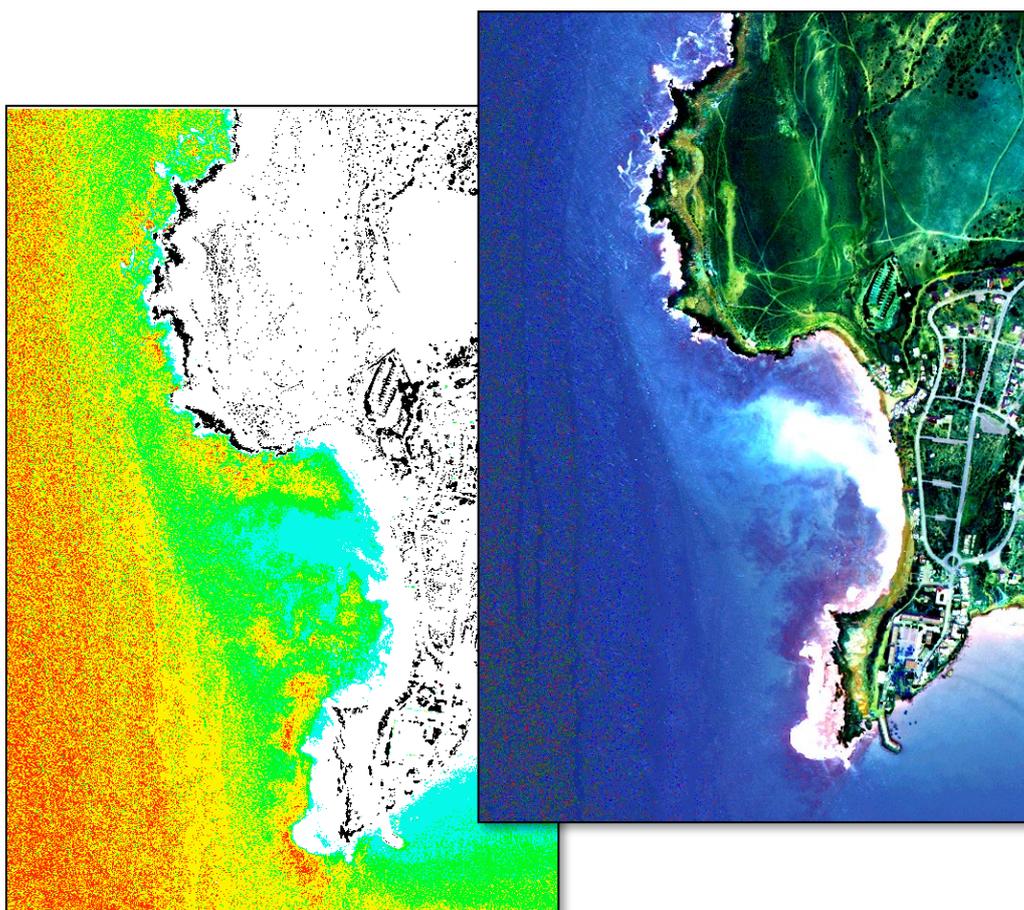


DETECCION DE COMUNIDADES DE MACROALGA (GELIDIUM SESQUIPEDALE) A TRAVES DE TECNICAS DE TELEDETECCION EN LA COSTA DE SOUSS MASSA DRAA; INFORME DE RESULTADOS.



Desarrolla y redacta: **Angel Luis de Luque Söllheim**

Revisa y corrige: **Rafael Robaina Romero**

Entrega: diciembre 2012

INDICE	Página
1. Proyecto Techmarat y objetivos.....	3
2. Resumen informe previo de metodología.....	5
3. Análisis espectral y metodología de detección.....	10
3.1 <i>Test radiativo</i>	10
3.2 <i>Test morfológico</i>	14
4. Resultados.....	17
4.1 <i>Resultados análisis imagen zona norte</i>	17
4.2 <i>Resultados análisis imagen zona media</i>	19
4.3 <i>Resultados análisis imagen zona sur</i>	21
5. Conclusiones.....	24
6. Referencias.....	25

1. Proyecto Techmarat y objetivos

El proyecto TECHMARAT (TECNOLOGÍA DE VEGETALES MARINOS PARA LA REGIÓN ATLÁNTICA) es un proyecto de cooperación entre España y Marruecos financiado por El Programa de Cooperación Transfronteriza España - Fronteras Exteriores a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) de la Unión Europea y es llevado a cabo por la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC) en cooperación con instituciones y universidades marroquíes.

El objetivo general del proyecto Techmarat es la caracterización de cepas de microalgas halófitas de saladares y salinas de Marruecos. Entre los objetivos específicos está el análisis y detección de algas de interés a partir de técnicas de Teledetección en la costa de la región de Souss Massa Draa (Marruecos, Figura 1).

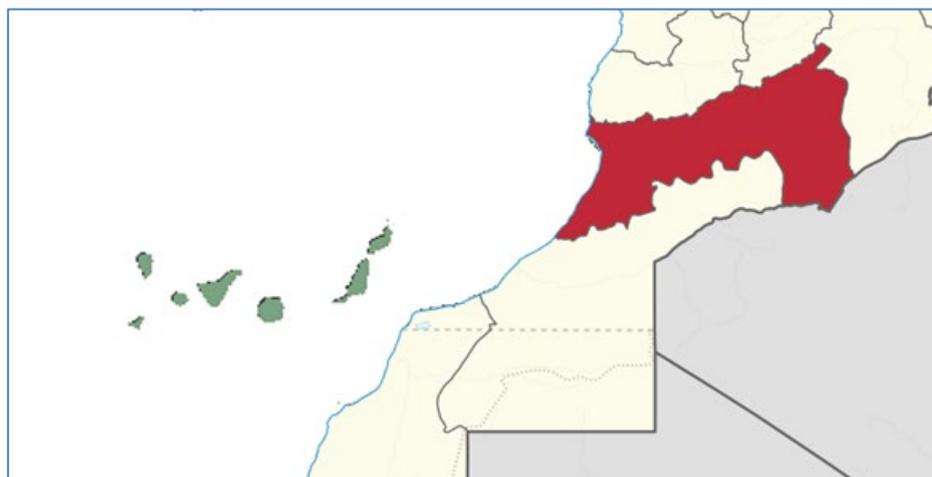


Figura 1. Identificación de la región costera de Souss Massa Draa (en rojo) en Marruecos.

Estas algas de interés son dos principalmente:

- La *Gelidium Sesquipedale*. Alga roja de interés industrial (Figura 2a), fuente de producción de agar utilizado en la industria alimenticia, cosmética y farmacéutica. Crece en fondos rocosos entre 0 y 15 metros de profundidad.
- La *Zostera Noltii*. Alga verde de interés científico (Figura 2b). Es un alga importante para la conservación de la calidad ambiental de las lagunas de agua de mar. Forma praderas sobre fondos arenosos en las zonas intermareales por lo que se encuentran a muy poca profundidad (pocos metros) y emergidas con marea baja.

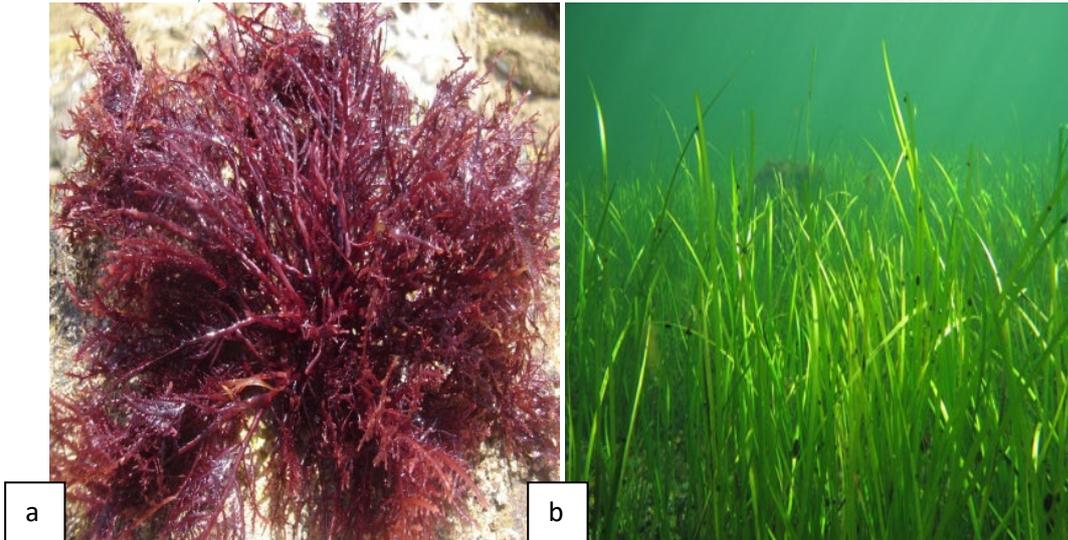


Figura 2. Imagen de *Gelidium Sesquipedale* macroalga (a) y *Zostera Noltii* (b)

Dentro del objetivo específico de la teledetección del proyecto se dará respuesta a los siguientes objetivos secundarios:

- Conocer espectralmente a estas algas desde el punto de vista de la teledetección.
- Desarrollar y aplicar técnicas de teledetección para detectar algas específicas.
- Analizar la viabilidad y precisión de estas técnicas.

Este informe está centrado en la detección de zonas potenciales de contener poblaciones de macro-algas, específicamente, de la especie *Gelidium Sesquipedale*.

Se han utilizado para esto imágenes de satélite de alta resolución (dos metros) del sensor multi-espectral Worldview2, sobre gran parte de la costa de la región costera de Souss Massa Draa. Se ha aplicado una metodología, explicada en detalle en el apartado 3, basada en dos tipos de test de detección:

1. Test radiativo. Detección de zonas con espectros radiativos similares al espectro del alga buscada.
2. Test morfológico. Detección de zonas con distribución del fondo similar a los fondos con poblaciones de estas algas.

2. Resumen informe previo de metodología.

En el informe previo de metodología se analizaron los siguientes aspectos relacionados con el inicio de las tareas de detección de algas:

- Imágenes de satélite idóneas para la detección de comunidades de algas. Se llegó a la conclusión tras un análisis bibliográfico (Pauly et al. 2010, Casal et al. 2011, Vahtmäe y Kutser 2007) que se debe utilizar un sensor de alta resolución, mínimo 2 a 5 metros, que tenga suficientes canales espectrales bien repartidos por el espectro visible y en el infrarrojo próximo por lo que se identificó el sensor Worldview-2 como idóneo, las características de este sensor son:

9 Canales espectrales:

1 Canal Pancromático (P1) de 0,5 m de resolución espacial y 0,450-0,800 μm de resolución espectral.

8 Canales espectrales de 2 m de resolución espacial en las zonas espectrales:

C1	0,400-0,450 μm , Coastal	Azul Marino
C2	0,400-0,510 μm , Blue	Azul
C3	0,510-0,580 μm , Green	Verde
C4	0,585-0,625 μm , Yellow	Amarillo
C5	0,630-0,690 μm , Red	Rojo
C6	0,705-0,745 μm , Red Edge	Rojo extremo
C7	0,770-0,895 μm , NIR1,	Infrarrojo cercano 1
C8	0,860-1,040 μm , NIR2,	Infrarrojo cercano 2

- Búsqueda, compra y análisis de las imágenes de satélite en las zonas con poblaciones conocidas de estas algas en costas de Marruecos y Canarias. Se localizaron unas zonas con poblaciones de las algas de interés en la costa marroquí y Gran Canaria que sirvieron de base para comprar las imágenes. Se han determinado 7 de las cuales se indica en **negrita** aquellas con poblaciones en mejor estado (Trabajo realizado por Maite Zarranz):

- Tarfaya (Marruecos). Algas vistas, Gracilaria y Gelidium.
- Zwabi, zona costera de Naila (Marruecos). Algas rojas mezcladas con pardas y verdes.
- **Zona costera cerca de Al Jadida (Marruecos). Algas vistas, gelidium.**
- **Laguna de Naila (Marruecos). Algas vistas, zostera.**
- **Laguna de Moulay Bouselham (Marruecos). Algas vistas, zostera.**
- **Zona de Larache (Marruecos). Algas vistas, zostera.**
- **Zona del Agujero, Galdar, Gran Canaria (España). Algas vistas, gelidium.**

Sobre las 5 zonas indicadas se buscó imágenes de satélite del sensor Wordview2 accediendo a la base de datos de DigitalGlobe. El formato adecuado es el Standar Bundle que incluye una corrección geométrica y radiométrica (es lo que significa Standar) y 8 canales espectrales (2,2 m) + el canal pancromático (0,5 m)

Se encuentran 5 imágenes aceptables en la base de datos entre 2010 y 2011 en cada zona indicada en negrita, evitándose así una nueva adquisición que elevaría significativamente los costes. Las Características de estas imágenes se indican en la tabla 1.

Para las imágenes relacionadas con el alga Gelidium en Marruecos, se evitan los meses de junio a septiembre ya que es cuando está permitido su recolección y los meses invernales de diciembre a febrero. Se evita además imágenes con gran oleaje costero, los días nublados, los días con polvo en suspensión y pases muy ladeados con alto ángulo nadir.

Tabla 1. Imágenes seleccionadas sobre las zonas con algas identificadas para hacer el estudio y el desarrollo del algoritmo.

Lugar (alga detectada)	Periodo de búsqueda, sensor y configuración canales	Código imagen archivo	Fecha imagen	Ángulo nadir
Morocco Al Jadida (Gelidium Sesquipedale)	01.09.2010-30.11.2010 , *WV02, **Pan_MS1_MS2	10300100077EE800	Oct 20, 2010	16°
Morocco Moulay Mouselham (Zoostera Noltii)	01.03.2011-30.11.2011 , *WV02, **Pan_MS1_MS2	1030050009F91A00	Nov 3, 2010	1°
Spain El Agujero (Gelidium Sesquipedale)	01.03.2010-30.11.2010 , *WV02, **Pan_MS1_MS2	10300100071CFA00	Oct 22, 2010	19°
Morocco Naila (Zoostera Noltii)	01.03.2011-30.11.2011 *WV02, **Pan_MS1_MS2	103001000DC7BB00	Sep 5, 2011	18°
Morocco-Larache (Zoostera Noltii)	01.03.2010-30.11.2010 , *WV02, **Pan_MS1_MS2	1030050009F91A00	Nov 3, 2010	18°

*WV02: Imágenes del sensor Wordview-2,

** Pan_MS1_MS2: Canales, Pan: canal pancromático, MS1: Primera agrupación de 4 canales, MS2: Segunda agrupación de 4 canales.

De todas estas imágenes, sin embargo, la única que nos resultó útil para estudiar espectralmente la macro alga (Gelidium) fue la de Al Jadida por las buenas condiciones de mar y atmosféricas (figura 1). La imagen del agujero resultó ruidosa y el resto se utilizó para estudiar el alga verde (Zoostera)

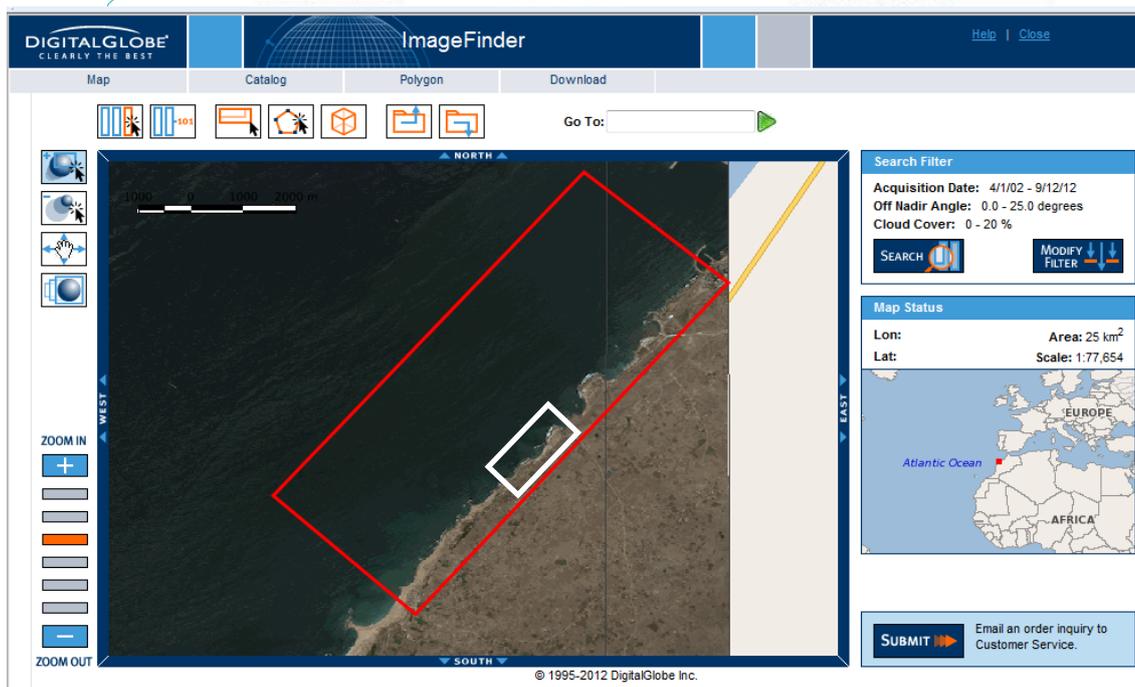


Figura 2. Imagen previa indicando en el recuadro rojo la zona seleccionada de **Al Jadida** en Marruecos. El recuadro blanco indica la zona donde se ha visto *gelidium sesquipedale*.

Los resultados del análisis espectral del macro-alga se han aplicado según el método explicado en el apartado 3 para detectar el alga en la costa marroquí de Souss Massa Dráa. Para ello se han utilizado tres imágenes de archivo de gran tamaño, cuyas características se indican en la tabla 2 y figura 3. Estas han sido elegidas por ser posibles áreas donde se pueden encontrar *Gelidium* y cubren además el 80% de la costa. De la misma manera que con las imágenes anteriores, se ha evitado situaciones de polvo atmosférico, gran oleaje, los meses de recolección de *gelidium* (junio a septiembre) y los meses invernales (diciembre a febrero).

Tabla 2. Imágenes de Souss Massa Draa utilizadas para detectar macro-algas

Zona imagen	Tamaño imagen (km ²) sensor y configuración canales	Código imagen archivo	Fecha imagen	Ángulo nadir
Costa Norte, Souss Massa Dráa W	125 km² *WV02, ** MS1_MS2	103001000741CF00	Oct 17, 2010	16°
Costa intermedia	110 km ² *WV02, ** MS1_MS2	10300100091D4200	Mar 23, 2011	20°
Costa Sur, Souss Massa Dráa	70 km² *WV02, ** MS1_MS2	1030010007534800	Oct 28, 2010	17°

mágenes del sensor Worldview-2,

** MS1_MS2: Canales, MS1: Primera agrupación de 4 canales, MS2: Segunda agrupación de 4 canales.

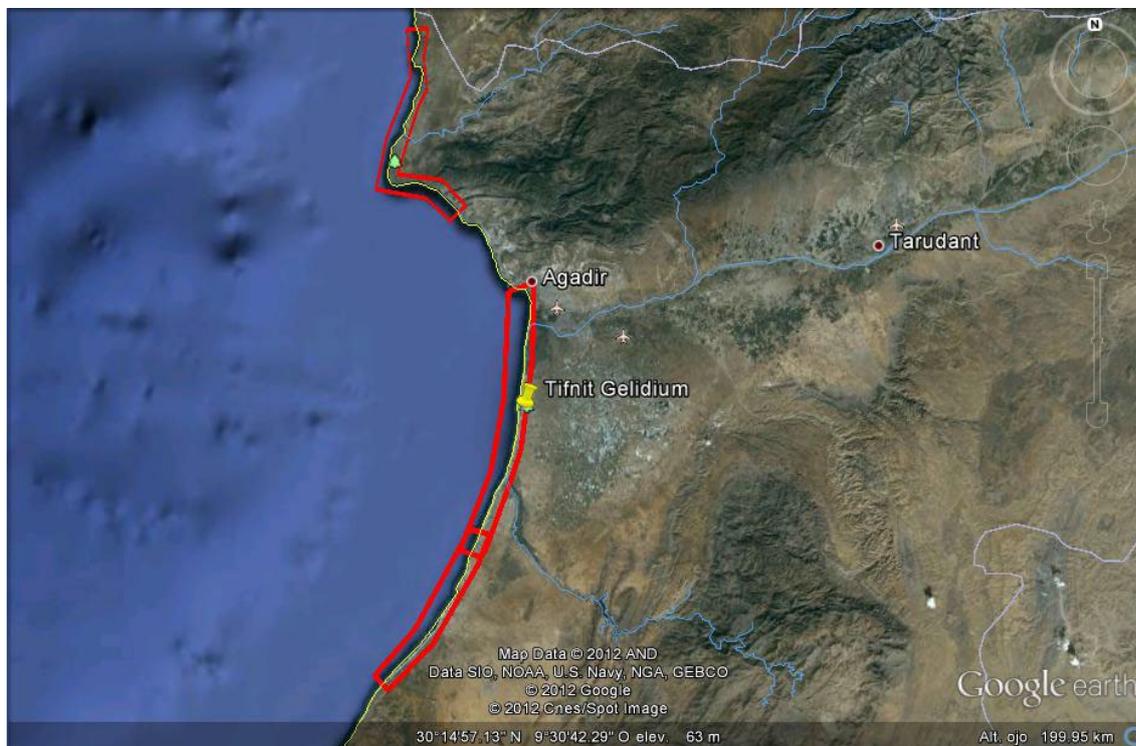


Figura 3. Zonas de costa cubiertas con las tres imágenes de satélite del Worldview2.

– Procesado de las imágenes de satélite.

Las imágenes han sido procesadas para poder realizar un análisis del fondo marino en zonas poco profundas. Esto incluye tres procesos fundamentales, una corrección radiométrica, atmosférica y otra llamada “deglinting”:

- Corrección radiométrica. Pasa los valores de pixel a unidades físicas en radiancia espectral [$W/(m^2sr\cdot\mu m^1)$] que luego son convertidas a reflectancias en tantos por 100 (%) con respecto a la radiación total incidente.
- Corrección atmosférica. Utiliza el modelo radiativo 6s para añadir a las imágenes la radiación que la atmósfera ha absorbido en cada canal espectral. También disminuye el efecto de scattering atmosférico por la concentración de vapor de agua y aerosoles. Tras probar varios modelos de transferencia radiativa, el 6S fue el que dio los mejores resultados (J. Martín, 2012a, 2012b).

- Corrección de glint. Esta corrección explicada en detalle en el informe anterior y basada en los desarrollos de Hedley et al. 2005, elimina el reflejo solar de la superficie marina que es además incrementado por el oleaje. Mejora sensiblemente la visualización y la definición de formas en imágenes de alta resolución dedicadas a aplicaciones de análisis del fondo marino.

El objetivo de estos procedimientos previos es obtener valores físicos de radiancia y reflectividad superficial corregidos e independientes de las condiciones de iluminación y de la atmósfera. Esto permite comparar imágenes de diferentes zonas, días y horas de adquisición así como aplicar algoritmos de detección y clasificación de algas en zonas distintas de donde se han desarrollado. Aún así imágenes a distintas horas y épocas del año, afectadas por distinto tipo de oleaje y turbidez podrán tener diferencias en sus valores de reflectividad.

- Caracterización espectral. La caracterización espectral de un gelidial tropical (R5) en aguas en calma, muy someras y claras con el sensor aerotransportado CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager) de 288 canales, se muestra en la figura 4. Obtenida de Andréfouët et al. (2004), es fácil ver el máximo de reflectancia en el amarillo a unos 580 nm aunque existe una gran contribución en el rojo, entre 630 y 690 nm, como era de esperar. En nuestro caso, las macro-algas suelen estar a mayor profundidad y en zonas de costa con oleaje y turbidez por lo que gran parte de la contribución en los canales amarillo y rojo son absorbidos. En análisis espectral del siguiente apartado se muestran los espectros a distintas profundidades de la macro alga obtenidos directamente de las medidas del Worldview2. Se observa en este caso como en aguas costeras, a mayor profundidad y turbidez se elimina gran parte de la contribución en los canales del amarillo y rojo.

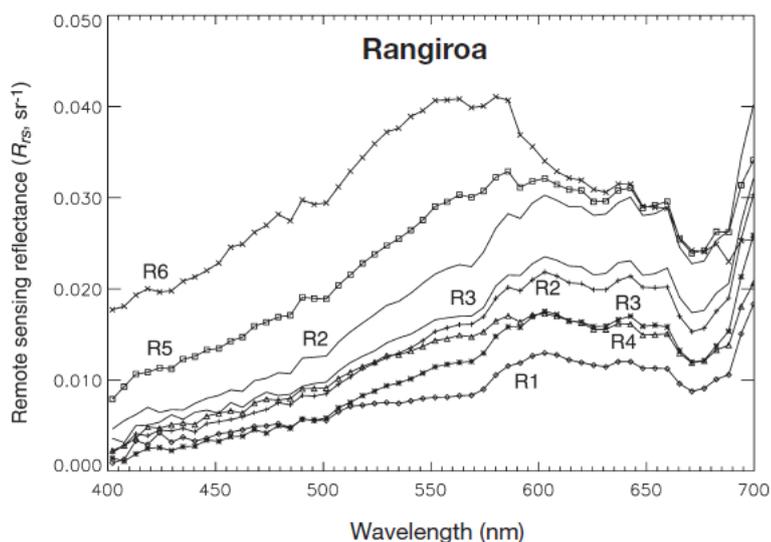


Figura 4. Señal espectral de una especie tropical de gelidium R5, en aguas en calma claras y someras, tomada con el sensor CASI, Andréfouët et al. (2004).

3. Análisis espectral y metodología de detección

El procedimiento seguido ha consistido en dos análisis de aproximación debido a la imposibilidad de aplicar un método de clasificación directo sobre la misma imagen. Se toma la información de la macro-alga *Gelidium* a partir de una imagen del Wordview2 corregida atmosféricamente y con el deglintering y se trata de detectar patrones radiativos y morfológicos similares en la zona de estudio utilizando las tres imágenes de la tabla 2. Para ello se realiza dos test de detección:

3.1 *test radiativo.*

En la imagen de análisis de la zona de Al-Jadida (Tabla 1 y Figura 5) se seleccionan varios puntos con gran probabilidad de contener *Gelidium* y se obtiene los espectros a partir de las reflectancias de los 8 canales corregidos (corrección atmosférica y deglintering) del Wordview2. Los puntos concretos indicados en un primer muestreo realizado “in situ” se corresponden a puntos muy cercanos a la costa en las zonas blancas de la figura 5 y por lo tanto no disponibles para obtener los espectros. Sin embargo se observa una configuración del fondo peculiar con zonas especialmente oscuras y en todos los canales visibles y sospechosas de contener algas absorbentes de radiación. Tras seleccionar los canales que más contribuyen (2, 3, 4), aplicar un RGB y realizar algunos ajustes del histograma, es posible resaltar estos puntos especiales de gran absorción de radiación presuntamente por la actividad de las macro-algas gelidiales y mostrados en la figura 6. En esta figura además se muestra la posición de tres zonas destacadas cerca de la costa ya que la señal observada en zonas más alejadas se puede corresponder con la absorción debida a la propia profundidad. Además en cada una de las tres zonas se puede destacar unos puntos de otros con distintas tonalidades de color rojo dependiente presuntamente de la cantidad de macro-alga e inversamente proporcional a la profundidad de forma que:

1. Mayor cantidad de alga y menor profundidad → color rojo más fuerte y más destacado.
2. Menor cantidad de alga y mayor profundidad → color rojo menos fuerte y menos destacado.

Estas tonalidades son fácilmente distinguibles en la figura 6 y a partir de aquí se van a seleccionar tres puntos específicos para obtener en cada uno el espectro de reflectancias. Estos puntos mostrados en la figura 6 se seleccionan desde el punto con presunto *gelidium* a menor profundidad (curva roja en la figura 7) hasta la de mayor profundidad (curva azul en la figura 7). La profundidad se estima a partir del mapa de batimetría de 30 m de resolución suavizado llamado Global Multi-Resolution Topography (GMRT), Ryan et al, (2009) y obtenido a partir de la aplicación GeomapApp (<http://www.geomapapp.org/index.htm>). Esta batimetría disponible para algunas de las zonas en estudio se ha superpuesto, tras unos ajustes, a la imagen del Wordview2. En la figura 7 las líneas rojas indican una profundidad de 5 m, las azules de 10, las algas *Gelidium* en estudio se encuentran entre 1 y 3 metros de profundidad.

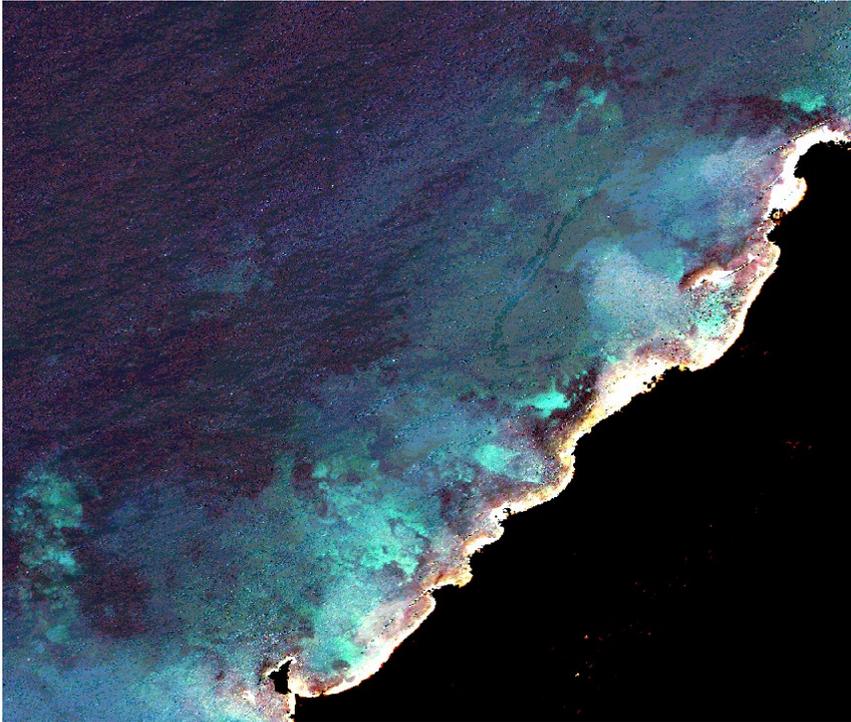


Figura 5. Imagen zona Al-Jadida corregida atmosférica y deglintering. Se observa una configuración del fondo peculiar tanto morfológicamente como radiativamente de gran absorción de radiación presuntamente por la actividad de las macroalgas.

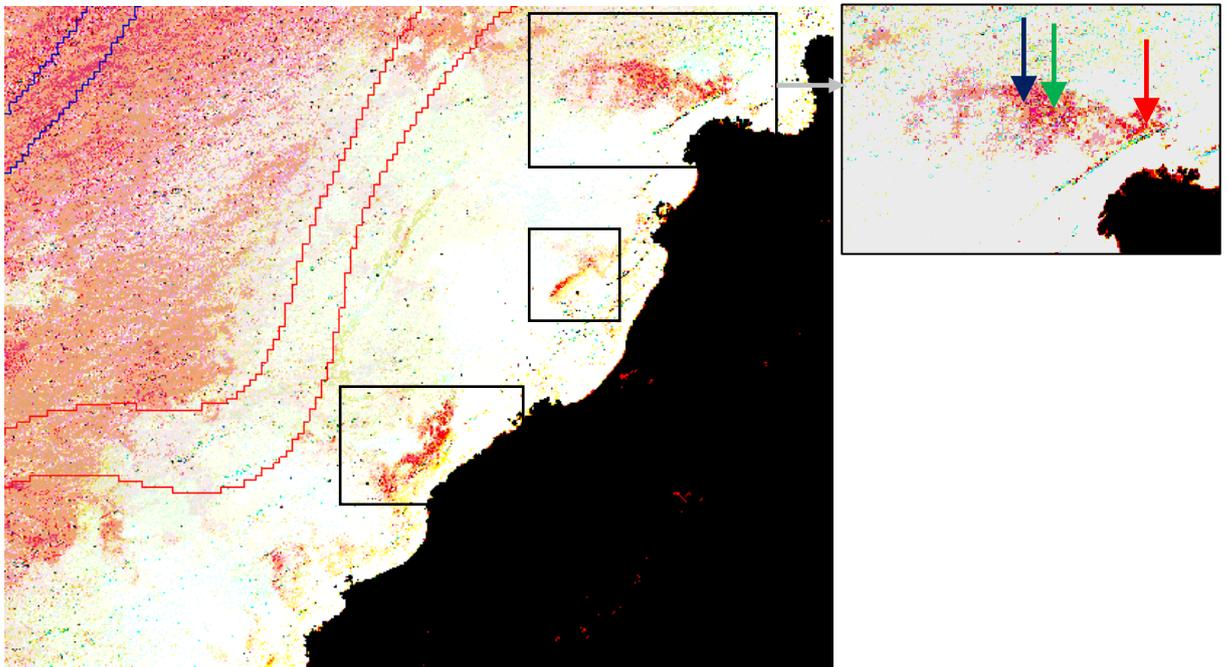


Figura 6. Detección de zonas de gran absorción de radiación cerca de la costa. Destacan tres zonas. En la primera se han calculado los espectros de reflectancias de los 8 canales del wordview2, los puntos concretos se indican con las flechas y la posición exacta se indica en la figura 7. Las líneas curvas rojas indican una profundidad de 5 metros y las azules de 10 metros.

Reflectance spectral channels of Gelidium

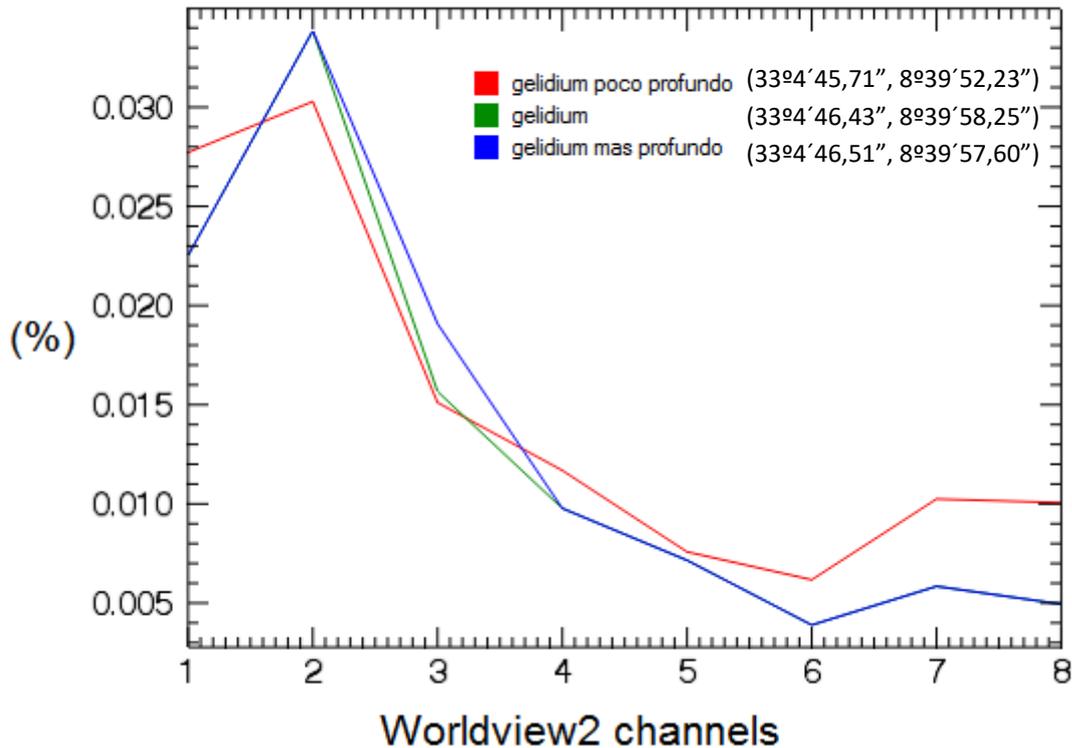


Figura 7. Espectros de reflectancias de los tres puntos con presunto gelidium. Eje vertical, reflectancias en tantos por 100 (%), eje horizontal cada uno de los 8 canales del sensor del wordview2.

El procedimiento de detección de zonas de absorción aplicado a la imagen de la costa de Al-Jadida solo sirve si se desea detectar algas en esta misma imagen. Además, se tiene la certeza de que en esta zona hay macro-algas absorbentes por lo que un simple ejercicio de ajuste nos da las zonas más absorbentes tal y como se muestra en la figura 6. Sin embargo el propósito es desarrollar un método que permita determinar estas zonas con posibles macro-algas utilizando los 8 canales de cualquier imagen del Wordview2 en regiones alejadas y otros días del año. Para llevar a cabo el test radiativo, a partir de la información espectral de puntos con poblaciones gelidium obtenida de la imagen de Al-Jadida y cuyos espectros se indican en la figura 7, se va a buscar puntos con espectros casi similares en otras imágenes, concretamente en las tres imágenes que cubren el 80% de la costa de Souss Massa Draa mostradas en la tabla 2 y figura 3.

El algoritmo seleccionado de comparación entre los espectros de gelidium de referencia (figura 7) y los espectros de cada punto de las imágenes es el "Spectral Angle Mapper" (Kruse et al, 1993) al cual llamaremos SAM a partir de ahora. Este algoritmo clasifica los puntos a partir del mínimo ángulo entre el espectro del punto problema de la imagen y el espectro teórico. Este ángulo tiene tantas dimensiones como canales tiene el espectro a comparar y sus principales ventajas con respecto a otros métodos es que:

- Es independiente del tipo de iluminación de cada imagen por lo que lo hace muy flexible a la hora que aplicarlo a imágenes de distintos días, épocas del año y/o en regiones alejadas.
- Es fácilmente exportable y reproducible.

El algoritmo es ajustable con respecto al ángulo (α) a partir del cual ya no marca puntos con espectros parecidos se le ha asignado los siguientes valores:

-  Gelidium poco profundo, $\alpha = 0.15$
-  Gelidium, $\alpha = 0.1$
-  Gelidium mas profundo, $\alpha = 0.05$

Con estos valores se le da más margen de detección al espectro más específico de gelidium que se encuentra a menos profundidad y menos margen de detección al espectro de gelidium más genérico y a mayor profundidad. A partir de distintas pruebas realizadas, el espectro de Gelidium a mayor profundidad es bastante parecido al espectro de un punto correspondiente a una zona de agua profunda. Como prueba se muestran los resultados en la figura 8 de los puntos con igual espectro de reflectancias detectados en la zona abajo de la imagen de la figura 6.

Además de los puntos detectados en la figura 8b también es posible obtener el valor de la diferencia del ángulo (α) y representarlo con una escala de colores adecuada tal y como se muestra en la figura 8c para el gelidium a poca profundidad. Este parámetro indica cuan similar es el espectro del pixel problema con el espectro de referencia, siendo más similares para un α menor y menos similares para un α mayor. En este informe se hará referencia a las imágenes de α como mapas de niveles de SAM y ayudará a localizar aquellas zonas potenciales de contener gelidium a poca profundidad.

El procedimiento de detección de puntos áreas costeras con espectros similares a los de la zona de gelidium es el primero de los test que se realizan a las tres imágenes de la zona de Souss Massa Draa. Los puntos detectados en estas zonas son radiativamente afines y en ellos el siguiente paso consiste en analizar morfológicamente la configuración del fondo tal y como se explica en el apartado siguiente.

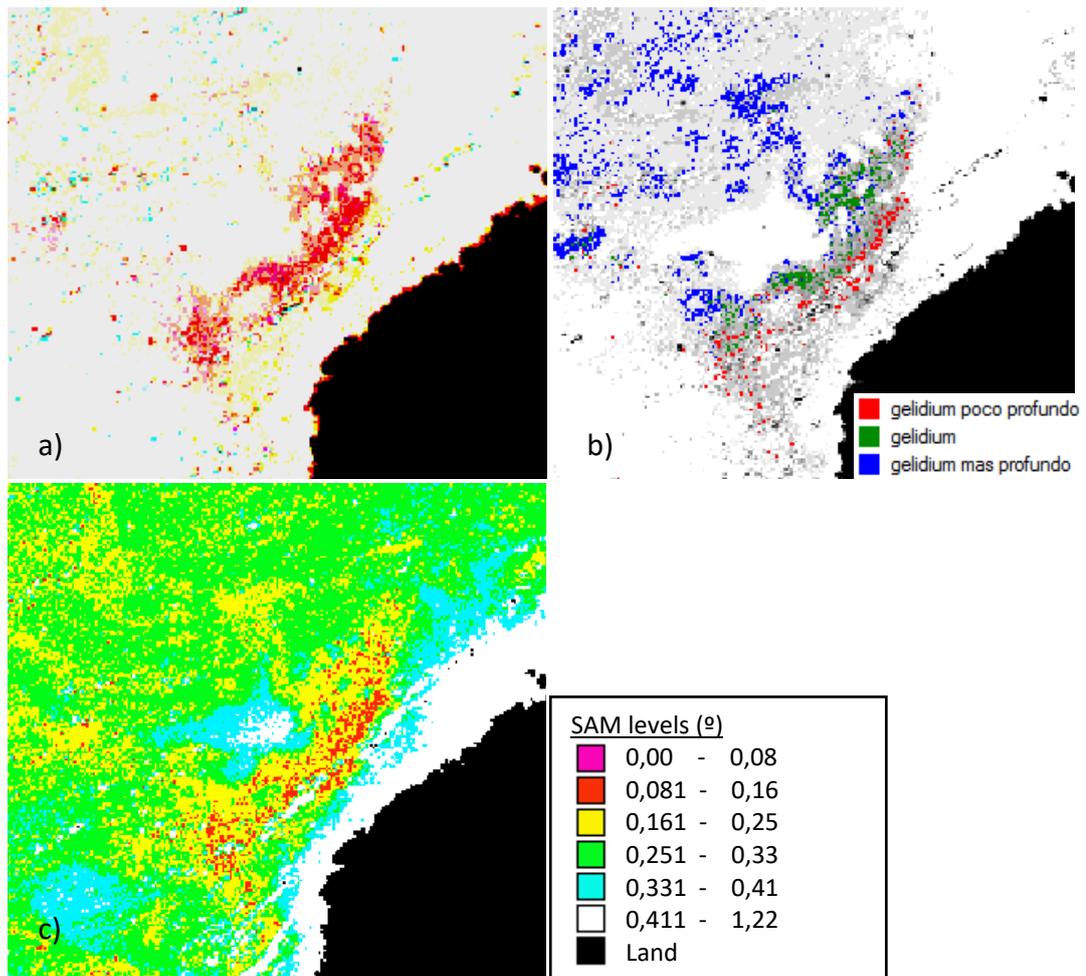


Figura 8. a) Zonas de absorción sospechosas de contener algas tipo gelidium, b) puntos con presuntas poblaciones de gelidium detectados a partir de la comparación entre espectros de la imagen en sus 8 canales y los espectros de referencia de la figura 7, los puntos grises son los puntos de la figura a) en blanco y negro representados para facilitar la comparación espacial. c) Niveles del Sam para el gelidium de menor profundidad. A menor ángulo mayor similitud entre espectros.

3.2 Test morfológico.

En las zonas radiativamente afines, aquellos que han pasado el test radiativo previo o en puntos cercanos, se analiza la configuración del fondo en zonas costeras de poca profundidad. Se busca estructuras del fondo con gelidium como las mostradas en la figura 5 y de la cual se muestran algunos ejemplos en la siguiente figura 9.

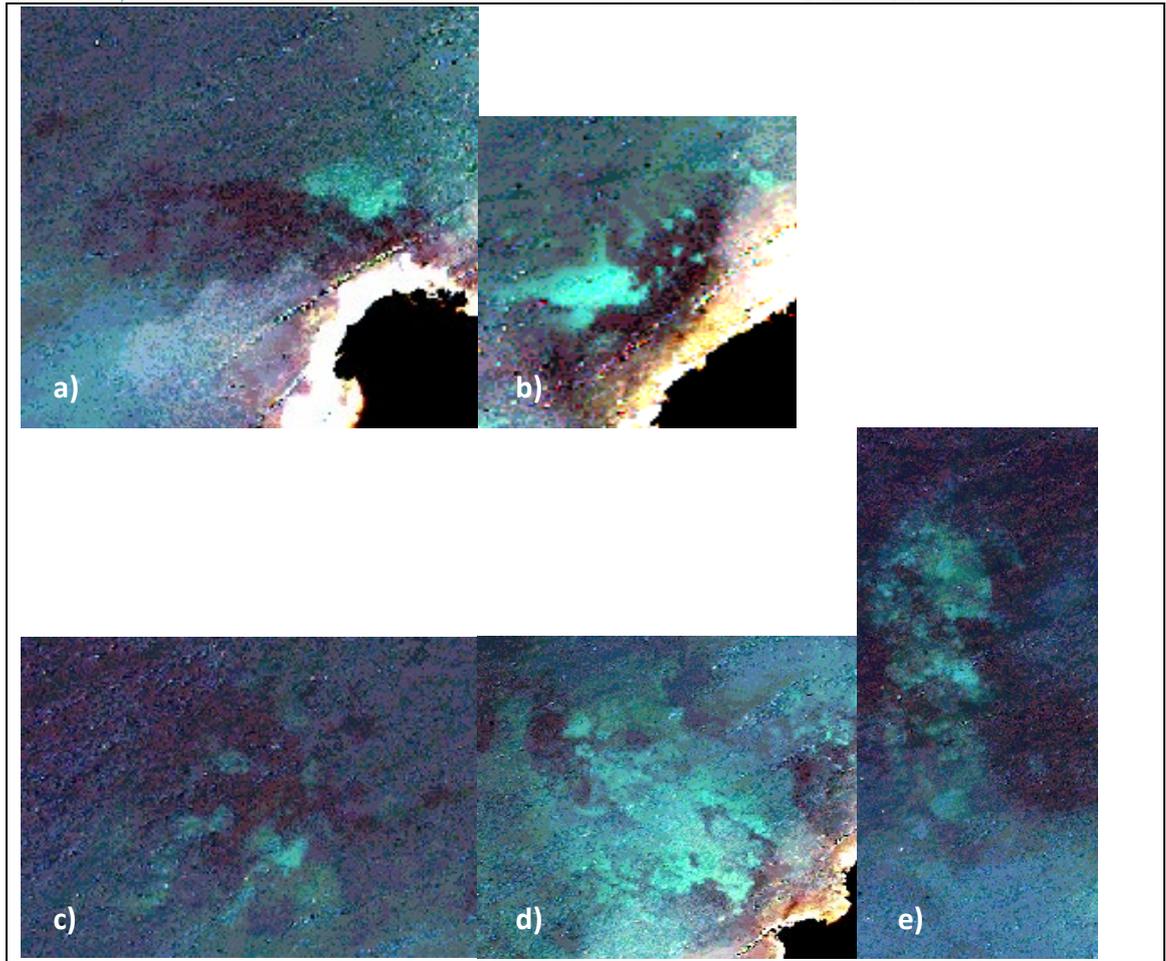


Figura 9. Aspecto de fondos con poblaciones de macro-algas de tipo Gelidium. a) forma de llama, b) forma de escorpión, c) murciélago en vuelo, d) Cazador con arco y flechas, e) Constelación.

En el siguiente apartado de resultados se indican aquellas zonas que muestren estos patrones en las imágenes corregidas atmosféricamente y por degliting construidas en falso color con ajuste lineal de histograma tomando:

- ■ Rojo reflectividades canal 4
- ■ Verde reflectividades canal 3
- ■ Azul reflectividades canal 2

Este test tiene el inconveniente que puede resultar poco objetivo y dar resultados distintos si este es realizado por distintas personas. Se le dará prioridad a los resultados del test radiativo frente a los del test morfológico tal y como se indica en la siguiente tabla 3. De esta manera el test morfológico simplemente reafirma el resultado del test radiativo.

Tabla 3. Criterio a la hora de puntuar las zonas encontradas

Test Radiativo	Test morfológico	puntos
negativo	negativo	0
negativo	positivo	0
Positivo (aislados)	negativo	1
Positivo (aislados)	positivo	2
Positivo (agrupación)	negativo	2
Positivo (agrupación)	positivo	3

Se da un punto extra si el positivo del test radiativo es debido a agrupaciones de puntos con espectros casi similares al del gelidium en lugar de ser puntos aislados.

4. Resultados

Comenzamos analizando la imagen al norte de la costa de Souss Massa Draa para luego pasar a la imagen media y terminar con la que se encuentra más al sur (ver tabla 2)

4.1 Resultados análisis imagen zona norte

Esta imagen tomada el 17 de Octubre de 2010 va desde Tilit (30°54'17"N 9°48'55.19"W) hasta Imi Ouaddar (30°33'57"N 9°44'06"W) siguiendo toda la costa.

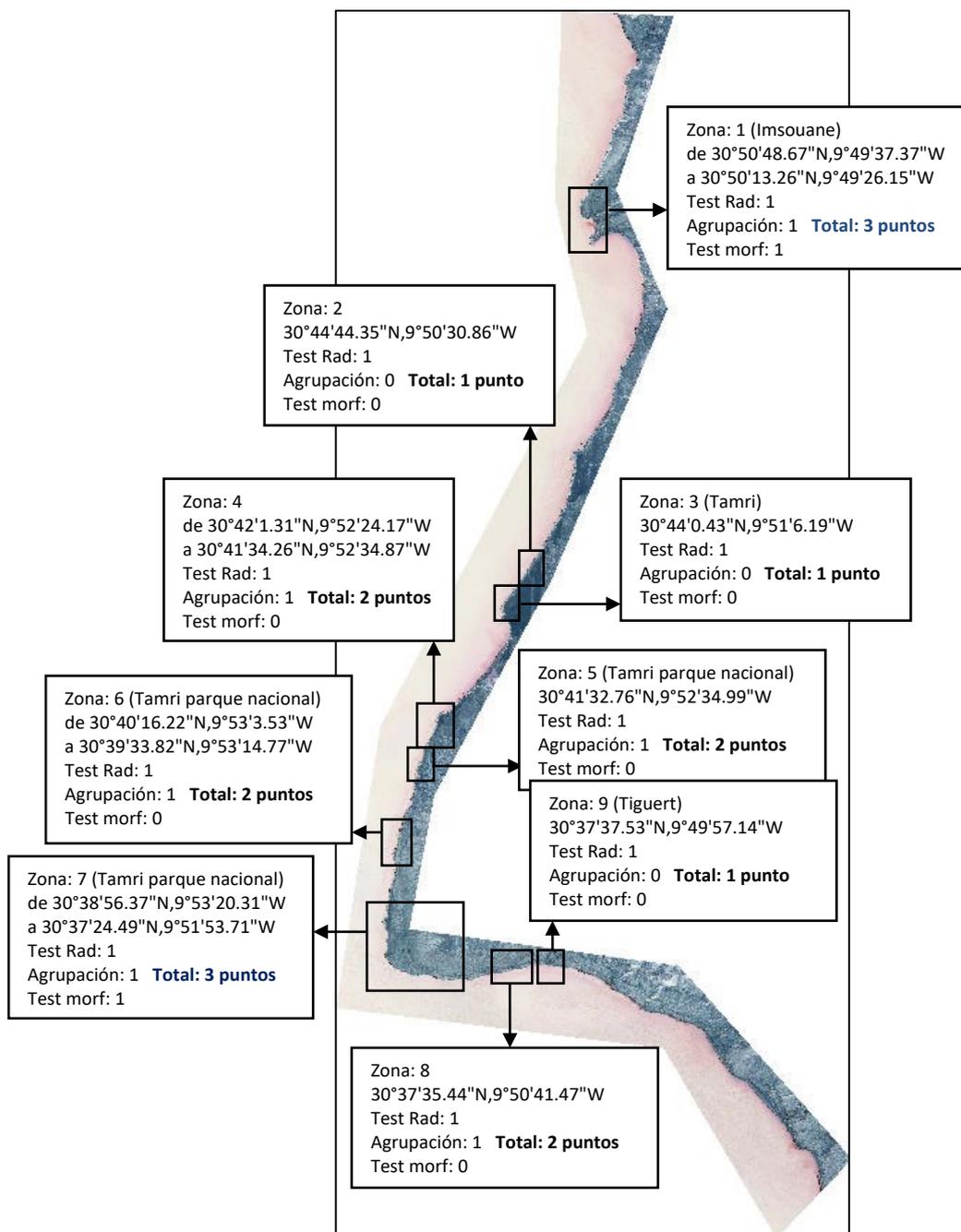


Figura 10. Proceso de análisis de la imagen de la costa norte de Souss Massa Draa. Test radiativo a partir de imagen de niveles SAM y test morfológico de la estructura del fondo marino costero. Cuando se indican dos posiciones se marca línea que atraviesa varias agrupaciones con poblaciones de algas. Entre paréntesis, la población más cercana.

A partir del análisis anterior se muestran las dos zonas con mayor puntuación.

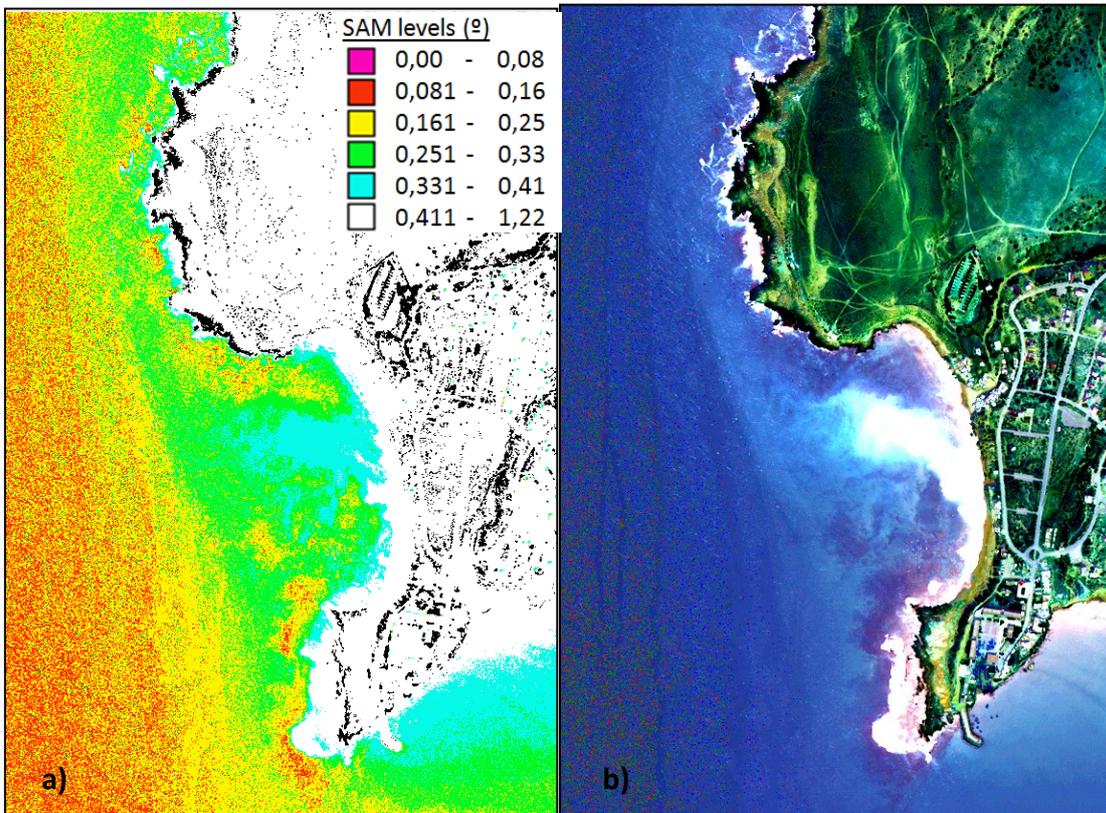


Figura 11. Test radiativo a partir de imagen de niveles SAM a) y test morfológico b) de la zona 1 con 3 puntos. Los puntos rojos alejados de la costa en la figura 11 a) se corresponde con ruido producido por la absorción debido a la profundidad, este efecto se produce a partir de 10 m a 15 m de profundidad.

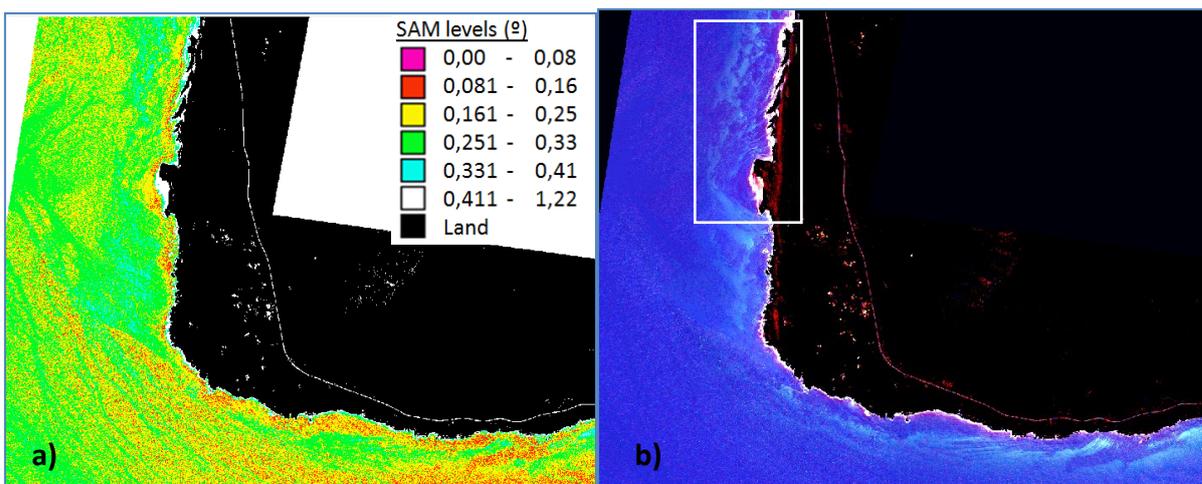


Figura 12. Test radiativo a partir de imagen de niveles SAM a) y test morfológico b) de la zona 7 con 3 puntos. El test morfológico se cumple sobre todo en la zona indicada por el rectángulo en la figura b). Los puntos rojos alejados de la costa en la figura 12 a) se corresponde con ruido.

4.2 Resultados análisis imagen zona media

Esta imagen tomada el 23 de marzo de 2011 va desde Agadir (en la parte urbana al sur de la ciudad aparece cierta nubosidad y se ha eliminado) hasta la zona costera de Tikioute (29°59'37.48"N,9°43'29.61"W).

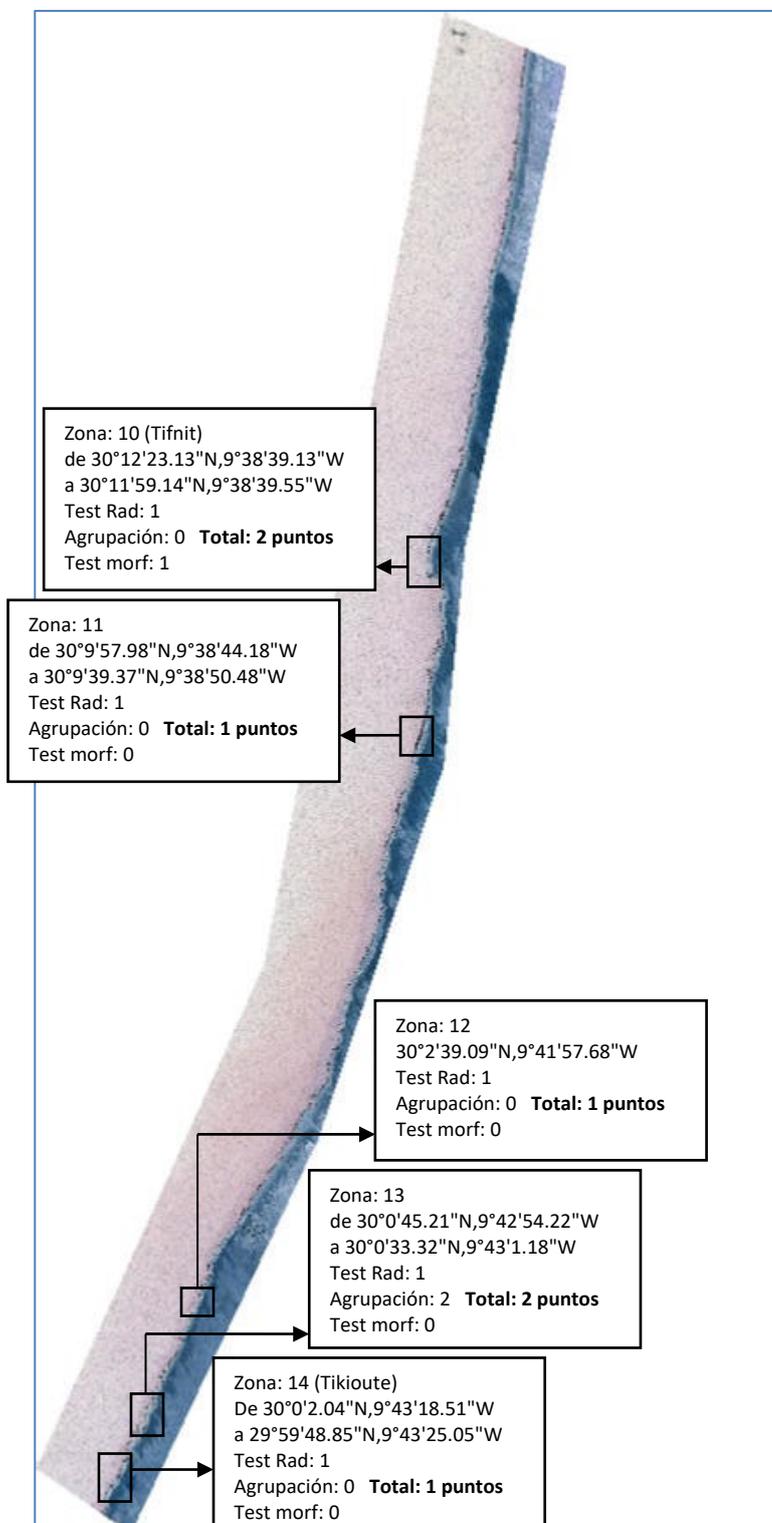


Figura 13. Proceso de análisis de la imagen de la zona intermedia de Souss Massa Draa. Se aplica todo lo comentado en la figura 10.

Ahora como en el caso anterior mostramos las dos zonas que han obtenido la mayor puntuación

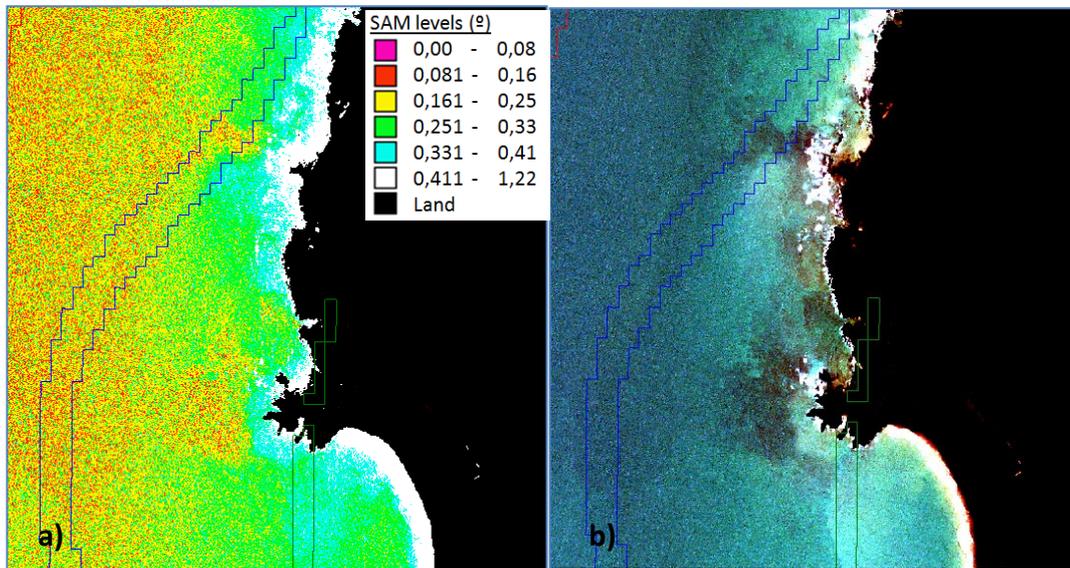


Figura 14. Test radiativo a partir de imagen de niveles SAM a) y test morfológico b) de la zona 10 con 2 puntos. Aunque no tiene la máxima puntuación, esta zona se muestra por haber sido citada (Benhissoune et al, 2002) como zona con poblaciones de *Gelidium*. La línea azul es la isolinea de batimetría de los 10 metros, los puntos rojos a mayor profundidad a la izquierda de la línea es ruido.

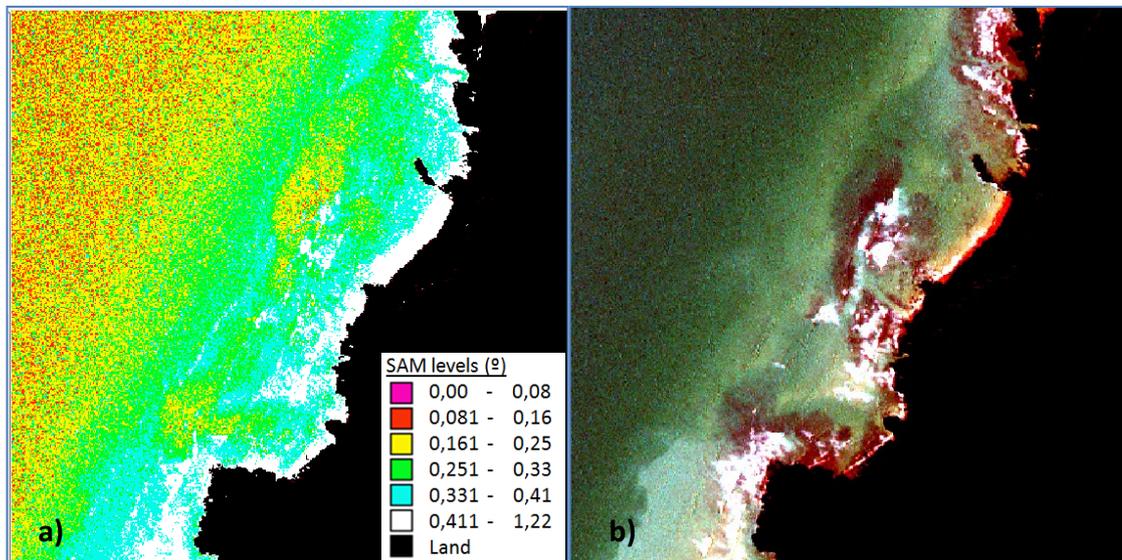


Figura 15. Test radiativo a partir de imagen de niveles SAM a) y test morfológico b) de la zona 13 con 2 puntos. Se observan 4 agrupaciones con posibles poblaciones de *Gelidium*.

4.3 Resultados análisis imagen zona sur

Esta imagen tomada el 28 de octubre de 2010 va desde 29°57'25.11"N,9°44'35.36"W cuya población más cercana es Tikioute hasta la zona costera de Mirhleft (29°45'22.39"N,9°53'24.23"W).

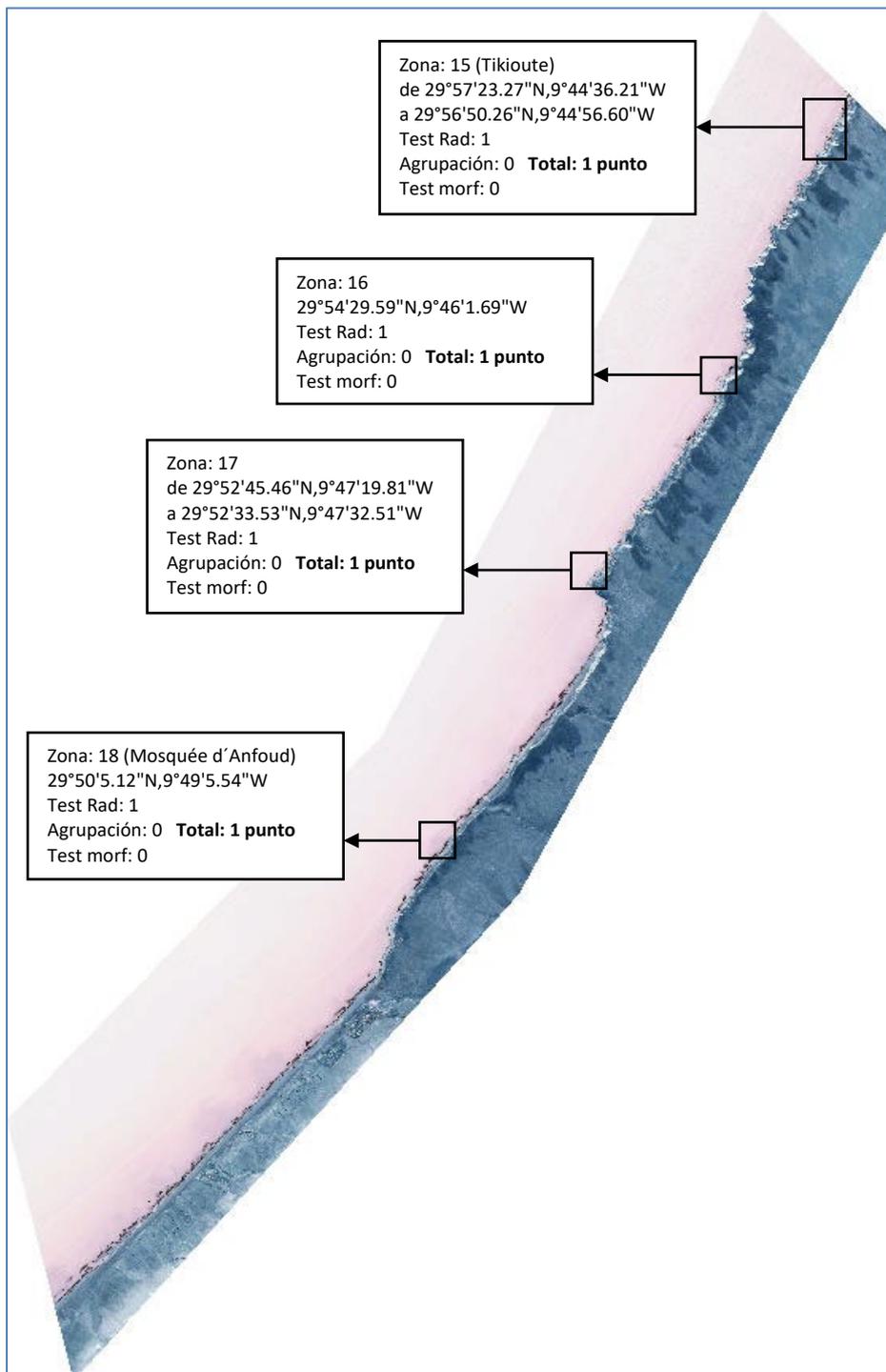


Figura 16. Proceso de análisis de la imagen de la zona sur de Souss Massa Draa. Se aplica todo lo comentado en la figura 10.

En esta zona al sur de Souss Massa Draa las agrupaciones son muy pequeñas y dispersas apenas perceptibles por el algoritmo de detección tal y como se indica en la figura 17. De todas maneras se han marcado aquellas que han destacado aunque sean de forma tímida.

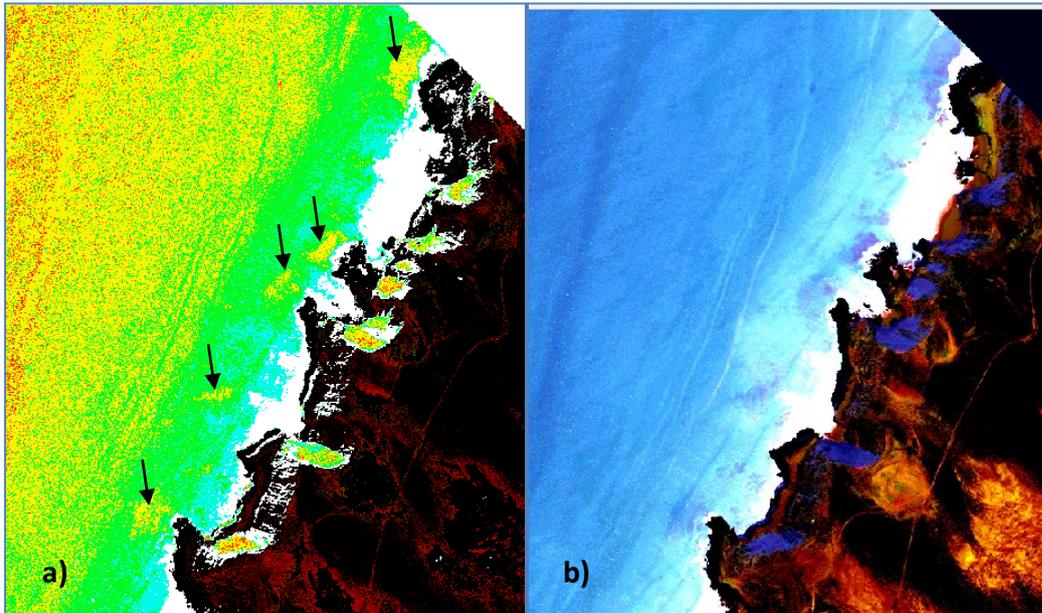


Figura 17. Se observan pequeñas zonas sospechosas cerca de la costa en la figura a) con ayuda de las flechas, también se observa zonas erróneas sobre la misma costa debido a zonas en sombra de los acantilados mostrados claramente en la figura b).

Las zonas potenciales de contener poblaciones de gelidium en las tres imágenes de satélite analizadas se agrupan en la siguiente tabla de resultados.

Tabla 4. Zonas probables de poblaciones de gelidium

Zona número	Localización geográfica	Población más cercana	puntuación	Imagen de satélite (norte, media, sur)
1	de 30°50'48.67"N,9°49'37.37"W a 30°50'13.26"N,9°49'26.15"W	Imsouane	3	norte
2	30°44'44.35"N,9°50'30.86"W		1	
3	30°44'0.43"N,9°51'6.19"W	Tamri	1	
4	de 30°42'1.31"N,9°52'24.17"W a 30°41'34.26"N,9°52'34.87"W		2	
5	30°41'32.76"N,9°52'34.99"W	Tamri parque nacional	2	
6	de 30°40'16.22"N,9°53'3.53"W a 30°39'33.82"N,9°53'14.77"W	Tamri parque nacional	2	
7	de 30°38'56.37"N,9°53'20.31"W a 30°37'24.49"N,9°51'53.71"W	Tamri parque nacional	3	
8	30°37'35.44"N,9°50'41.47"W		2	
9	30°37'37.53"N,9°49'57.14"W	Tiguert	1	
10	de 30°12'23.13"N,9°38'39.13"W a 30°11'59.14"N,9°38'39.55"W	Tifnit	2	media
11	de 30°9'57.98"N,9°38'44.18"W a 30°9'39.37"N,9°38'50.48"W		1	
12	30°2'39.09"N,9°41'57.68"W		1	
13	de 30°0'45.21"N,9°42'54.22"W a 30°0'33.32"N,9°43'1.18"W		2	
14	De 30°0'2.04"N,9°43'18.51"W a 29°59'48.85"N,9°43'25.05"W	Tikioute	1	
15	de 29°57'23.27"N,9°44'36.21"W a 29°56'50.26"N,9°44'56.60"W	Tikioute	1	sur
16	29°54'29.59"N,9°46'1.69"W		1	
17	de 29°52'45.46"N,9°47'19.81"W a 29°52'33.53"N,9°47'32.51"W		1	
18	29°50'5.12"N,9°49'5.54"W	Mosquée d'Anfoud	1	

5. Conclusiones

Se ha desarrollado y aplicado un método para detectar posibles poblaciones de macro alga tipo *Gelidium Sesquipedale* utilizando imágenes de alta resolución espacial (2,5 m) del sensor Worldview2. Este método se basa en realizar en primer lugar un test radiativo de análisis de espectros de reflexión de cada pixel y un test morfológico del fondo marino. Para ambos tests se obtienen en primer lugar los espectros de referencia en zonas con poblaciones de *gelidium* a distintas profundidades y las imágenes con las distribuciones morfológicas de referencia. La recopilación de esta información se ha realizado a partir de una imagen de satélite del Worldview2 la costa de Al Jadida conocida por ser uno de los principales puntos de recolección de esta macro alga en la costa marroquí.

A continuación se ha aplicado ambos test a tres imágenes de gran tamaño del mismo sensor de la zona en estudio de la costa de Souss Massa Draa. El test radiativo, aplicado en primer lugar, busca aquellos píxeles o puntos que tengan un espectro de reflexión similar al tomado como referencia de la zona de Al Jadida para la macro alga. El algoritmo de comparación utilizado es el "Spectral Angle Mapper" o SAM por ser muy adaptable a las distintas condiciones de iluminación de cada imagen. En aquellos puntos que den positivo en este primer test se aplica el segundo test de análisis morfológico del fondo dando finalmente una puntuación a cada zona potencial. Los resultados de la tabla 4 muestran una mayor cantidad de zonas con puntuaciones más altas para la zona costera del norte de Souss Massa Draa y menor probabilidad de encontrar esta macro alga en la zona sur.

En este informe se han marcado las posiciones de cada zona y se muestran imágenes de aquellas que han obtenido las mayores puntuaciones para indicar los lugares exactos con las mayores probabilidades de contener poblaciones de *gelidium*. Sin embargo el método no deja de ser una aproximación, aún queda realizar un trabajo de verificación basado en observaciones de campo para comprobar la precisión de la técnica de detección desarrollada. En caso de que la detección de la macro alga por este método sea satisfactoria se abren nuevas posibilidades para la gestión y observación de este recurso natural. La técnica de detección y clasificación puede ser mejorada con el conocimiento exacto de zonas de reserva y estado de esta macro alga en la costa de Souss Massa Draa ya que así se podría realizar pruebas de algoritmos de clasificación supervisadas en zonas más reducidas y obteniendo resultados más precisos.

Agradecimientos

Se agradece a los miembros del proyecto Techmarat el encargo de este análisis de algas a partir de técnicas de teledetección. A la empresa European Space Imaging, proveedora de las imágenes del Worldview2, por su asesoramiento y diligente gestión. El procesamiento de las imágenes Worldview2 de alta resolución han sido posible gracias a la valiosa ayuda de Javier Martin Abasolo del Grupo de Procesamiento de Imágenes y Teledetección de la ULPGC.

6. Referencias

Andréfouët S., C. Payri, E. J. Hochberg, C. Hu1, M. J. Atkinson, F. E. Muller-Karger, 2004, Use of in situ and airborne reflectance for scaling-up spectral discrimination of coral reef macroalgae from species to communities, MEPS 283:161-177 (2004) - doi:10.3354/meps283161.

Benhissoune S., C.-F. Boudouresqueb and M. Verlaque, 2002, A Checklist of the Seaweeds of the Mediterranean and Atlantic Coasts of Morocco. II. Phaeophyceae. Botanica Marina Vol. 45, 2002, pp. 217–230.

Casal G., N. Sánchez-Carnero , E. Sánchez-Rodríguez, J. Freire. 2011. Remote sensing with SPOT-4 for mapping kelp forests in turbid waters on the south European Atlantic shelf. Estuarine, Coastal and Shelf Science 91, PP: 371-378

Hedley, JD; Harborne, AR; Mumby, PJ. 2005, Simple and robust removal of sun glint for mapping shallow-water benthos. International Journal of Remote Sensing, Vol. 26, No. 10, 20 May 2005, 2107–2112

Klaas Pauly and Olivier De Clerck. 2010. GIS-based environmental analysis, remote sensing and niche modeling of seaweed communities. A Israel, R Einav and J Seckbach (Eds)

Kruse, F. A., A. B. Lefkoff, J. B. Boardman, K. B. Heidebrecht, A. T. Shapiro, P. J. Barloon, and A. F. H. Goetz, 1993, "The Spectral Image Processing System (SIPS) - Interactive Visualization and Analysis of Imaging spectrometer Data." *Remote Sensing of the Environment*, v. 44, p. 145 - 163.

Martín J. 2012a. Elaboración de algoritmos específicos para interpretar la turbidez y clorofila en imágenes del satélite worldwiew2 en el litoral de granadilla, en Tenerife, Informe fase 1, Estudio y Procesado Radiométrico y Atmosférico de las Imágenes del Satélite WorldView2.

Martin J., F. Eugenio , J. Marcello , A. Medina , Juan A. Bermejo. 2012b. Atmospheric correction models for high resolution WorldView-2 multispectral imagery: a case study in Canary Islands, Spain. Proc. SPIE 8534, Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere XVII; and Lidar Technologies, Techniques, and Measurements for Atmospheric Remote Sensing VIII, 853400 (November 1, 2012); doi:10.1117/12.974564; <http://dx.doi.org/10.1117/12.974564>.

Ryan, W.B.F., S.M. Carbotte, J.O. Coplan, S. O'Hara, A. Melkonian, R. Arko, R.A. Weissel, V. Ferrini, A. Goodwillie, F. Nitsche, J. Bonczkowski, and R. Zemsky (2009), Global Multi-Resolution Topography synthesis, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 10, Q03014, doi:10.1029/2008GC002332.

Vahtmäe, E. and Kutser, T., 2007. Mapping bottom type and water depth in shallow coastal waters with satellite remote sensing. *Journal of Coastal Research*, SI 50 (Proceedings of the 9th International Coastal Symposium), 185 – 189. Gold Coast, Australia, ISSN 0749.0208