

3. MARCO AMBIENTAL FÍSICO-QUÍMICO

CLIMA

Precipitación y temperatura

El clima en la región de estudio es seco sub-tropical influido por las características orográficas y la incidencia de la componente Noroeste de los vientos Alisios. Estas condiciones generan una estacionalidad de las precipitaciones -con temporadas lluviosas y secas- asociadas a la variabilidad de los vientos y a la actividad de convergencia tropical.

La precipitación promedio alcanza valores anuales de 1,221.5 mm de lámina de lluvia, con una distribución durante el año que varía entre los 37.1 mm en el mes de junio a 213.0 mm en el mes de diciembre. La época seca comprende de junio a septiembre, mientras que la húmeda abarca de octubre a mayo, con mayor concentración de la precipitación en los meses de noviembre y diciembre (Fig. 3.1), extendida ligeramente hacia enero.

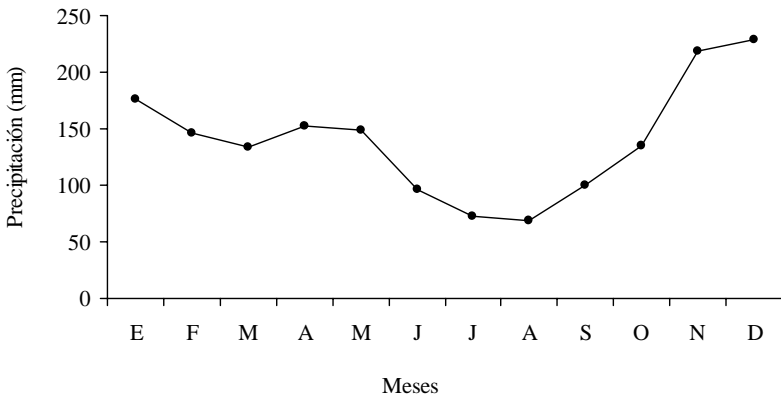


Figura 3.1. Variación estacional de los valores mensuales promedio de la precipitación en la Estación Termo-pluviométrica de Luperón.

El promedio anual de temperatura para la región de estudio es de 25.75 °C, con un valor máximo promedio de 31.06 °C y mínimo de 20.37 °C (Fig. 3.2). La temperatura promedio más elevada se registra en el mes de agosto (27.5 °C) y la menor en el mes de enero (23.5 °C), lo que ofrece un intervalo de variación de 4 °C para el área estudiada.

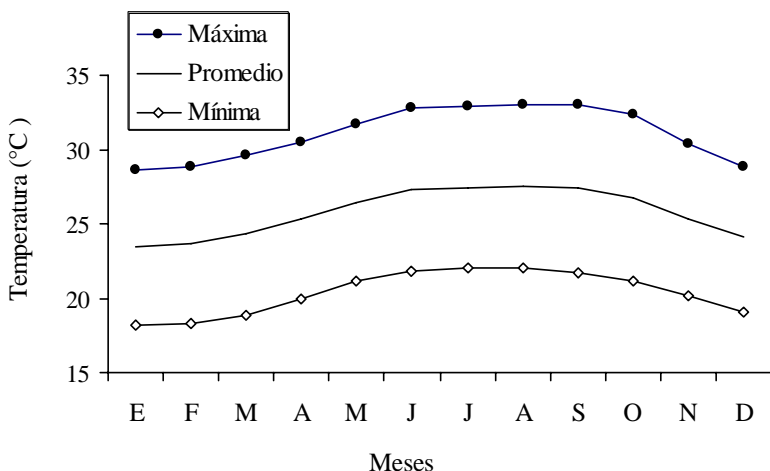


Figura 3.2. Variación estacional de los valores de la temperatura máxima, promedio y mínima para la Estación Termo-pluviométrica de Luperón.

Balance de humedad

Con la información correspondiente a la precipitación promedio mensual, temperatura promedio, máxima y mínima, horas de sol y radiación solar de la Estación Termo-pluviométrica de Luperón, se procedió a realizar un balance de humedad en el área de estudio a fin de determinar los déficits mensuales. A partir de los valores de estos parámetros se estimó un valor promedio para la evapotranspiración potencial, del cual se calcularon los volúmenes de agua utilizables por las plantas para las diferentes épocas del año. El balance resultante arrojó como producto un déficit de agua durante casi todos los meses del año, con valores que varían entre -22.6 y -291.0 y solo en los meses de noviembre y diciembre se hallaron valores positivos, coincidentes con los máximos de precipitaciones (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Valores de la Evapotranspiración (EVTP), el Balance de Humedad (BH) y de los parámetros involucrados en el cálculo. Las letras indican: RG: Radiación Global, NMHS: Número máximo de horas de sol, T: Temperatura y PP: Precipitación.

Parámetro	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
RG(cal/cm ² /día)	642	732	834	902	930	934	930	902	843	755	656	610
NMHS (hrs)	11.1	11.4	12.0	12.6	13.1	13.3	13.2	12.8	12.3	11.7	11.2	10.9
T. media (°C)	23.50	23.70	24.30	25.30	26.40	27.30	27.40	27.50	27.40	26.80	25.30	24.10
T máxima (°C)	28.60	28.90	29.60	30.50	31.70	32.80	32.90	33.00	33.00	32.40	30.40	28.90
T. mínima (°C)	18.20	18.30	18.80	20.00	21.10	21.80	22.00	22.00	21.70	21.20	20.20	19.10
PP (mm)	202.6	155.5	134.5	159.5	151.9	72.8	77.5	87.7	88.2	146.8	297.3	309.0
EVTP (mm)	225.2	260.8	300.2	326.3	346.3	363.8	362.9	355.8	336.8	296.9	240.1	213.3
BH	-22.6	-105.3	-165.7	-166.8	-194.4	-291.0	-285.5	-268.1	-248.7	-150.1	57.2	95.7

Vientos

De las Estaciones Climáticas localizadas en la zona de estudio, la única que cuenta con registros de velocidad de viento es la ubicada en el Aeropuerto La Unión, de Puerto Plata. Los registros arrojan valores de velocidad de viento que varían entre los 54.7 km/h a 0.6 km/h con un valor promedio multianual de 7.6 km/h. Del análisis de permanencia realizado a los valores diarios registrados desde 1977 hasta el 2000 se estima que la velocidad del viento, para el 95% de la probabilidad de ocurrencia, asciende a 3.63 km/h, es decir 0.98 m/s. La dirección más frecuente es la del Este (Tabla 3.2).

Tabla 3.2. Frecuencia de las diferentes direcciones del viento para 273 observaciones de la Estación Climática de La Unión y distribución de las observaciones según clases de velocidad del viento en km/h. NOB. Número de observaciones.

Dirección	Porcentajes	Clases de frecuencia de velocidad del viento (km/h)					NOB
		0 a 5	5 a 10	10-15	15-20	20-25	
E	74.7	8	101	77	14	4	204
ENE	7.0	1	6	10	2	0	19
ESE	4.4	0	5	7	0	0	12
N	1.5	0	2	0	2	0	4
NE	1.1	0	3	0	0	0	3
SE	11.0	1	21	7	1	0	30
SSE	0.4	0	1	0	0	0	1
Total	100.0	10	139	101	19	4	273

La variación diurna de los vientos en la bahía muestra una tendencia estable de calmas en las primeras horas de la mañana y últimas de la tarde, así como máximos hacia el mediodía, manteniéndose predominantemente la componente del Este (Tabla 3.3). Los valores varían de 1 a 5 en la Escala de Beaufort y solo cuando se analizan los valores extremos se reportan brisas fuertes en la Escala de 6, siempre hacia el final de la mañana e inicio de la tarde (Van Sant, 1996). Este patrón se solapa diariamente con el flujo de la marea para influir decisivamente en la dirección y velocidad predominante de la corriente asociada a los cambios en el nivel del mar.

Tabla 3.3. Variación diurna promedio de los vientos en la Bahía de Luperón referidos a la Escala de Beaufort (según datos de Van Sant, 1996). NB. Número de Beaufort. V. Velocidad en nudos. A. Aire. B. Brisa.

NB/Categoría ¹	V	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
0/Calma	<1	X										X
1/A. suave	1 a 3		X								X	X
2/B. leve	4 a 6		X	X						X	X	
3/B. ligera	7 a 10				X	X				X	X	
4/B. media	11 a 16					X	X		X	X		
5/B. fresca	17 a 21						X	X	X			
6/B. fuerte ²	22 a 27											

¹ Según la Organización Meteorológica Mundial. ² La brisa fuerte solo se reporta en el intervalo de valores extremos con una posibilidad de ocurrencia entre las 11:00 a.m. y las 2:00 p.m.

Cambio climático

El hecho reconocido que el incremento del nivel del mar es uno de los impactos ciertos del calentamiento global, hace necesario que consideremos la situación ambiental de la región de la Bahía de Luperón en relación con las variaciones de temperaturas esperadas y los posibles cambios en el régimen de precipitaciones y el nivel del mar pronosticados para la República Dominicana. Como hemos comentado, el promedio anual de temperatura del aire para la región de estudio es de 25.75 °C, por lo que de acuerdo a los modelos de Limia (2001) los incrementos que se esperan suponen un aumento en poco más de 1 °C en el año 2010 pero de 3 °C en el año 2100, lo cual tendría su reflejo en un aumento en la temperatura promedio del agua de la bahía (Tabla 3.4). Esta situación podría ser incluso más drástica en sus valores máximos. Por otra parte, considerando los pronósticos de Herrera y Betancourt (2001) para un escenario moderado¹ la elevación del nivel del mar esperada para la Bahía de Luperón estaría en el orden de 4.73 cm en el año 2010, pero podrían ser tan altos como unos 60 cm hacia el 2100.

¹ IS92-a. Escenario intermedio que provoca una elevación del nivel del mar de 55.19 cm, para el 2100 (aerosoles constantes), sustentado en una sensibilidad intermedia del clima (T = 2.5°C), un escenario de emisiones intermedio y parámetros de derretimiento intermedios (ver IPCC, 1990).

Tabla 3.4. Incrementos esperados del nivel del mar (cm) por encima del actual y valores de la temperatura promedio del aire y el agua (°C) en la Bahía de Luperón, para un escenario climático moderado (según Limia, 2001; Herrera y Betancourt, 2001).

Indicador	Años			
	2010	2030	2050	2100
Nivel del mar	4.73	12.33	22.75	55.19
Temperatura del aire	26.92	27.32	27.82	28.82
Temperatura del agua	26.84	27.19	27.54	28.39

Finalmente, en relación con las precipitaciones Planos (2001) explica que en la región tendrá lugar un cambio estructural que intensificará la transición de las zonas más húmedas a las más secas y una ampliación de las zonas del país históricamente más secas.

Eventos meteorológicos extremos

La climatología de la región indica que la Isla se encuentra sobre una de las trayectorias preferidas de los ciclones tropicales de la cuenca del Atlántico Norte, de modo que está amenazada anualmente por tormentas tropicales y huracanes. La Bahía de Luperón no escapa a la posible influencia de estos eventos pero presenta las características de las bahías de la costa Norte dominicana (que las hace más seguras que las de la costa Sur) que nunca reciben de frente el embate de los ciclones y huracanes, los cuales penetran al territorio nacional preferentemente por la costa Sur o Sureste.

Tenemos entonces que la afectación a la región de Luperón por eventos meteorológicos extremos vendrá dada solo por los ciclones que abandonen el país por la región Noroeste –situación de baja probabilidad en la cronología nacional de los ciclones. Aún así, en tales casos el efecto se manifiesta fundamentalmente en las fuertes lluvias, pues la fuerza destructiva de los vientos se ve atenuada por la presencia de la Cordillera Central que juega un papel amortiguador. Ello convierte a la Bahía de Luperón en un refugio tan seguro que desde 1930 ningún velero ha recibido daños por estos eventos (Barlett, 2002).

De acuerdo con los reportes del Global Wave Statistics, la región costera-oceánica de Luperón puede verse afectada por olas con altura superior a 4 metros y período de 11 segundos durante huracanes u otros eventos meteorológicos extremos. Sin embargo, al penetrar a la bahía estas olas apenas alcanzan 30 centímetros de altura y generan corrientes muy bajas del orden de 30 cm/minuto. Ello confiere igualmente a la región condiciones de especial protección, ya no solo de los vientos, sino también del oleaje extremo asociado a las tormentas.

GEOMORFOLOGÍA

Por tratarse de parte del sistema orográfico del Noroeste, la región terrestre estudiada se caracteriza por cambios notables en altura con variaciones que alcanzan hasta los 40 msnm, en la cima de la elevación. Esta variabilidad es clara cuando analizamos la topografía a través de perfiles. Así, en un perfil Sur-Norte, atravesando la región desde la ladera Sur hasta el pie de la montaña al Norte (Fig. 3.3 Arriba), se observa que en una longitud de unos 350 m, tras un ascenso de pendiente moderada de 0.27 se alcanza el máximo de altura (35 msnm).

Posteriormente ocurre un descenso paulatino, con una pendiente más abrupta de aproximadamente 0.41, la cual se va reduciendo al llegar casi al pie de la montaña, donde alcanza 0.03, terminando en el camino que atraviesa el manglar por su parte trasera. Este tipo de perfil tipifica la topografía de la región terrestre estudiada en su sentido Sur-Norte caracterizado por elevaciones hacia su costado sureño y descensos hacia su costado Norte, donde finalmente termina en el manglar y la parte marina de la Bahía de Luperón.

En un perfil Sureste-Noroeste (Fig. 3.3. Abajo) los cambios topográficos son aún mayores, pues en una longitud de aproximadamente 350 m se observan una mayor variabilidad de las pendientes. El perfil comienza con un ascenso con pendiente moderada de 0.31, tras el cual se alcanza la altura máxima de unos 35 msnm que se mantiene por unos 50 a 60 m formando una meseta. Tras esta planicie, la pendiente se hace más abrupta con

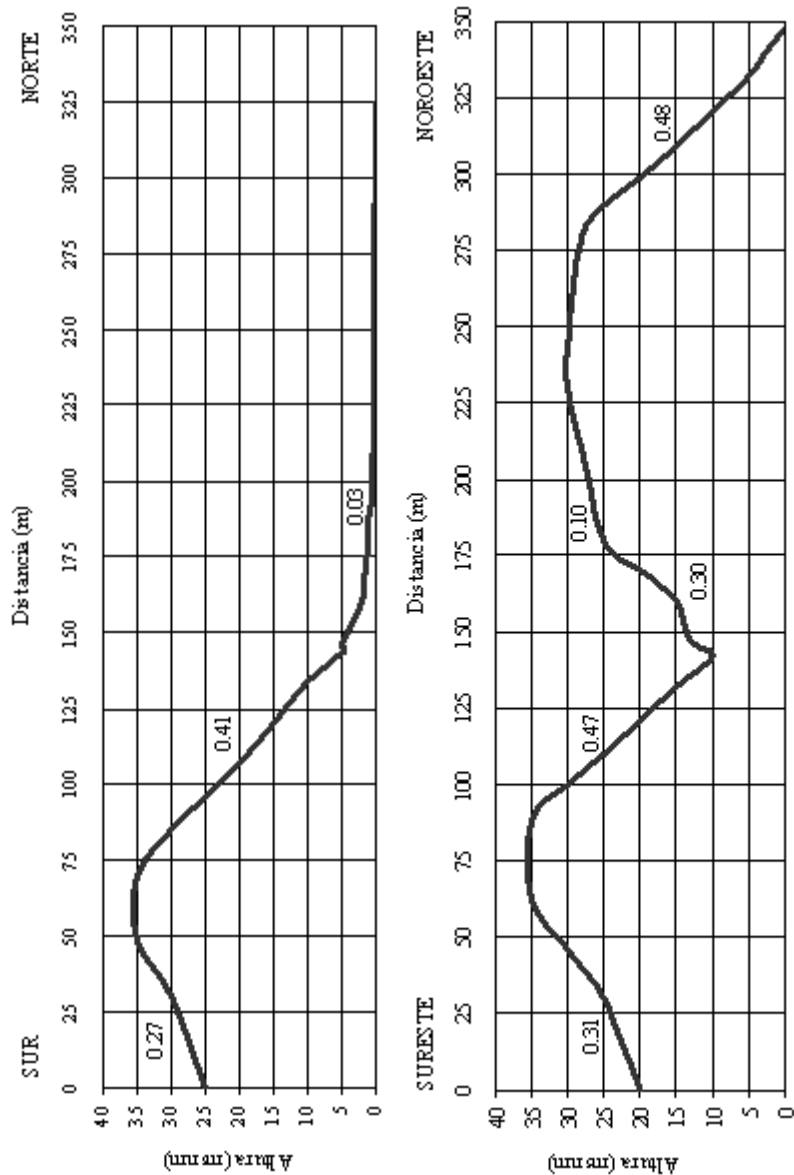


Figura 3.3. Perfiles topográficos de S-N (arriba) y SE-NO (abajo) de la región terrestre estudiada, elaborados a partir del mapa topográfico en escala 1,1000. Cada cuadrícula representa 5 m en la escala vertical y 50 en la horizontal. Los valores sobre la curva indican las pendientes.

un valor de 0.47 y desciende hasta la cota de 10 m, que marca el centro de la depresión que caracteriza el sistema topográfico de la zona terrestre de estudio.

A partir de esta depresión la pendiente es moderada (0.10) hasta llegar nuevamente a una cima de entre 20 a 25 msnm que igualmente se presenta como una planicie de unos 100 m de ancho, que desciende nuevamente con valores de pendiente de 0.48. Este tipo de perfil tipifica la topografía de la región en su sentido Sureste-Noroeste, caracterizado por una curva bimodal representativa de la elevación de mayor altura al Sureste (hacia tierra) y la elevación de menor altura al Noroeste (hacia el mar). En el centro de ambas existe una depresión que se mantiene a lo largo del eje Suroeste-Noreste de la parcela del proyecto, formando una hondonada que funge como cuenca de drenaje en época lluviosa, según discutiremos en el apartado de hidrología. Esta depresión tiene como área final de drenaje el salado que se encuentra al Noreste.

La Fig. 3.4 resume los resultados del Modelo Topográfico Digital (MTD) de la región terrestre estudiada y muestra, en tres dimensiones, las principales características geomorfológicas descritas. Como puede verse, la región se presenta como una elevación con una de altura máxima de unos 40 msnm. El modelo demuestra claramente la presencia de la depresión que conduce las aguas de escorrentía pluvial hacia la región Noreste más baja, donde se ha formado el actual salado, aunque cierto escurrimiento debe tener lugar también en el camino estrecho que bordea toda la montaña en su base Norte, por detrás del manglar costero.

SUELOS

Desde el punto de vista de la taxonomía de suelos, los de la región terrestre estudiada se identifican de manera general como entisoles, definidos como suelos donde no se desarrolla un horizonte subsuperficial muy evolucionado, la capa vegetal es poco profunda y en algunas ocasiones la naturaleza del material parental impide su rápido desarrollo (SEA/SURENA, 1985).

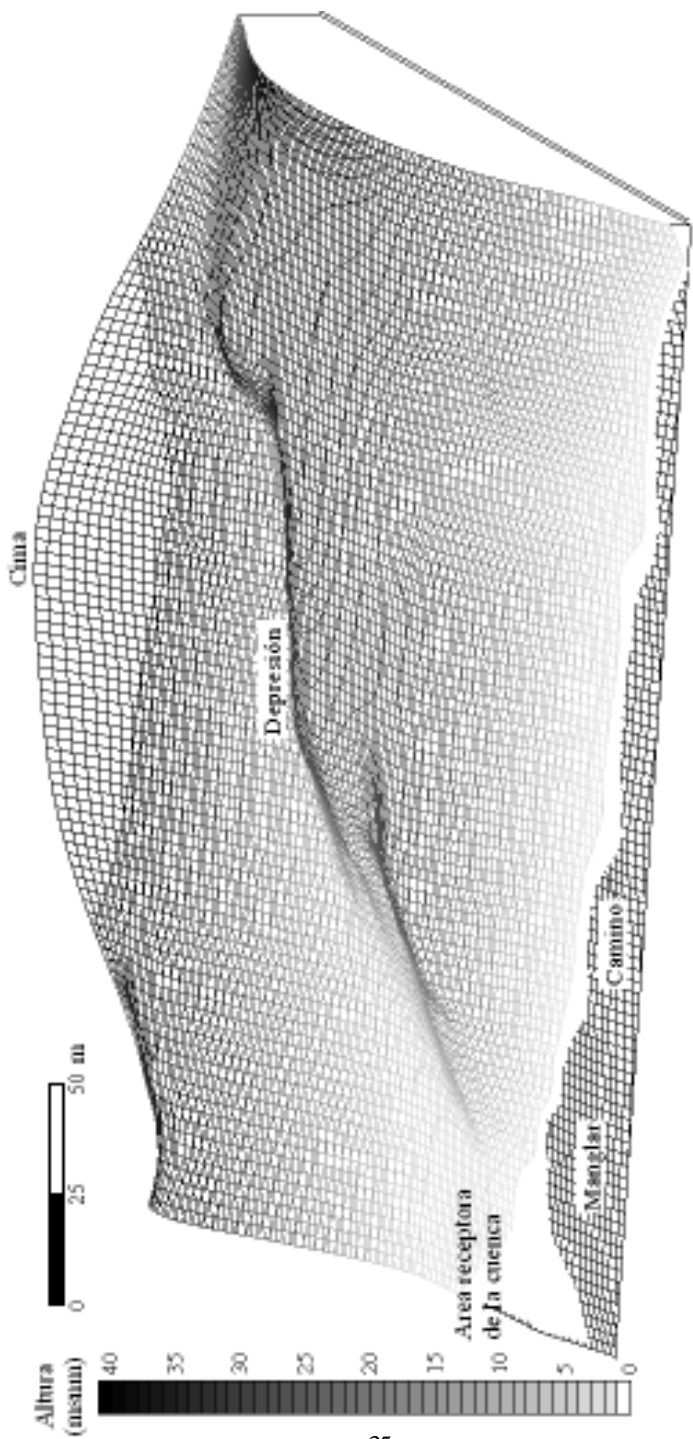



Figura 3.4. Modelo Topográfico Digital (MTD) de la región terrestre estudiada.

La caracterización particular de los suelos de la región terrestre estudiada (de la Rosa, 2002) mostró el predominio de suelos arcillosos hacia la cima de la montaña, donde se encontró un material de relleno no degradable con arcilla arenosa amarilla. Estas áreas de mayor altura (35 a 40 msnm), sin pendiente, han sido las más usadas tradicionalmente para todo tipo de construcciones (viviendas y caminos) y el uso agrícola, lo cual unido a la fuerte deforestación ha dado lugar a suelos empobrecidos, donde la capa vegetal está prácticamente ausente, a lo cual han contribuido también la erosión del viento y la lluvia. Ello hace que los mismos carezcan de valor actual desde el punto de vista productivo.

Hacia las laderas de la montaña, en alturas entre 15 a 25 msnm, donde las fuertes pendientes limitan el uso del terreno y se mantiene parte de la vegetación, la capa superior del suelo sí presenta una capa vegetal de hasta 30 cm. Ya en el camino al pie de la montaña y hacia el salado los suelos han sido clasificados como material de relleno degradable con mezcla de arcilla de color amarillo y trazos de capa vegetal, con cierto incremento de la fracción arenosa hacia los suelos más cercanos al manglar.

Según de la Rosa (2002), el análisis por horizontes en diferentes puntos de la región terrestre estudiada revela una interesante estructura estratigráfica que varía en relación con la altitud y la historia de uso de los suelos (Tabla 3.5). En la cima de las elevaciones predominaron en todos los niveles del subsuelo las arcillas con mayor componente de arena hasta el estrato de 0.7 m, a partir del cual se incrementa la componente de grava hasta unos 4 m de profundidad, donde se encontró el estrato de mayor resistencia a la penetración. En las laderas de la montaña existen variaciones locales según su ubicación y pendiente pero, de manera general, se mantuvo en la profundidad la componente arcillosa con variaciones entre arcilla inorgánica a arcilla gravosa de color marrón, hasta la capa de mayor resistencia que se halló entre 3.5 a 4 m. En el camino al pie de la montaña el perfil estratigráfico mostró, desde sus primeros horizontes, una mezcla de arcilla con limo arenoso que se va tornando más inorgánico en los estratos más profundos hasta unos 4 m donde aparece la capa de máxima resistencia.

Tabla 3.5. Características de los diferentes horizontes del suelo observados en la evaluación geológica del área terrestre incluida en el presente estudio (según datos de la Rosa, 2002). Las letras indican: AAA. Arcilla arenosa amarilla, AGA. Arcilla gravosa amarilla, CV. Capa vegetal, AAGM. Arcilla areno-gravosa marrón, AIM. Arcilla inorgánica amarilla, MAA. Mezcla de arcilla amarilla, AIG. Arcilla inorgánica gris, LAA. Limo arenoso amarillo, AGG. Arcilla gravosa gris.

Ubicación	Cima	Ladera	Ladera	Camino	Salado
Altura (msnm):	35	25	15	2.5	0.5
	AAA	CV	CV	MAA	MAA
	AAA	CV	AIM	LAA	MAA
	AGA	AAGM	AIM	AGG	AIG
	AGA	AAGM	AIM	AIG	AIG
	AGA	AAGM		AIG	AIG
	AGA			AIG	AIG
					AIG

Por su parte, el salado muestra una mezcla de arcilla amarilla en sus estratos más superficiales y gris inorgánica en los más profundos, denotando la influencia que sobre este ambiente tiene el aporte de la montaña a través de la lluvia y de los manglares en el reflujó de la marea.

HIDROLOGÍA

Características generales de la cuenca

Los cauces principales identificados en el área estudiada son la Cañada La Alhorrada y su afluente, que atraviesa la Ciudad de Luperón (Fig. 2.1). La Cañada La Alhorrada en época de estiaje solo conduce los aportes directos o indirectos de las descargas domiciliarias. Aguas arriba, a la altura del puente frente al Cementerio, observamos la presencia de algún aporte de aguas subterráneas debido al aumento notorio del volumen conducido con respecto a los puntos anteriores.

En cambio, la cañada que atraviesa la Ciudad de Luperón conduce prácticamente solo las aguas de desecho de la ciudad. Otra característica importante de ambas cañadas son los desbordamientos en épocas de lluvia (que son causa de inundaciones) producto de dos razones básicas. Primero, los caudales aportados por las áreas de las cuencas de ambas cañadas resultan relativamente grandes con respecto a las secciones transversales de ambos cauces, lo cual unido a lo accidentado del terreno da como resultado caudales de consideración.

Segundo, la obstrucción de las cañadas con la construcción de obras de cruce con altura insuficiente, unido a la dispersión de desechos sólidos que en algunos puntos del cauce reducen el flujo, traen como consecuencia el represamiento de los caudales conducidos en época de lluvia, lo que contribuye a su desbordamiento y las consecuentes inundaciones de las áreas circundantes.

Se puede observar que la cañada que cruza la Ciudad de Luperón se encuentra soterrada en gran parte de su recorrido, sin registros de inspección. Esto aumenta las posibilidades de desbordamientos aguas arriba del punto de entrada al tramo soterrado, al no poseer éste la capacidad suficiente para conducir los caudales aportados. Por otra parte, en el área terrestre de estudio no se observó ningún curso de agua superficial. La misma se caracteriza por poseer un desarrollo geomorfológico de colinas conectadas por vaguadas (definidas como las líneas que marcan la parte más honda de un valle) que van a verter a las partes más bajas de la cuenca y de ahí a la Bahía de Luperón. Este patrón de drenaje permite una salida rápida de la cuenca debido a las pendientes del terreno, donde la ausencia o escasez de vegetación han provocado áreas erosionables, sobre todo en las partes más expuestas (Fig. 3.4).

Calidad de agua

Al comparar los resultados de los análisis de agua en la Cañada La Alhorrada (Tabla 3.6) con los estándares para cuerpos hídricos superficiales y aguas costeras de SEMARN (2001) en sus Clases E y F¹, se observa que algunos parámetros sobrepasan las normas

nacionales. Los valores de coliformes totales en la cañada, con 24,000 NMP/100 ml, son muy superiores a la norma que plantea valores permisibles de 1,000 y 10,000 NMP/100 ml para sus Clases E y F, respectivamente. Los valores máximos de coliformes fecales en la cañada, con 730 NMP/100 ml, también son superiores a la norma con valores permisibles de 400 y 2,000 NMP/100 ml, para sus Clases E y F, respectivamente. Además, en la cañada se reporta la presencia de *Pseudomonas*.

En lo referente a los nutrientes, el amonio sobrepasó la norma en la Estación 13, donde además los valores de fosfatos son elevados y muy cercanos a la norma. De hecho, si consideramos el estándar de CEES (2002) para el fosfato, los valores de la Cañada La Alhorrada son indicativos de aguas de calidad moderada. Los valores de nitrato se mantuvieron por debajo de la norma dominicana pero se debe aclarar que la misma da un margen muy amplio a este parámetro, pues según CEES (2002) los valores encontrados son decididamente altos e indicativos de aguas de baja calidad. Estos valores están reflejando ante todo una contaminación orgánica.

Los valores bajos de la Demanda Química de Oxígeno revelan que no existe una contaminación por elementos inorgánicos; y la no detección de aceites y grasas revela igualmente que la contaminación por hidrocarburos -que caracteriza otras áreas de la bahía- no se presenta en la cañada, donde existe siempre cierto flujo de agua durante el ciclo de la marea. Precisamente la entrada del agua marina es responsable de los valores de conductividad eléctrica, cloruros y sodio obtenidos en ambos puntos de muestreo (Tabla 3.6). Estos difieren mucho entre sí, poniendo de manifiesto el flujo ascendente de agua, de mayor salinidad, de la Bahía de Luperón en el cauce de la Cañada La Alhorrada, el cual pudo observarse hasta aguas arriba de la confluencia con la otra cañada, a unos 200 m aproximadamente de la desembocadura.

¹ Clase E. Aguas costeras destinadas a la conservación de recursos naturales como mangles, zonas de reproducción y nutrición de organismos marinos, áreas para acuicultura marina, pesca comercial y deportes acuáticos con contacto directo con el agua. Clase F. Aguas costeras destinadas a deportes acuáticos que no conllevan contacto directo con el agua (ver SEMARN, 2001).

Apuntes ecológicos para la conservación de la Bahía de Luperón

Tabla. 3.6. Resultados de los análisis químicos realizados en dos estaciones de la Cañada La Alhorrada. STS. Sólidos Totales Suspendedos, STD. Sólidos Totales Disueltos. DQO. Demanda Química de Oxígeno.

Parámetros	Unidad	Estación 12	Estación 13
Conductividad eléctrica	($\mu\text{S}/\text{cm}$)	32,600.00	1,829.00
pH	-	7.60	7.70
Sulfatos (SO_4^-)	mg/l	865.40	108.70
Fosfatos (PO_4^-)	mg/l	0.38	0.34
Nitratos (NO_3^-)	mg/l	5.28	2.20
Nitritos (NO_2^-)	mg/l	0.0198	0.0330
Amonio (NH_4^+)	mg/l	0.2095	0.9798
Sodio (Na^+)	mg/l	6,059.47	223.23
Calcio (Ca^+)	mg/l	233.30	50.50
Magnesio (Mg^+)	mg/l	577.49	71.44
Carbonato (HCO_3^-)	mg/l	317.30	646.81
Cloro (Cl^-)	mg/l	9,950.11	187.88
STD	mg/l	19,416.00	1,073.00
Alcalinidad	mg/l	260.00	530.0
STS	mg/l	0.5163	0.0838
Coliformes totales	NMP/100ml	24000.00	24000.00
Coliformes fecales	NMP/100ml	360.00	730.00
<i>Pseudomonas</i>	-	Presentes	Presentes
DQO	mg/l	N/D	N/D
Aceites y grasas	mg/l	N/D	N/D

La situación de los nutrientes refleja de manera clara la carga orgánica que presenta la Cañada La Alhorrada, la cual constituye un aporte de contaminación importante a la Bahía de Luperón, a lo cual se suma un importante efecto de turbidez y sedimentación reflejado en los valores de los sólidos totales disueltos (STD) y sedimentables (STS) que se observan en la Tabla 3.6.

Las observaciones realizadas en el campo y los resultados de las muestras analizadas evidencian un grave problema de contaminación en la Ciudad de Luperón, ya que tanto la Cañada La Alhorrada como su afluente principal se comportan como los colectores principales de un alcantarillado sanitario a cielo abierto, conduciendo las descargas de las aguas residuales directamente a la bahía en

destrucción de la calidad del agua, la estética del paisaje y la supervivencia de la biota acuática. Por otra parte, estas cañadas se convierten en vehículo para la transmisión de enfermedades infecto-contagiosas de origen hídrico.

Aguas subterráneas

De acuerdo con el Mapa Hidrogeológico realizado por el Instituto Nacional de Recursos Hídricos (INDRHI) y la Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ) en 1989, se define que el área de estudio pertenece a la Formación La Isabela, constituida por sedimentos clásticos no consolidados o consolidados, con la presencia de acuíferos locales encontrados en capas finas o lentes arenosas, o acuíferos continuos de extensión restringida o de difícil explotación, tanto libres como confinados. La calidad química de las aguas es generalmente buena, con excepción de zonas costeras y cercanas a lagunas salobres, aunque la región puede considerarse de poca importancia hidrogeológica.

El nivel freático es bastante alto y varía entre 1 a 8 m, a consecuencia de la formación de colinas y la cercanía del mar. Durante las actividades de campo se pudo constatar la existencia de un único pozo de abastecimiento de agua a partir del acuífero de la zona, el cual fue construido a mano y presenta una profundidad de unos 3 m, aproximadamente. Este pozo se opera con una bomba de eje horizontal de 1 hp colocada en la superficie, lo que indica que el nivel freático de la zona es relativamente alto.

Análisis de crecida

Los resultados del análisis de crecida se presentan en la Tabla 3.7, donde se puede apreciar tanto los valores de precipitación como de caudales para diferentes períodos de retorno. De acuerdo con los resultados del análisis, los caudales conducidos por la Cañada La Alhorrada y su afluente en época de crecida son significativos en contraposición a la época seca, durante la cual el mayor aporte conducido por las mismas corresponde a las aguas de desecho de origen domiciliario del pueblo de Luperón a su paso por el mismo.

Tabla. 3.7. Estimación de los caudales de crecida para diferentes períodos de retorno en tres regiones del área de interés. AC. Área de la cuenca (km²); LC. Longitud del cauce (km); PR. Período de retorno (años); PM24. Precipitación máxima en 24 horas (mm); CC. Caudal de crecida (m³/s).

Cauce	AC	LC	PR	PM24	CC
Depresión en la zona terrestre estudiada	7.05	4.74	25	235.86	119.55
			50	285.38	145.65
			100	341.21	172.72
Afluente de La Cañada La Alhorrada	1.53	2.44	25	235.86	40.45
			50	285.38	48.70
			100	341.21	56.73
Cañada La Alhorrada	0.036	0.37	25	235.86	1.03
			50	285.38	1.24
			100	341.21	1.45

Estos resultados fueron confirmados por los pobladores locales que nos informaron que en época de lluvia suelen verificarse desbordamientos de las cañadas por la insuficiente capacidad de conducción de las mismas en comparación con los caudales registrados. Estos desbordamientos provocan inundaciones dentro del pueblo, cuyas dimensiones son incrementadas por la existencia de obras de paso sobre las cañadas, que por sus limitadas dimensiones funcionan como diques o represas dificultando el paso de los caudales de crecida a través de las secciones de las cañadas.

Por otra parte, en la depresión principal del área terrestre estudiada, a través de la cual se desplazan las lluvias hacia las partes más bajas de la cuenca, se observan altos valores de su caudal de crecida (Tabla 3.7) en época lluviosa, lo cual explica su potencial erosivo sobre los terrenos elevados deforestados que caracterizan gran parte de la zona terrestre que rodea la Bahía de Luperón.

GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA COSTERA Y MARINA

La costa Norte de la República Dominicana se caracteriza por presentar un complejo mosaico de formaciones geológicas aunque

predominan las costas abrasivas que se alternan con depósitos sedimentarios del Cuaternario. Muchos de estos depósitos han sido originados por la descarga de sedimentos sueltos arrastrados por los ríos o se han formado por la sedimentación de materiales biogénico-marinos que han dado lugar a la formación de excelentes playas arenosas. La Bahía de Luperón se inserta en este mosaico geológico.

De forma general, la bahía se encuentra en un área donde dominan las calizas arrecifales detríticas y las margas con intercalaciones de bancos delgados de caliza arenosa. Las calizas arrecifales detríticas ocupan fundamentalmente la parte más próxima a la costa, mientras que las margas se presentan en una amplia extensión de la parte posterior de la bahía. La escasa elevación del territorio, unido a la existencia en épocas pasadas de importantes corrientes fluviales que desembocaban en la bahía, determinó la formación de depósitos fluviales aterrizados que actualmente ocupan toda la parte posterior de la bahía.

La costa del lóbulo occidental de la Bahía de Luperón está enmarcada por dos formaciones geológicas bien diferenciadas: hacia el interior los depósitos de terrazas fluviales, mientras que hacia la margen Norte existen margas que datan del Mioceno medio a superior. El contacto entre estas formaciones geológicas se encuentra muy cerca de la Cañada La Alhorrada. Como es típico de las zonas bajas sedimentarias, la costa está ocupada casi totalmente por manglares.

BATIMETRÍA

El lóbulo occidental de la Bahía de Luperón tiene una profundidad promedio en su parte interior de 3.5 m, con un máximo de 6.4 m y un mínimo de 0.6 m, descontando algunas áreas marginales, donde producto de los procesos de acumulación la profundidad actual es prácticamente cero. Hacia la salida de la bahía, la profundidad se mantiene aún baja, con valores que varían desde 0.5 m hacia los bordes y hasta 5 m en su parte central. La isobata de 5 m sale fuera de la bahía y recorre la zona costera hacia el Oeste y Este,

desde donde va teniendo lugar un incremento paulatino de la profundidad asociado, en algunas zonas, a fuertes pendientes que llegan hasta los 50 m de profundidad, a unos 500 m de la entrada de la bahía.

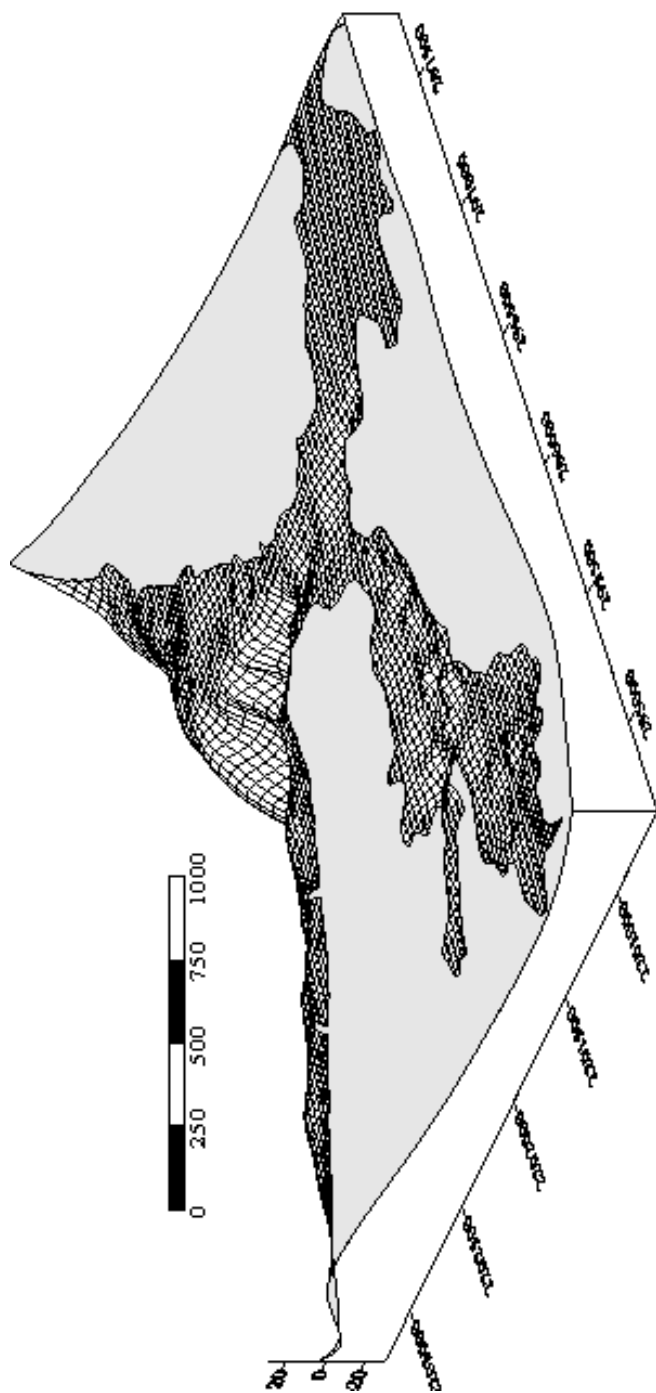
El Modelo Batimétrico Digital (MBD) en su vista de Suroeste-Noreste (Fig. 3.5), donde se tiene mayor detalle de la bahía en su conjunto, muestra el contraste batimétrico entre ambos lóbulos de la bahía y el área costera-oceánica externa, así como que el lóbulo oriental es decididamente mucho más somero. El lóbulo occidental presenta, asimismo, ciertas variaciones batimétricas de menor escala asociadas a áreas de sedimentación o modificadas por los frecuentes dragados, además de áreas someras cerca de las orillas relacionadas con el intenso aporte de sedimentos de los manglares. El cambio drástico de profundidad hacia la entrada de la bahía que da lugar a un profundo y marcado cañón submarino es muy obvio, así como que su configuración en forma de embudo facilita la acumulación de los sedimentos provenientes del interior de la bahía, en la pendiente arrecifal.

Por otra parte, si se observa el Modelo Batimétrico Digital en una vista Noreste-Suroeste, donde se tiene mayor detalle de la zona costera y el cañón de entrada (Fig. 3.6) de la bahía, es claro gráficamente el papel del cañón submarino como receptor de los sedimentos finos exportados por la bahía. Además, se observa la estrechez de la plataforma insular, pues a una corta distancia de la costa hay un aumento brusco de la profundidad y se puede encontrar ya la pendiente arrecifal.

SEDIMENTOLOGÍA MARINA

El análisis granulométrico de las muestras de la Estación 1 (Fig. 3.7), al NO del muelle de Luperón (una de las zonas más protegidas y por consiguiente, de menor energía), revela que más del 85 % del material está constituido por limos y arcillas con un diámetro inferior a 0.074 mm. Este tipo de partículas solo son estables en ambientes donde la velocidad de la corriente en el fondo es prácticamente nula, lo que reafirma la naturaleza semi-estancada de este sector

Figura 3.5. Modelo Batimétrico Digital de la Bahía de Luperón y el área costera adyacente. Vista Suroeste-Noreste.



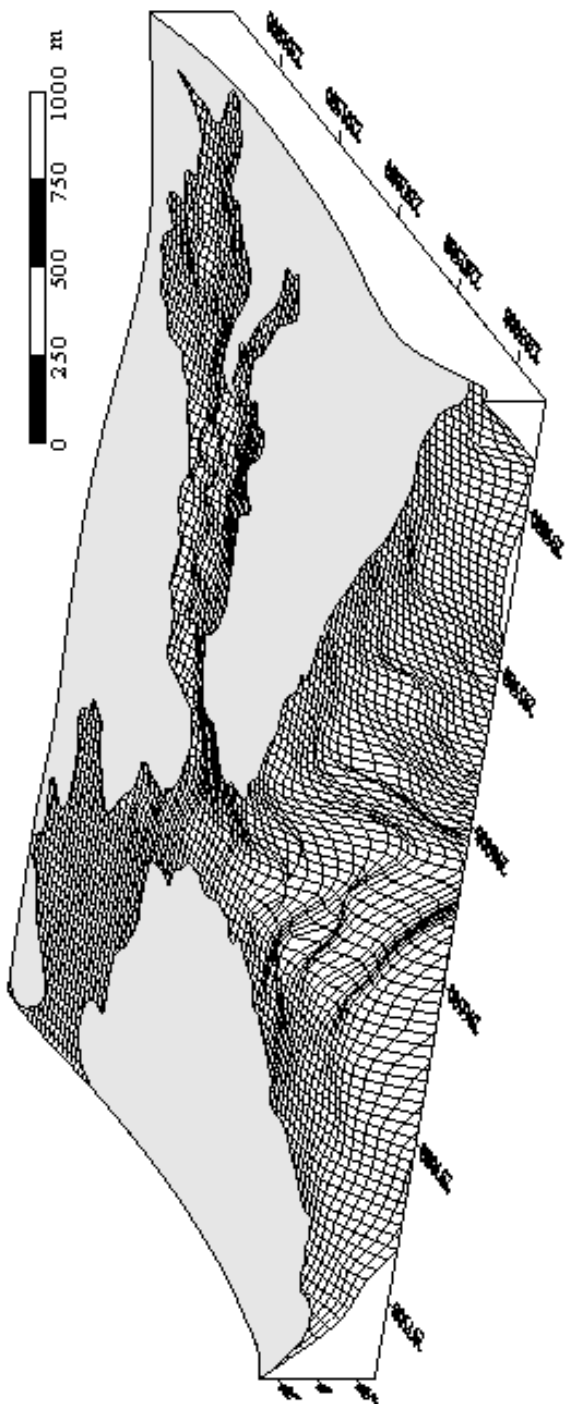
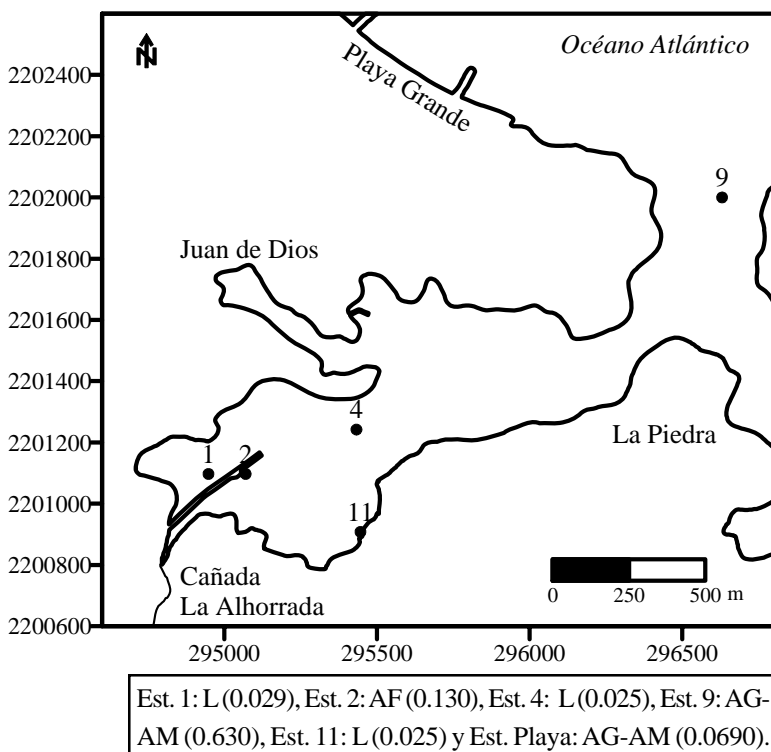


Figura 3.6. Modelo Batimétrico Digital de la Bahía de Luperón y el área costera adyacente. Vista Noreste-Suroeste.

limitado en su circulación, debido a la construcción del muelle. En esta muestra, la fracción de arenas apenas supera el 12% y la de gravas, menos del 2%; esta última representada por restos de moluscos de las comunidades locales, fundamentalmente bivalvos. Las muestras tomadas cerca de la desembocadura de la Cañada La Alhorrada (Estación 2) presentaron un ligero aumento en el diámetro medio de sus sedimentos (0.13 mm), clasificables como arena fina, lo que indica que la mayor parte de los materiales menos finos han sido aportados por la cañada. La ausencia de sedimentos gruesos demuestra que la energía de esta corriente fluvial es pobre y los ingresos actuales están limitados a fracciones sedimentarias finas que se mueven en suspensión y esporádicamente por arrastre.

Fig. 3.7. Estaciones donde se realizaron los análisis granulométricos. Se indica al pie del mapa el tipo de sedimentos (L. Limo, A. Arena, F. Fina, M. Media, G. Gruesa) y el diámetro medio de partículas (mm) por estación.



La composición granulométrica de las muestras en la cercanía de la cañada es muy similar a la de la Estación 11 (Fig. 3.7), donde existe un predominio casi absoluto de las arcillas y los limos con más del 95%, las arenas apenas alcanzan el 3% y prácticamente no hay gravas. También en esta muestra se encontraron pequeños restos de moluscos y un contenido elevado de materia orgánica procedente del manglar. Hacia la parte central de la bahía (Estación 4), el predominio de las fracciones finas es aún mayor. Del total de la muestra, el 98% de los materiales tenían un diámetro inferior a 0.074 mm y no existía una fracción de grava formada por restos de moluscos, como en las muestras más cercanas a la orilla.

Fuera de la Bahía de Luperón se observa un cambio muy significativo en todas las características de los materiales sedimentarios en relación con el área fangosa interior. El primer elemento que se destaca es un aumento del diámetro medio de las partículas, como ocurre en la Estación 9, casi a la salida de la bahía (Fig. 3.7), cuyos sedimentos poseen un diámetro medio de 0.63 mm, lo cual los clasifica en las categorías de arena media a arena gruesa. La fracción predominante está entre 1.0 y 0.5 mm y en ella se destacan componentes de carácter muy diverso. El tránsito del predominio de sedimentos fangosos a arenosos caracteriza el cambio del sustrato particulado del interior al exterior de la bahía.

Por una parte, existe un material sedimentario predominantemente de color oscuro procedente del interior de la bahía, pero también se observa una gran cantidad de fragmentos con tonalidades crema claro de origen biogénico marino. La mayoría de estos fragmentos son restos de moluscos y algas calcáreas que han sido transportados y modificados por la acción de las olas. La confluencia de materiales de origen heterogéneo y depositados por la acción de corrientes, también diversas, le imprimen a esta muestra una serie de particularidades. Por ejemplo, el valor de la desviación estándar ($\sigma = 1.26 \phi$) indica que la muestra no se encuentra bien agrupada alrededor de la media. Hacia los diámetros mayores están los restos de algas y moluscos de origen marino, mientras que hacia las fracciones más finas se agrupan los fragmentos terrígenos que escapan de la bahía.

Esta muestra presenta asimetría negativa ($S_K = -0.19$), lo cual indica un ligero predominio de las fracciones más gruesas sobre las finas. En una muestra complementaria, tomada al Norte de la Estación 9 se observó una influencia mucho menor de los sedimentos de la bahía. La mayor parte de esta muestra se agrupa en el intervalo de fracciones de 0.5 a 0.25 mm, más fina como promedio (0.41 mm) que la muestra de la Estación 9 (0.63 mm), pero en todas las fracciones se observa un predominio de materiales claros de origen biogénico carbonatado.

Además de las muestras tomadas en el interior de la bahía y la zona sublitoral de la plataforma próxima, también se colectaron sedimentos en la región de playa (Fig. 3.7), particularmente en Playa Grande ubicada al Noroeste de la boca de la bahía, con el fin de evaluar las características de los sedimentos en las áreas costeras acumulativas bajo la posible influencia de la bahía. Desde el punto de vista sedimentológico, esta playa es uno de los elementos de mayor atractivo turístico y paisajístico en la región. La playa está compuesta fundamentalmente por sedimentos de origen marino de color crema claro. El diámetro medio del material es de 0.69 mm y queda clasificado como arena media a gruesa. Se destaca como una particularidad de esta muestra su buena clasificación ($\sigma = 0.42 \phi$), o sea que los sedimentos están muy bien agrupados alrededor del valor central. La buena clasificación de la muestra está relacionada con la energía de las olas responsables de la movilización, transporte y deposición de estos materiales. En la playa las fracciones más estables están entre 1.0 y 0.5 mm, mientras que las fracciones más finas son lavadas fácilmente.

En resumen, el Sistema Costero al que pertenece la Bahía de Luperón tiene un patrón de distribución de sedimentos típico de áreas bajas con escasa energía. En los sitios interiores y por consiguiente más protegidos quedan estabilizados sedimentos muy finos clasificados como limos y arcillas, a los que se incorporan algunas fracciones gruesas originadas en los alrededores, principalmente asociadas con el ecosistema de manglar, donde juega un papel importante el aporte de los sedimentos de algas calcáreas del género *Halimeda*.

Al acercarnos a la entrada de la bahía, donde la energía de las corrientes es mayor, comienza un proceso de mezcla de materiales y empiezan a aparecer fragmentos de origen marino. En la boca de la bahía y en el área de plataforma próxima es que se produce la mayor mezcla con una gradación determinada por el balance de las corrientes hacia el mar y al interior de la bahía. Esta gradación es clara al comparar las muestras de la zona costera, en las que se observa en dirección al mar una sensible disminución de los materiales terrígenos finos y un incremento significativo de las fracciones arenosas de origen biogénico-carbonatado.

En cuanto a la playa, la influencia de los materiales producidos en la bahía es mínima y está formada por sedimentos procedentes del área de plataforma próxima y que han llegado al lugar por el efecto de las olas y las corrientes. Ello garantiza la calidad paisajística y estética de la franja de playa arenosa, la cual en virtud de las peculiaridades del sistema costero queda libre de una influencia crónica de aguas turbias procedentes de la Bahía de Luperón.

MAREAS

Las mareas que afectan las costas de Luperón son del tipo mixto semidiurnas. Estas mareas se caracterizan por presentar dos máximos y dos mínimos a lo largo del día, con lo que se completan dos ciclos de marea en 24 horas, aproximadamente. La amplitud de estos ciclos generalmente no es uniforme y pueden observarse niveles consecutivos de pleamar o bajamar muy diferentes. Como promedio, la amplitud de la marea en la región es de algo más de 0.7 m y tanto el ascenso como el descenso del nivel del mar tienen una duración aproximada de 6 horas. Debido a la configuración del lóbulo occidental de la bahía, estos cambios del nivel del mar provocan un flujo y reflujo de las aguas, que es particularmente sensible en el canal de acceso.

CARACTERIZACIÓN HIDRODINÁMICA

Las condiciones morfológicas que se observan en el lóbulo occidental de la Bahía de Luperón y el escenario geográfico en

que se encuentra ubicado, determinan que la dinámica de sus aguas y el intercambio de masa y energía con el océano estén regidos por múltiples factores. En primer término, las mareas provocan corrientes de flujo y reflujos a través del canal de entrada, que son particularmente fuertes durante las sicigias. Estas corrientes alternan de dirección en función del ciclo de marea y fluyen hacia el interior durante la mayor parte del ascenso del nivel del mar y en sentido contrario durante el descenso.

Por otra parte, aunque el oleaje procedente de aguas oceánicas alcanza muy deformado el canal de entrada de la bahía y con muy escasa energía, también provoca un movimiento de la capa superficial de agua y refuerza el efecto que tiene el flujo de marea. Este efecto se ve incrementado por las olas generadas por el viento local en el interior de la propia bahía y que se suman al efecto de las corrientes del llenante de marea. Adicionalmente, el viento que sopla de manera sostenida en la región transfiere parte de su energía a la capa superficial de agua y genera corrientes hacia el interior de la bahía, que refuerzan el movimiento generado por el flujo de marea y las olas.

El análisis individual de cada una de estas fuentes generadoras de corrientes, a partir de mediciones directas y estimaciones con modelos numéricos, permitió llegar a la comprensión integral del funcionamiento del sistema y cuantificar la magnitud y dirección de los movimientos en la masa de agua. Como se explica en el apartado metodológico, las fuentes individuales consideradas en la generación de las corrientes fueron: a) los cambios del nivel del mar por las mareas, b) el oleaje de aguas abiertas, c) el oleaje local y d) el viento.

Corrientes de marea

Debido a la configuración del lóbulo occidental de la bahía los cambios del nivel del mar asociados a la marea provocan un flujo y reflujos de las aguas, que es particularmente sensible en el canal de acceso. La aplicación del modelo integrado de canales hidráulicos (ACES, 1992) permitió evaluar de manera preliminar la magnitud

de estas corrientes y su grado de influencia en la hidrodinámica general del área. En un día promedio (Fig. 3.8), la velocidad del flujo en el canal puede alcanzar valores de hasta 0.18 m/seg, mientras que el reflujó alcanza un valor ligeramente inferior (0.12 m/seg), aunque esto está muy relacionado con las amplitudes evaluadas. Generalmente, las máximas velocidades reportadas, tanto para el flujo como el reflujó, se producen de 2 a 3 horas después de los picos de marea, coincidiendo con el centro de las curvas de ascenso o descenso del nivel del mar. La regularidad en las secciones del canal de entrada hace que la magnitud de la corriente en todos los puntos se comporte de forma similar.

En cuanto a las variaciones del nivel del agua en el propio canal, éstas siguen exactamente las variaciones impuestas por el régimen de marea sin que se produzcan retardos temporales significativos. En correspondencia con las velocidades calculadas, a través del canal se establece un importante intercambio de agua entre la bahía y las aguas oceánicas. En un día promedio, el volumen del flujo de marea a través de una sección transversal tipo del canal puede alcanzar hasta 34 m³/segundo, mientras que el reflujó llega a 28 m³/segundo. Esto representa un intercambio de agua de 600,000.00 m³ en un ciclo de marea completo.

Durante la ocurrencia de mareas de sicigia, aumenta la velocidad de las corrientes y el intercambio de agua a través del canal. En un día tipo de llenante máximo (Fig. 3.9) la amplitud de la marea puede alcanzar más de 1 m y la velocidad del flujo en el canal puede llegar a valores de hasta 0.25 m/seg, mientras que al igual que ocurre en un día promedio, el reflujó alcanza un valor ligeramente inferior (0.18 m/seg). Las máximas velocidades reportadas, tanto para el flujo como el reflujó, se producen coincidiendo con el centro de las curvas de ascenso o descenso del nivel del mar. Aproximadamente una hora después de los máximos de marea se produce la inversión en la dirección del flujo y se reportan valores de velocidad equivalentes a 0 m/seg. Como resultado del incremento en las velocidades de las corrientes en sicigia también se produce un intercambio mayor de agua entre la bahía y las aguas oceánicas. En un día tipo de máximo llenante, el volumen del flujo de marea a

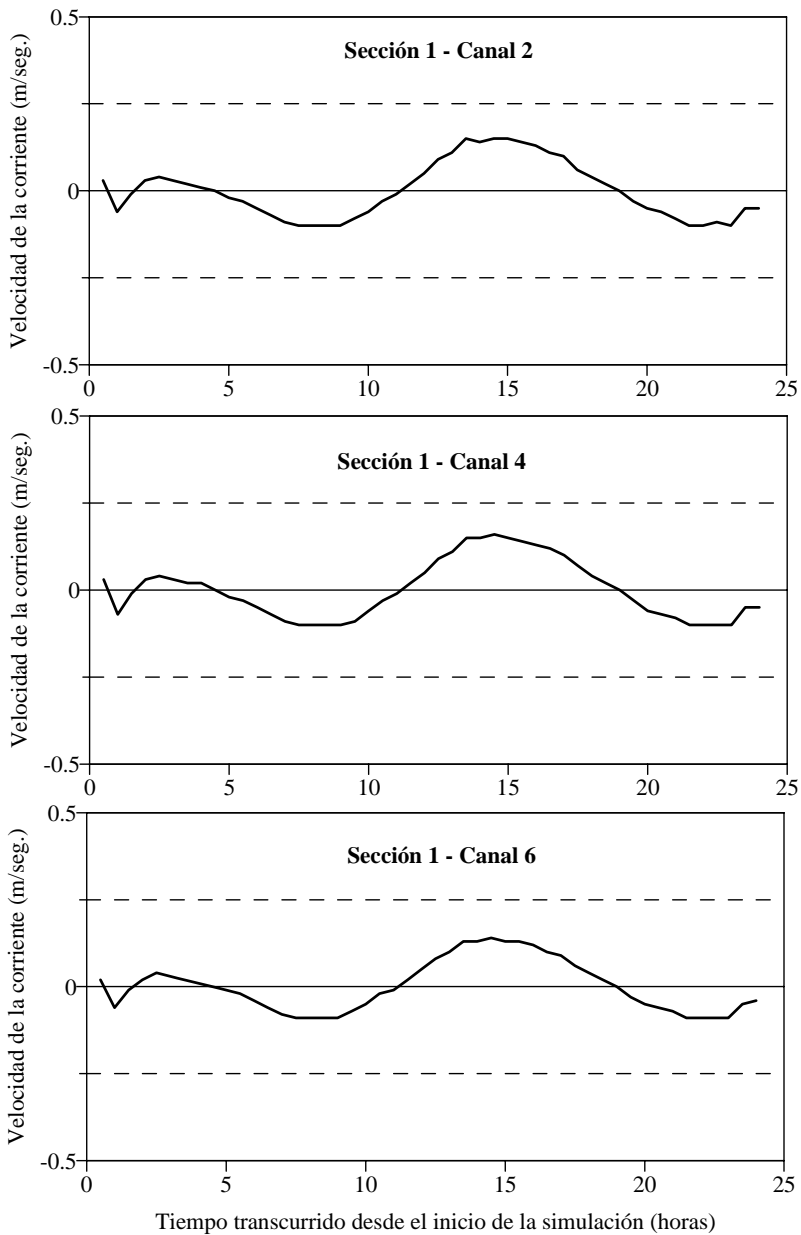


Figura 3.8. Velocidad de las corrientes de marea en la Sección 1, a manera de ejemplo de las secciones estudiadas, en un día tipo promedio en la boca del lóbulo occidental de la Bahía de Luperón.

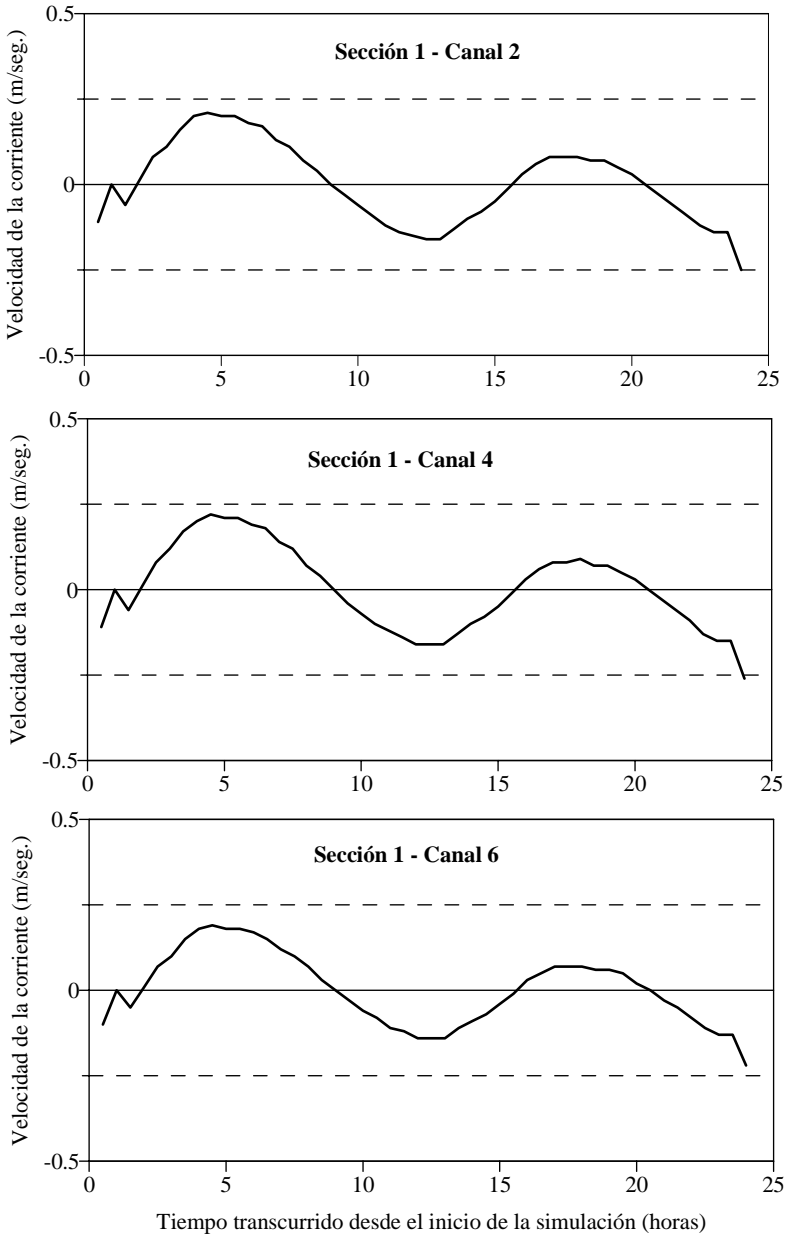


Figura 3.9. Velocidad de las corrientes de marea en la Sección 1, a manera de ejemplo de las secciones estudiadas, en un día tipo de llenante máximo en la boca del lóbulo occidental de la Bahía de Luperón.

través de una sección transversal tipo del canal puede alcanzar 50 m³/seg, mientras que el reflujó alcanza algo más de 40 m³/seg. Esto representa un intercambio de agua de más de 700,000.00 m³ en un ciclo de marea.

En un día tipo de vaciante máximo (Fig. 3.10), las velocidades máximas del reflujó se igualan a las velocidades máximas del flujó, con valores de 0.24 m/seg y el volumen de intercambio en la sección transversal del canal llega a 50 m³/seg, tanto durante el llenante como el vaciante. En cuanto al volumen total de intercambio, en un ciclo completo de marea, en la bahía se produce un movimiento total de más de 700,000.00 m³ de agua. Prácticamente durante todo el año a las corrientes de marea se superponen las corrientes generadas por el oleaje y el viento. Estas corrientes tienen una componente hacia el interior de la bahía y solo se manifiestan en superficie. El volumen de agua adicional que penetra debido a estas corrientes se compensa con un ligero incremento en los volúmenes de descarga de fondo.

Corrientes generadas por el oleaje de aguas abiertas

Atendiendo a las particularidades de la costa en la Bahía de Luperón y la configuración del canal de acceso a su lóbulo occidental, las afectaciones que puede sufrir la bahía por el efecto del oleaje oceánico son prácticamente despreciables. No obstante, en la zona próxima al canal se puede sentir la influencia de algunas ondas que luego de múltiples refracciones y reflexiones continúan propagándose en dirección Suroeste. Según los datos de oleaje en la región del Global Wave Statistics, se puede considerar que el oleaje habitual en aguas profundas presenta alturas de 1 a 1.5 m y períodos de 5 a 6 seg.

Al aplicar un modelo de refracción/difracción sobre una matriz de profundidades (REFDIF 10) se obtuvo que la entrada del canal se comporta como un foco de emisión de ondas esféricas y las olas que son capaces de penetrar al interior de la bahía alcanzan apenas 10 centímetros de altura, aunque conservan un período equivalente al de las olas de aguas profundas (Fig. 3.11). Aplicando la teoría de

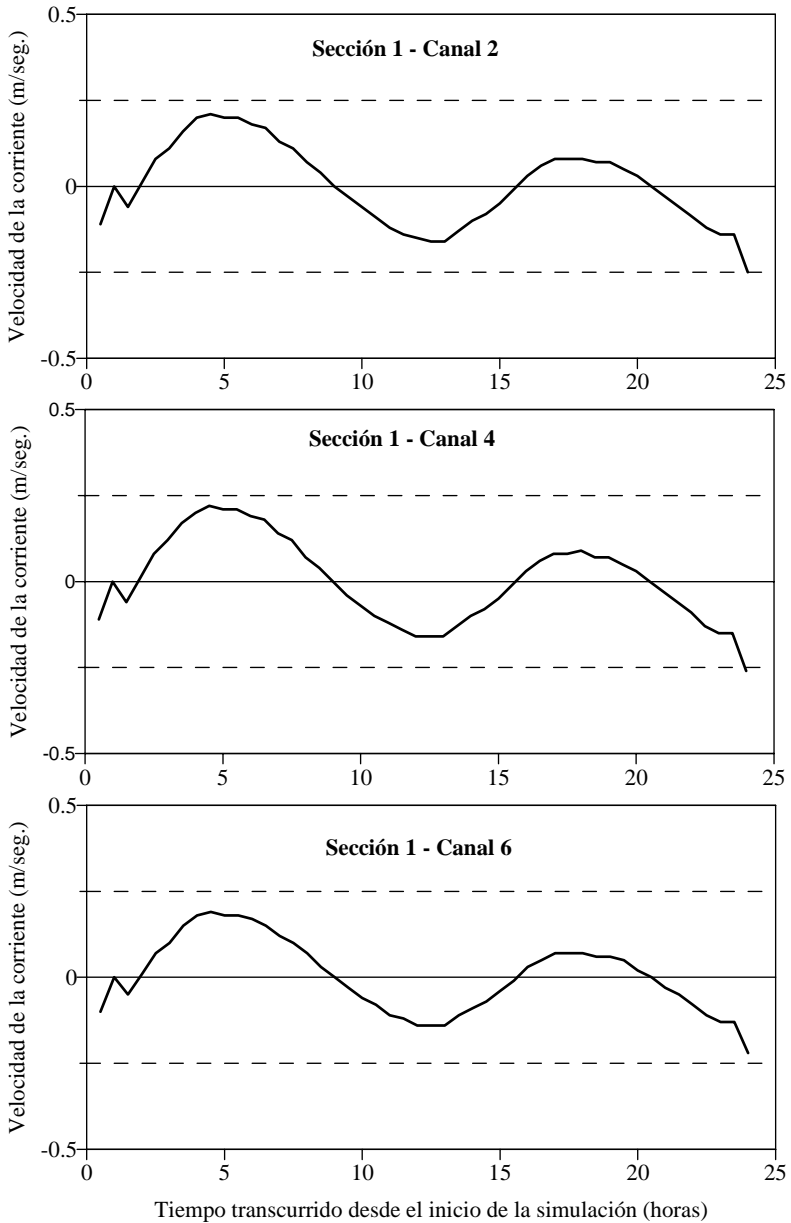


Figura 3.10. Velocidad de las corrientes de marea en la sección 1, a manera de ejemplo de las secciones estudiadas, en un día tipo de vaciante máximo en la boca del lóbulo occidental de la Bahía de Luperón.

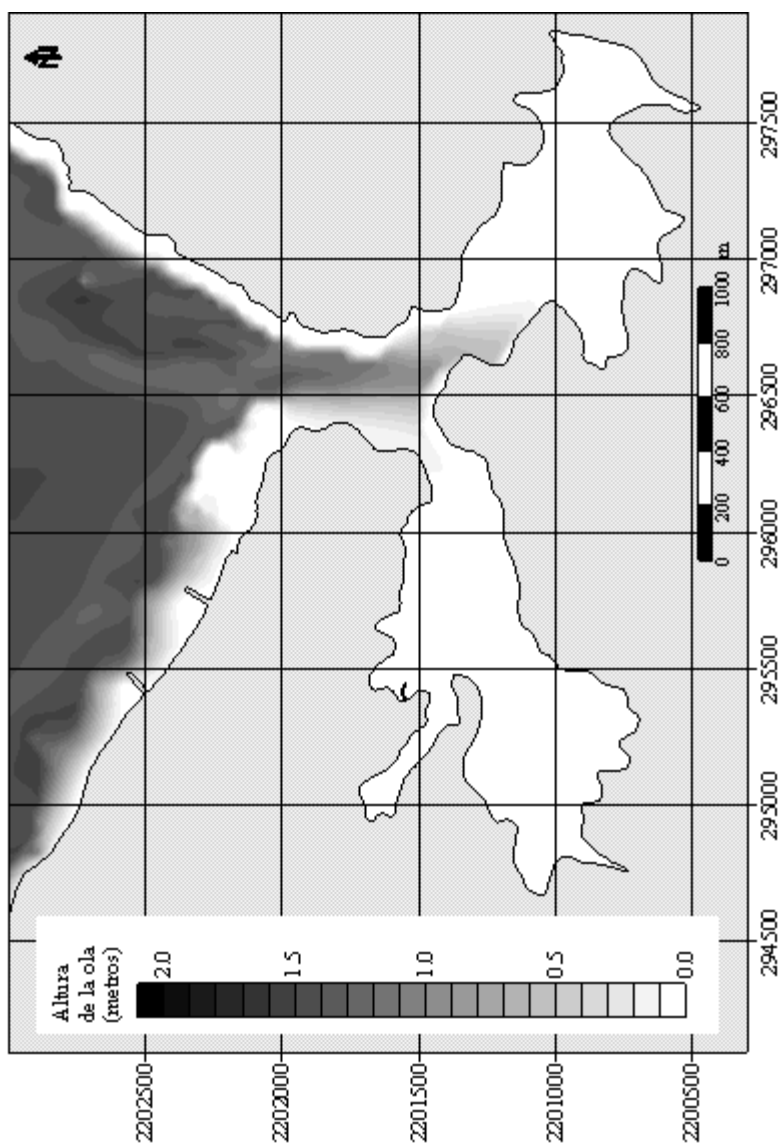


Figura 3.11. Plano de isoagitación y frentes de onda en condiciones habituales en la Bahía de Luperón y el área costera y oceánica adyacente.

segundo orden de Stokes para ondas de amplitud finita, se obtuvo que estas olas generan corrientes superficiales que apenas alcanzan de 5 a 6 cm/minuto, lo que resulta prácticamente despreciable comparado con las corrientes de marea.

En cuanto al oleaje extremo, de acuerdo con los reportes del Global Wave Statistics, las olas con altura superior a 4 metros y período de 11 segundos ocurren solamente durante huracanes u eventos excepcionales y tienen una probabilidad de no excedencia del 99.99%. Con la aplicación del modelo numérico de transformación (REFDIF 10) se comprobó que aún estas olas al penetrar al lóbulo occidental de la bahía apenas alcanzan 30 cm de altura (Fig. 3.12). El movimiento de la masa superficial de agua que es capaz de inducir este oleaje es de 30 cm/minuto aproximadamente, lo que también es una magnitud considerablemente inferior a los valores estimados de velocidad asociados a la marea (Tabla 3.8).

Corrientes generadas por el oleaje local

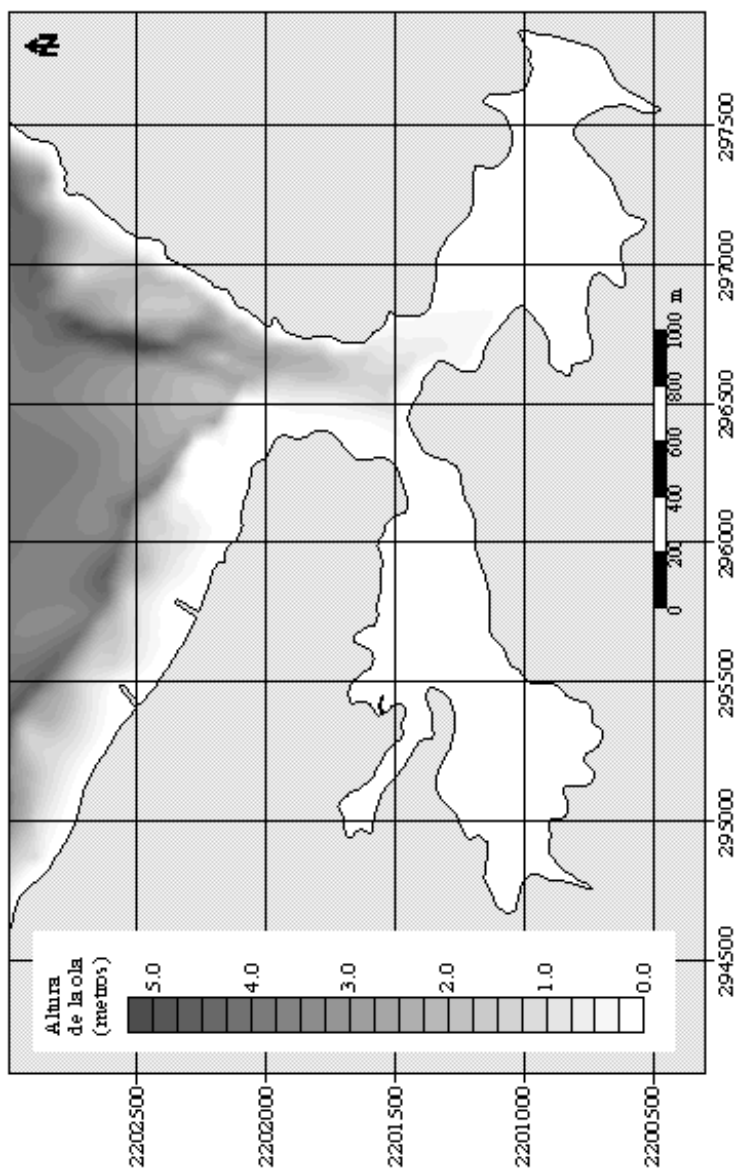
Además de las olas procedentes de aguas oceánicas, en la propia bahía llegan a generarse olas como resultado de la incidencia del viento sobre la superficie libre de agua. Realmente, tanto por las dimensiones del lóbulo occidental como por su configuración, el fetch efectivo es muy restringido y por tanto, las olas que llegan a formarse alcanzan muy poco desarrollo. Utilizando la metodología planteada inicialmente en el SPM (1984) y refinada en el ACES (1992), se calcularon las probabilidades de generación de oleaje a

Tabla 3.8. Características de las corrientes originadas por el oleaje oceánico que penetra a la bahía. AO: Altura de ola ($H_0 - H$)* en metros, T: Período en segundos, L: Longitud de onda en metros, C: Celeridad en m/seg, V: Velocidad en m/seg.

Condiciones	AO	T	L	C	V
Habituales	1.5 – 0.10	6.0	30.0	6.0	0.001
Extremas	4.0 – 0.30	11.0	60.0	6.0	0.005

* H_0 está referido a las condiciones iniciales en aguas oceánicas y H es la altura que pueden alcanzar las olas dentro del lóbulo occidental de la bahía.

Figura 3.12. Plano de isoagitación y frentes de onda en condiciones de extrema en la Bahía de Luperón y el área costera y oceánica adyacente.



partir de los datos recogidos en el resumen estadístico de los vientos en la Estación Climática de La Unión, Puerto Plata (Tabla 3.9).

Debe señalarse que los valores de velocidad del viento empleados en los cálculos se corresponden con los resúmenes escalares, sin considerar la frecuencia de ocurrencia de los vientos de esas direcciones. De este modo, el rumbo se emplea solamente para determinar la dirección de incidencia efectiva de los frentes de ondas, y debido a la baja frecuencia de los rumbos Norte, Noreste y Noroeste, queda garantizado que bajo condiciones normales no sean excedidos los parámetros de las olas calculadas. Al aplicar la teoría de segundo orden de Stokes para estas olas, se obtuvo que las corrientes superficiales que son capaces de generar, alcanzan apenas unos 5 cm/min.

Corrientes superficiales provocadas por el viento

La incidencia directa del viento sobre el mar provoca una transferencia progresiva de energía a la superficie libre del agua y se genera un movimiento de masa en igual dirección que el viento. De acuerdo con las características del viento local reportadas por la Estación Climática de La Unión, Puerto Plata, y compatibilizando los criterios del SPM (1984), se obtiene que las corrientes inducidas por el viento pueden llegar a alcanzar valores de hasta 15 m/min (Tabla 3.10).

De acuerdo con estos resultados es posible afirmar que las corrientes generadas por el viento, bajo determinadas condiciones, llegan a alcanzar hasta 0.20 m/seg. Sin embargo, estos valores solo son posibles con vientos de más de 20 km/h, que tienen una probabilidad de ocurrencia muy baja para los rumbos de incidencia efectiva en la bahía. Los resultados obtenidos con los cuerpos de deriva Tabla (3.11) confirmaron los del modelo para vaciante (Fig. 3.13) y llenante de marea (Fig. 3.14).

A manera de resumen de la caracterización hidrodinámica, el análisis integral del régimen hidrodinámico en la Bahía de Luperón y la distribución espacial de los sedimentos permite formarse una

Tabla 3.9. Características de las olas generadas por el viento local del Noreste, Norte y Noroeste. VV. Velocidad del viento (km/h). P. Probabilidad de ocurrencia de vientos con velocidad igual o superior (%). AOR. Altura de ola resultante (m). Período de la ola resultante (seg). PN. Propagación respecto al N.

Rumbo	VV	PV	AOR	POR	PN
Noreste	3.63	95.0	0.01	0.39	38°
	6.08	85.0	0.02	0.53	38°
	8.17	65.0	0.03	0.62	38°
	9.80	50.0	0.04	0.69	38°
	13.00	30.0	0.05	0.80	38°
	14.00	20.0	0.05	0.83	38°
	17.00	10.0	0.07	0.92	38°
	30.00	1.0	0.15	1.24	38°
Norte	3.63	95.0	0.01	0.34	34°
	6.08	85.0	0.02	0.48	34°
	8.17	65.0	0.02	0.56	34°
	9.80	50.0	0.03	0.62	34°
	13.00	30.0	0.04	0.73	34°
	14.00	20.0	0.04	0.76	34°
	17.00	10.0	0.05	0.84	34°
	30.00	1.0	0.11	1.13	34°
Noroeste	3.63	95.0	0.00	0.24	12°
	6.08	85.0	0.01	0.34	12°
	8.17	65.0	0.01	0.41	12°
	9.80	50.0	0.02	0.45	12°
	13.00	30.0	0.02	0.53	12°
	14.00	20.0	0.02	0.55	12°
	17.00	10.0	0.03	0.61	12°
	30.00	1.0	0.06	1.84	12°

idea clara del funcionamiento general del sistema costero. Una primera conclusión es que el movimiento fundamental de la masa de agua se produce por efecto de la marea que es capaz de generar en un día promedio corrientes en el canal de hasta 0.18 m/seg durante el llenante y 0.12 m/seg en vaciante. De acuerdo con los resultados experimentales de Hjulstrom (1939), estas corrientes son capaces de transportar con facilidad las arcillas y los limos, e incluso las fracciones arenosas con diámetro de hasta 0.5 mm.

Tabla 3.10. Velocidades de las corrientes inducidas por el viento. VV. Velocidad del viento (km/h). POV. Probabilidad de ocurrencia de vientos con velocidad igual o superior (%). VC. Velocidad de la corriente (m/seg).

VV	POV	VC
3.63	95.0	0.02 - 0.03
6.08	85.0	0.04 - 0.05
8.17	65.0	0.05 - 0.07
9.80	50.0	0.06 - 0.08
13.00	30.0	0.07 - 0.11
14.00	20.0	0.08 - 0.12
17.00	10.0	0.09 - 0.14
30.00	1.0	0.17 - 0.25

Debe señalarse, no obstante, que las velocidades durante el llenante son superiores al vaciante, lo que determina que también la capacidad de transporte durante el llenante sea mayor. Otro elemento a destacar es que en un ciclo completo de marea en un día promedio, a través del canal se produce un intercambio de agua de 600,000.00 m³ aproximadamente entre el lóbulo occidental de la bahía y el mar. Si tenemos en cuenta que el volumen de agua almacenado en este lóbulo (referido al nivel medio del mar) es de casi 2,000,000.00 de m³ de agua, entonces aproximadamente en 4 días se produce un intercambio equivalente al volumen total de agua.

Esta cifra solo puede utilizarse como referencia inicial del tiempo en que puede producirse una renovación completa del agua en la bahía, ya que existe un gran número de factores que en este análisis no han sido considerados. Por ejemplo, las velocidades de las corrientes disminuyen hacia el interior de la bahía y también disminuyen con el incremento de la profundidad, lo que hace que la renovación de las aguas más profundas y especialmente en la parte más interior de la bahía, sea considerablemente inferior a la renovación del agua en la zona próxima al canal.

Un indicador de la escasa energía del régimen de circulación en el interior de la bahía es precisamente la distribución de los sedimentos del fondo. Por ejemplo, los materiales depositados en la Estación 11 están compuestos en un 95 % por fracciones de limos y arcillas

Tabla 3.11. Resultados de los experimentos con botellas de deriva en la Bahía de Luperón.

Exp.	Obsv.	Fecha	UTME	UTMN	Distancia (m)	Hora	Tiempo (min.)	Velocidad (m/seg.)
A	1	Ago. 5	295083	2201086	0	7:26 a.m.	0	0.000
	2	Ago. 5	295197	2201125	120.00	8:29 a.m.	63	0.032
	3	Ago. 5	295022	2201144	180.00	9:58 a.m.	89	0.034
B	1	Ago. 26	295461	2201293	0	7:45 a.m.	0	0.000
	2	Ago. 26	295402	2201337	73.60	8:29 a.m.	44	0.028
C	1	Sept. 16	296180	2201496	0	9:00 a.m.	0	0.000
	2	Sept. 16	296054	2201497	126.00	9:27 a.m.	27	0.078
D	3	Sept. 16	295998	2201502	56.22	9:41 a.m.	14	0.067
	4	Sept. 16	295561	2201340	466.06	10:46 a.m.	65	0.120
	1	Sept. 16	296321	2201562	0	9:27 a.m.	0	0.000
	2	Sept. 16	295934	2201506	391.03	10:05 a.m.	38	0.172
E	3	Sept. 16	295548	2201388	403.63	10:55 a.m.	50	0.135
	1	Sept. 16	296321	2201562	0	9:27 a.m.	0	0.000
F	2	Sept. 16	295935	2201504	390.33	10:07 a.m.	40	0.163
	3	Sept. 16	295600	2201411	347.67	10:54 a.m.	47	0.123
	1	Sept. 17	296330	2201521	0	4:36 p.m.	0	0.000
3	1	Sept. 17	296163	2201480	171.96	4:51 p.m	15	0.191
	3	Sept. 17	296041	2201404	143.74	5:07 p.m	16	0.150
4	1	Sept. 17	295896	2201378	147.31	5:23 p.m	16	0.154
	5	Sept. 17	295781	2201383	115.11	5:39 p.m	16	0.120
6	1	Sept. 17	295609	2201351	174.95	6:03 p.m	24	0.122

Tabla 3.11. Continuación.

Exp.	Obsv.	Fecha	UTME	UTMN	Distancia (m)	Hora	Tiempo (min.)	Velocidad (m/seg.)
G	1	Sept. 17	296330	2201521	0	4:36 p.m	0	0.000
	2	Sept. 17	296170	2201432	183.09	4:52 p.m	16	0.191
	3	Sept. 17	296065	2201413	106.71	5:08 p.m	16	0.111
	4	Sept. 17	295952	2201364	123.17	5:25 p.m	17	0.121
	5	Sept. 17	295824	2201364	128.00	5:41 p.m	16	0.133
	6	Sept. 17	295726	2201334	102.49	5:59 p.m	18	0.095
H	1	Sept. 17	296330	2201521	0	4:36 p.m	0	0.000
	2	Sept. 17	296170	2201432	183.09	4:52 p.m	16	0.191
	3	Sept. 17	296047	2201407	125.51	5:07 p.m	15	0.140
	4	Sept. 17	295916	2201367	136.97	5:24 p.m	17	0.134
	5	Sept. 17	295791	2201375	125.26	5:40 p.m	16	0.131
	6	Sept. 17	295666	2201333	131.87	6:02 p.m	22	0.100
I	1	Sept. 17	296330	2201521	0	4:36 p.m	0	0.000
	2	Sept. 17	296170	2201432	183.09	4:52 p.m	16	0.191
	3	Sept. 17	296047	2201407	125.51	5:07 p.m	15	0.140
	4	Sept. 17	295909	2201377	141.22	5:23 p.m	16	0.147
	5	Sept. 17	295786	2201381	123.07	5:39 p.m	16	0.128
	6	Sept. 17	295660	2201359	127.91	6:01 p.m	22	0.097
J	1	Sept. 17	296330	2201521	0	4:36 p.m	0	0.000
	2	Sept. 17	296170	2201432	183.09	4:52 p.m	16	0.191
	3	Sept. 17	296047	2201407	125.51	5:07 p.m	15	0.140
	4	Sept. 17	295909	2201377	141.22	5:23 p.m	16	0.147
	5	Sept. 17	295786	2201381	123.07	5:39 p.m	16	0.128
	6	Sept. 17	295661	2201353	128.10	6:01 p.m	22	0.097

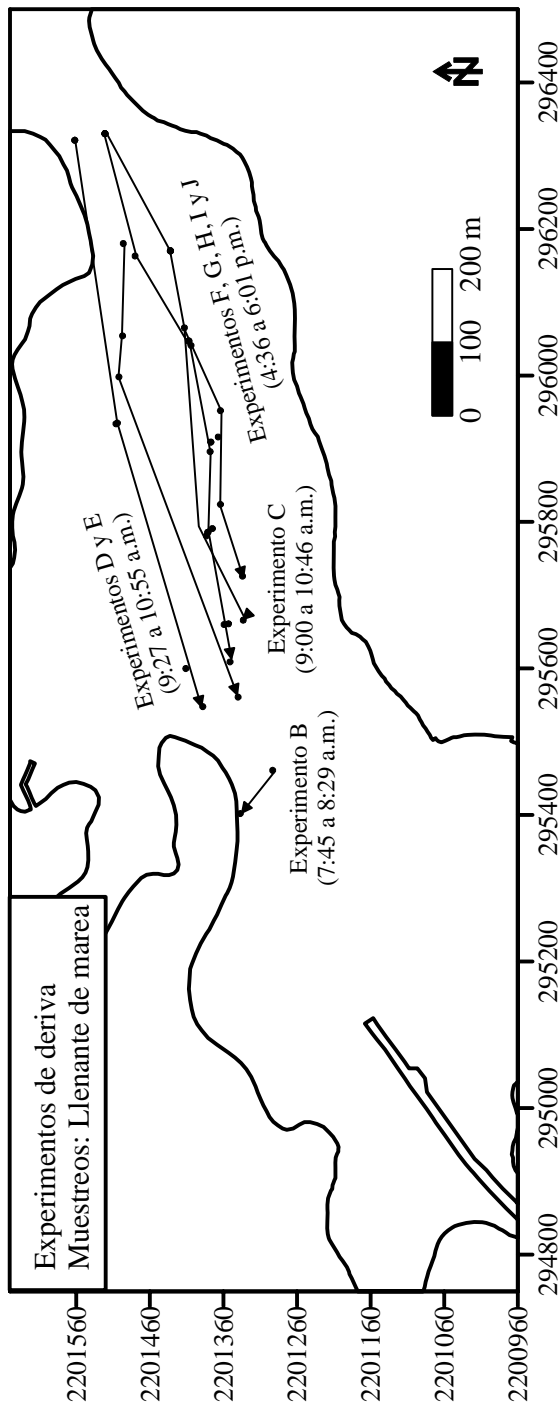


Figura 3.13. Resultados de los experimentos con cuerpos de deriva, en llenante de marea, en la Bahía de Luperón. Los puntos negros indican los sitios de lanzamiento, registro de observaciones y recogida de los cuerpos de deriva. Las líneas indican el recorrido de los cuerpos de deriva y la saeta su dirección. Se indica en cada caso la letra del experimento correspondiente y las horas de observaciones, según la Tabla 3.12.

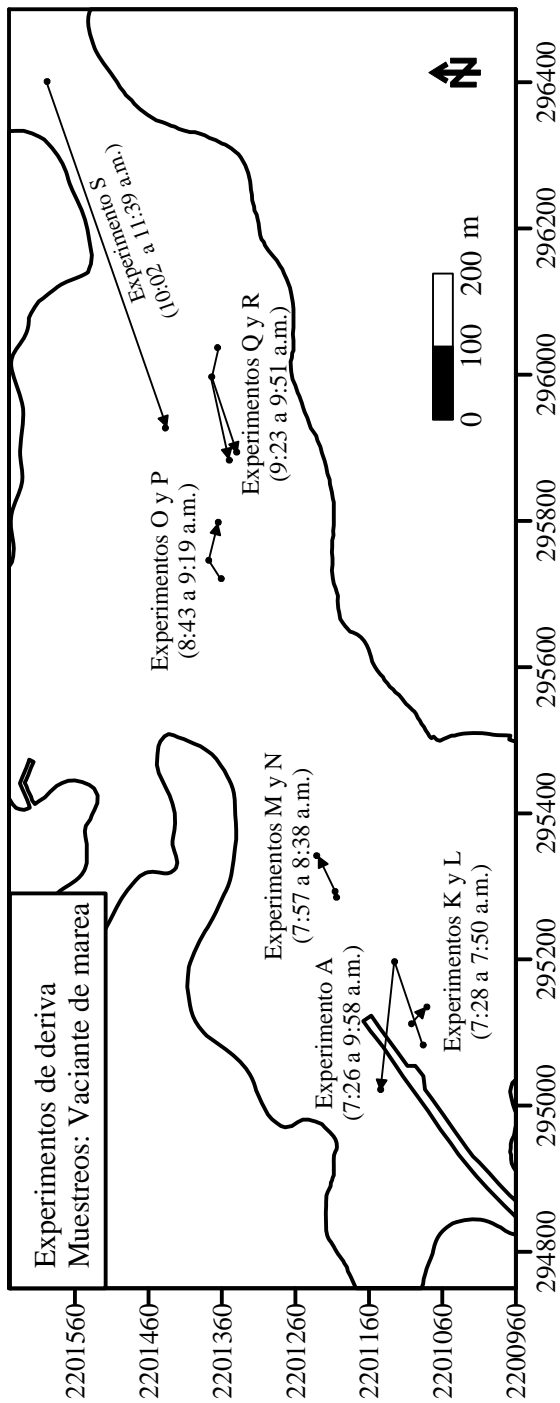


Figura 3.14. Resultados de los experimentos con cuerpos de deriva, en vaciante de marea, en la Bahía de Luperón. Los puntos negros indican los sitios de lanzamiento, registro de observaciones y recogida de los cuerpos de deriva. Las líneas indican el recorrido de los cuerpos de deriva y la saeta su dirección. Se indica en cada caso la letra del experimento correspondiente y las horas de observaciones según la Tabla 3.12.

con un diámetro inferior a 0.074 mm. De acuerdo con los resultados de Hjulstrom (1939), para transportar estos materiales son suficientes velocidades de corriente inferiores a 5 cm/seg, que no se producen en el lugar. Los resultados de numerosos autores, recogidos en el SPM (1984) avalan este criterio al afirmar que para transportar incluso fragmentos de arena con diámetro de 0.1 mm o menor, apenas se requiere de corrientes de 5 cm/seg.

También es muy importante destacar que a las corrientes de marea se superponen de forma permanente las corrientes generadas por el oleaje (ya sea local o el que penetra desde aguas abiertas) y el viento. Todas estas corrientes tienen una componente longitudinal de igual dirección al eje del lóbulo de la bahía y están dirigidas hacia el interior, durante la mayor parte del tiempo. Los experimentos realizados con cuerpos de deriva (Tabla 3.11) ponen de manifiesto que al tener igual dirección todas estas corrientes se superponen y refuerzan hasta superar en la superficie a las corrientes de marea.

Particularmente durante el llenante, las corrientes generadas por el viento se suman a las corrientes de marea y en la capa superficial se produce un incremento en la velocidad de la masa de agua hacia el interior de la bahía. Por el contrario, durante el vaciante las corrientes de marea tienen una dirección opuesta al viento y el oleaje y una magnitud inferior a las corrientes de llenante. Esto provoca que en la capa superficial la tendencia del movimiento del agua sea hacia el interior de la bahía, mientras que el flujo de agua hacia el mar se produce por el fondo y las capas de agua intermedias.

Los experimentos realizados con cuerpos de deriva en la zona del canal y el interior de la bahía reflejan la marcada influencia del viento y las olas generadas por el mismo en el movimiento de la capa superficial de agua. En este sentido, se destacan los resultados obtenidos al correlacionar el comportamiento diario de la fuerza del viento y las velocidades de la corriente (Fig. 3.15) que indican una variación simultánea altamente correlacionada estadísticamente, de manera que con el aumento y disminución de la velocidad del viento en el ciclo diurno, ocurre paralelamente un aumento y disminución de la velocidad de las corrientes en la bahía.

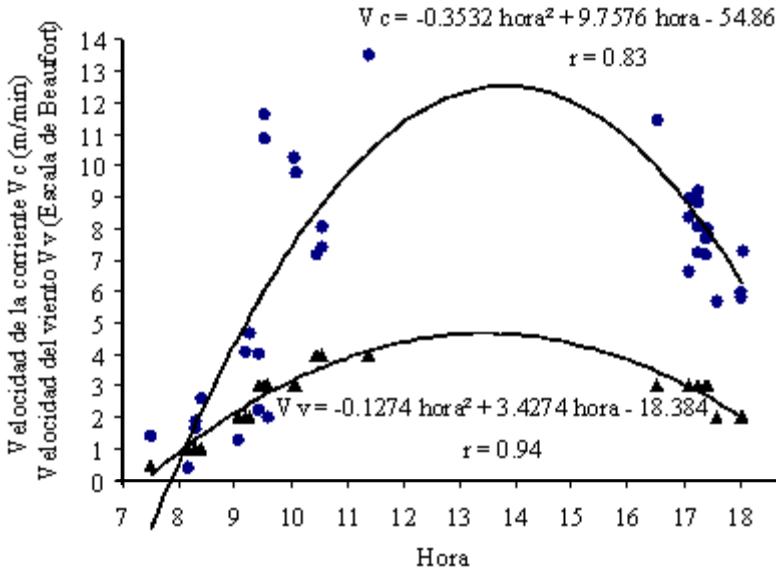


Figura 3.15. Relación entre los valores de velocidad de la corriente estimadas en nuestros experimentos y la velocidad del viento (según datos promedios de Van Sant, 1996) para un intervalo de 12 horas. Los círculos indican los datos de velocidad de la corriente y los triángulos de viento. Se indica en cada caso la ecuación de ajuste del polinomio y el coeficiente de correlación r .

Otro elemento de gran importancia es la ausencia casi absoluta de corrientes de escurrimiento superficial concentrado al interior de la bahía, debido a la falta de corrientes superficiales de envergadura. Esto hace que realmente la energía de las corrientes durante la descarga al mar sea inferior a la energía de las corrientes que penetran y por consiguiente, los sedimentos fangosos de la bahía tienen influencia solo en un área relativamente reducida de la plataforma marina, mientras que los sedimentos marinos predominan en la zona de transición.

Todo este esquema dinámico determina que incluso en la playa de Luperón, ubicada deriva debajo de la bahía y relativamente cerca, no se observen prácticamente indicios de influencia de materiales provenientes del interior de la bahía.

OCEANOGRAFÍA QUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA

Los resultados de las campañas oceanográficas en vaciante (Tabla 3.12) y llenante de marea (Tabla 3.13) muestran que desde el punto de vista hidroquímico la bahía puede ser subdividida en cuatro regiones, donde los parámetros exhiben un comportamiento similar: a) Cañada La Alhorrada, b) área interior, c) área central y d) área externa. Las características hidroquímicas de cada una de estas áreas están muy relacionadas con el ciclo de marea que impone variaciones en la distribución espacial de la transparencia (Fig. 3.16), la salinidad (Fig. 3.17), la temperatura (Fig. 3.18) y los niveles de oxígeno disuelto (Fig. 3.19).

Desembocadura de la Cañada La Alhorrada

Cerca de la Cañada la Alhorrada en la Estación 12 (ver Fig. 2.2) se observaron valores de transparencia cero en ambos muestreos debido a la gran cantidad de sedimentos que éste curso arrastra. Estos sedimentos se depositan a corta distancia de la desembocadura tanto por el efecto del viento en sentido contrario al flujo, como por el escaso caudal de la cañada que no favorece el transporte. Ello atenúa el efecto de turbidez en el resto de la bahía. Los valores de salinidad con 12‰ son indicativos de la influencia de agua dulce y los valores de oxígeno disuelto fueron similares en llenante y vaciante, con 5.5 mg/l y un porcentaje de saturación de 80% en el primer caso; y 6.0 mg/l y un porcentaje de saturación de 87%, en el segundo caso.

Estos valores están reflejando la presencia de una alta carga orgánica ya que, como vimos en el acápite de hidrología, la cañada recibe parte de los albañales del pueblo de Luperón y los aportes de los drenes. Ello es más evidente en sus valores de nutrientes que fueron muy elevados en el muestreo del vaciante, en comparación con el resto de la bahía, aunque disminuyeron durante el muestreo de llenante. Sin embargo, en esta estación no se encontró en ningún muestreo evidencias físicas de hidrocarburos, posiblemente por su mayor distancia a las áreas donde se concentran las embarcaciones, hacia las regiones interna y central de la bahía. En general, la

Tabla 3.12. Valores de los parámetros físicos y químicos determinados en doce estaciones ubicadas en diferentes regiones de la Bahía de Luperón durante las campañas oceanográficas realizadas durante el vaciante de marea.

Est.	Prof. (m)	Transp (m)	Temp. (°C)	Salin. (‰)	OD (mg/l)	OD %	NO ₃ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	NH ₄ (mg/l)	PO ₄ (mg/l)	HC
1	0.9	0.9	30.8	37.5	6.6	100	≤ 1	0	≤ 0.25	≤ 5	Si
2	0.5	0.5	30.2	37.7	4.5	73	≤ 1	0	≤ 0.25	≤ 5	No
3	2.2	1.0	30.7	37.0	8.1	100	< 1	0	< 0.25	≤ 5	No
4	5.6	1.1	31.3	37.5	7.3	100	< 1	0	< 0.25	≤ 5	No
5	3.3	1.1	31.5	39.0	7.2	100	< 1	0	< 0.25	5	Si
6	5.9	1.3	31.2	37.5	8.0	100	< 1	0	< 0.25	< 5	Si
7	5.9	1.9	31.2	37.5	7.5	100	< 1	0	< 0.25	< 5	No
8	4.5	2.0	31.2	37.6	7.6	100	< 1	0	< 0.25	< 5	No
9	3.9	2.4	30.6	36.1	8.0	100	0	0	0	< 5	No
10	29.0	15.0	29.0	36.8	8.3	100	0	0	0	< 5	No
11	1.2	1.2	31.8	37.5	7.5	100	< 1	0	< 0.25	< 5	No
12	0.3	0.0	31.8	12.0	5.5	80	≤ 1	< 0.15	≤ 0.5	> 5	< 15 No

Tabla 3.13. Valores de los parámetros físicos y químicos determinados en doce estaciones ubicadas en diferentes regiones de la Bahía de Luperón durante las campañas oceanográficas realizadas durante el llenante de marea.

Est.	Prof. (m)	Transp (m)	Temp. (°C)	Salin. (‰)	OD (mg/l)	OD %	NO ₃ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	NH ₄ (mg/l)	PO ₄ (mg/l)	HC
1	0.9	0.9	30.3	36.7	6.0	98	<1	0	<0.25	5	Si
2	0.5	0.5	30.3	36.9	6.8	100	<1	0	<0.25	≤5	No
3	2.2	1.0	30.7	37.5	6.0	99	<1	0	<0.25	<5	No
4	5.6	1.2	30.6	37.9	6.4	100	<1	0	<0.25	<5	No
5	3.3	1.5	30.7	37.6	7.0	100	<1	0	<0.25	5	No
6	5.9	1.5	30.6	37.5	7.1	100	<1	0	<0.25	<5	No
7	5.9	5.9	30.1	37.2	7.0	100	<1	0	<0.25	<5	No
8	4.5	4.5	29.8	37.5	8.1	100	0	0	<0.25	<5	No
9	3.9	3.9	29.5	36.9	7.0	100	0	0	0	<5	No
10	29.0	15.0	29.3	36.2	7.9	100	0	0	0	<5	No
11	1.2	1.2	31.2	37.5	8.0	100	<1	0	<0.25	<5	No
12	0.3	0.0	31.6	12.0	6.0	87	<1	0	<0.25	<5	No

desembocadura de la Cañada La Alhorrada, más que un área de acumulación es un área de exportación de nutrientes, como veremos seguidamente.

Área interna (Subzona Sureste/Estaciones 2, 3, 4, 5, 6 y 11)

El área interna de la bahía (ver Fig. 2.2) se caracteriza por su escasa profundidad que alcanza 2.8 m como promedio, pero tiene en su región más interna profundidades de hasta 0.9 m, debido al alto grado de sedimentación relacionado con el aporte de la cañada y el manglar. Ello incide en cierta forma la transparencia que alcanzó 1.1 m como promedio, tanto en vaciante como en llenante.

Los valores de temperatura y salinidad fueron altos siempre, indicando una escasa renovación, aunque los valores promedios observados en el vaciante (31.1 °C y 37.7 ‰) fueron ligeramente mayores que los observados en el llenante (30.6 °C y 37.4 ‰). En este último caso se hace sentir más el efecto de la masa oceánica externa sobre la bahía. Los nutrientes tuvieron valores moderados en comparación con la cañada y similares en ambos muestreos, alcanzando concentraciones de 1.32 y 0.34 mg/l para el nitrato y fosfato, respectivamente. Asimismo, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) tuvo aquí un valor de 5.8 mg/l, que fue el mayor hallado para toda la región marina. Los valores de aceites y grasas tuvieron un promedio de 0.124 mg/l, aunque no fue muy evidente la presencia películas oleosas sobre la superficie del agua y este valor se encuentra por debajo de la norma de SEMARN (2001).

Área interna (Subzona Noroeste/Estación 1)

Durante los muestreos se evidenció que existen importantes diferencias entre los costados Sureste (Estación 2) y Noroeste (Estación 1) del Muelle de Luperón (ver Fig. 2.2), por lo que esta última área se separó en el estudio hidroquímico como una subzona independiente. En el costado Noroeste, donde el muelle cortó totalmente la comunicación con la cañada, los valores de oxígeno y los porcentajes de saturación durante el vaciante son ligeramente mayores (6.6 mg/l y 100 %) que en el costado que sí está influido por éste (4.5 mg/l y 73 %).

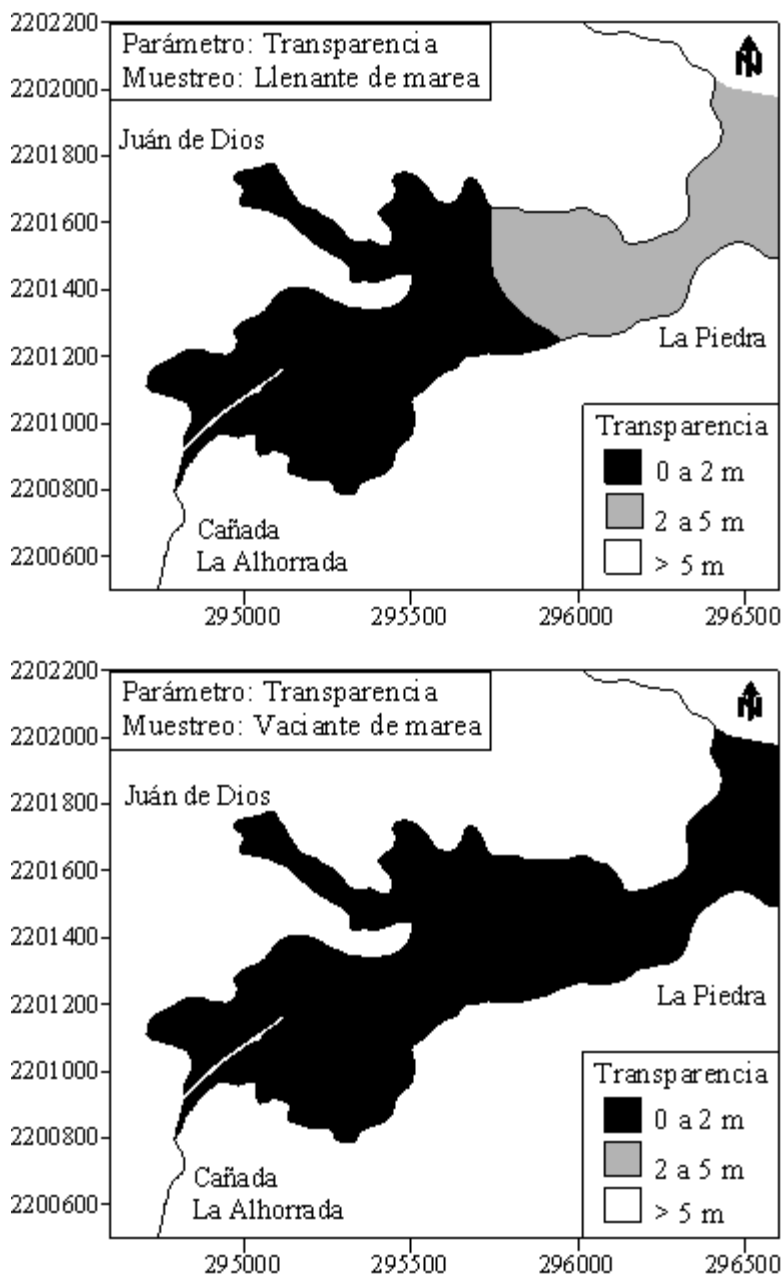


Figura 3.16. Variaciones de la transparencia del agua en la Bahía de Luperón y el área costera-océanica adyacente, durante el ciclo de marea.

Por otra parte, el costado Noroeste, precisamente por haber quedado aislado del aporte de la cañada, tiene ciertas condiciones de estancamiento que favorece la deposición del sedimento e incluso la acumulación de hidrocarburos en la superficie del agua, que fueron visibles durante los muestreos y alcanzaron los mayores valores de toda la región con 0.298 mg/l, si bien éste se encuentra aún por debajo de la norma nacional establecida por SEMARN (2001).

Esta subzona es, de hecho, el área típica de acumulación, donde permanentemente se observa una capa de hidrocarburos sobre el agua, por lo que las concentraciones pueden llegar incluso a ser mucho mayores que las encontradas en el presente estudio, sobrepasando la norma establecida. De cualquier forma, la contaminación por hidrocarburos sobre la superficie del agua tiene un impacto tan alto sobre la calidad del agua y las condiciones estéticas de la bahía que aún concentraciones por debajo de la norma deben ser vigiladas.

En este sentido, sería mejor aplicar una norma narrativa como la propuesta por Herrera y Betancourt (2003), que plantea que todas las aguas superficiales de la zona estuarina y costera deben estar libres de películas oleosas visibles de cualquier tipo o espesor, procedentes del vertimiento de aceites, lubricantes, petróleo u otros hidrocarburos durante actividades humanas en la costa o desde buques de cualquier tipo, porte y calado.

Área central (Estaciones 7, 8 y 9)

En esta área la profundidad se incrementa y alcanza un promedio de 4.6 m. La transparencia también alcanza mayores valores con 2.1 m de promedio, durante el vaciante y 4.8 m, durante el llenante. Ello indica la influencia que tiene la masa de agua oceánica sobre la transparencia del centro de la bahía. Los valores de temperatura y salinidad fueron elevados durante el muestreo en vaciante, con promedios de 31.0 °C y 37.1 ‰, respectivamente, indicando que aún en esta región del centro de la bahía las condiciones de renovación son limitadas. Ambos parámetros disminuyeron

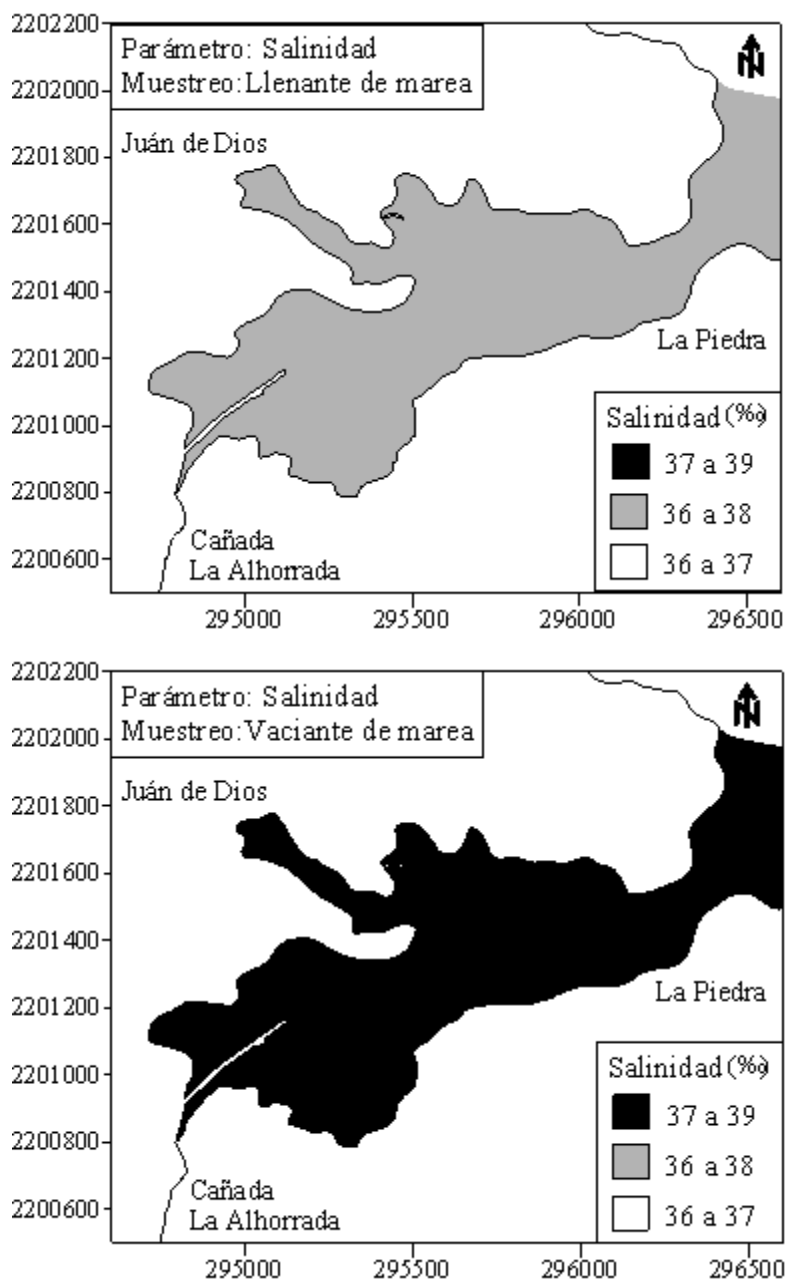


Figura 3.17. Variaciones de la salinidad superficial en la Bahía de Luperón y el área costera-océanica adyacente, durante el ciclo de marea.

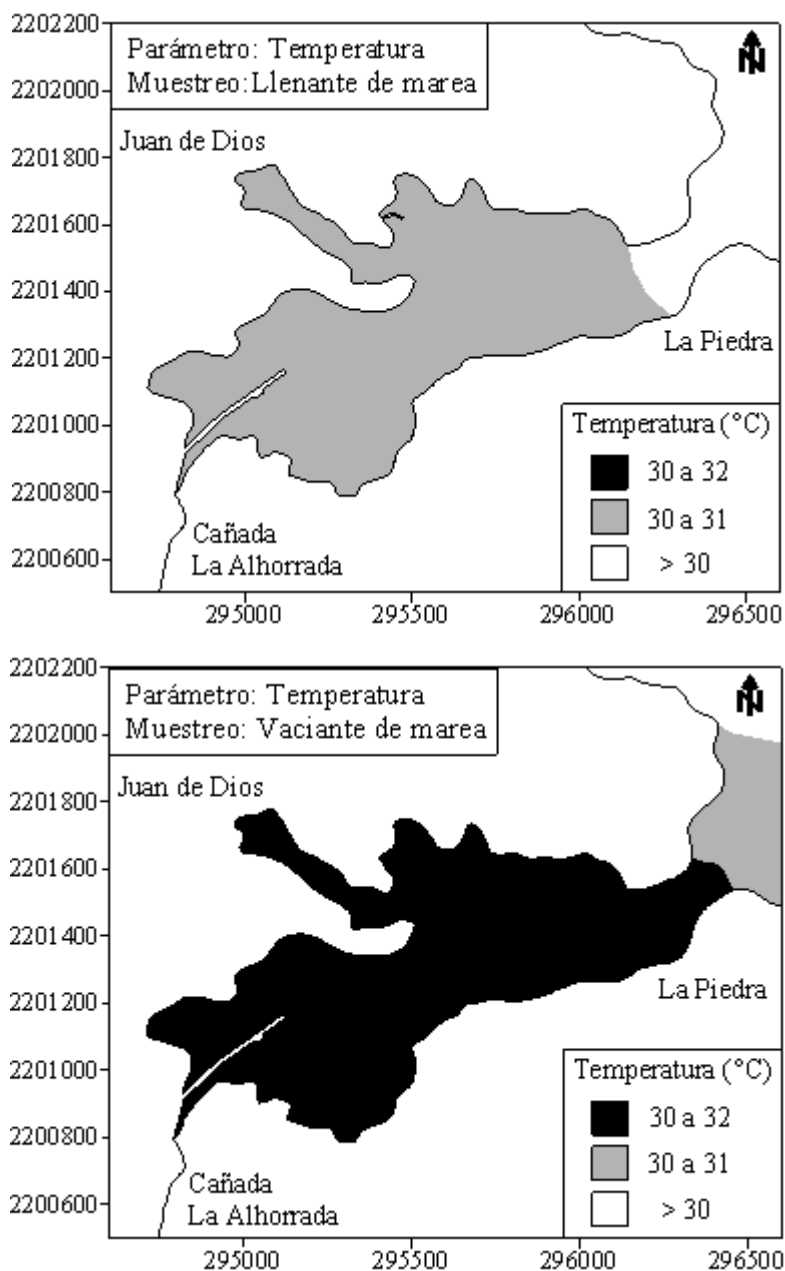


Figura 3.18. Variaciones de la temperatura superficial en la Bahía de Luperón y el área costera-oceánica adyacente, durante el ciclo de marea.

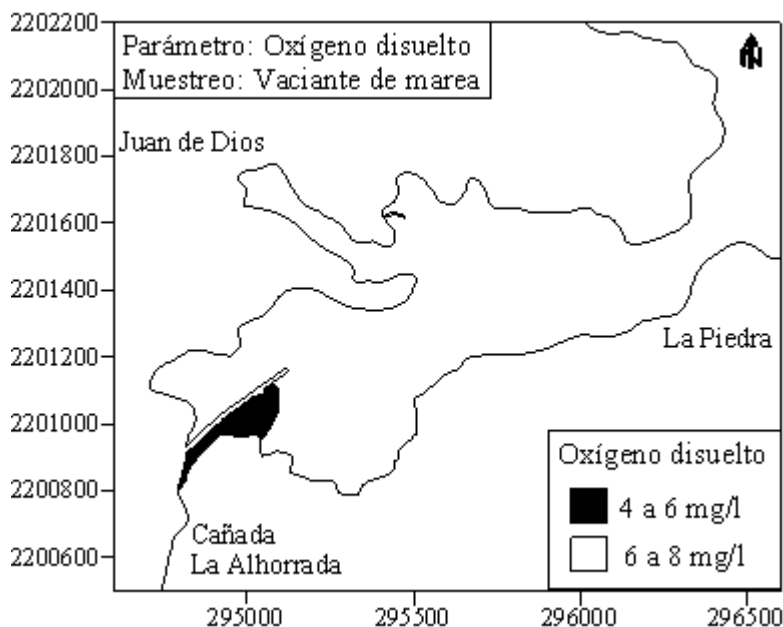
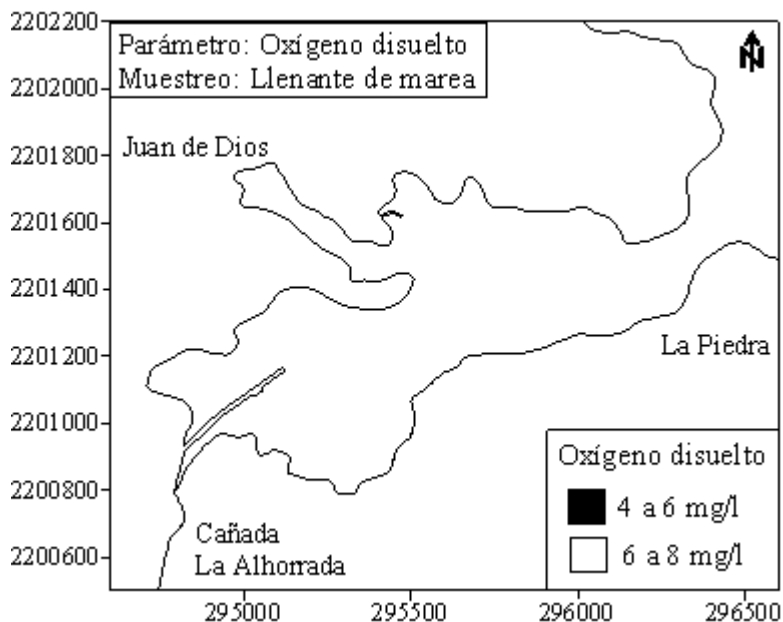


Figura 3.19. Variaciones del oxígeno disuelto superficial en la Bahía de Luperón y el área costera-oceánica adyacente, durante el ciclo de marea.

ligeramente a 29.8 °C y 37.2 ‰ en el muestreo de llenante, donde se hace sentir la influencia de la masa de agua oceánica adyacente.

Sin embargo, los valores promedios de oxígeno disuelto fueron siempre superiores (entre 7.4 y 7.6 mg/l) a los del área interna y existe un ciento por ciento de saturación de oxígeno en el agua. Los valores de nutrientes son menores que en el área interna pero pueden ser puntualmente altos como es el caso de la Estación 5 del lóbulo de Juan de Dios (ver Fig. 2.2), donde existen ciertas condiciones de confinamiento y se detectó incluso la presencia de hidrocarburos en el agua, durante el muestreo de vaciante. En el resto del área no se detectaron evidencias de hidrocarburos en el agua y los valores de DBO₅ estuvieron por debajo de 0.5 mg/l.

Área costera-oceánica (Estación 10)

Bajo esta denominación se ha incluido la estación más externa de la bahía (ver Fig. 2.2), localizada ya en la región oceánica. En esta área la profundidad es mucho mayor, con unos 30 m y la transparencia fue siempre de un 100%. Comparativamente con la masa superficial del interior de la bahía el estrato superficial oceánico tuvo siempre una situación más estable con menor temperatura y salinidad y los valores de oxígeno fueron definitivamente altos con una saturación constante del 100%. Los nutrientes tuvieron sus valores mínimos; no se detectó la presencia de hidrocarburos en superficie y los valores de DBO₅ estuvieron muy por debajo de 0.5 mg/l.