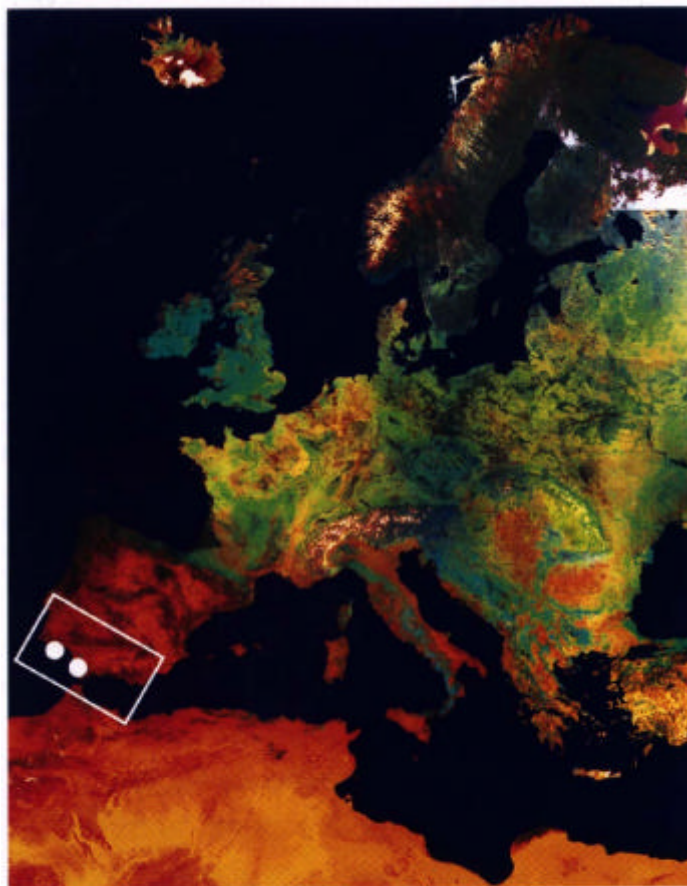


LA DINÁMICA DE LAS AGUAS ANTELITORALES.

Un número considerable de trabajos e investigaciones sobre la dinámica de las aguas marinas y oceánicas se han realizado con sensores embarcados en satélites destinados a la exploración oceánica (TIROS, NOAA, NIMBUS..) e, incluso, hemos tenido la oportunidad de observar en las páginas precedentes algunas experiencias centradas en las aguas atlánticas y mediterráneas frente a la costa andaluza. Sin embargo, el progresivo aumento en la resolución espectral y espacial de los satélites de reconocimiento (LANDSAT, SPOT...) ha hecho posible el análisis y el estudio de zonas cada vez más localizadas, como las que a continuación se recogen, centradas en las aguas litorales de la costa atlántica andaluza.



*Situación de las zonas analizadas
Imagen NOAA. © Remote Sensing Division Rae
Farnborough 1985.*

El cambio de escala de estas experiencias, aunque sustentadas casi en los mismos tratamientos y métodos de interpretación, nos acerca al conocimiento de procesos dinámicos de mayor detalle y difícil identificación por otros medios, contribuyendo, de forma complementaria y significativa, a una mejor definición de las características dinámicas que rigen las aguas antelitorales. El tratamiento realizado para ello se sustenta en la excelente individualización "presencia o no de agua" que permiten las bandas centradas en el infrarrojo próximo de los sensores MSS, TM y HRV, y en la aceptable relación que se puede establecer entre las partículas y materias en suspensión en las aguas marinas y la intensidad de la energía reflejada por aquellas en la región verde-amarillo del espectro visible (0,5 - 0,6 μm). Con el tratamiento combinado de ambas bandas, a través de diferentes tipos de clasificaciones, se obtiene una imagen cualitativa e instantánea de la distribución espacial de las estructuras de turbidez en diferentes condiciones hidrodinámicas y, utilizando éstas a modo de "trazadores naturales", es posible inferir el desplazamiento superficial de las aguas antelitorales.

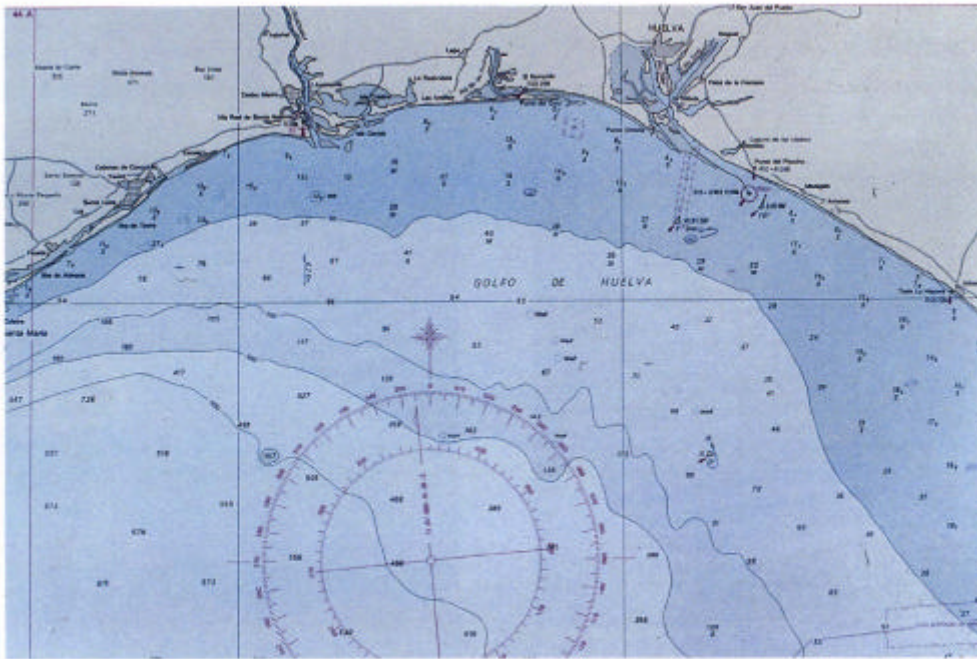


Figura 3.1.: Carta náutica (44B) del Instituto Hidrográfico de la Marina. Características batimétricas del sector Guadiana-Mazagón.

(3) - LA COSTA DE HUELVA.

Los trabajos centrados en el análisis de la dinámica de la costa de Huelva, realizados, generalmente, desde la perspectiva de la geomorfología y de la ingeniería de costas, han permitido constatar la presencia de una potente deriva litoral paralela a la costa y con dirección dominante hacia levante, hacia el Estrecho de Gibraltar, la cual es, en gran medida, responsable de la configuración morfológica de las espectaculares formaciones arenosas que jalonan la costa atlántica andaluza (flecha del Rompido, Punta Umbría, Punta del Malandar...) La información es, en cambio, bastante más escasa o casi ausente para el resto de fenómenos dinámicos que caracterizan estas aguas, pasándose, con frecuencia, de estudios muy puntuales a grandes generalizaciones que impiden obtener una adecuada visión regional del funcionamiento de las mismas. La hipótesis de partida en esta experiencia era aprovechar las características físico-naturales de esta costa, con la presencia de importantes arterias fluviales que aportan considerables cantidades de materias en suspensión, en parte expulsadas fuera del alcance de la deriva por la corrientes de marea, para analizar las estructuras de turbidez con ellas generadas y poder deducir, de su comportamiento diacrónico, algunas características de la circulación superficial de estas aguas (Figura 3.1).

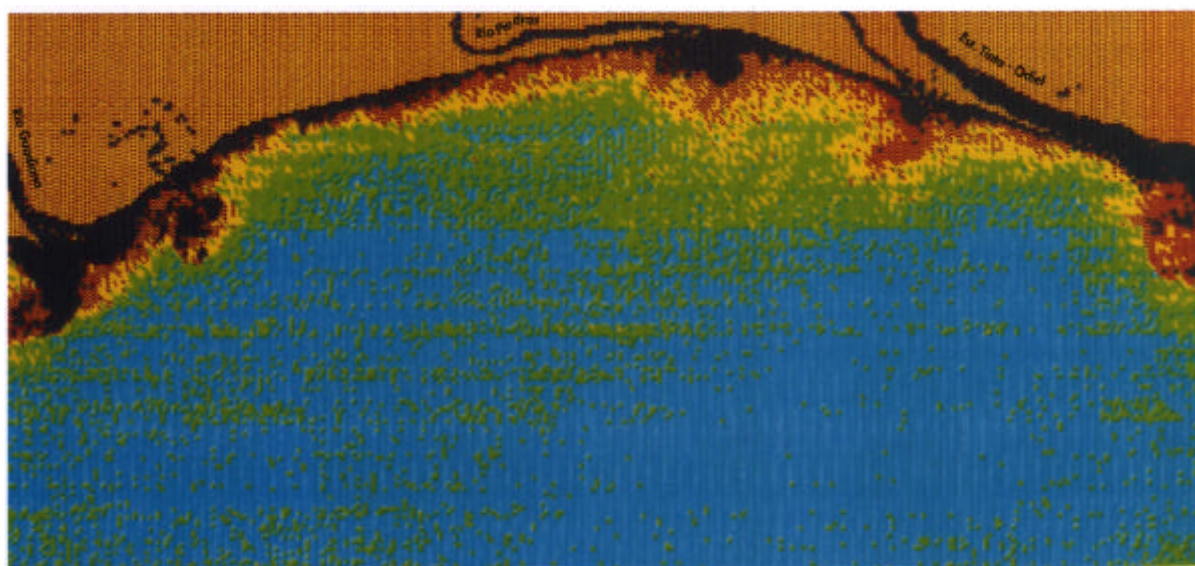


Figura 3.2.: Imagen de satélite Landsat-TM de fecha 15 de octubre de 1985. Clasificación de niveles de turbidez en las aguas (máximo=negro, mínimo=celeste) Sector Guadiana-Mazagón.

La buena periodicidad de las imágenes de satélite ha permitido elegir un número importante de situaciones hidrodinámicas (oleaje, viento, marea...), obteniendo una buena representatividad de las situaciones más frecuentes en este espacio marítimo y, a través de una sencilla clasificación digital de las imágenes (clasificación hipercuba o n-dimensional de los canales HRV-2, MSS-2 o TM-3 y los infrarrojos próximos HRV-3, MSS-7, TM-5 de los mismos sensores) se han extraído los

documentos gráficos que reflejan la distribución espacial de las estructuras de turbidez que sustentan esta experiencia. De las numerosas imágenes utilizadas, sólo se recogen a continuación las más representativas y, como puede observarse (Figuras, 3.2, 3.3 y 3.4), todas ellas presentan, como característica más llamativa, una marcada inflexión hacia poniente en los penachos de turbidez asociados a las principales arterias fluviales del sector. Esta configuración, que es persistente tanto en situaciones de marea entrante como de vaciante y bajo vientos de levante o poniente, llega, en algunas situaciones, a presentar estructuras muy marcadas como en la imagen del 1-11-81 en la desembocadura del Guadiana (Figura 3.5).

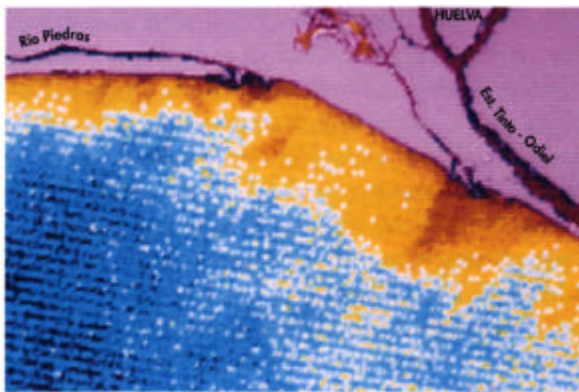


Figura 3.3.: Imagen de satélite Landsat-MSS de fecha 3 de agosto de 1985. Clasificación de niveles de turbidez en las aguas (máximo=negro, mínimo=azul). Sector Río Piedras-Estuario Tinto-Odiel.

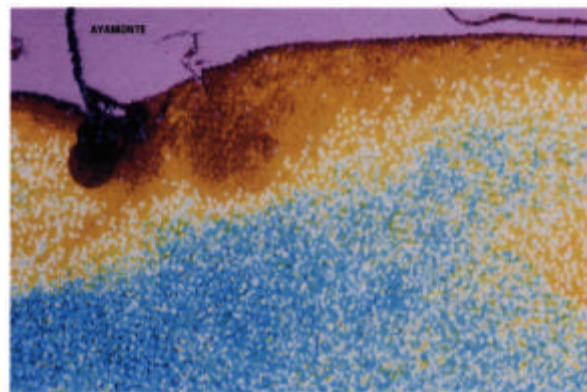


Figura 3.4.: Imagen de satélite Landsat-MSS de fecha 12 de marzo de 1985. Clasificación de niveles de turbidez en las aguas (máximo=negro, mínimo=azul). Sector Guadiana-Río Piedras.

Aunque con estos tratamientos no se intentaba determinar, de forma definitiva, el comportamiento dinámico de las aguas prelitorales, el análisis de estas imágenes planteó, como hipótesis explicativa de estas configuraciones, la posible existencia de una "contracorriente" hacia el oeste, quizás como compensación a la conocida deriva litoral hacia levante que domina las aguas más cercanas a la costa. De cualquier forma, esta corriente nunca sería de gran intensidad y, tanto la marea, como, sobre todo el viento, cuando indujeran corrientes de importancia, condicionarían la dirección del desplazamiento superficial de estas aguas, en unos casos contrarrestándola o/y en otros intensificándola.

Sin embargo, la constatación de esta corriente, bastante frecuente según se deduce del análisis sobre doce fechas diferentes realizado en el estudio original, resulta de enorme interés para la correcta comprensión de la dinámica de estas aguas antelitorales, ya que indica un desplazamiento de las aguas más próximas a la costa, justamente en dirección contraria al promovido por la ya conocida deriva litoral, a la vez que tendría un importante efecto distribuidor sobre este espacio marítimo para las partículas o materias, algunas de ellas con alto riesgo medioambiental como veremos más adelante, que pudiera movilizar en suspensión.

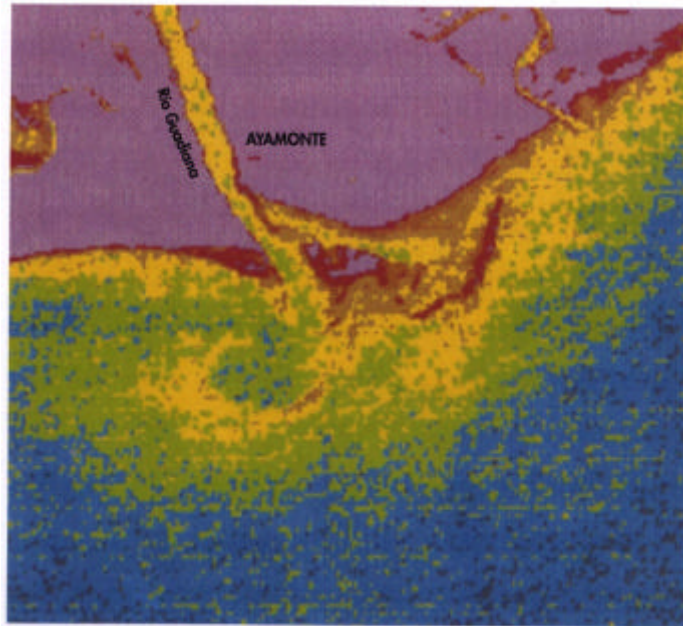


Figura 3.5.: Imagen de satélite Landsat-MSS de fecha 1 de noviembre de 1981. Clasificación de niveles de turbidez en la desembocadura del río Guadiana (máximo= rojo, mínimo= azul).(4)

Tabla 3.1.- Características Meteorológicas e Hidrológicas de las imágenes tratadas.

FECHA	CAUDAL * GUADIANA m³/seg.	ALTURA MAREA (m.)	COEFICIENTE MAREA	DIFERENCIA HORARIA CON LA BAJAMAR MAS PROXIMA	DIRECCION VIENTO (en grados)	VELOCIDAD VIENTO (en nudos)	HUMEDAD*** RELATIVA (%)	PRESION ATMOSFERICA (en mb)	NUBOSIDAD*** (en octas)	VISIBILIDAD*** (en Km)	DIRECCION OLEAJE	ALTURA OLEAJE
1-11-81	10,0	0,82	0,62	-6 min.	90	5	33	1024	Despejado	15	FONDO: SE	1-2 mts.
12-03-85	101,0	1,31	0,58	-1h. 38 min.	60	15	85	1020	Despejado	18	FONDO: SE	1-2 mts.
3-08-85	11,9	0,85	0,79	+41 min.	40	4	29	1016	Despejado	18	FONDO: NO	2-3 mts.
15-10-85	12,5	1,10	1,05	+1h. 47 min.	90	4	48	1023	Despejado	20	LEVANTE	1-2 mts.

* Datos proporcionados por la Comisaría de Aguas del Guadiana (Ciudad Real) para la estación de aforo de Badajoz.

** Datos proporcionados por el Instituto Hidrográfico de la Marina (Cádiz) para el sector de Ayamonte.

*** Datos proporcionados por la Instituto Meteorológico Nacional (Huelva. Ayamonte).

La primera imagen (7-9-81), (Figura 4.2) presenta unos niveles de turbidez insignificantes debido al débil coeficiente y a la hora de la marea que, a causa del retraso de la misma en los principales canales y esteros, equivale, prácticamente, a la pleamar y se traduce en la presencia de débiles corrientes que no favorecen la puesta en suspensión de los sedimentos marinos. En la imagen del 15-8-83 (Figura 4.3.), la turbidez sigue presentando niveles de escasa importancia (bajo coeficiente y ausencia de viento significativo), aunque ya comienzan a evidenciarse las corrientes vaciantes del río Guadalete y del canal principal. La tercera imagen (29-1-82) (Figura 4.4.), refleja niveles de turbidez más elevados debido a un coeficiente superior y a la hora de marea (5^a hora del reflujo), intensificándose, por ello, las corrientes de marea. Igualmente las corrientes vaciantes del Guadalete y del canal principal aparecen nítidamente individualizadas, así como en el Caño de Sancti Petri, donde se ramifican a ambos lados del islote del mismo nombre. El fuerte contraste entre las aguas más claras de la superficie de la bahía interior y las más turbias del canal principal, ya bajo el efecto de la potente corriente de reflujo, queda perfectamente marcado. Esta imagen permite detectar también el remolino ciclónico de la pluma de turbidez del canal principal a su salida de la Bahía, después de someterse a la influencia de la corriente antelitoral noroeste-sureste existente en el exterior de la Bahía.

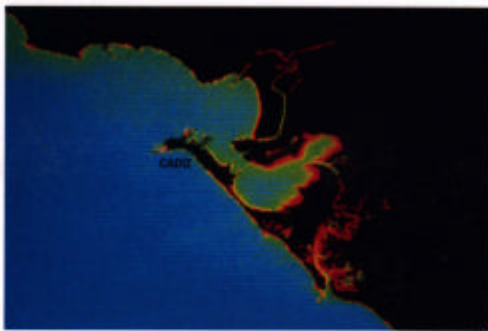


Figura 4.2.: Imagen de satélite Landsat-MSS de fecha 7 de septiembre de 1981. Clasificación de niveles de turbidez en la Bahía de Cádiz, (máximo= rojo, mínimo= azul), canales 7 y 5.

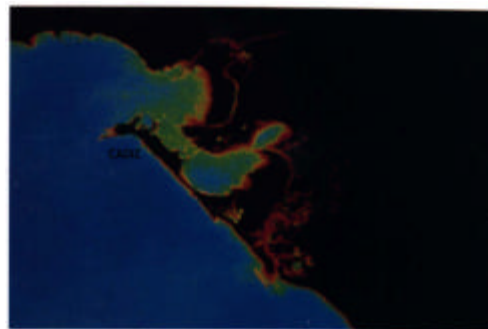


Figura 4.3.: Imagen de satélite Landsat-MSS de fecha 15 de agosto de 1983. Clasificación de niveles de turbidez en la Bahía de Cádiz, (máximo= rojo, mínimo= azul), canales 7 y 5.

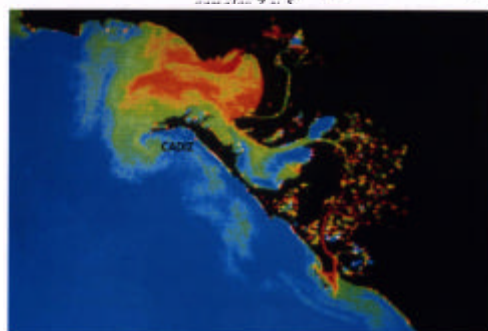


Figura 4.4.: Imagen de satélite Landsat-MSS de fecha 29 de enero de 1982. Clasificación de niveles de turbidez en la Bahía de Cádiz (máximo= rojo, mínimo= azul), canales 7 y 5.

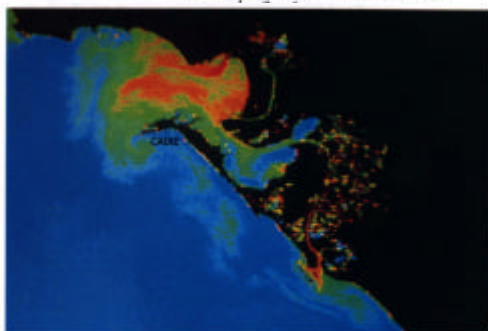


Figura 4.5.: Imagen de satélite Landsat-MSS de fecha 27 de abril de 1979. Clasificación de niveles de turbidez en la Bahía de Cádiz, (máximo= rojo, mínimo= azul), canales 7 y 5.

En la imagen del 19-04-84 (Figura 4.5.), captada poco antes de la bajamar, la corriente vaciante del canal principal ya no se dirige hacia la Bahía exterior sino que se ha invertido en la dirección del Caño de Sancti Petri, cuya pluma de refluo aparece nítida todavía. En la imagen de la primera hora de la pleamar (Figura 4.6), se observa la corriente entrante en el canal principal y, sobre todo, el importante retraso de la hora de bajamar --respecto a la Bahía-- en la desembocadura del Caño de Sancti Petri, ya que los penachos asociados al mismo, indican la acción todavía vigente del refluo. En la ultima imagen (Figura 4.7.), la abundante turbidez se debe al estado "marejada" del mar durante las horas precedentes al paso del satélite, lo que provoca una puesta en suspensión de un volumen de sedimentos importante. Especialmente significativa es la nitidez con la que queda marcada en la imagen el lugar de convergencia de las corrientes entrantes en el Caño de Sancti Petri, en las cercanías de un lugar llamado "El Vicario", subrayado por mayores niveles de turbidez.

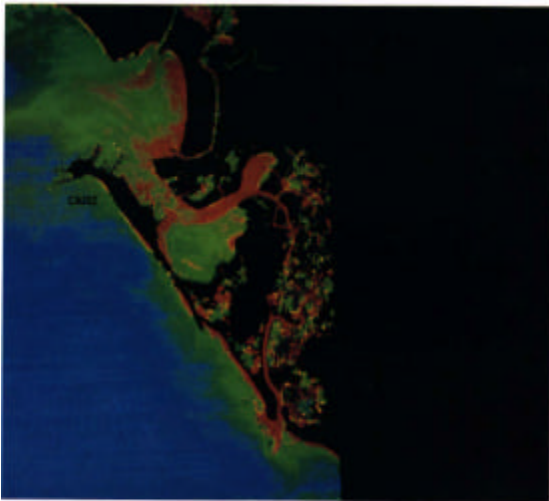


Figura 4.6.: Imagen de satélite Landsat-TM de fecha 19 de abril de 1984. Clasificación de niveles de turbidez en la Bahía de Cádiz, (máximo= rojo, mínimo= azul), canales 5 y 2.

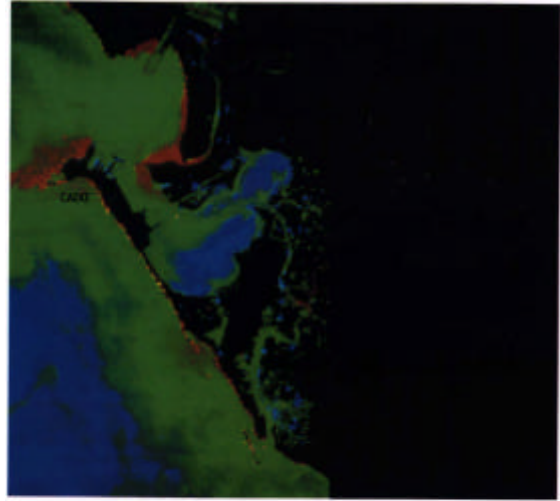


Figura 4.7.: Imagen de satélite Landsat-TM de fecha 1 de febrero de 1985. Clasificación de niveles de turbidez en la Bahía de Cádiz. (máximo= rojo, mínimo= azul), canales 5 y 2.

Tabla 4.1. Condiciones hidrodinámicas para las fechas de las imágenes analizadas en la Bahía de Cádiz.

Fechas imágenes	Sensor	Diferencia horaria de la bajamar más próxima	Coefficiente de marea	Altura de marea en metros	Humedad relativa (%)	Dirección del viento	Velocidad del viento (Km/h)	Caudal del río Guadalete (l/s)
7-09-81	MSS	- 5 h. 05 min.	35	2,25	30	ESE	20	184
15-08-83	MSS	- 3 h. 45 min.	56	2,00	74	O	5	496
29-01-82	MSS	- 1 h. 24 min.	79	0,75	68	NE	11	340
19-04-84	MSS	+ 0 h. 50 min.	100	0,50	30	NE	16	2200
27-04-79	TM	- 0 h. 50 min.	80	0,70	48	ESE	25	700
1-02-85	TM	+ 4 h. 40 min.	49	2,32	57	ESE	8	220