

INFORME TÉCNICO

“DETERMINACIÓN DE LA BIOMASA DE *Macrocystis integrifolia* (huairo canutillo), *Lessonia trabeculata* (huairo palo) y *Heterozostera chilensis* (pasto marino), MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN AEROESPACIAL EN BAHÍA CHASCOS - REGIÓN DE ATACAMA”

GEOSBCH / 052009

ENCARGADO POR:



ELABORADO POR:



- MAYO 2009 -

TELEDETECCIÓN AEROESPACIAL DE BIOMASA DE *M. integrifolia*, *L. trabeculata* y *H. chilensis* EN BAHÍA CHASCOS – REGIÓN DE ATACAMA

Solicitado por:

OMX Ltda.

Av. Kennedy 5735, Torre Poniente

Oficina 509, 5° Piso

Las Condes, Santiago

Fono 56 2 714 2400

www.ebx.com.br

Elaborado por:

Geosensing Ltda.

Quillota 1140, Viña del Mar

Fonos 56 32 2481851/2399613

info@geosensing.cl

www.geosensing.cl

Profesionales Responsables
Geosensing Ltda.

Dr. Patricio Zavala O.
Teledetección Aeroespacial

Dr. Humberto Díaz O.
Biología Marina

Dr. Patricio Araneda H.
Biotecnología Ambiental

Personal Administrativo

Yasna Águila S.
Secretaria



| | | | | |
|---|--|-------------------------------------|---|---|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPAZIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 4 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 5 |
| 2. OBJETIVOS..... | 10 |
| 2.1 Objetivo General..... | 10 |
| 2.2 Objetivos Específicos | 10 |
| 3. INFORMACIÓN PRELIMINAR | 10 |
| 4. INFORMACIÓN GENERAL DE LAS ESPECIES A DETECTAR | 12 |
| 4.1 <i>Macrocystis integrifolia</i> (Huiro canutillo) y <i>Lessonia trabeculata</i> (Huiro palo) | 12 |
| 4.2 <i>Heterozostera chilensis</i> (pasto marino)..... | 14 |
| 5. METODOLOGÍA PROPUESTA..... | 16 |
| 5.1 Imágenes Utilizadas..... | 16 |
| 5.2 Período de Monitoreo | 17 |
| 5.3 Zona de Estudio | 18 |
| 5.4 Identificación del Patrón Espectral de las Algas y el Pasto Marino . | 19 |
| 5.5 Análisis Digital de las Imágenes..... | 20 |
| 5.6 Corrección Geométrica y Georreferenciación..... | 22 |
| 5.7 Clasificación..... | 23 |
| 5.8 Verificación de Resultados | 24 |
| 6. RESULTADOS OBTENIDOS | 25 |
| 6.1 Firmas o Huellas Espectrales | 25 |
| 6.2 Cartografía Batimétrica | 26 |
| 6.3 Distribución Espacial y Cubicación de las Especies Analizadas..... | 31 |
| 6.4 Verificación de los Resultados..... | 37 |
| 7. CONCLUSIONES | 40 |
| 8. BIBLIOGRAFÍA | 41 |

| | | | | |
|---|---|-------------------------------------|---|---|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPAICIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 5 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |


1. INTRODUCCIÓN

En muchas ocasiones, la necesidad de dimensionar y cuantificar fenómenos terrestres en zonas con difícil accesibilidad, se vuelve una tarea extremadamente compleja. Más aún, a esto se suma que el carácter de las técnicas tradicionales de toma de datos lleva a que la validación y contrastación adicionen un nuevo problema a este requerimiento. Tal es el caso de la medición, entre otras, de los volúmenes o la biomasa de organismos en ambientes marinos.

Frente a esta situación, el análisis digital de imágenes obtenidas por sensores localizados a bordo de satélites, permite generar un producto cartográfico y tabular, que responde eficientemente a los requerimientos de información base. Sin embargo, es importante destacar que su uso es bastante reciente y poco masificado, siendo un error frecuente el confundir una imagen de satélite con una fotografía aérea, “de hecho, en no pocas ocasiones, es posible escuchar hablar de la foto del satélite, al referirse a las imágenes obtenidas por Teledetección, lo que refleja una confusión de fondo con respecto al tratamiento y al análisis que debe darse a ambos productos, los cuales presentan diferencias notables” (Zavala, 2006).

Si se realiza una revisión de la bibliografía relativa a las aplicaciones de Teledetección Aeroespacial en seres vivos, se pueden apreciar una serie de técnicas, que van desde la localización visual a la detección térmica mediante barredores infrarrojos (IR), pasando por cámaras aéreas, radares de apertura sintética y detección de fluorescencia por LIDAR (Helgeson, 1970; Jamison, 1971; Mumford, 1989; Belsher & Mouchot, 1992; Deysher, 1993; Rogne *et al.*, 1993; Stekoll *et al.*, 2006).

Para definir la **Teledetección Aeroespacial**, podemos hacerlo desde un punto de vista netamente aplicado, como “una técnica que tiene como fin el generar información territorial de calidad, en distintos canales del espectro electromagnético, producto de la interacción de los rayos electromagnéticos generados durante el intercambio energético entre la tierra y el sol” (Zavala, 1996). Se parte de la base de que todo objeto, con temperatura superior al cero absoluto (-273,15° C), puede reflejar y emitir energía electromagnética, la que puede ser captada por sensores localizados a bordo de satélites que orbitan

| | | | | |
|---|--|-------------------------------------|---|---|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPAZIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 6 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |

nuestro planeta con ese fin específico. La diferencia de esta reflectividad y o emisividad, la determinarán sus propiedades físicas, que en el caso de los seres vivos (animales y vegetales), corresponde a sus particulares propiedades fenotípicas. Es importante señalar que nuestra vista accede exclusivamente al espectro visible u óptico, vale decir, nuestros ojos captan exclusivamente luz reflejada, tal cual se refleja en la **Figura 1**.

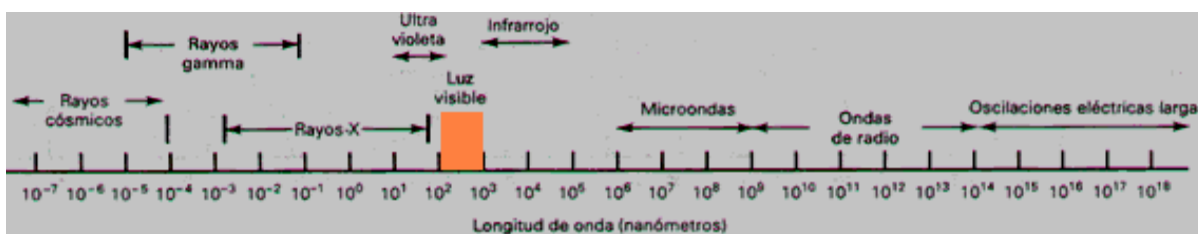


Figura 1. Espectro electromagnético. En naranja, el alcance del ojo humano (fuente: Zavala, 2003).

Frente a esta realidad, las imágenes de satélite nos permiten ampliar nuestro acceso a fenómenos que se desarrollan más allá del espectro visible, cubriendo además la totalidad del espectro infrarrojo y microondas (radar), como puede apreciarse en la **Figura 2**.

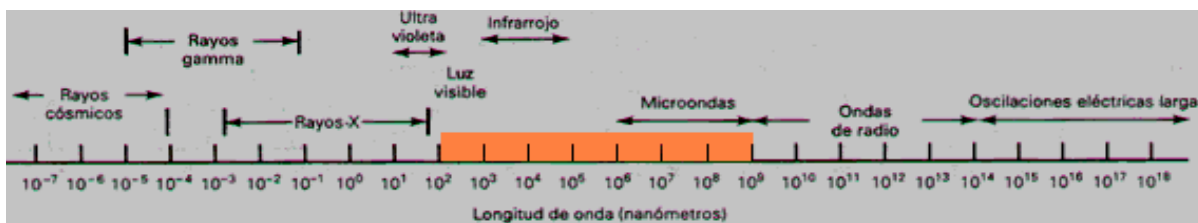



Figura 2. Espectro electromagnético. En naranja, el alcance de la Teledetección (fuente: Zavala, 2003).


| | | | | |
|---|--|-------------------------------------|---|---|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPACIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 7 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |

En este punto es preciso recordar que el **espectro electromagnético** corresponde a la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas. Referido a un objeto se denomina espectro electromagnético o simplemente espectro a la radiación electromagnética que emite (espectro de emisión) o absorbe (espectro de absorción) una sustancia. Dicha radiación sirve para identificar la sustancia de manera análoga a una *huella dactilar*. El espectro electromagnético se extiende desde la radiación de menor longitud de onda, como los rayos gamma y los rayos X, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las ondas de radio (**Tabla 1**). Existen ondas que tienen una frecuencia, pero varios usos, por lo que algunas frecuencias pueden quedar en ocasiones incluidas en dos rangos (**Figura 3**).

Tabla 1

Longitud de onda, frecuencia y energía de las diferentes bandas del espectro electromagnético.

| Banda | Longitud de onda (m) | Frecuencia (Hz) | Energía (J) |
|----------------------------------|----------------------|-----------------|-----------------------------|
| Rayos gamma | < 10 pm | > 30,0 EHz | > 20·10 ⁻¹⁵ J |
| Rayos X | < 10 nm | > 30,0 PHz | > 20·10 ⁻¹⁸ J |
| Ultravioleta extremo | < 200 nm | > 1,5 PHz | > 993·10 ⁻²¹ J |
| Ultravioleta cercano | < 380 nm | > 789 THz | > 523·10 ⁻²¹ J |
| Luz Visible | < 780 nm | > 384 THz | > 255·10 ⁻²¹ J |
| Infrarrojo cercano | < 2,5 μm | > 120 THz | > 79·10 ⁻²¹ J |
| Infrarrojo medio | < 50 μm | > 6,00 THz | > 4·10 ⁻²¹ J |
| Infrarrojo lejano/submilimétrico | < 1 mm | > 300 GHz | > 200·10 ⁻²⁴ J |
| Microondas | < 30 cm | > 1 GHz | > 2·10 ⁻²⁴ J |
| Ultra Alta Frecuencia - Radio | < 1 m | > 300 MHz | > 19.8·10 ⁻²⁶ J |
| Muy Alta Frecuencia - Radio | < 10 m | > 30 MHz | > 19.8·10 ⁻²⁸ J |
| Onda Corta - Radio | < 180 m | > 1,7 MHz | > 11.22·10 ⁻²⁸ J |
| Onda Media - Radio | < 650 m | > 650 kHz | > 42.9·10 ⁻²⁹ J |
| Onda Larga - Radio | < 10 km | > 30 kHz | > 19.8·10 ⁻³⁰ J |
| Muy Baja Frecuencia - Radio | > 10 km | < 30 kHz | < 19.8·10 ⁻³⁰ J |

| | | | | |
|---|---|-------------------------------------|---|---|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPAECIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 8 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |

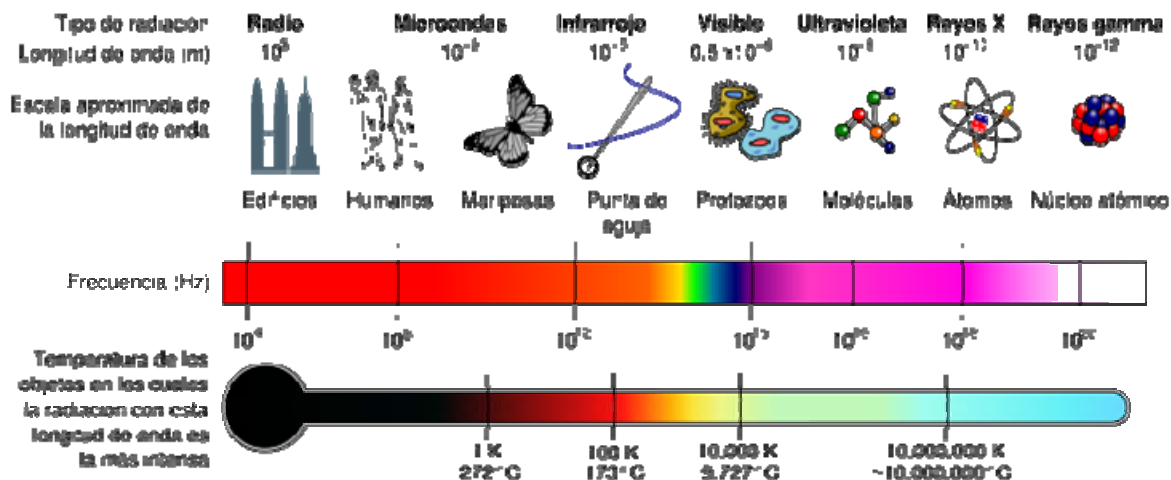



Figura 3. Espectro electromagnético mostrando la escala de la longitud de onda (en metros), la frecuencia y la temperatura de los objetos en los cuales la radiación con esta longitud de onda es la más intensa.

En este contexto, el desafío de todo estudio que involucre la aplicación de esta tecnología aeroespacial, consiste en asociar el valor digital de los píxeles que conforman las distintas bandas de una imagen satelital (con valores de 0 a 255), con la longitud de onda que reflejan los fenómenos y objetos terrestres. Para ello, es fundamental el conocimiento de las **firmas o huellas espectrales**, comprendidas como la radiación reflejada en función de la longitud de onda. De esta forma, podemos definirla como *la forma peculiar de reflejar o emitir energía de un determinado objeto o cubierta, lo que es consecuencia de las características físicas y o químicas del objeto que interacciona con la energía electromagnética, y varía, obviamente, según las longitudes de onda*. Por ello, las firmas espectrales son propias de una especie, tanto vegetal o animal, o algún fenómeno u objeto terrestre, que comparte iguales propiedades físico-químicas.

Por ejemplo, al igual que los seres vivos, el suelo posee una firma espectral peculiar, como resultado de su distinta composición y estructura, derivados de su granulometría, sedimentación, componentes fisicoquímicos y nivel de compactación, lo que se refleja en propiedades dieléctricas diferenciadas del terreno, las que pueden ser captadas por satélites que obtienen imágenes de distinta resolución espectral y espacial. Por tal razón, la teledetección

| | | | | |
|---|--|-------------------------------------|---|---|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPACIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 9 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |


aeroespacial permite además determinar la batimetría (profundidades del océano) de un área determinada.

Frente a los objetivos en lo que se centra este estudio, se consideran como ventajas de esta tecnología, frente a otros métodos tradicionales:

- **El carácter digital de los datos (las imágenes son matrices numéricas).**
- **La homogeneidad de la toma de datos (el mismo sensor monitorea toda el área).**
- **La precisión de los resultados, generalmente submétrica, pues tiene una base física.**
- **Realizar búsquedas no invasivas en lugares remotos.**
- **Generación de mapas de prospección de sustancias de interés sin faenas en terreno.**
- **En aplicaciones ambientales (como en el presente estudio), permite realizar una evaluación ambiental limpia, sin intervención en las faena normalmente realizadas en los sectores en estudio.**
- **Tecnología y resultados validados y validables.**
- **Posibilidad de multitemporalidad y seguimiento.**

En base a estos criterios, **Geosensing Ltda.** ha desarrollado el presente estudio, utilizando una poderosa e innovadora herramienta tecnológica basada en información satelital, la cual permite prospectar, detectar, identificar, medir y cartografiar sustancias/compuestos presentes en el suelo, subsuelo (hasta 150 m de profundidad) y mar, la cual ha sido aplicada a dos recursos algales (*Macrocystis integrifolia* y *Lessonia trabeculata*); y una especie de pasto marino (*Heterozostera chilensis*).

La metodología de aplicación de esta tecnología se detalla a continuación.

| | | | | |
|---|--|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPACIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 10 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Identificar y dimensionar la presencia y biomasa de las algas *Macrocystis integrifolia* y *Lessonia trabeculata* y del pasto marino *Heterozostera chilensis*, mediante el seguimiento de sus patrones espectrales, en el sector de Bahía Chascos.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Obtener la firma espectral de las algas y pasto marino a monitorear, mediante radiometría de campo.
- b) Generar cartografía resultante de las áreas con presencia de algas y pasto marino en el sector de Bahía Chascos.
- c) Cubicar los volúmenes (biomasa) de las algas y el pasto marino monitoreadas en el área de estudio y determinar el área (en hectáreas) cubierta por estas especies, en el sector de Bahía Chascos.
- d) Determinar la batimetría del área estudiada y generar un modelo tridimensional (MDT) de las profundidades de la Bahía Chascos.

3. INFORMACIÓN PRELIMINAR

OMX Ltda. envió a Geosensing una imagen de GoogleEarth® con el detalle del área a prospectar. Esta corresponde aproximadamente a 13.5 km², que conforman el área de Bahía Chascos en la Región de Atacama (**Figura 4**).



| | | | | |
|---|---|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPAECIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 11 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |



Figura 4. Área indicada por OMX Ltda. en donde efectuar el estudio de teledetección aeroespacial.

| | | | | |
|---|--|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPAZIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 12 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |

4. INFORMACIÓN GENERAL DE LAS ESPECIES A DETECTAR

4.1 *Macrocystis integrifolia* (Huiro canutillo) y *Lessonia trabeculata* (Huiro palo)

Las algas pardas, Clase Phaeophyceae, en especial las correspondientes al Orden Laminariales, Familia Lessoniaceae, son componente importante de la zona intermareal y submareal de las áreas templadas. En estos ambientes intermareales y submareales someros, cercanos a los 30 metros de profundidad, de fondos duros, es posible el desarrollo de grandes asociaciones de algas formando los denominados “huiroles”. En ellos se constituyen zonas de alta productividad y albergan una importante diversidad y abundancia de macroinvertebrados y peces. Los discos de adhesión de las macroalgas que conforman estos huiroles son descritas como zonas de refugio contra la predación, corrientes de fondo y oleaje. A su vez, han sido descritas como áreas de desove, asentamiento de larvas y crianza de juveniles, generando focos de alta riqueza específica. Por otra parte, estas especies presentan una importancia económica importante, al ser recolectada por colectores de orilla y recientemente extraída mediante buceo semiautónomo y autónomo.

En el norte de Chile, *Macrocystis integrifolia* (denominado comúnmente como “huiro canutillo”) (**Figura 5**) y *Lessonia trabeculata* (“huiro palo”) (**Figura 6**), son los organismos dominantes en cobertura y biomasa en ambientes submareales someros de fondo rocoso. Entre los 18° y 32° S, estas especies coexisten en el submareal de fondo rocoso, indicándose distribuciones desde la zona intermareal hasta los 20 metros de profundidad. El rango de profundidad en el que habitan estas algas es variable, pudiendo llegar hasta los 40 metros en aguas altamente transparentes, como por ejemplo, algunas zonas de México (North, 1987). En Chile, los registros de estas especies hacen referencias a profundidades de hasta 25 – 30 metros (Universidad Católica del Norte 2008). Cabe destacar que estas macroalgas son altamente sensibles a los cambios de temperatura de la superficie del mar, constituyendo una de las especies que muestran mayores mortalidades durante los fenómenos El Niño (Vásquez & Vega, 2004).

En tanto, en Chile la extracción y recolección de estas algas es efectuada exclusivamente por pescadores artesanales, cuyos mayores esfuerzos están dirigidos a las especies *Lessonia nigrescens*, *Lessonia trabeculata* y *Macrocystis integrifolia*. Su utilización ha sido principalmente para la producción de alginatos.



| | | | | |
|---|--|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPACIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 13 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |



Figura 5. Detalle del alga *Macrocyctis integrifolia*. En el recuadro un detalle de los “cistos” o flotadores.



Figura 6. Detalle del alga *Lessonia trabeculata*.

| | | | | |
|---|---|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPAECIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 14 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |

Sin embargo, recientemente con la introducción del cultivo del abalón, estas especies comenzaron a ser extraídas manualmente desde las praderas para su utilización como alimento para esta industria. Cabe destacar que los abalones son especies de moluscos gasterópodos, que ramonean las frondas de las algas laminariales, llegando a consumir diariamente un tercio de su peso corporal, lo que hace significa una gran cantidad de algas para sustentar estos cultivos (Universidad Católica del Norte, 2008).

La distribución geográfica de las especies contempladas en este estudio corresponde a:


- *Lessonia trabeculata*: Desde el sur de Perú (20° S) hasta Mehuín (40° S).
- *Macrocystis integrifolia*: De distribución más amplia, con registros desde Alaska, Columbia Británica, Estados Americanos de Washington, Oregón y California. En América del Sur se encuentra en la costa centro-norte de Chile. Por tanto, se dice que su distribución es bi-polar (Universidad Católica del Norte, 2008).

Ambas especies presentan períodos reproductivos extensos con máximos en Invierno-Primavera, y disponibilidad de esporas durante casi todo el año, lo que permite que el alga se recupere rápidamente al ser removida de manera natural (Universidad Católica del Norte, 2008).

4.2 *Heterozostera chilensis* (pasto marino)

Los llamados pastos marinos, correspondientes a la Familia Zosteraceae, corresponden a plantas marinas monocotiledóneas que habitan el área submareal. Se distribuyen en mares templados y subtropicales. Muchas de las especies de pastos marinos se restringen a una distribución somera; sin embargo, existen algunas especies que son capaces de habitar a mayores profundidades, como por ejemplo *Heterozostera polychlamis* (Carruthers *et al.*, 2007).

Recientemente, Kuo en el año 2005, desarrolló estudios taxonómicos de la especie *Heterozostera tasmanica*, los que permitieron concluir que existen 4 especies diferentes para el género *Heterozostera*, entre ellas, *Heterozostera chilensis* (**Figura 7**), endémica para Chile, la que por mucho tiempo se estimó correspondía a *H. tasmanica*, como bien fue descrita por González (1990) para las dos praderas existentes en Chile. De esta manera, la especie estaría clasificada en la Clase Liliopsida y la Familia Zosteraceae.

| | | | | |
|---|--|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPAZIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 15 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |

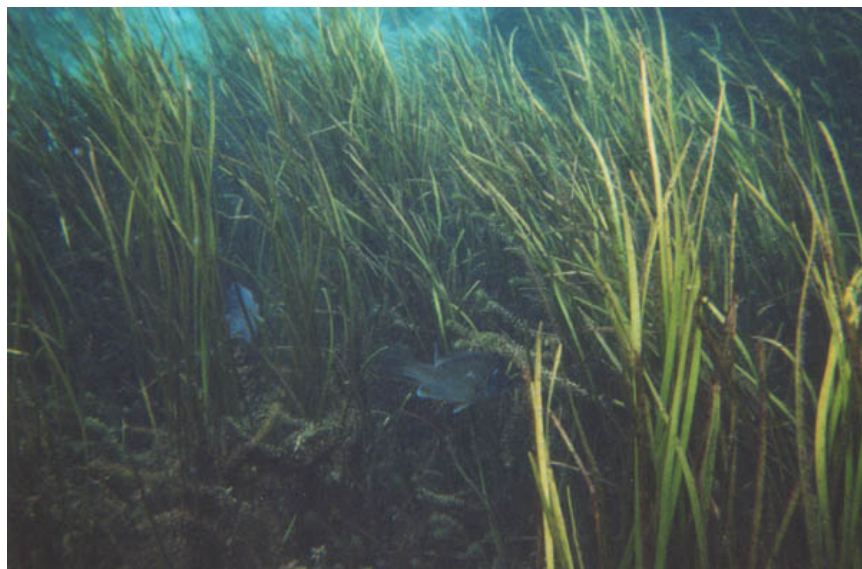



Figura 7. Detalle del pasto marino *Heterozostera chilensis*.

Estas dos praderas de *H. chilensis* se encuentran en la zona norte del país; una se registra en Bahía Chascos (27° 40' S), III Región y la otra se ubica en la zona de Bahía Tongoy, específicamente en la localidad de Puerto Aldea (30° 16' S), IV Región. En ambos casos se describe una distribución muy somera para esta especie, señalándose profundidades menores a 10 metros. Éstas corresponden a las únicas dos praderas de pasto marino de la costa Pacífico Sudamericano.

Si bien esta especie no tiene importancia comercial, estas praderas poseen una gran relevancia ecológica, dado que albergan una importante diversidad de organismos, que se asocian tanto de manera epífita en sus hojas como en el pie de la base de éstas.

Respecto a su rol en la cadena trófica, si bien pocos son los organismos que pastorean directamente en las hojas de *H. chilensis*, las hojas muertas se desprenden y caen, otorgando, junto con las raíces, una importante producción de detritos, el cual sirve de alimento a muchas especies y mantiene el ciclo activo del sulfuro. A su vez, la densidad de las hojas disminuye las corrientes de aguas cerca de la interfase del sedimento, promoviendo la depositación de éste. El sistema de raíces y rizomas se incorporan al sedimento y con ayuda de las hojas inhiben la erosión (Solana-Arellano, 2001).

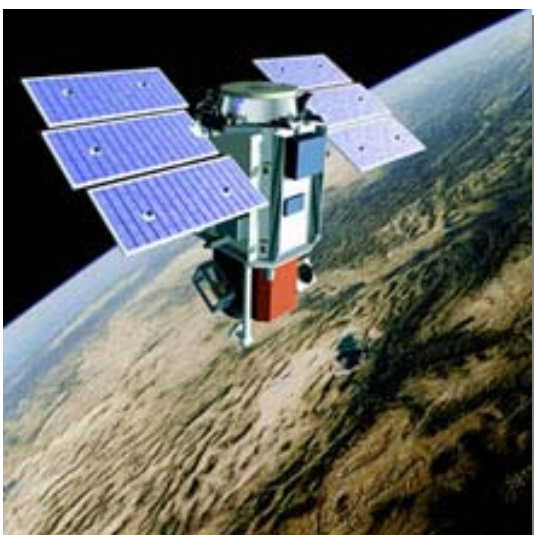
| | | | | |
|---|--|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPAZIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 16 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |

5. METODOLOGÍA PROPUESTA

5.1 Imágenes Utilizadas

Se utilizaron dos tipos de imágenes:


- Imágenes satelitales ópticas de alta resolución (QuickBird 2)
- Imágenes de radar de alta resolución (TerraSAR-X).

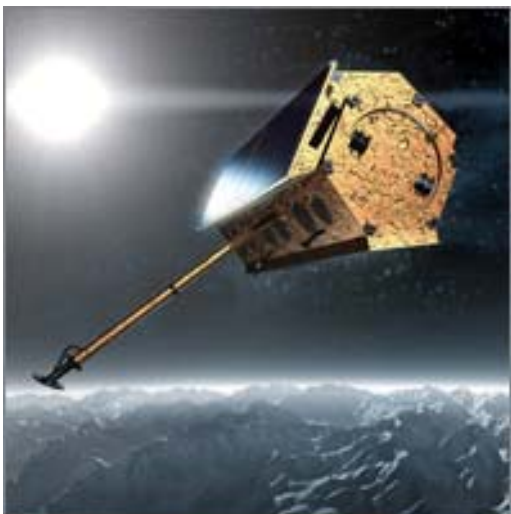


Las imágenes satelitales ópticas de alta resolución fueron obtenidas del satélite **QuickBird 2**, propiedad de DigitalGlobeTM. Este es el satélite comercial que posee actualmente la mayor resolución, llegando a ofrecer imágenes con resoluciones o tamaño de píxel de hasta 61 cm.

El satélite QuickBird, adquiere imágenes de tipo multiespectral y pancromática (espectro visible y ultravioleta), de forma simultánea, sobre extensas zonas de terreno que puede alcanzar los 16,5 km de longitud en una única pasada. Este satélite, puesto en órbita el 18 de octubre de 2001, se encuentra a 450 km de altura y realiza un órbita síncrona con el sol que dura 93,5 minutos. Tiene una inclinación de 97,2°, y 16,5 km en el nadir (punto más cercano al satélite, y que suele coincidir con el centro de la imagen). Es capaz de almacenar 160 Gbits a bordo.

La fusión de imágenes de ambos sensores (Pancromático y Multiespectral) permite obtener data multiespectral a **61 cm de resolución**. La data coleccionada por el satélite tiene una resolución radiométrica de 11 bit y el tamaño de cada escena es de 16,5 km x 16,5 km.

| | | | | |
|---|---|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPAECIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 17 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |



Por su parte, **TerraSAR-X**, de propiedad de la empresa de origen alemán Infoterra GmbH, es un Radar de Apertura Sintética (SAR en inglés), banda X, de matriz activa, capaz de adquirir datos de hasta 1 m de resolución. Esta operativo día y noche. Pasa por un mismo punto de la tierra cada 11 días. No obstante, su capacidad de observar a ambos lados de su trayectoria le permiten adquirir imágenes de cualquier punto de la Tierra cada 4,5 días; el 90% de estos puntos se alcanzan al cabo de 2 días.


Dado que la energía de microondas no se ve afectada por la nubes, TerraSar-X puede obtener imágenes de alta resolución en zonas donde la nubosidad no permite la operación de satélites ópticos ni de vuelos fotogramétricos. El sistema radar permiten deducir información acerca de la naturaleza de los objetos que muestran las imágenes, lo que no se logra con un sistema convencional.

La modalidad de la imagen obtenida en este estudio desde TerraSar-X fue la del tipo SpotLight, con una resolución de 1 m de resolución para una superficie de 5x10 km.

Es importante mencionar que las imágenes de TerraSAR-X no sólo pueden ser usadas para interpretación visual y mapeo como las imágenes ópticas, sino que también pueden ser analizadas con algoritmos de procesamientos especializados en información de esta naturaleza. Esta es la razón por la cual en el presente estudio, para el procesamiento de la información, se han “fusionado” ambas imágenes de manera de obtener una mayor resolución.

5.2 Período de Monitoreo

Las imágenes fueron adquiridas el día 06 de mayo de 2009.


| | | | | |
|---|--|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPAZIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 18 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |

5.3 Zona de Estudio

La zona de estudio correspondió a la Bahía Chascos, Región de Atacama (**Figura 8**).



Figura 8. Bahía Chascos, Región de Atacama. Se presenta al costado superior derecho un detalle de Caleta Chascos ubicada al SW de la Bahía.


| | | | | |
|---|--|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPAZIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 19 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |

5.4 Identificación del Patrón Espectral de las Algas y el Pasto Marino

Con el objeto de identificar la firma espectral de las algas (*Macrocystis integrifolia* y *Lessonia trabeculata*) y el pasto marino (*Heterozostera chilensis*), se midieron, mediante un radiómetro manual multispectral (**Figura 9**) las respectivas firmas, asociando gráficamente el porcentaje de reflectividad con longitudes de onda, medidas en micrómetros. De la misma forma, se generaron firmas espectrales planas con un georadar manual, con el objetivo de poder diferenciar y fusionar la información obtenida en las bandas visibles, infrarrojas y microondas (radar).



Figura 9. Obtención de las firmas espectrales de *M. integrifolia*, *L. trabeculata* y *H. chilensis* en etreno mediante radiómetro manual hiperspectral.

| | | | | |
|---|--|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPAECIAL DE M. integrifolia, L. trabeculata y H. chilensis EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 20 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |

5.5 Análisis Digital de las Imágenes

Para generar los productos solicitados por OMX Ltda., se procedió a adquirir y analizar una imagen óptica QuickBird II, y una imagen activa del satélite TerraSar-X del día 6 de mayo de 2009 (**Figura 10**). Es importante destacar que los parámetros orbitales y angulares de la toma de información por parte de este sensor (TerraSar-X), fueron establecidas y planificadas por el consultor de este estudio, debido a que esta imagen era fundamental para el proceso de cubicación y generación de cartografía batimétrica. Los parámetros de la imagen han sido obtenidos directamente del satélite y se exponen la **Tabla 2**.

| System Parameters | | Orbit and Attitude Parameters | |
|--|---|---|---------------------------------|
| Radar carrier frequency | 9.65 GHz | Nominal orbit height at the equator | 514 km |
| Radiated RF Peak Power | 2 kW | Orbits / day | 15 ² / ₁₁ |
| Incidence angle range for stripmap / ScanSAR | 20° – 45° full performance (15°-60° accessible) | Revisit time (orbit repeat cycle) | 11 days |
| Polarizations | HH, VH, HV, VV | Inclination | 97.44° |
| Antenna length | 4.8 m | Ascending node equatorial crossing time | 18:00 ± 0.25 h (local time) |
| Nominal look direction | right | Attitude steering | “Total Zero Doppler Steering” |
| Antenna width | 0.7 m | | |
| Number of stripmap / ScanSAR elevation beams | 12 (full performance range) 27 (access range) | | |
| Number of spotlight elevation beams | 91 (full performance range) 122 (access range) | | |
| Number spotlight azimuth beams | 229 | | |
| Incidence angle range for spotlight modes | 20° – 55° full performance (15°-60° accessible) | | |
| Pulse Repetition Frequency (PRF) | 2.0 kHz – 6.5 kHz | | |
| Range Bandwidth | max. 150 MHz (300 MHz experimental) | | |

Tabla 2. Parámetros del satélite TerraSar-X.



| | | | | |
|---|--|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPAZIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 21 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |



Figura 10. Imagen radar TerraSar-X en su representación visible para el área de estudio.

| | | | | |
|---|--|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPACIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 22 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |

El objeto de utilizar ambas imágenes se debe a que cubren espectralmente distintas bandas del espectro electromagnético, y por lo tanto, contienen distintos tipos de datos. En el caso de la imagen óptica (QuickBird II), es factible discriminar vegetación, clorofila y sedimentos, mientras que con la imagen de radar (TerraSar-X) es factible generar batimetría y ubicar el fenómeno que nos interesa, debido a su diferencia angular entre la toma ascendente y la toma descendente.

Por lo anterior, el algoritmo generado (para cada imagen en particular), permite fusionar las matrices derivadas de su procesamiento, y por lo tanto, complementar la información generada de ambos tipos de imágenes.

5.6 Corrección Geométrica y Georreferenciación

Con el objeto de obtener la precisión adecuada a los requerimientos de este estudio, se procedió a corregir geoméricamente (georeferenciar) la información mediante la técnica de convolución cúbica, “debido a que esta considera los niveles digitales (ND) de los 16 píxeles más próximos, y tiene como característica fundamental el mejorar visualmente los elementos geoméricos (lineales) de una imagen” (Zavala, 2001), aspectos que son de interés para este trabajo.

Para lo anterior se utilizaron 15 puntos de control terrestre obtenidos con *GPS* diferenciales de alta resolución, en coordenadas UTM, distribuidos sobre el territorio mediante la técnica de muestreo estratificado simple (**Tabla 3**). El elipsoide y Datum aplicado fue WGS84, obteniéndose un error cuadrático medio (*RMS*) de **0,72 metros de posicionamiento**, lo que le otorga similar precisión a la cartografía generada, debido a que las imágenes fueron previamente remuestreadas de acuerdo al modelo de Richards, lo que permite establecer la no pérdida de los valores originales de la conversión analógica digital que realiza el sensor al monitorear la superficie terrestre.

Para la corrección atmosférica de la imagen *visible*, y de acuerdo a los parámetros físicos de la zona, se optó por aplicar el método de corrección simplificada conocido como *Dark Object Subtraction*, debido a que los valores para corrección se obtienen a partir de la misma imagen a ser corregida, y no es necesaria ninguna otra información sobre las condiciones atmosféricas.


| | | | | |
|---|--|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPAZIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 23 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |


Tabla 3
Coordenadas de los puntos de control terrestre.

| Coordenada Este | Coordenada Norte |
|-----------------|------------------|
| 301470,68 | 6936477,61 |
| 301480,47 | 6936470,7 |
| 301486,13 | 6936453,71 |
| 301440,02 | 6936391,58 |
| 301439,93 | 6936328,68 |
| 302521,14 | 6935519,57 |
| 302335,39 | 6935546,99 |
| 302406,23 | 6935602,19 |
| 301994,35 | 6935621,76 |
| 303713,48 | 6936157,53 |
| 303611,25 | 6936030,99 |
| 302777,76 | 6934810,41 |
| 303200,33 | 6933881,42 |
| 302346,62 | 6935130,42 |
| 303028,27 | 6935553,19 |

5.7 Clasificación

La clasificación digital se basó en la aplicación de un algoritmo, desarrollado por el **Geosensing Ltda.** para este proyecto, que se fundamenta en la conversión analógica digital de las firmas espectrales obtenidas en terreno, correlacionada a nivel de píxel, con las propiedades espectrales de las imágenes de satélite seleccionadas para este estudio.

Por lo anterior, y de acuerdo a nuestra experiencia, se aplicó el método de compresión en azimut, basado en la onda dispersada por el terreno. Para la disminución del ruido *speckle* se promediaron píxeles en la dirección azimutal, formando una imagen con vistas de número similar. Así, se consiguió reducir

| | | | | |
|---|--|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPAZIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 24 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |


considerablemente la desviación típica que produce *speckle*, e igualar el tamaño del píxel en azimut y en profundidad.

La técnica de clasificación correspondió a una red neuronal, denominada *autómata inteligente*, que se fundamenta en el entrenamiento del algoritmo, con el objeto de evitar la confusión en la adjudicación de la categoría buscada. En otras palabras, el objetivo es que no confunda, por ejemplo, *Macrocystis integrifolia* con *Lessonia trabeculata*, que a simple vista presentan un aspecto bastante similar.

5.8 Verificación de Resultados

En un principio, se propuso la verificación de los resultados del algoritmo aplicado, a través de la programación del paso del satélite, incluidos sus parámetros orbitales. Una vez realizada esta labor, se propuso localizar uno o dos recipientes con algas (piscinas) en la línea de costa, de tal forma de contratar la medición efectuada a través de Teledetección Aeroespacial, y la realizada de forma terrestre. Una vez validado el método, se procedería a cubicar la totalidad del área, con las mismas imágenes.

Sin Embargo, se optó por la manera más directa de verificar los resultados, esto es, a través de la generación de un mapa con la cartografía de la ubicación de las especies detectadas y su verificación directa en terreno. Para lo anterior, el día 14 de mayo de 2009 se planificó una salida a terreno con la participación de un buzo, embarcación y los implementos requeridos en terreno (GPS manual, ecosonda, cámara fotográfica digital, cámara de video, entro otros), de manera de seleccionar al azar puntos en el mapa e indicar al buzo que “bajara” y obtuviera muestras del alga o las algas presentes en el fondo o la presencia de pasto marino y subiera a superficie con dichas muestras.

| | | | | |
|---|--|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPAZIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 25 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |

6. RESULTADOS OBTENIDOS

6.1 Firmas o Huellas Espectrales

Se obtuvieron las siguientes firmas espectrales, que corresponden a cada una de las clases analizadas (**Figuras 11 a 13**).

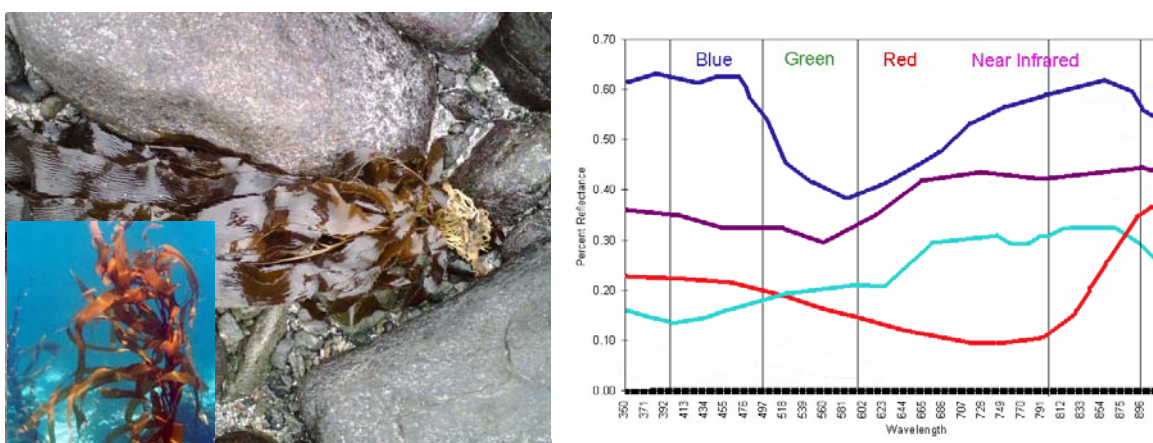


Figura 11. Ejemplares de *Macrocyctis integrifolia* y firma espectral de la especie.

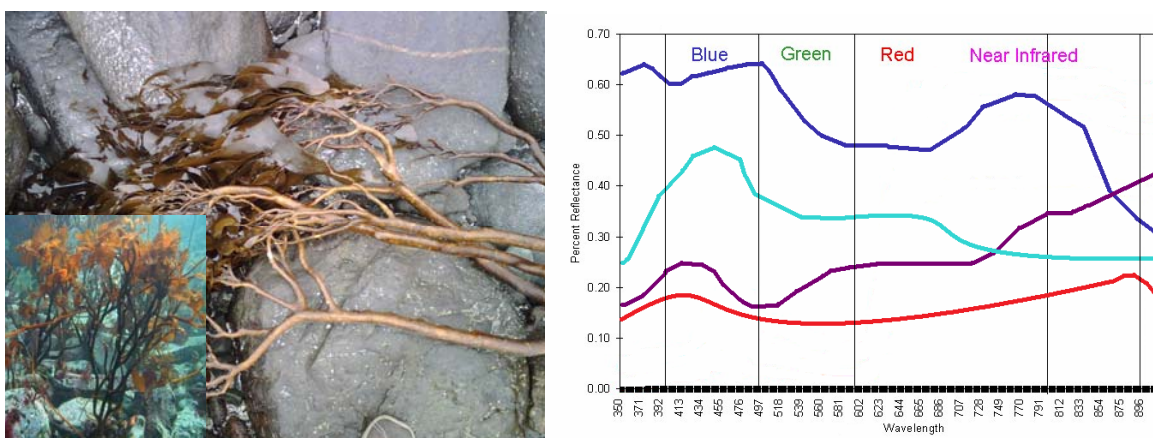



Figura 12. Ejemplares de *Lessonia trabeculata* y firma espectral de la especie.

| | | | | |
|---|---|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPAECIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 26 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |

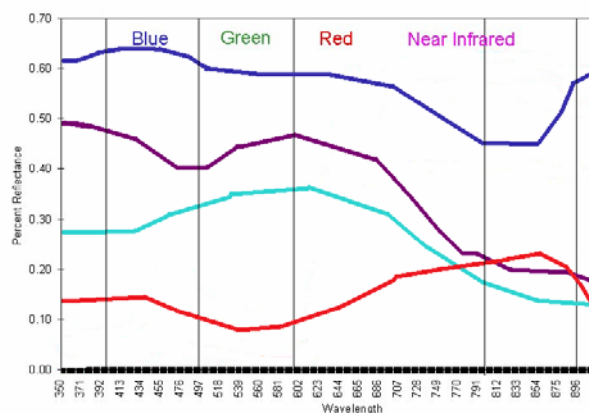


Figura 13. Ejemplares de *Heterozostera chilensis* y firma espectral de la especie.

Como puede apreciarse, las firmas espectrales son muy distintas desde el punto electromagnético, lo que permite asegurar una clasificación de calidad al momento de identificarlas y diferenciarlas desde un punto de vista radiométrico. Esto ocurre tanto en el espectro visible como en el espectro de microondas (radar).

6.2 Cartografía Batimétrica

Se generó la batimetría de la Bahía Chascos, basados en una matriz georeferenciada (que se adjunta en formato digital), y que permitió obtener la siguiente carta batimétrica y MDTs de la bahía (**Figuras 14 a 17**).

Nótese que Bahía Chascos es una bahía somera, alcanzando en el centro profundidades no mayores a 10 metros, aumentando su profundidad hacia la boca de la bahía. De particular interés es la zona ubicada al costado NW de la bahía, en el sector de Punta Cachos, donde se alcanzan profundidades de más de 50 metros de profundidad.



TELEDETECCIÓN AEROSPACIAL DE *M. integrifolia*, *L. trabeculata* y *H. chilensis*
EN BAHÍA CHASCOS
REGIÓN DE ATACAMA

IT GEOSBCH/052009

EDICIÓN/REVISIÓN
2/1

Fecha de emisión:
22 - 05 - 2009

Elaborado por:
Geosensing Ltda.

27

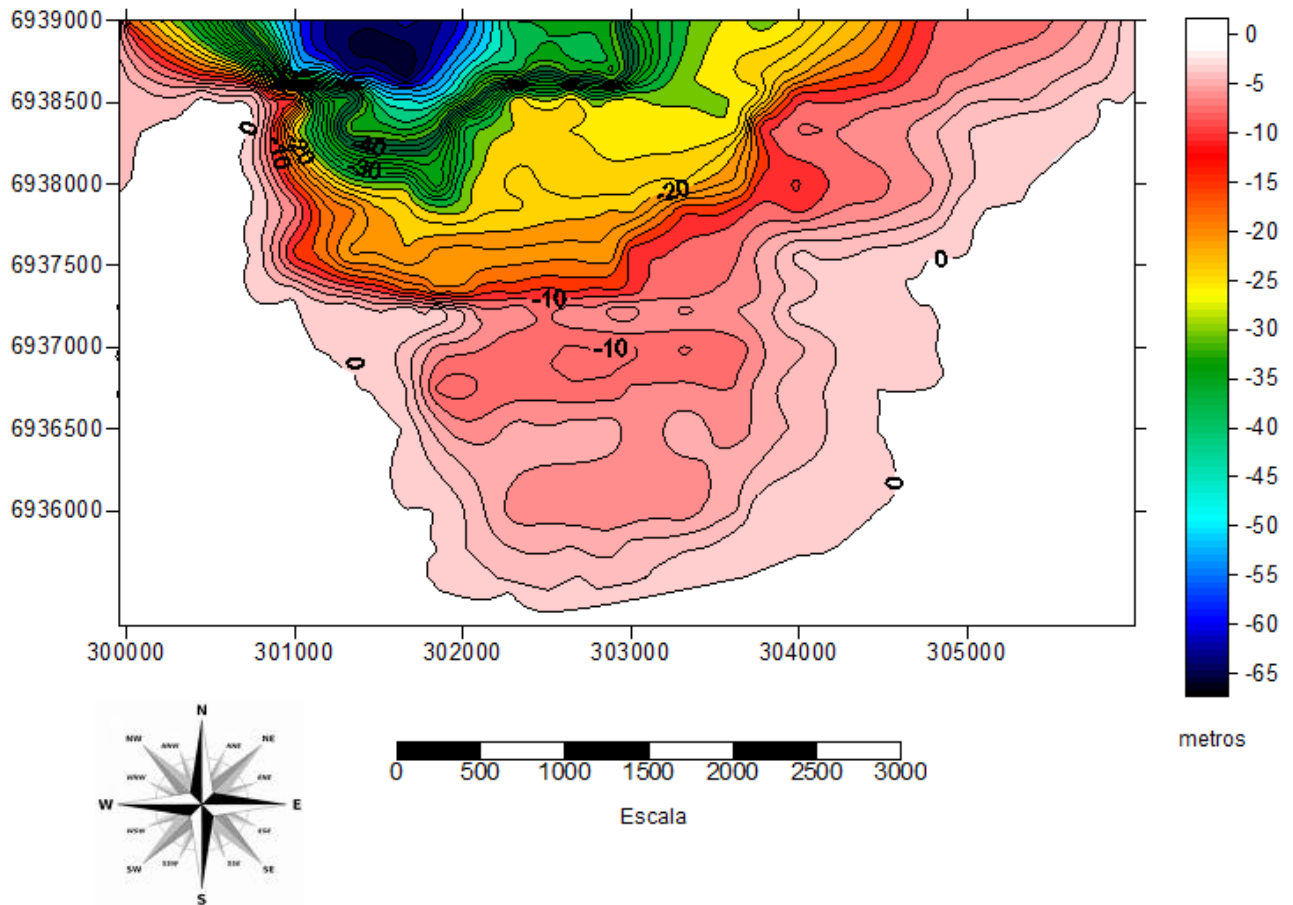


Figura 14. Carta batimétrica de la Bahía Chascos, obtenida a través de la información de teledetección aeroespacial.

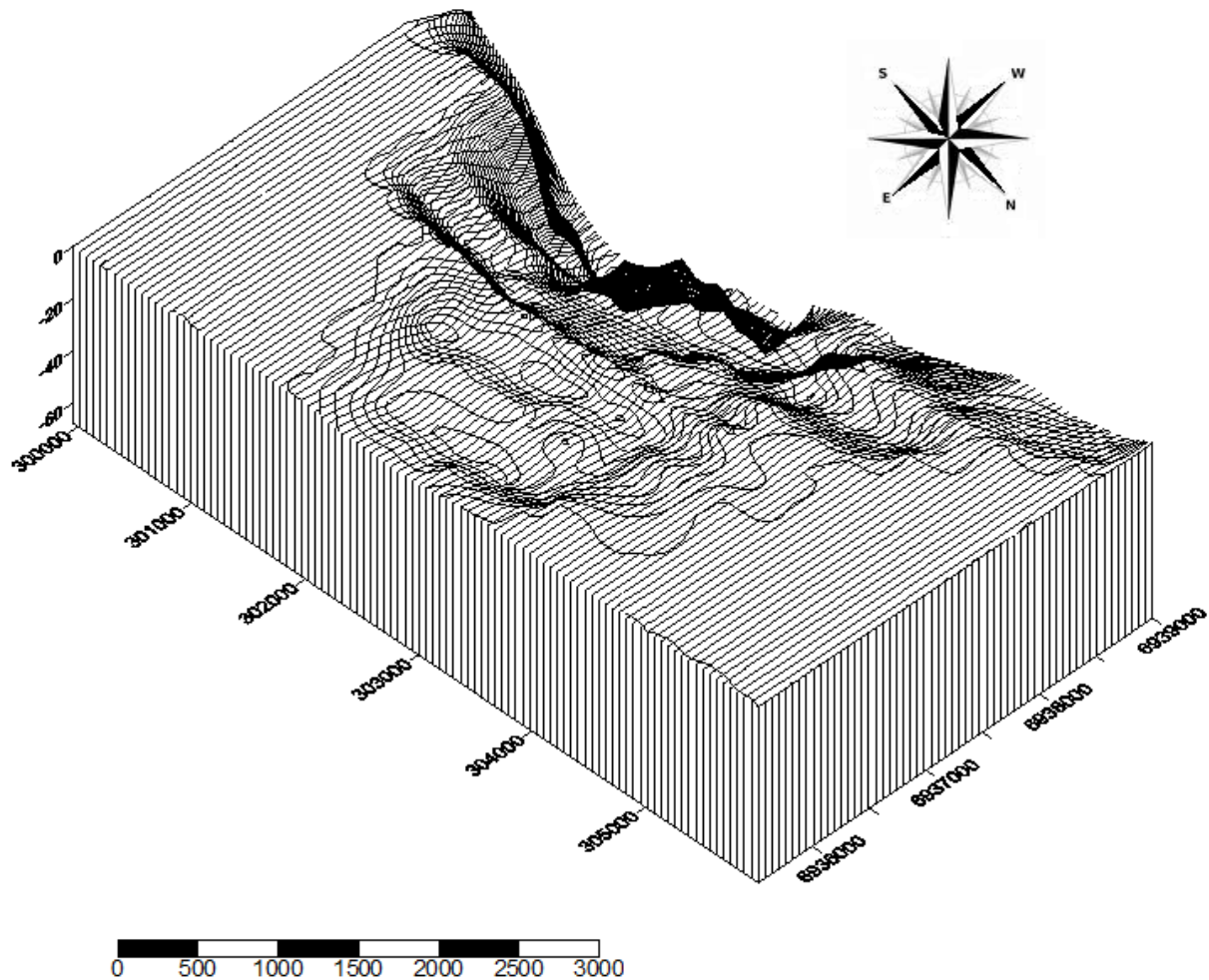



Figura 15. Carta batimétrica tridimensional (MDT) de Bahía Chascos, formato negro-gris estándar, obtenida a través de la información de teledetección aeroespacial.

| | | | | |
|---|---|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPAECIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 29 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |

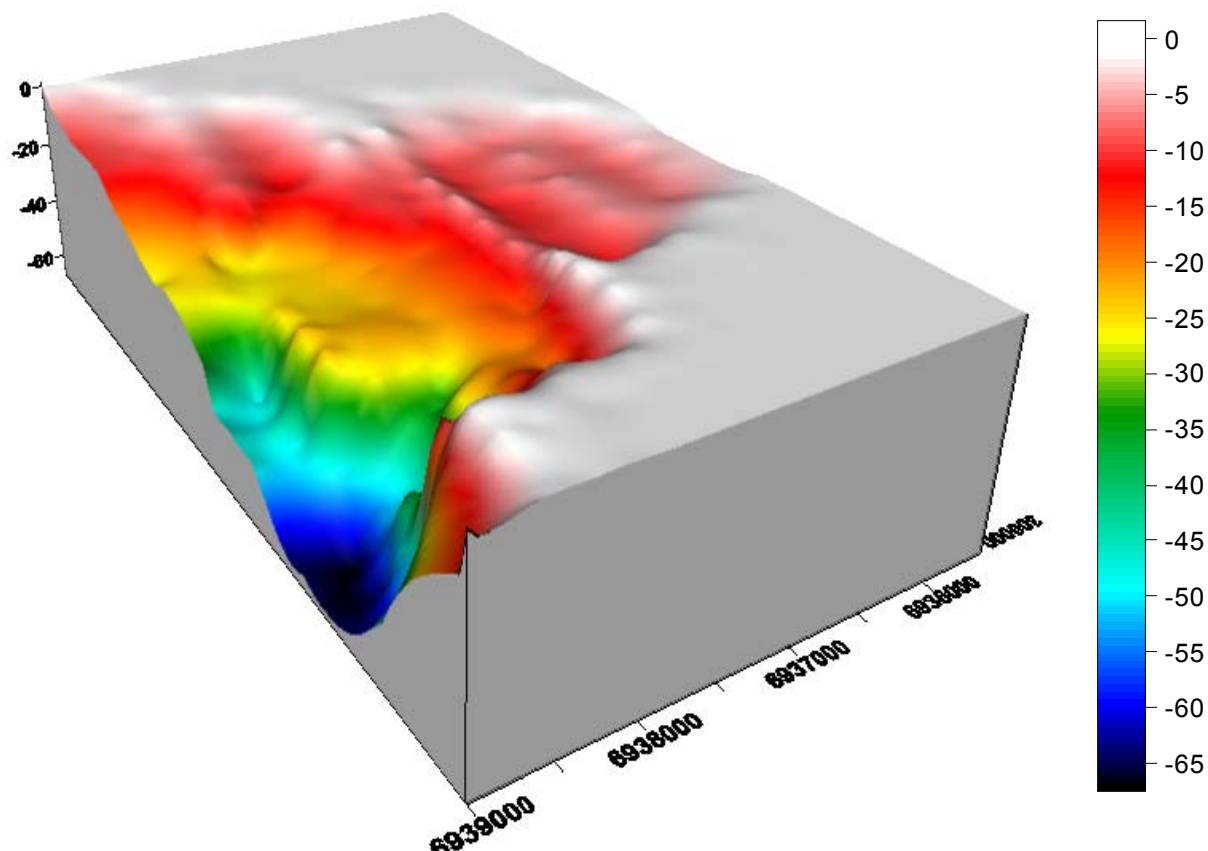



Figura 16. Carta batimétrica tridimensional (MDT) de Bahía Chascos, procesamiento en colores, obtenida a través de la información de teledetección aeroespacial. Vista desde el Sureste.

| | | | | |
|---|---|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROESPACIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 30 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |

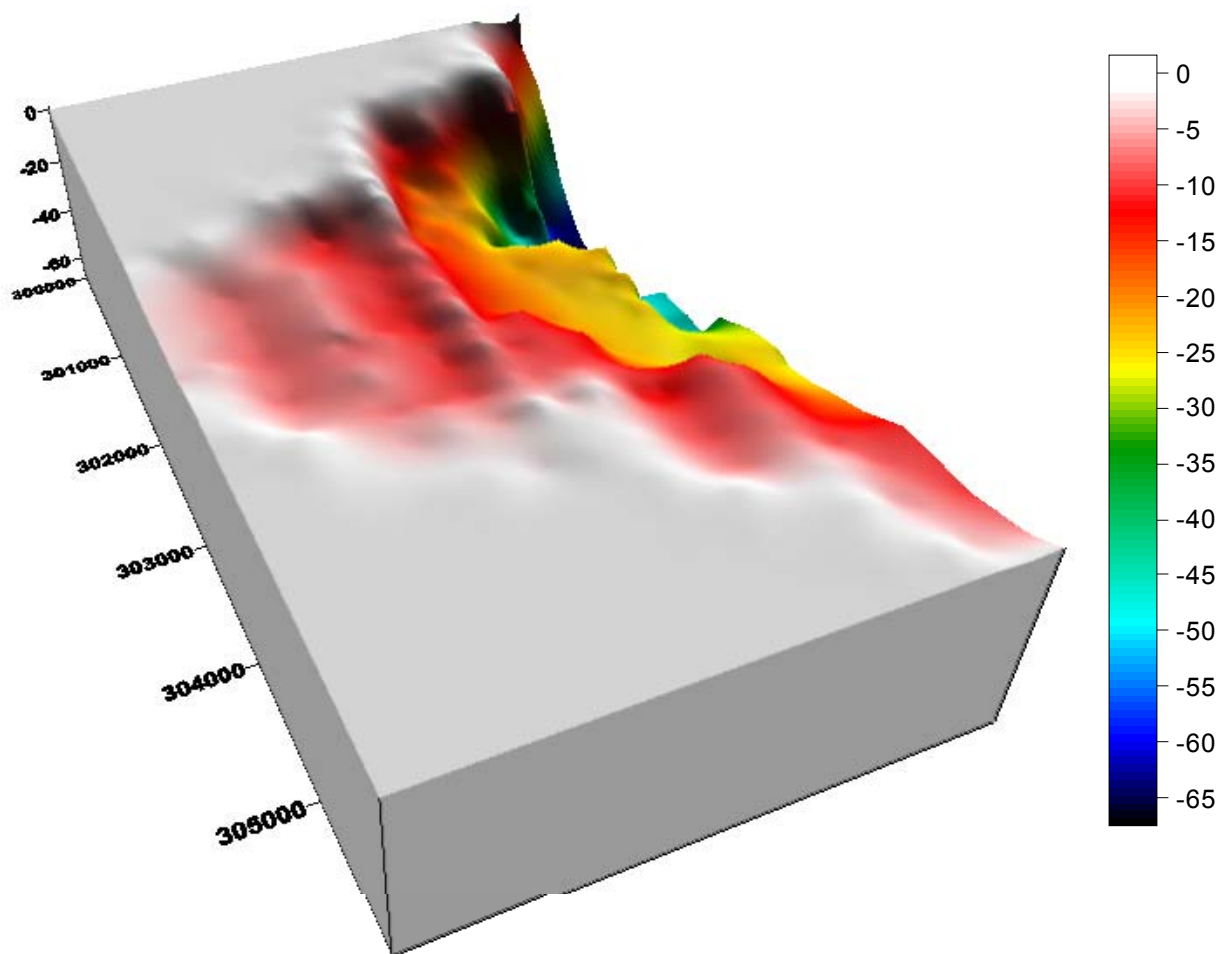



Figura 17. Carta batimétrica tridimensional (MDT) de Bahía Chascos, procesamiento en colores, obtenida a través de la información de teledetección aeroespacial. Vista desde el Noreste.

| | | | | |
|---|---|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPAECIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 31 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |

6.3 Distribución Espacial y Cubicación de las Especies Analizadas

Mediante el algoritmo ya señalado, se pudo identificar la distribución de las algas así como sus volúmenes, lo que se presenta en la siguiente cartografía (**Figura 18**).

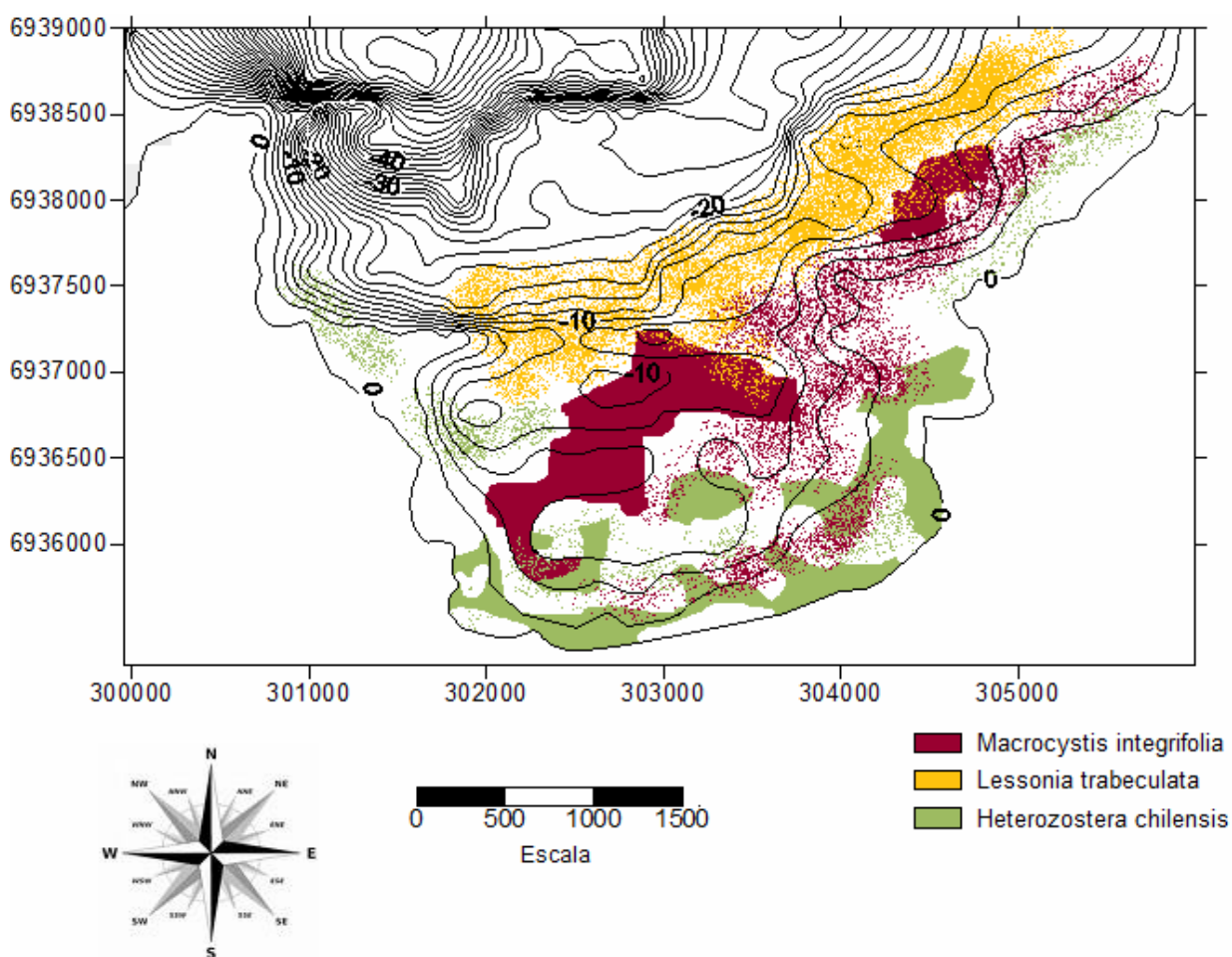



Figura 18. Distribución de las especies monitoreadas en Bahía Chascos.

| | | | | |
|---|---|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPAECIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 32 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |

En tanto, en las **Figura 19** y **20** se entrega una visión tridimensional (MDT) de la distribución de las tres especies analizadas.

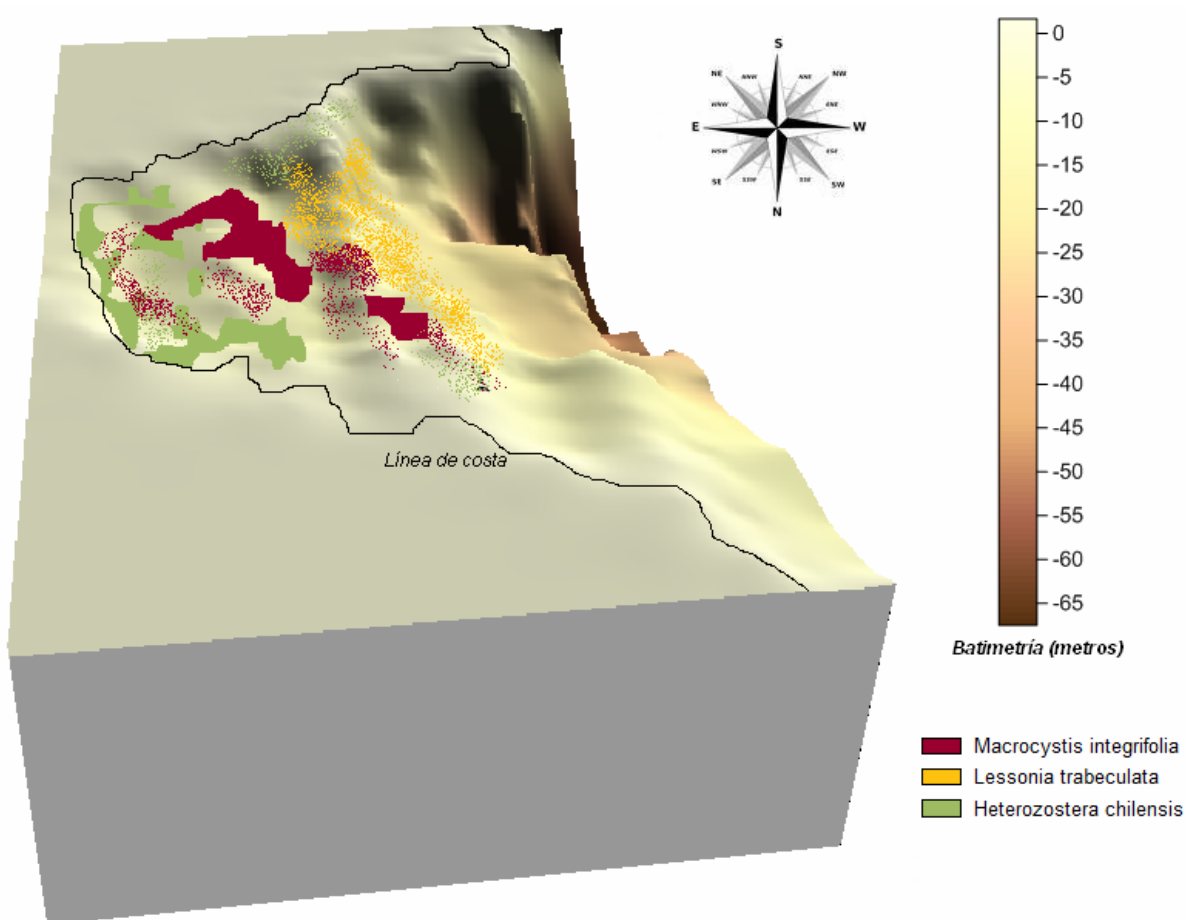



Figura 19. Distribución batimétrica tridimensional (MDT) de las tres especies estudiadas en Bahía Chascos, obtenida a través de la información de teledetección aeroespacial. Visión Norte-Sur.

| | | | | |
|---|--|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPAZIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 33 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |

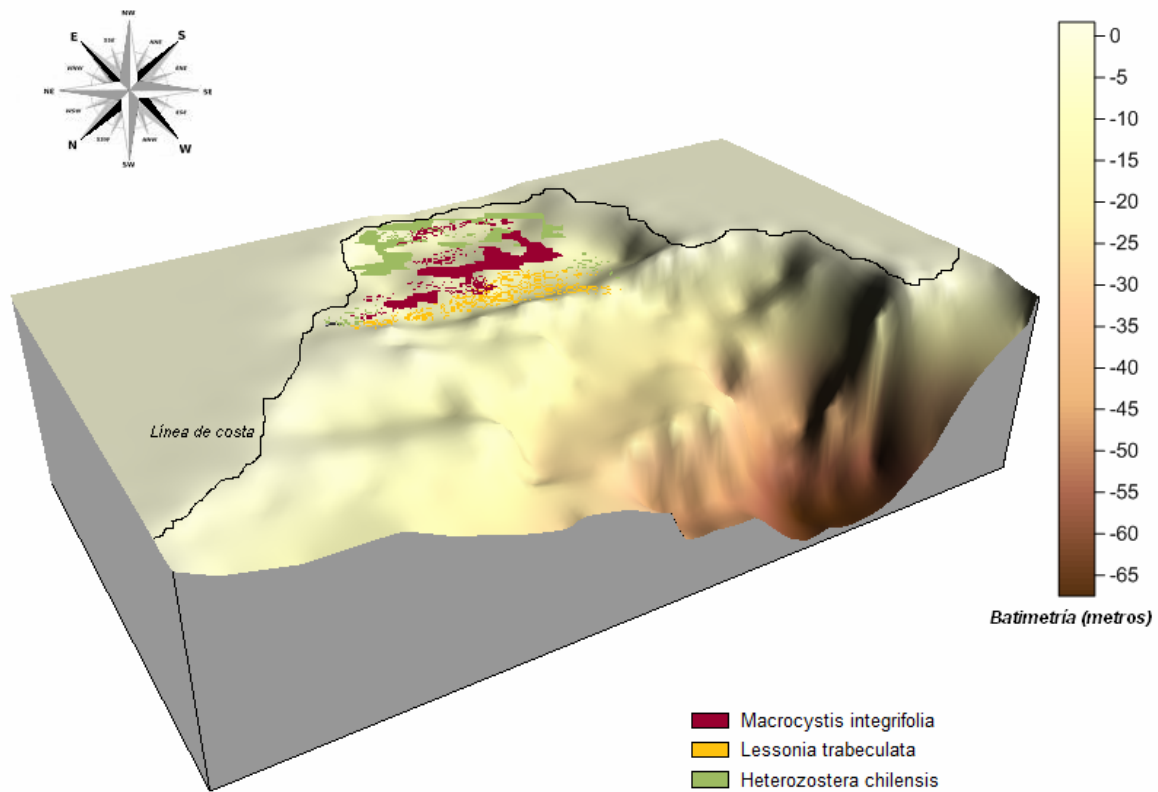



Figura 20. Ídem figura 14. Visión Norte-Oeste.

| | | | | |
|---|--|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPAZIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 34 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |


Dado que en el área de estudio no sólo se obtuvieron las firmas espectrales de las especies de interés de este estudio, sino también de otras algas presentes en el área, en el mapa de la **Figura 18** y las representaciones de las **Figuras 19 y 20** se presentan zonas homogéneas y zonas representadas como “achuradas”. Las primeras indican que en esas áreas se encuentra presente prácticamente sólo esa especie o es extremadamente dominante respecto a las restantes. En el segundo caso, la especie comparte su distribución con otras, distintas a las especies aquí monitoreadas. Debe indicarse al respecto que a parte de las especies ya indicadas, se obtuvieron un total de 10 firmas espectrales adicionales de algas halladas en el área, que se pudieron identificar debido a los patrones diferenciados que manifiestan, así como la geometría de su distribución.

En primer, puede observarse que en el caso de *Heterozostera chilensis* la especie se localiza preferentemente en la cabeza de la bahía, donde es la especie dominante, cubriendo también ciertos sectores de la zona NE de la bahía y presentándose en pequeños “parches” en el sector NW. En todos los casos esta especie se concentra a profundidades promedio 3 metros, llegando a poblar profundidades de hasta 10 metros aproximadamente.

Macrocystis integrifolia, por su parte, se localiza preferentemente en la zona centro y NE de la bahía, a profundidades que fluctúan entre los 4 y 12 metros. No obstante lo anterior, el alga se concentra en parches dominantes a profundidades de entre 8 a 10 metros en el centro de la bahía; en el resto de ella su distribución es menos homogénea y se presenta compartiendo el espacio con otras algas no consideradas en este estudio.

Por su parte, *Lessonia trabeculata* se encuentra concentrada hacia la boca de Bahía Chascos, a profundidades superiores a los 10 metros. Ésta se localizaría preferentemente al centro de la bahía y hacia el costado NE de la misma. En todos los casos, la especie se encuentra compartiendo hábitat con otras especies algales.

Lo anterior permite establecer que las especies analizadas presentan una clara zonación en cuanto a su distribución, hallándose *Heterozostera chilensis* en profundidades someras, a “orillas” de la bahía; *Macrocystis integrifolia* se distribuiría hacia el centro de Bahía Chascos a profundidades de entre 4 y 12 metros, mientras que *Lessonia trabeculata* se alejaría más de la costa, localizándose a profundidades superiores a los 10 metros, en el centro y costado NE de la Bahía Chascos.

| | | | | |
|---|---|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPAECIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 35 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |

En tanto, para el cálculo de las toneladas de las especies analizadas, se hizo uso del paso ascendente y descendente del sensor activo (imagen radar), que se programó con ángulos de captura de 30° a 37° en modo VV, con el objeto de obtener la tridimensionalidad no sólo de la bahía, para efectos de su modelamiento en 3D, sino que para la cubicación de las especies en estudio.

A partir del patrón espectral se procedió a cubicar la presencia de las algas señaladas sobre la base de su existencia en 1 metro cúbico, eliminando de este cálculo la presencia de agua y otros “objetos” marinos, derivados de la “anomalía espectral” que estos presentan en función de las firmas espectrales obtenidas en terreno (**Figura 21**).

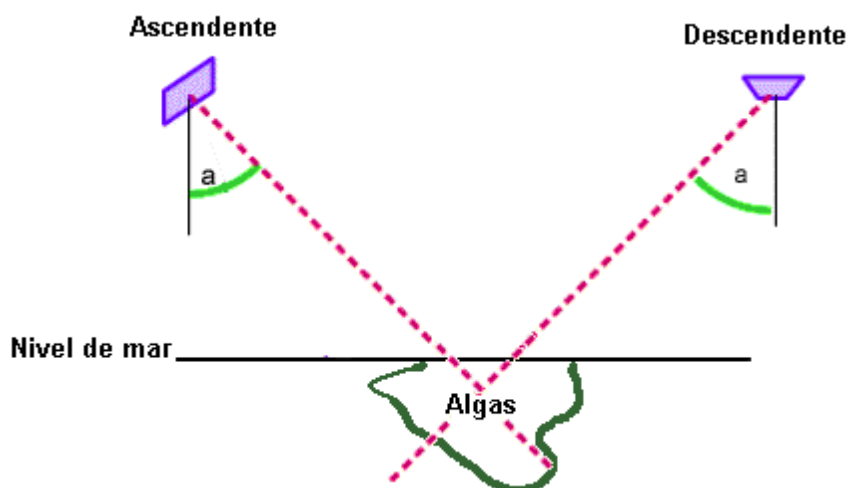



Figura 21. Visión angular del sensor radar (pasos descendentes y ascendentes).

| | | | | |
|---|--|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPAZIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 36 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |

Así, se pudo generar la siguiente tabla que denota la biomasa en toneladas de las especies en la zona en estudio y las hectáreas abarcadas por las mismas (**Tabla 4**):

Tabla 4

Cubicación (toneladas) de las especies analizadas en bahía Chascos (2009) y área abarcada por las especies (hectáreas) obtenidas a través de teledetección aeroespacial.


| Especie | Biomasa (toneladas) | Superficie (hectáreas) |
|---------------------------------|---------------------|------------------------|
| <i>Macrocystis integrifolia</i> | 51.254 | 382,61 |
| <i>Lessonia trabeculata</i> | 31.222 | 229,35 |
| <i>Heterozostera chilensis</i> | 29.521 | 227,71 |

De lo anterior se deduce que la especie con mayor biomasa presente en el área, de las 3 estudiadas, corresponde a *Macrocystis integrifolia* con una biomasa poblacional estimada de 51.254 toneladas, seguida por *Lessonia trabeculata* con 31.222 toneladas. En el caso del pasto marino *Heterozostera chilensis* los cálculos indican que esta especie presenta una biomasa de 29.521 toneladas en Bahía Chascos.

Por su parte, la información obtenida de la superficie cubierta por estas especies, indica que *M. integrifolia* cubre 382,61 hectáreas, *L. trabeculata* 229,35 hectáreas y *H. chilensis* 227,71 hectáreas.

De lo anterior se puede estimar que la densidad de las tres especies analizadas en Bahía Chascos es la siguiente:

- *M. integrifolia*: 133,95 toneladas/hectárea
- *L. trabeculata*: 136,13 toneladas/hectárea
- *H. chilensis*: 129,64 toneladas/hectárea

| | | | | |
|---|--|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPAZIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 37 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |

6.4 Verificación de los Resultados

Como se indicó anteriormente, se efectuó una campaña de terreno de verificación de los resultados, haciendo uso del mapa con la cartografía de la ubicación de las especies detectadas. En la **Figuras 22 a 26** se entregan evidencias fotográficas de la verificación en terreno de los resultados.

En todos los casos, el porcentaje de acierto fue del 100%.



Figura 22. Uso de GPS y ecosonda para verificación de las profundidades.


| | | | | |
|---|--|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPAZIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 38 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |



Figura 23. Buzo subiendo con *M. integrifolia* en zona así demarcada por el mapa de distribución de la especie. Profundidad 2,5 m (E 303754;N 6937634).



Figura 24. Buzo con *L. trabeculata* en zona dominada por esta especie de acuerdo mapa de distribución de la especie. Prof. 5,0 m (E 301931;N 6937176).



| | | | | |
|---|---|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPAIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 39 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |



Figura 25. Buzo con muestras de *H. chilensis* obtenida en las orillas de la boca de Bahía Chascos. Prof. 3,0 m (E 303754;N 6936342).




Figura 26. Bote recolector de algas, con sacos de *M. integrifolia*, en zona demarcada como dominante por esta especie de acuerdo a este estudio. (E 302920;N 6936405).

| | | | | |
|---|--|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPACIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 40 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |

7. CONCLUSIONES

La información antes detallada permite obtener las siguientes conclusiones:


- Las firmas espectrales de las tres especies analizadas en este estudio, *Macrocystis integrifolia*, *Lessonia trabeculata* y *Heterozostera chilensis*, fueron lo suficientemente distintas desde el punto electromagnético, lo que permitió asegurar una clasificación de calidad al momento de identificarlas y diferenciarlas desde un punto de vista radiométrico. Esto ocurre tanto en el espectro visible como en el espectro de microondas (radar).
- Fue posible generar la cartografía batimétrica de Bahía Chascos, la cual se caracterizaría por ser una bahía somera, alcanzando en el centro profundidades no mayores a 10 metros, aumentando su profundidad hacia la boca de la bahía. De particular interés resultó ser la zona ubicada al costado NW de la bahía, en el sector de Punta Cachos, donde se alcanzan profundidades de más de 50 metros de profundidad.
- Fue posible identificar las tres especies en estudio, cuya distribución mostró una clara zonación, hallándose *Heterozostera chilensis* en profundidades someras, a “orillas” de la bahía; *Macrocystis integrifolia* se distribuiría hacia el centro de Bahía Chascos a profundidades de entre 4 y 12 metros, mientras que *Lessonia trabeculata* se alejaría más de la costa, localizándose a profundidades superiores a los 10 metros, en el centro y costado NE de la Bahía Chascos.
- En relación a la biomasa de las especies analizadas en Bahía Chascos, *Macrocystis integrifolia* presentaría una biomasa poblacional estimada de 51.254 toneladas; *Lessonia trabeculata* alcanzaría las 31.222 toneladas y *Heterozostera chilensis* 29.521 toneladas.
- Desde el punto de vista de la superficie cubierta por las especies, *M. integrifolia* cubriría un área de 382,61 hectáreas, *L. trabeculata* 229,35 hectáreas y *H. chilensis* 227,71 hectáreas.
- La densidad de las especies analizadas en Bahía Chascos estaría encabezada por *M. integrifolia* con 133,95 toneladas/hectárea; seguida por *L. trabeculata* con 136,13 ton/ha y *H. chilensis* con 129,64 ton/ha.

| | | | | |
|---|---|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPAECIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 41 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |

- Finalmente, la verificación en terreno de los resultados obtenidos mediante teledetección espacial, arrojaron un porcentaje de acierto del 100%.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Belsher, T. & M.C. Mouchot. 1992. Use of satellite imagery in management of giant kelp resources, Morbihan Gulf, Kerguelen archipelago. Evaluation, par teledetection satellitaire, des stocks de *Macrocystis pyrifera* dans le golfe du Morbihan (archipel de Kerguelen). OCEANOL.-ACTA. vol. 15, no. 3, pp. 297-307.
- Carruthers T, W Dennison, M Waycott, D Walker & M Cambridge. 2007. Seagrasses of south-west Australia: A conceptual synthesis of the world's most diverse and extensive seagrass meadows. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 350 (1): 21 – 45
- Deysher, L.E. 1993. Evaluation of remote sensing techniques for monitoring giant kelp populations. 14. Int. Seaweed Symp., Brest (France), 16-21 Aug 1992. FOURTEENTH-INTERNATIONAL-SEAWEED-SYMPOSIUM.
- González S. 1990. Extension of the range of *Heterozostera tasmanica* (Martens ex Aschers.) den Hartog in Chile. Aquatic Botany 38 (4): 391 – 395
- Helgeson, G.A. 1970. Water depth and distance penetration. Photoqrammetric Engineering 36: 164-172.
- Jamison, D.W. 1971. Aerial remote sensing as a tool in seaweed surveys. Proc. Intl. Seaweed sYmP 7: 351-357.
- Kuo J. 2005. Una revisión del género *Heterozostera* (Zosteracea). Aquatic Botany 81 (2): 97 – 140
- Mumford, T.F. 1989. Survey, GIS mapping, and biomass/productivity determination of Kelp Beds off the Outer Coast and Straits of Juan de Fuca, Washington. Final Report, CZM Grant Num. C009002.
- North W. 1987. Biology of the *Macrocystis* resource in North America. En: Doty M, J Caddy & B Santelices. 1987. Case Studies of Seven Commercial

| | | | | |
|---|--|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPAZIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 42 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |

Seaweed Resources. FAO Fisheries Technical Paper 281 Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma. pp 311.

Rogne, T., MacDonald, I., Smith, A. & M.C. Kennicutt 1993. Multi-spectral remote sensing and truth data from the Tenyo-Maru oil spill. Photoaerometric Engineering and Remote Sensing V59 N3: 391-397.

Solana-Arellano E. 2001. Utilización de métodos cuantitativos para el estudio de la dinámica de los pastos marinos: Una revisión crítica. Revista de Biología Marina y Oceanografía 36 (2): 165 – 180

Stekoll M.S., Deysher, L.E. & M. Hess. 2006. A remote sensing approach to estimating harvestable kelp biomass. Journal of Applied Phycology ISSN 0921-8971.


Universidad Católica del Norte. 2008. Bases ecológicas y evaluación de usos alternativos para el manejo de praderas de algas pardas de la III y IV Regiones. Informe Final Proyecto FIP 2005-22. Pp 223.

Vásquez J & A Vega. 2004. El Niño 1997-98 en el norte de Chile: efectos en la estructura y organización de comunidades submareales dominadas por algas pardas. En: Avaria S, J Carrasco, J Rutllant & E Yañez (eds) 2004. El Niño – La Niña 1997 – 2000. Sus efectos en Chile. CONA, Chile, Valparaíso. pp 119-135.

Zavala, 2001. Manual de análisis digital de imágenes de alta resolución. Ediciones GeoTerra, Lima, Perú.

Zavala, P. 2003. Aplicaciones de Teledetección en estudios de peligrosidad sísmica. Revista Geoexpo. Lima Perú. Año 3. N° 5.

Zavala, P. 2006. Análisis espacial de vulnerabilidad sísmica aplicando Teledetección y SIG. Trabajos in extenso de la Conferencia Espacial de las Américas. Quito, Ecuador.

| | | | | |
|---|--|-------------------------------------|---|----|
|  | TELEDETECCIÓN AEROSPACIAL DE <i>M. integrifolia</i>, <i>L. trabeculata</i> y <i>H. chilensis</i> EN BAHÍA CHASCOS REGIÓN DE ATACAMA | IT GEOSBCH/052009 | EDICIÓN/REVISIÓN 2/1 | 43 |
| | | Fecha de emisión: 22 - 05 - 2009 | Elaborado por: Geosensing Ltda. | |

Geosensing Ltda.

Viña del Mar, 25 de Mayo de 2009