

Aplicación del modelo SWAN para caracterizar el impacto del oleaje sobre la costa: ejemplo para la costa atlántica entre Asilah y Larache (NO Marruecos)

N. EL MEKADEM^{1*}, A.M. BERNABEU², B. EL MOUTCHOU¹ y KH. EL HAJJAJI¹

* mekadem-nadia@hotmail.com

¹Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Tetuán, Marruecos

²Departamento de Geociencias Marinas y Ordenación del Territorio, Facultad de Ciencias del Mar, Vigo, España

RESUMEN

El área de estudio está situada en la costa atlántica, Noroeste de Marruecos, entre Asilah y Larache. Está compuesta por una línea de costa de 35 km aproximadamente que está orientada NE-SO y claramente expuesta al oleaje dominante del NO (75% del tiempo). Los estudios y el conocimiento de este tramo de costa, especialmente la dinámica costera, son todavía escasos.

El objetivo de este trabajo es caracterizar la influencia del oleaje sobre la costa atlántica entre Asilah y Larache (NO Marruecos). Para alcanzar este objetivo, se han aplicado dos enfoques metodológicos, que combinan el trabajo de campo y la modelización numérica. Por una parte la recogida de muestras de sedimento superficial a lo largo de la playa para la realización de la granulometría. Los datos estadísticos obtenidos se usaron para investigar la variabilidad espacial y la influencia del transporte de sedimentos en las características de tamaño de grano. Por otra parte, se utilizó el modelo SWAN para obtener propagaciones de oleaje hasta aguas someras a partir de los datos de profundidad y de las características de oleaje en aguas profundas en la zona.

Los principales resultados obtenidos han permitido caracterizar este tramo de costa, compuesto por arena media bien seleccionada. Los oleajes predominantes se caracterizan por una altura media aproximada de 1.2 m, un período promedio aproximado de 10.5 s y la procedencia del NO. Cuando alcanzan la costa presentan una altura estimada de 0.4 m y un período estimado de 5 s. Estas condiciones de oleaje favorecen un transporte de sedimentos paralelo a la costa en dirección NE.

Keywords: modelo SWAN, tamaño de grano, energía de transporte, costa atlántica (NO Marruecos).

1 Introducción

En la zona costera atlántica de Marruecos, entre Asilah y Larache (Figura 1), se han llevado a cabo desde los años sesenta diversos estudios cubriendo aspectos geofísicos, pedológicos, estructurales e

hidrogeológicos. Dichos estudios han sido realizados en el marco del Plan Nacional de la Ordenación del Territorio para la valoración de la potencialidad de la agricultura de la región, así como para la evaluación de los recursos de agua subterránea.

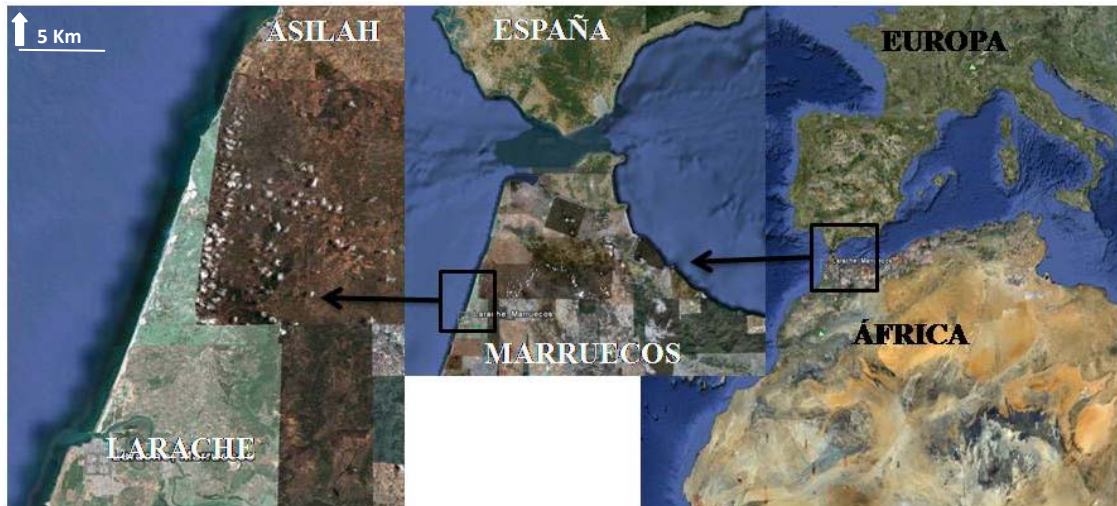


FIG. 1. Situación geográfica de la zona de estudio (cortesía de <http://earth.google.com>).

Sin embargo, estos trabajos han dejado aspectos pendientes, fundamentales para una gestión apropiada de la franja litoral como por ejemplo la dinámica sedimentaria de la zona.

A nivel mundial, existe actualmente un elevado interés en la ordenación del territorio costero, puesto de manifiesto a través de recomendaciones elaboradas a nivel europeo (2002/413/CE) y la gran inversión económica que se está realizando en numerosos países para el estudio y prevención de los efectos del ascenso del nivel del mar asociado al cambio global. En este marco, la necesidad de realizar una investigación para abordar estas cuestiones es de vital importancia para el futuro desarrollo de la costa marroquí.

La zona de estudio comprende la costa situada entre Asilah y Larache (NO Marruecos), con una longitud de 35 km aproximadamente. Esta área presenta una sucesión de playas rocosas y arenosas. Las playas arenosas de esta zona son de norte a sur: Mhebet, Sidi Mghit, Khemis Sahel, Ras R'mel. Además, este tramo de costa está afectado por numerosos ríos, de norte a sur: Dafla, Dalya, Qualalyine y Rayhane; y estuarios como Nakhla y Loukkos.

Los principales agentes dinámicos naturales que actúan en la zona costera modificando su régimen morfosedimentario son las mareas, los vientos y el oleaje.

El rango mareal en esta costa es de tipo meso a macro mareal (Davies, 1964) con una amplitud media de 3.05 m en mareas vivas, pudiendo alcanzar los 3.75 m (Charouf, 1982). Además a estas alturas de marea se puede agregar el incremento de agua en función de la presión barométrica (un aumento en la altura de 1cm/milibar cuando la presión disminuye). Las corrientes de marea asociadas tienen bajo poder energético. En general, el flujo es N-NE y el refluo es de S-SO.

Las condiciones del viento en la costa oeste de Marruecos están estrechamente vinculadas con dos áreas principales de acción-interacción (las Azores y el Atlántico Norte). En verano, el régimen de viento se caracteriza por los vientos alisios del noreste. Al final de esta estación, los vientos calientes, secos y cargados de arena, soplan del sur y del sureste.

En invierno, las depresiones que cruzan el Atlántico de este a oeste, asociadas con la formación de depresiones secundarias en la parte este de las Azores, reemplazan los vientos alisios en el sur de Marruecos y los sustituyen por los fuertes vientos del N-NE. Durante el paso de las perturbaciones debidas al frente polar en Europa, estos vientos se sustituyen por vientos del S-SO. Cuando este frente se extiende aproximadamente al norte de Marruecos se registran los vientos más peligrosos del noreste (El Gharbaoui, 1981).

El oleaje del Atlántico se forma, durante la transición de la depresión entre las Azores y el Atlántico Norte. Las olas tienen una altura y una fuerza variable en función de la intensidad y la dirección de los vientos que se han planteado, y de la naturaleza y dirección de la costa a lo largo de la que se propagan. Por lo general, son fuertes en la costa atlántica de Marruecos, la altura del oleaje es superior a 1.5 m durante el 30% del tiempo y puede llegar a superar los 7 m dos veces al año. En Larache, los oleajes son del NO al O, siendo los más frecuentes los de NO (Charouf, 1982; Jaadi et al., 1993).

El grado energético de los medios deposicionales depende también de la morfología y la naturaleza del sustrato (Jaadi y Cirac, 1987). Sin embargo, no existen estudios detallados sobre este hecho. Por este motivo, el objetivo de este trabajo va a ser la caracterización sedimentaria de este tramo de costa y el estudio del grado de impacto del oleaje.

2 Metodología

Para alcanzar este objetivo, se han aplicado tres enfoques metodológicos que combinan el trabajo de campo y laboratorio, la modelización numérica y el cálculo de la energía de transporte:

2.1 Trabajo de campo

Se llevaron a cabo dos trabajos de campo en 2011 en las cuatro playas arenosas de la zona de estudio. La recogida de muestras

de sedimento superficial se realizó durante la bajamar a lo largo de las playas.

La primera campaña de campo tuvo lugar el día 27 de septiembre de 2010, y se centró en la toma de muestras de sedimento superficial en la playa de Ras R'mel. Se consideraron 2 perfiles de playa en la zona intermareal y se recogieron muestras de sedimento por debajo de la línea de bajamar y en la parte intermareal. En total se tomaron 4 muestras.

La segunda campaña se desarrolló entre los días 19 y 20 de abril de 2011. En este caso, la toma de muestras se extendió a toda el área de estudio desde Asilah a Larache (35 km). En total, se recogieron:

- 6 muestras en los ríos y estuarios,
- 15 muestras en la zona intermareal,
- 12 muestras en la zona submareal

Además se tomaron fotografías de referencia en el área de trabajo (Figura2).

2.2 Trabajo de laboratorio

Se realizó la granulometría mediante tamizaje en seco de los sedimentos recogidos. A continuación se procesaron los datos con el software Gradistat (versión 4.0). Estos datos fueron usados para investigar la variabilidad espacial y la influencia del transporte de sedimentos en las características de tamaño de grano.

Además se determinó el porcentaje de carbono orgánico e inorgánico mediante LECO en un total de 21 muestras seleccionadas de la zona intermareal.



FIG. 2. Fotos de playas de estudio

2.3 Capacidad de transporte

A partir de los valores de tamaño de grano, se calculó la tensión de cizalla crítica (τ_o), tensión mínima para poner en movimiento el sedimento (Van Rijn, 1993). En primer lugar, se calculó el diámetro adimensional de la partícula (D^*):

$$D^* = [(s-1).g/v^2]^{1/3}.d_{50} \quad (1)$$

donde:

D^* : diámetro adimensional de partícula

s : densidad relativa = ρ_s/ρ_w

ρ_w : densidad del agua de mar = 1025kg/m³

ρ_s : densidad del sedimento = 2650kg/m³

v : coeficiente de viscosidad cinemática, su valor es 10⁻⁶m²/s

d_{50} : mediana del tamaño de grano (m)

A continuación se calculó el “parámetro adimensional de movilidad de las partículas” o parámetro de Shields crítico (θ_{cr}):

$$\left. \begin{aligned} 1 < D^* \leq 4 &\Rightarrow \theta_{cr} = 0.24 D^{*-1} \\ 4 < D^* \leq 10 &\Rightarrow \theta_{cr} = 0.14 D^{*-0.64} \\ 10 < D^* \leq 20 &\Rightarrow \theta_{cr} = 0.04 D^{*-1} \\ 20 < D^* \leq 150 &\Rightarrow \theta_{cr} = 0.013 D^{*0.29} \\ D^* > 150 &\Rightarrow \theta_{cr} = 0.055 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Finalmente se calculó la tensión de cizalla (τ), sustituyendo el valor de (θ_{cr}):

$$\theta_{cr} = \tau_{b,cr} / [(\rho_s - \rho_w).g.d_{50}] \quad (3)$$

Donde τ es la tensión de cizalla (N/m²) necesaria para movilizar el sedimento superficial.

2.4 Caracterización y modelización de oleaje

En este trabajo, se utilizó el modelo SWAN (Ciclo III versión 40.72ABCDE), junto con el software ArcGIS (versión 9.3) y MATLAB (versión R2007a).

El modelo SWAN es un modelo de onda de tercera generación para obtener estimaciones realistas de los parámetros de las olas en las zonas costeras, lagos y estuarios teniendo en cuenta las condiciones del viento, del fondo y de la

corriente. SWAN puede ser utilizado en cualquier escala adecuada para las olas de gravedad generadas por viento superficial. El modelo se basa en la ecuación de onda que equilibra la acción con las fuentes y sumideros.

En este trabajo se seleccionaron una serie de variables iniciales:

- Profundidad de la columna de agua
- Altura del oleaje en aguas indefinidas
- Período del oleaje asociado

Para proceder al cálculo de estas variables se siguieron una serie de pasos que se describen brevemente a continuación.

La base de datos de la batimetría de la zona objeto de este estudio fue digitalizada a partir de la carta náutica "Océano Atlántico Norte: costa noreste de Marruecos Asilah-Larache" con escala 1:52.500, mediante el empleo del software ArcGIS (versión 9.3).

A partir de esta información, se estableció una malla rectangular usando el modelo SWAN. Los parámetros que caracterizan esta malla se muestran en la Tabla 1.

Grid M-Direction	51
Grid N-Direction	26
Splines M-Direction	51
Splines N-Direction	26
Previous Grid M-Direction	51
Previous Grid N-Direction	26
Land Boundary	1
Grid Cells	1250
Grid Cells Previous Grid	1250
Sample Points	1
Angle	65 °

TABLA 1. Características de la malla empleada.

Posteriormente, se extrapolaron los datos de batimetría obtenidos para conocer aproximadamente la profundidad de cada uno de los nodos de las celdas empleando ArcGis.

Para definir la altura y período de la ola en aguas indefinidas, se analizaron los datos de oleaje (altura, período y dirección) desde 1962 hasta 2001 para el punto SIMAR 44 1055042 (35.000W; -6.500N) disponibles en el banco de datos de Puertos del Estado (<http://www.puertos.es/es/>)

[oceanografía y meteorología](#)).

Finalmente, se ejecutó el modelo SWAN para el cálculo de la propagación del oleaje hacia la costa.

Como resultados principales obtenidos del modelo SWAN para el estudio de su

impacto e influencia en la costa, se tomaron las siguientes variables:

- Velocidad orbital cerca del fondo
- Disipación de la energía de las olas

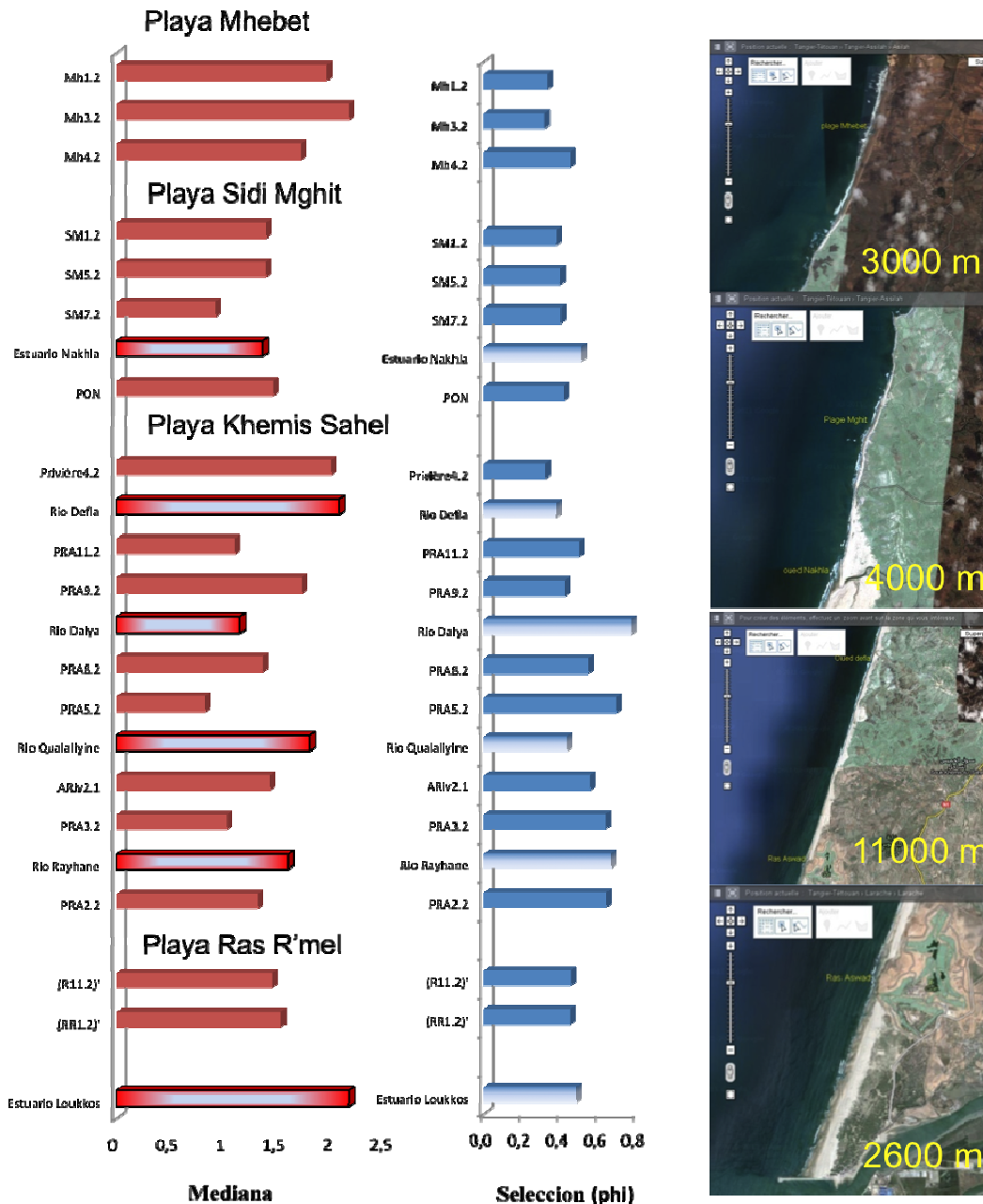


FIG. 3. Distribución de la mediana y selección de los sedimentos de las playas de estudio.

3 Resultados

3.1 Caracterización morfológica del área de estudio.

El área de estudio presenta cuatro playas arenosas. Se distinguen desde el norte hacia el sur:

- Playa de Mhebet: situada entre 2 cabos, tiene aproximadamente 3000 m de longitud y 138 m de anchura, al aproximarse al cabo sur empieza a aparecer una acumulación de guijarros, asociada a la presencia de un cauce temporal, que durante la campaña de campo se encontraba seco.
- Playa de Sidi Mghit: delimitada al norte por un cabo y al sur por el estuario de

Nakhla, tiene aproximadamente una longitud de 4050 m y una anchura de 66 m. En la zona del estuario, se amplía la zona supramareal hasta alcanzar aproximadamente 500 m.

En estas dos playas no existe zona supramareal ni zona de dunas.

- Playa de Khemis Sahel: delimitada por dos cabos. Tiene aproximadamente una longitud de 11000 m y una anchura media de 208 m. Esta playa se caracteriza por la presencia de numerosos ríos entre ellos: Defla, Dalia, Rayhan y Qualaliyine.
- Playa Ras R'mel: situada entre cabo R'mel y puerto de Larache (situado en el estuario de Loukkos), tiene aproximadamente una longitud de 2600 m y una anchura de 400 m.

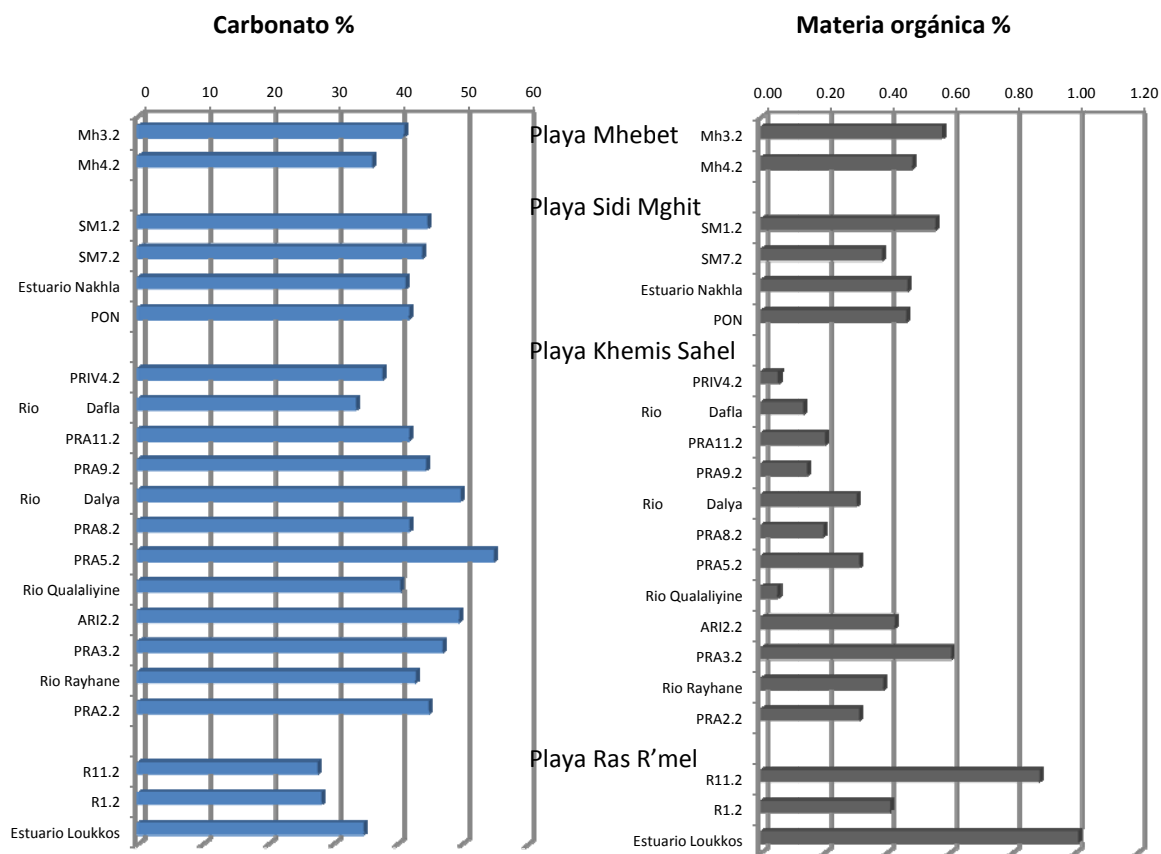


FIG. 4. (a) Contenido en carbonato (%). (b) Contenido en materia orgánica (%).

	Muestra intermareal	x	y	$d50$	D^*	θ_{cr}	$\tau_{b,cr}$
Playa Mhibet	Mh3.2	439.31	535.40	222.90	1.86	0.13	0.46
	Mh4.2	438.32	533.77	304.82	2.54	0.09	0.46
	SM1.2	437.76	532.87	381.87	3.18	0.08	0.46
Playa Sidi Mghit	SM7.2	437.15	529.40	528.26	4.41	0.62	5.21
	Estuario Nakhla	-	-	391.00	3.26	0.07	0.46
	PON	436.90	528.55	364.21	3.04	0.08	0.46
	Privière4.2	434.96	522.22	251.13	2.09	0.11	0.46
	Río Defla	-	-	238.10	1.99	0.12	0.46
	PRA11.2	434.72	521.40	465.02	3.88	0.06	0.46
	PRA9.2	434.18	519.85	302.93	2.53	0.09	0.46
	Río Dalya	-	-	452.10	3.77	0.06	0.46
	PRA8.2	433.97	519.00	390.38	3.26	0.07	0.46
Playa Khemis Sahel	PRA5.2	433.31	517.10	567.68	4.73	0.65	5.86
	Río Qualaliyine	-	-	288.00	2.40	0.10	0.46
	ARiv2.1	433.17	516.65	392.80	3.28	0.07	0.46
	PRA3.2	432.95	516.20	489.69	4.08	0.59	4.60
	Río Rayhane	-	-	331.90	2.77	0.09	0.46
	PRA2.2	432.65	515.24	402.69	3.36	0.07	0.46
	RR11.2	432.28	514.15	268.74	2.24	0.11	0.46
Playa Ras Rmel	RR1.2	431.44	511.84	253.90	2.12	0.11	0.46
	Estuario Loukkos	-	-	224.10	1.87	0.13	0.46

TABLA 2. Valores calculados en la zona intermareal

Estas dos últimas playas presentan las cuatro unidades de playa (submareal, intermareal, supramareal y dunas). Las playas no presentan conexiones entre ellas durante la pleamar

3.2 Caracterización sedimentológica

En la Figura 3 se presentan los valores de la mediana (D50) y de la selección.

·Playa de Mhebet: presenta arena media bien seleccionada en los extremos, próximos a los cabos, mientras que en la zona central presenta arena fina.

·Playa de Sidi Mghit: a lo largo de la playa se observa una arena media bien seleccionada, aunque en la zona central presenta arena gruesa. En el río de Nakhla tenemos arena media bastante bien seleccionada.

·Playa de Khemis Sahel: en la parte sur de la zona de los ríos se encuentra una arena media bastante bien seleccionada. Mientras que en la parte norte de la zona de los ríos, se observa una arena media-gruesa que presenta una selección variable: unas muestras bastante bien seleccionadas y otras bien seleccionadas.

·Playa de R'mel: el río de Loukkos ubicado al sur de dicha playa presenta arena fina y bien seleccionada, mientras que la playa muestra arena media bien seleccionada.

El contenido de carbonato de las muestras (Figura4a) varía entre el 25 y el 55 %. El contenido de materia orgánica (Figura4 b) no supera el 1 % como es habitual en los ambientes altamente hidrodinámicos.

3.3 Capacidad de transporte

En las Tablas 2 y 3 se presentan los valores de tensión de cizalla crítica calculados para las zonas intermareal y submareal, a partir de las muestras de sedimento analizadas, indicando con las coordenadas Lambert cada punto calculado.

La tensión de cizalla crítica para poner en movimiento los sedimentos a lo largo de playa, tanto en la zona intermareal como en la zona submareal, es del orden de 0.46 N/m², excepto en algunos puntos donde esta fuerza presenta valores elevados que

varían entre 4.45 y 5.86 N/m² (datos sombreados en las Tablas 2).

Estos valores elevados se sitúan al norte del estuario Nakhla y al norte de los ríos Qualaliyine y Rayhane para la zona intermareal. Mientras que están situadas en la extremidad norte de la playa Sidi Mghit y al norte y al sur de río Dalya para la zona submareal.

	Muestra submareal	x	y	d50	D*	θ_{cr}	$\tau_{b,cr}$
Playa Mhibet	Mh3.1	439.23	535.40	322.37	2.69	0.09	0.46
	Mh4.1	438.24	533.78	257.29	2.15	0.11	0.46
	SM1.1	437.66	532.88	479.88	4.00	0.58	4.45
Playa Sidi Mghit	SM7.1	437.06	529.42	442.13	3.69	0.07	0.46
	Estuario Nakhla	-	-	-	-	-	-
	PON	-	-	-	-	-	-
	Privière4.2	-	-	-	-	-	-
	Río Defla	-	-	-	-	-	-
	PRA11.1	434.63	521.42	336.81	2.81	0.09	0.46
	PRA9.1	434.08	519.89	492.17	4.10	0.59	4.64
Playa Khemis Sahel	Río Dalya	-	-	-	-	-	-
	PRA8,1	433.86	519.02	501.50	4.18	0.60	4.78
	PRA5.1	433.23	517.12	391.40	3.26	0.07	0.46
	Río Qualaliyine	-	-	-	-	-	-
	ARiv2.1	-	-	-	-	-	-
	PRA3,1	432.87	516.22	332.89	2.78	0.09	0.46
Playa Ras Rmel	Río Rayhane	-	-	-	-	-	-
	PRA2;1	432.53	515.28	389.84	3.25	0.07	0.46
	RR11.1	432.19	514.17	394.03	3.29	0.07	0.46
	RR1.1	431.39	511.84	282.82	2.36	0.10	0.46
	Estuario Loukkos	-	-	-	-	-	-

TABLA 3. Valores calculados en la zona submareal

3.4 Caracterización y modelización de oleaje

La batimetría de la plataforma continental en el área de estudio es bastante uniforme. La anchura aproximada de la plataforma es de 25-30 km. El talud se inicia a los 150 m.

La pendiente es mayor cerca de la costa y empieza a disminuir hacia el mar abierto. La profundidad del agua varía entre 0 y 100 m, decreciendo de manera uniforme hacia el NE, a excepción de un pequeño

antiforma al norte con 50 m de profundidad (Figura 5).

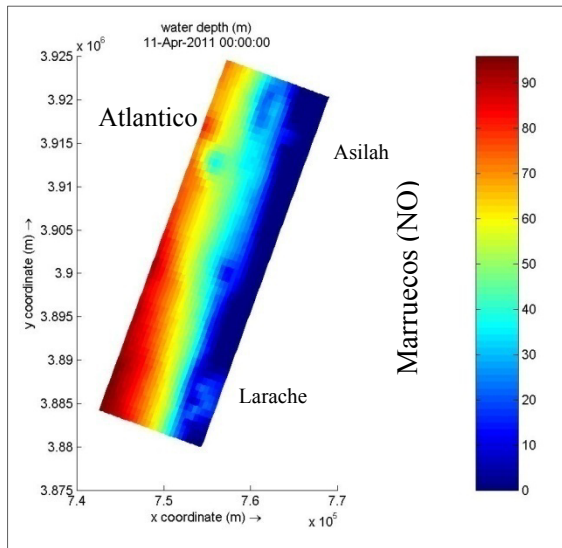


FIG. 5. Batimetría del área de estudio.

El análisis de los datos de período (T_p) versus altura de ola significativa (H_s) para el período 1962- 2001, permitió distinguir tres condiciones de oleaje más frecuentes que alcanzan la costa Atlántica Norte de Marruecos (Tabla 4).

Además se observó que la dirección de oleaje más frecuente es NO (70 % del tiempo) seguida de la dirección O (18% del tiempo) como puede verse en la Figura 6.

	H_s (m)	T_p (s)	Frec relativa
Cond 1	1	10.5	32.5%
Cond 2	1	9	25%
Cond 3	1.5	12	22.5%

TABLA 4. Condiciones de oleaje

La aplicación del modelo SWAN se realizó para valores promedio de la altura de la ola y su período. Esto permitió conocer las características de los oleajes cuando llegan a esta costa, lo que pone de manifiesto su grado de impacto sobre dicha zona.

- Altura de las olas y el período estimado cerca de la zona costera:

Las olas Atlánticas llegan a la costa NO de Marruecos, con una altura estimada de 0.4 m y un período estimado de 5 s. Sin embargo, en el estuario de Loukkos y en el puerto de Asilah estos valores son mayores

porque las olas mantienen sus características iniciales llegando con una altura estimada de 0.8 a 1 m y un período estimado de 8 s (Figuras 7a y 7b).

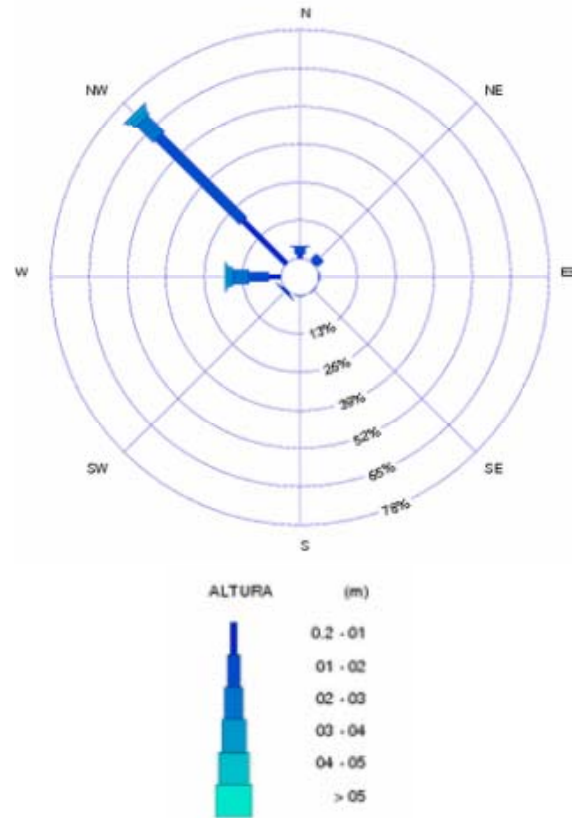


FIG. 6. Rosa de oleaje del año 2001, representativa de las condiciones de oleaje del área (Puertos del Estado)

- Velocidad orbital cerca del fondo y disipación de energía de las olas estimadas: Al aproximarse a la costa, la velocidad orbital cerca del fondo tiene un valor estimado que oscila entre 0.5 y 1 m/s y la disipación de energía varía entre 0 y 8 N /ms (Figuras 7c y 7d).

4 Discusión

La disminución gradual de tamaño de grano y contenido en materia orgánica hacia el N han puesto de manifiesto la existencia de una deriva litoral de dirección SO-NE.

A pesar de que su efecto no es continuo a lo largo de la costa debido a la existencia de cabos, por ejemplo el cabo R' mel, y de ríos como el Qualaliyine y el Rayhane que

actúan como obstáculos impidiendo el transporte de los sedimentos, la deriva juega un papel fundamental en la distribución paralela del sedimento de la costa de Asilah-Larache. De este modo, el patrón de distribución sedimentario decrece desde el cabo o el río hasta el siguiente cabo o río en dirección N. Este

patrón se repite en todas las playas estudiadas.

Esta deriva se genera debido a los oleajes procedentes del Oeste, los cuales presentan una frecuencia del 18 % del tiempo en la zona de estudio.

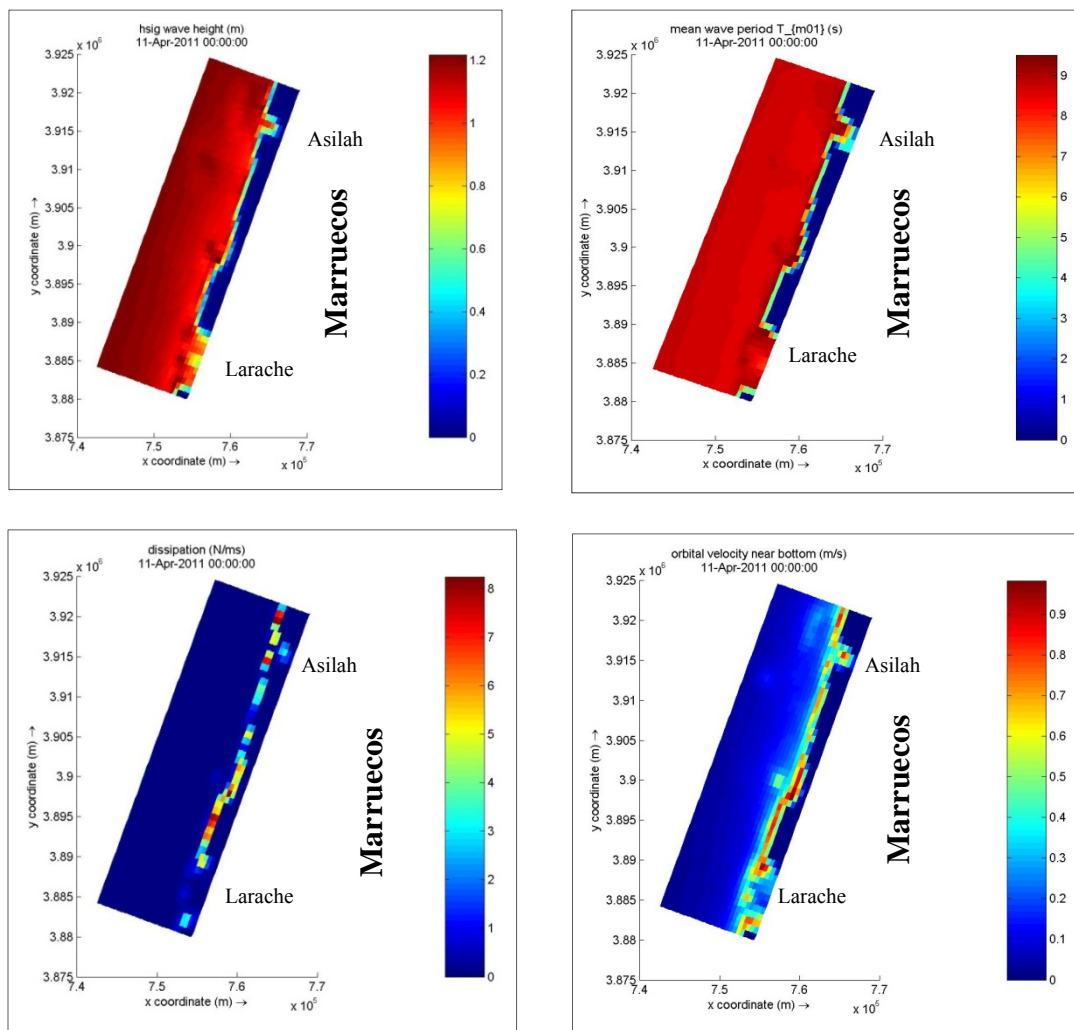


FIG. 7. a) Altura de ola (H_s) en m; b) Período de oleaje (T_p) en s; c) Disipación en N/ms; d) Velocidad orbital cerca del fondo

Por otra parte, los oleajes más frecuentes (70% del tiempo), procedentes del NO, llegan a la costa con valores significativos de altura, período y velocidad y son los encargados del transporte de sedimentos perpendicular a la costa.

Además, la tensión necesaria para mover los granos de sedimento ($\tau_{b,cr}$) presenta valores bajos en la mayoría de los casos, lo

que facilita el transporte de sedimentos mediante la acción del oleaje.

El alto contenido en carbonato de los sedimentos recogidos en los cauces de los ríos indica la existencia de un eficiente transporte a lo largo del perfil de playa por parte del oleaje.

En general, los sedimentos superficiales se caracterizan por un elevado porcentaje de

carbonato debido a la presencia de bioclastos tanto en las muestras recogidas de las playas como las pertenecientes a los ríos lo que indica que el aporte sedimentario tiene una mayor influencia marina que continental.

Dichos sedimentos presentan un bajo porcentaje de materia orgánica, típicos de ambientes arenosos costeros, con la excepción de la playa Ras R'mel que recibe restos de la zona portuaria situada en la desembocadura del estuario Loukkos.

5 Conclusiones

Este trabajo pionero en la zona de Asilah y Larache ha permitido conocer el patrón de distribución de sedimentos de las playas de esta costa. Se ha puesto de manifiesto el impacto de la deriva litoral en el transporte de sedimentos paralelo a la costa, así como la influencia del oleaje en el transporte de sedimentos perpendicular a la costa.

Este trabajo servirá de punto de partida para llevar a cabo un estudio más detallado de la evolución histórica de esta costa, permitiendo mejorar la gestión integrada de este área.

Agradecimientos:

N. El Mekadem agradece al MAEC-AECID por la financiación de su estancia en España.

Referencias

- Charouf L., 1982: les problèmes d'ensablement des ports marocains sur la façade atlantique. Leur impact sédimentologique sur le littoral. *Thèse Doc. Univ. Paris sud.* 307p.
- Davies, J. L., 1964. A morphogenic approach to world shorelines, *Z. Geomorphology*, 8 (Mortensen Sonderheft), 127-142.
- El Gharbaoui A., 1981 : La terre et l'homme dans la péninsule tangitaine. Etude sur l'Homme et le milieu naturel dans le Rif occidental. *Bulletin. Trav. Inst. Sc. Rabat*, 15, 149p.
- Jaaidi E.B. y Cirac P., 1987 : La couverture sédimentaire meuble du plateau continental atlantique marocain entre Larache et Agadir. *Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine, Bordeaux*, 42, 33-51.
- Jaaidi E.B., Ahmamou M., Zougary R., Chatre B., El Moutchou B., Malek F. y Naim K., 1993 : Le littoral méditerranéen entre Tétouan et Ceuta, et atlantique entre Tanger et Asilah (Maroc) : Impact des aménagements portuaires sur la dynamique côtière. In : « Aménagement du littoral et évolution des côtes : L'environnement côtier marocain en péril ». Publ. Com. Nat. Géogr. Maroc. Sept 1993, 21- 34.
- Van Rijn L.C., 1993: Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal sea. Aqua Publications, 1200 p