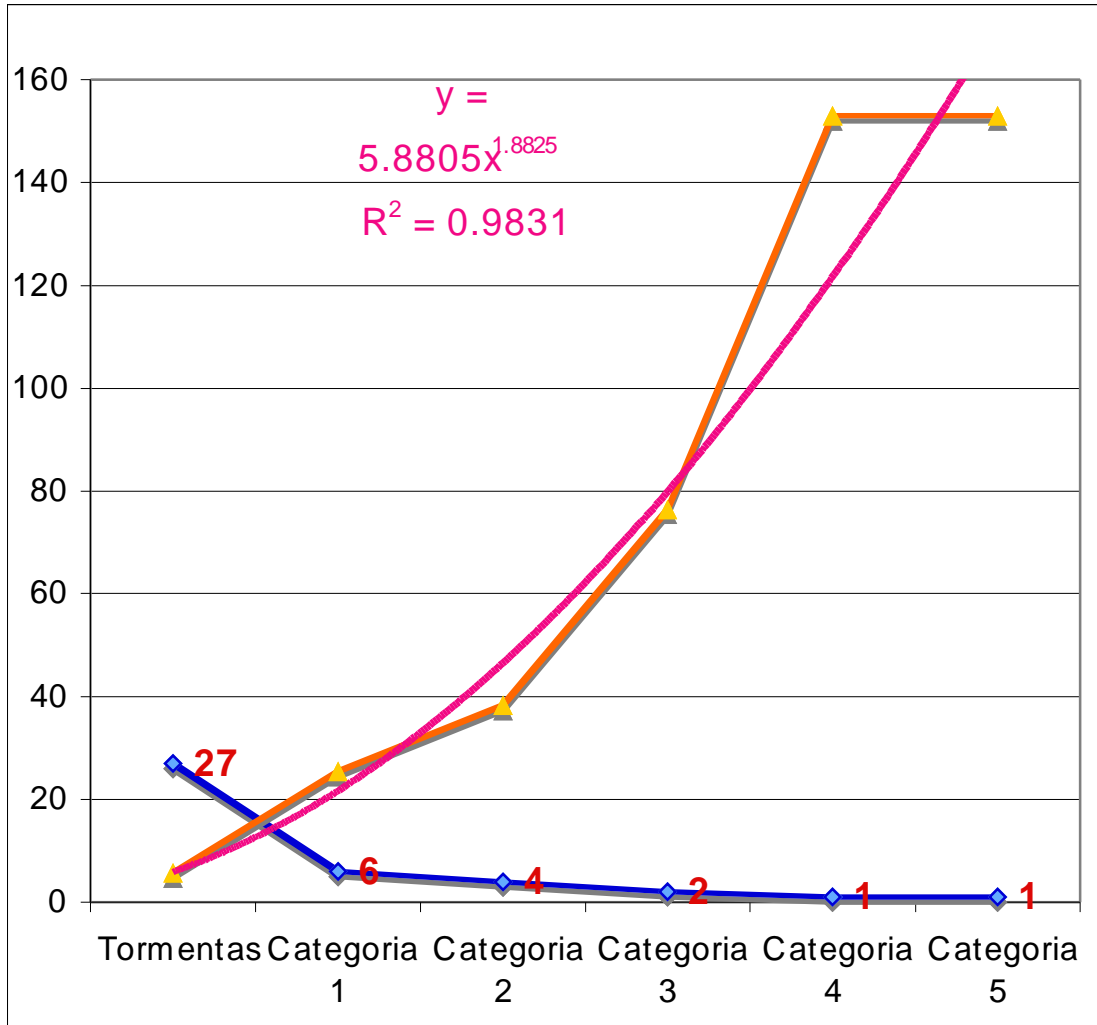
Figura 4. 44. Ocurrencia de disturbios atmosféricos dentro de un radio de 100 km de Puerto Plata por semana del 1851 al 2004 NOAA



1852 - 2008 =	<b>156</b>	<b>Años</b>	3.71	Años por tormentas
<b>Intensidad Tormentas</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>%</b>	<b>Acum %</b>	<b>Periodo de retorno</b>
	<b>28</b>	<b>66.67%</b>	<b>66.67%</b>	<b>5.6</b>
<b>CAT1</b>	<b>6</b>	<b>14.29%</b>	<b>80.95%</b>	<b>26.0</b>
<b>CAT2</b>	<b>4</b>	<b>9.52%</b>	<b>90.48%</b>	<b>39.0</b>
<b>CAT3</b>	<b>2</b>	<b>4.76%</b>	<b>95.24%</b>	<b>78.0</b>
<b>CAT4</b>	<b>1</b>	<b>2.38%</b>	<b>97.62%</b>	<b>156.0</b>
<b>CAT5</b>	<b>1</b>	<b>2.38%</b>	<b>100.00%</b>	<b>156.0</b>
	<b>42</b>	<b>Tormentas</b>		

**Cuadro 4. 15. Tabla de frecuencia de disturbios atmosféricos dentro de un radio de 100 km de Puerto Plata del 1852 al 2008 NOAA**

En base al banco de datos de los disturbios tropicales desde el 1851 al 2008 de la NOAA, se generó un análisis de regresión polinomial de periodo de retorno dentro de un radio de 100kms con su centro ubicado en la ciudad de Puerto Plata, que aportó una ecuación.



**Figura 4. 45. Gráfica Periodo de retorno disturbios atmosféricos Puerto Plata del 1851 al 2004 NOAA**

La incidencia de tormentas y huracanes en la costa Norte es notablemente menor que para la costa Sur del país, y es importante resaltar que las probabilidades de huracanes con categorías iguales o mayores de 4 superan los 156 años de retorno en la costa Norte.

Igualmente, los huracanes Categoría 3 tienen 78 años de retorno por lo que se concluye de que en Puerto Plata, las obras marinas propuestas por Petrox pueden ser diseñadas para resistir huracanes Categoría 3 con un periodo de retorno de 78 años.

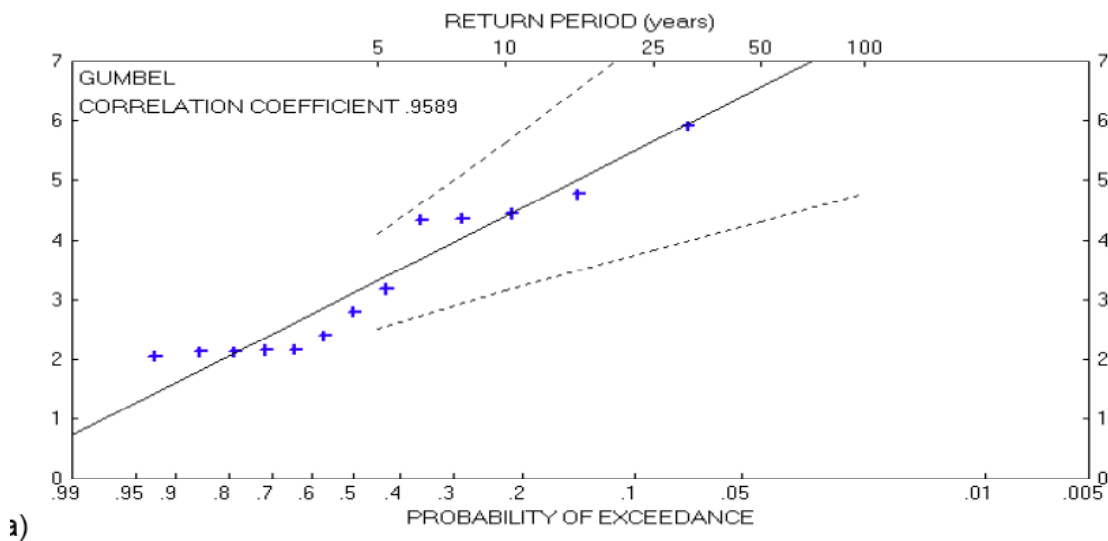
La presencia de la montaña Isabel de Torres garantiza una fuerte interacción de disipación de la energía de cualquier huracán que se acerque a esta enorme formación orográfica con una elevación de 800 metros sobre el nivel del mar, a menos de 5 km de la costa.

Adicionalmente, la empresa FUGRO GEOS, especialista internacional en la fabricación de instrumentos de mediciones oceanográficas y fundadora de Oceanweather.com, mantiene un programa permanente de modelaje y monitoreo para todo el Mar Caribe definido entre las

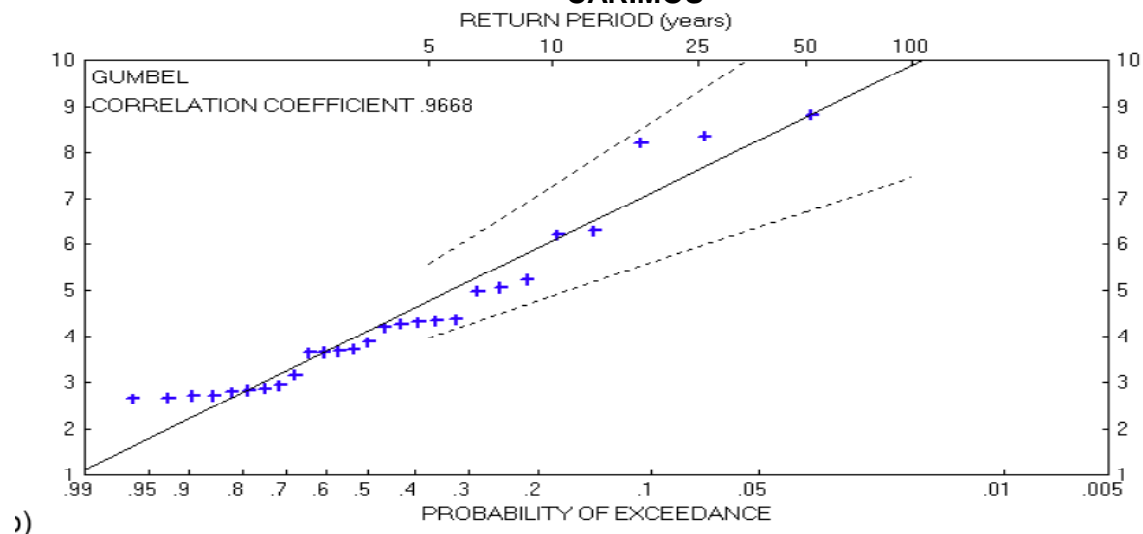
latitudes 10 a 20 Norte y longitudes 50 a 90 Oeste, denominado **CARibbean Sea Metocean Statistics**, CARIMOS.

En este modelaje se emplean los datos de todos los huracanes desde el 1921 a la fecha empleando un software de simulación de oleajes de tercera generación (3G) determino la existencia de ciclos fríos y cálidos que afectan de manera directa y especial los periodos de retorno y las alturas significativas de los oleajes generados por huracanes.

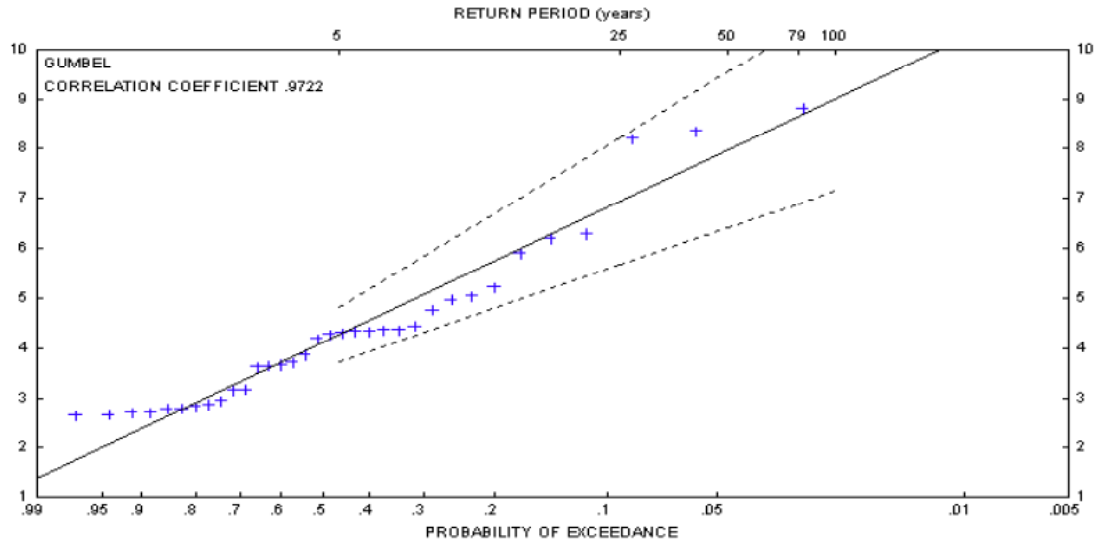
CARIMOS determinó estadísticamente las incidencias e intensidades de los huracanes y comprobó claramente que hay un dependencia clara para los “años fríos” (1903-1925, 1971-1994) y los “años cálidos” (1926-1970, 1995-2000), tal y como puede verse en las 3 graficas del periodo de retorno vs altura de oleaje significativo Hs.



a) **Figura 4. 46. Altura m de oleaje de huracán para periodos de retorno (años fríos) CARIMOS**



b) **Figura 4. 47. Altura m de oleaje de huracán para periodos de retorno (años cálidos) CARIMOS**



**Figura 4. 48. Altura en metros de oleaje de huracán para periodos de retorno (todos los años) CARIMOS**

En resumen, CARIMOS determinó en base a los periodos de retorno de 25, 50 y 100 años las alturas de oleaje de huracán o extremas para ambos ciclos de temperatura y para todos los años con que se cuentan con datos:

**Cuadro 4. 16. Periodos de retorno de 25, 50 y 100 años altura de oleaje**

Periodo de retorno	Ciclos	Ciclos	Ciclo
Tp Años	Ciclo Frío metros	Ciclo Cálido metros	Total metros
5	3.2	4.8	4.3
25	5.6	7.6	6.9
50	6.6	8.8	8.0
100	7.4	9.9	9.0

Como puede verse esta diferencia de temperatura resulta en una variación superior al 25% en las alturas de olas extremas solamente por este diferencial de temperatura en la zona del Mar Caribe.

Las consideraciones sobre la ola significativa de diseño determinada por JICA e INCOCI de  $H1/3 = 7.0m$  de altura y  $T1/3 = 10$  segundos para un periodo de retorno de 25 años para la Costa Sur de la isla de La Hispaniola son válidas para este litoral expuesto al campo de viento.

El paso de altamar a la zona costera, provocará que los mayores oleajes de huracanes rompan a partir de los -10m y que solo aquellos oleajes compatibles con el esquema de oleaje máximo en base a la profundidad máxima sean los que puedan llegar sin romper.

Este esquema de inicio de la rompiente del oleaje al acercarse a la costa y sentir los efectos viscosos y de fricción del fondo submarino al reducirse la profundidad, está fundamentado por la fórmula de Goda (1986)  $H_b=0.78hb$ , donde  $H_b$  es la altura de rompiente máxima del oleaje para una profundidad de agua  $hb$ .

Esto implica que en 10m de profundidad, las olas mayores a 7.8m de altura, rompen y pierden por disipación una porción de su energía y no rompen sobre el rompeolas.

Por esto es que las olas con un periodo de retorno de 50 años "rompen" en aguas más profundas que las correspondientes a las olas de 25 años, y salvo la presencia de una baja presión extrema que produzca un marea batistrópica de tormenta anormal que sobrepase de +2.1m sobre el NMM, la ola máxima que puede llegar a una estructura marina es de  $hb = 5m + 2.1m = 7.1m$ , resultando en una altura de ola máxima posible de  $H_b = 7.1 / 0.78 = \pm 9m$

De todo lo anterior, se puede concluir que la parte marina del proyecto puede ser construida dentro de un esquema de protección económicamente factible, considerando una **ola significativa en altamar de diseño para esta zona es de 7 metros de altura y 10 segundos de periodo** para un huracán de Categoría 3 Saffir-Simpson actuando dentro de un radio de 100 kilómetros al Norte del proyecto y con un periodo probable de retorno de 78 años.

Los trabajos marinos propuestos deben considerar los siguientes parámetros costeros para el diseño estructural para un huracán categoría 3, aceptando un 10% de daños de la escollera de protección de las tuberías en aguas someras y 0% a la SPMB, PLEM, risers, anclas y tuberías.

La altura de la ola de diseño en mar abierto $H_{o_{1/3}}$	= 7.0 m
El periodo de la ola de diseño en mar abierto $T_{o_{1/3}}$	= 10 segundos
La longitud de la ola de diseño en mar abierto $L_{o_{1/3}}$	= 156 m
Nivel de la marea para un huracán categoría 2	= +2.1 m NMM
Vientos máximos en el proyecto	= 150 kph

La probabilidad de ocurrencia de un huracán con una intensidad mayor de Categoría 3 en la escala Saffir-Simpson en el sitio del proyecto, como ha sido descrito en el párrafo anterior, puede ser catalogada como de extremadamente baja (1 en 156 años). No obstante, existe la posibilidad, aunque remota, del paso dentro del radio de 100 kms del proyecto en altamar de un fenómeno atmosférico con mayor intensidad de Categoría 3 que sea capaz de provocar algunos daños a las escolleras de rocas o cubos ranurados de concreto colocados a modo de protección sobre las tuberías enterradas en aguas someras, pero no se esperan daños a los componentes marinos de la terminal ni a los tanques de almacenamiento de combustibles ya que sus diseños estructurales están acorde para resistir las solicitaciones de la velocidad máxima de vientos así como altura máxima de oleajes anormales esperados.

#### 4.5. GEOLOGÍA

La zona de estudio del proyecto está caracterizada desde un punto de vista geológico por la presencia de vastos depósitos carbonaticos y materiales aluviales propios de la cuenca del río San Marcos. . El subsuelo está constituido principalmente por roca caliza coralina y organismos fósiles así como por materiales sueltos, gravas, arenas, limo etc. En las áreas boscosas, se encuentra cubierto por materia orgánica en descomposición.



Figura 4. 49. Geología de la zona de estudio

#### 4.5.1. Caracterización hidrogeológica de las diferentes formaciones geológicas

Los límites hidrogeológicos de esta unidad o zona hidrogeológica y, dentro de ella, los de sus subunidades o sectores de funcionamiento y niveles o formaciones acuíferas, se han definido a partir de la cartografía de síntesis hidrogeológica elaborada para el presente proyecto, que, a su vez, tomó como cartografía geológica de base el Mapa Geológico de la República Dominicana, a escala 1:250,000, elaborado por la Secretaría de Estado de Industria y Comercio (Dirección General de Minería e Instituto Geográfico Universitario), en colaboración con el Bundesanstalt Fur Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).

A partir de las citadas cartografías, y de diversa información adicional procedente de los Mapas Geológicos, se han diferenciado dentro de los citados límites de la unidad, y de sus correspondientes subunidades, diez tipos distintos de formaciones permeables o niveles acuíferos y ocho formaciones de baja permeabilidad o permeabilidad nula, las cuales se han clasificado hidrogeológicamente de acuerdo con los criterios y especificaciones de la Leyenda UNESCO (año 1970), en los que se combinan diferentes parámetros hidrogeológicos de referencia, basados en el tipo y grado de permeabilidad (composición litológica, permeabilidad por porosidad intersticial o por fisuración y carstificación, etc.) y en la potencialidad real de explotación (extensión superficial y de recarga, geometría y condicionantes estructurales, y recursos explotables, tanto de renovación anual, como de reservas estimadas) escala 1:50,000 actualmente disponibles. De acuerdo con dichos criterios, las formaciones permeables o niveles acuíferos definidos que se han identificado dentro de los límites de esta unidad y que corresponden a la zona de proyecto, son los siguientes:

- Formaciones con permeabilidad por porosidad intersticial: En este primer grupo se han distinguido tres subgrupos y seis tipos de formaciones:
- Formaciones porosas con permeabilidad y productividad - potencialidad real de explotación) importante:



El acuífero (Qa) está compuesto por depósitos de terrazas fluviales del Cuaternario. Se distribuyen en la zona Norte de la unidad por las zonas costeras cercanas a Luperón y las zonas costeras entre el río Maimón, al Oeste de Puerto Plata, y el río Joba Arriba, en la zona de Gaspar Hernández, además de las proximidades de Puerto Plata, donde la extensión de estos depósitos es amplia, y las cuencas de los ríos Maimón, San Marcos, Mozoui, Sosua y Joba Arriba. Sus litologías (arenas y gravas, en una matriz arcillosa) y su escasa cementación le confieren una permeabilidad de alta a muy alta y el que funcione como un acuífero libre, del tipo detrítico y con permeabilidad primaria por porosidad intersticial.

En la pequeña cuenca del río San Marcos no se tienen pozos de exploración ni de medición (carece de inventario de punto de aguas). La potencia del acuífero en esta zona desconocida, evidenciadas por las pocas obras hidráulicas realizadas en esa zona. Los flujos de agua subterráneas siguen la dirección más o menos del curso del cauce del río San Marcos. Los flujos de agua subterránea siguen las orientaciones de los flujos de agua superficiales, todo esto se debe a la geometría de la cuenca y a las condiciones topográficas de la misma.

#### **4.5.2. Explotación de los recursos hídricos de la cuenca del Río San Marcos**

a) En lo relativo a las aguas superficiales, desde el punto de vista de uso para servicios, este no tiene ningún uso, no se registran infraestructuras para captaciones o aprovechamiento de ningún tipo de las mismas.

En los archivos del INDRHI, no se tienen datos de aforos de dicho arroyo. Lo que significa que no se conoce la historia del comportamiento de este arroyo a efectos hidrológicos superficiales o subterráneos.

b) En los inventarios de puntos de aguas subterráneas, sobre todo en los 3 pozos existentes al Noreste del sitio de la terminal, igualmente se desconoce el potencial de las aguas subterráneas de dicho acuífero, aunque las bombas sumergibles de 2 hp que se operaron por más de 10 años continuamente, nunca tuvieron ningún problema de estiaje en ningún periodo del año, según nos informo el operador de estas.

#### **4.5.3. Descripción y uso de los suelos de la cuenca.**

En la figura siguiente se puede observar la clasificación y los usos de los suelos de la cuenca. Río San Marcos.

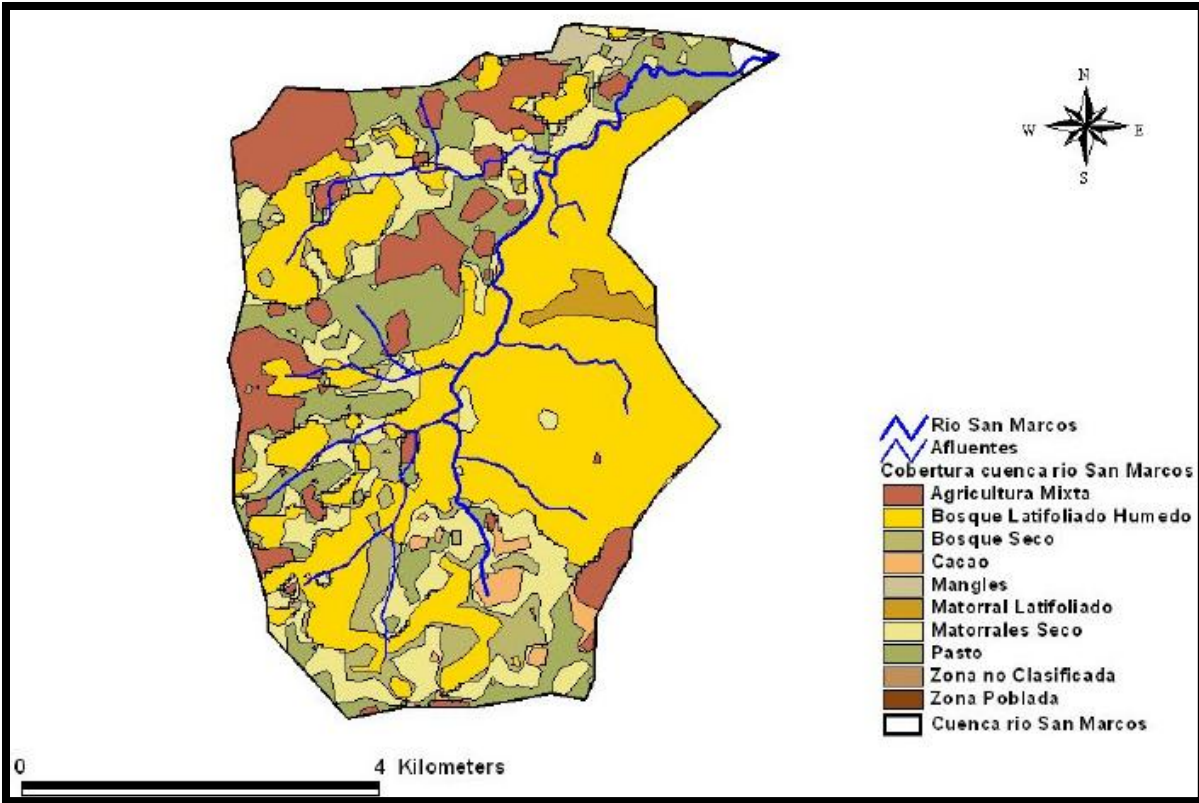


Figura 4.50. Clasificación y uso de suelo de la cuenca del Río San Marcos

Como se observa en la figura anterior, los suelos están formados por los cuatro grupos hidrológicos siguientes:

- **Grupo A:** es el que ofrece menor escorrentía. Incluye los suelos que tienen mayor permeabilidad, incluso cuando están saturados. Comprenden los terrenos profundos, sueltos, con predominio de arena o grava y con muy poco limo o arcilla.
- **Grupo B:** incluye los suelos de moderada permeabilidad cuando están saturados, comprendiendo los terrenos arenosos menos profundos de los del grupo A, aquellos otros de textura franco-arenosa de mediana profundidad y los francos profundos.
- **Grupo C:** incluye los suelos que ofrecen poca permeabilidad cuando están saturados, por presentar un estrato impermeable que dificulta la infiltración o porque, en conjunto, su textura es franco-arcillosa o arcillosa.
- **Grupo D:** es el que ofrece mayor escorrentía. Incluye los suelos que presentan gran impermeabilidad, tales como los terrenos muy arcillosos profundos con alto grado de tumefacción, los terrenos que presentan en la superficie o cerca de la misma una capa de arcilla muy impermeable y aquellos otros con subsuelo muy impermeable próximo a la superficie.