



Determinación de áreas potenciales para el cultivo de la macroalga gracilaria sp con imágenes satelitales en el caribe colombiano

Use of Satellite Imagery to Determine Potential Areas for the Cultivation of Gracilaria SP. Seaweed in the Colombian Caribbean

*Diego Fernando Cabezas Alzate¹ Michael Andrés Arredondo Mendoza²
Francisco Luis Hernández Torres³*

Para citar este artículo: Cabezas, D., Arredondo, M. y Hernández, F. (2016). Determinación de áreas potenciales para el cultivo de la macroalga gracilaria sp con imágenes satelitales en el caribe colombiano. *UD y la Geomática*, 11, 54-59.

Fecha de recepción: 15 de marzo de 2016

Fecha de aceptación: 06 de diciembre de 2016

RESUMEN

Para determinar las zonas potenciales para el cultivo de la macroalga roja (Gracilaria Sp) en las costas del Parque Nacional Natural Tayrona del departamento del Magdalena, Colombia, fue necesaria la estimación de cinco variables diferentes como la clorofila tipo a, la salinidad, la temperatura superficial del mar, el pH y la turbidez del agua, estos se utilizaron como indicadores de la posible presencia de dicha macroalga. El proceso se realizó mediante la implementación de técnicas de percepción remota con imágenes Modis; se utilizaron 954 bandas espectrales para las temporadas húmeda mayor y seca mayor de los años 2010 y 2011, se obtuvieron imágenes de la concentración de cada variable para cada una de las fechas establecidas. Finalmente, se generaron mapas mensuales de las zonas potenciales para el cultivo de Gracilaria, así como las imágenes mensuales de la persistencia temporal de las condiciones óptimas para que proliferen dichos organismos. Los resultados muestran que los meses más propicios para el cultivo y la proliferación de esta macroalga se presentan en las temporadas de sequía mayor para los dos años.

Palabras clave: clorofila-a, macroalgas, pH, salinidad, TSM, turbidez.

ABSTRACT

The determination of potential zones for the cultivation of red algae (Gracilaria Sp) along the coasts of the Tayrona National Park, in the Magdalena Department, Colombia, required the estimation of five independent variables: chlorophyll-a levels, salinity, surface temperature, pH and turbidity, which were used as indicators of the presence of this type of seaweed. This investigation was performed using remote sensing techniques with moderate-resolution spectroradiometry (Modis) images. A total of 954 spectral bands were used during the wet and dry seasons of 2010 and 2011. A map was obtained of the values of all variables on each of the established dates. Finally, monthly maps of the potential zones for the cultivation of Gracilaria were generated, as were monthly images of the time frames for the persistence of the optimal conditions for the proliferation of these organisms. The study results indicate that the most favorable months for the cultivation and proliferation of this type of seaweed occurred during the dry season of both years.

Key words: chlorophyll a, pH, salinity, seaweed, SST, turbidity.

1 Grupo de Investigación en Percepción Remota. Universidad del Valle. Correo electrónico: diegof.cal@gmail.com

2 Grupo de Investigación en Percepción Remota. Universidad del Valle. Correo electrónico: maycom9127@hotmail.com

3 Grupo de Investigación en Percepción Remota. Universidad del Valle. Correo electrónico: flhernand@gmail.com

Introducción

Las algas son organismos autótrofos, multicelulares, que llevan a cabo procesos de fotosíntesis (Álvarez, *et al.*, 2007), son empleadas en un gran número de productos que intervienen en los principales mercados mundiales como la industria alimentaria, salud y crudo (Cifuentes, 1986; Mumtaz, 2011; Ecopetrol, 2009). La determinación de la presencia de conglomerados naturales de macroalgas se realiza mediante la valoración de variables físicas como la temperatura, pH, clorofila tipo a y salinidad (Baos y Morales, 2007); por otro lado, el sensoramiento remoto ha sido muy utilizado recientemente en estudios oceanográficos, tanto físicos como biológicos, ya que permite estimar variables de interés en áreas extensas y en forma repetida (Dogliotti, 2007).

Mediante el uso de la teledetección pueden estimarse, entre otras variables, la concentración de clorofila a y la temperatura superficial del mar (TSM) y obtenerse información de mucha utilidad para estudios ecológicos y ambientales (Dogliotti, 2007). La TSM es una de las variables oceanográficas más utilizadas como indicador ambiental por estar relacionada con aspectos físicos como corrientes marinas, intensidad de los vientos superficiales, dinámica de la capa de mezcla, precipitación e intensidad de la radiación solar y cambios del nivel del mar (Bernal, *et al.*, 2006).

El pH como medida de calidad de las aguas también está relacionado con las algas, durante las primeras horas del día, los valores de pH son bajos (menores de siete) debido al exceso de CO₂ producido por la respiración bacteriana aerobia durante la noche.; al medio día el pH se eleva ya que las algas se encuentran en plena actividad fotosintética; finalmente, durante la noche el pH vuelve a declinar porque las algas dejan de consumir CO₂ y porque continúa la producción del mismo por la respiración de las bacterias (Dotro, *et al.*, 1994).

La concentración de clorofila a se utiliza para estimar en forma indirecta la biomasa de las comunidades fitoplanctónicas, debido a que es el principal pigmento fotosintético presente en las algas (Rivera, *et al.*, 2005); para determinar la concentración de clorofila, según Dogliotti (2007), el algoritmo OC4V4 es el algoritmo global que mejor estima las concentraciones de clorofila, este algoritmo emplea la razón entre las reflectancia de las longitudes de ondas correspondientes al azul y verde, multiplicándolas por constantes propias del algoritmo.

Otra de las variables que es necesario caracterizar para determinar la presencia de macroalgas es la salinidad. La salinidad es el contenido de sal disuelta en un cuerpo de agua; en los océanos influye directamente en la estructura y funcionamiento de los organismos que viven en ellos (Cardenas, 2011), el porcentaje medio que existe en los océanos es de 10,9 % (35 gramos por cada litro de agua),

destacando que esta varía según la intensidad de la evaporación o el aporte de agua dulce de los ríos, haciendo que aumente en relación a la cantidad de agua (Cifuentes, *et al.*, 1986).

Miller and McKee (2004) han demostrado el potencial de la teledetección para la detección y seguimiento de plumas de turbidez, el uso de las imágenes de satélite permite generar mapas sinópticos y evaluaciones rápidas del material en suspensión y de las propiedades ópticas relacionadas con la calidad del agua en los ecosistemas costeros (Bava, 2004); la salinidad calculada a partir de teledetección contempla la relación ente la sustancia amarilla y la salinidad (Bowers, *et al.*, 2004). La TSM es una de las variables oceanográficas más utilizadas como indicador ambiental e influye directamente en el proceso fotosintético de las algas (Bernal, *et al.*, 2006).

Lawson (1995), destaca el pH como un indicador importante de la calidad del agua, que influye de manera directa en la presencia, crecimiento y proliferación de la mayoría de las especies de macroalgas existentes en el océano.

Metodología

La zona de estudio se encuentra en las costas del Parque Nacional Tayrona, al norte del departamento del Magdalena, Colombia. En términos generales, la región exhibe cuatro periodos climáticos durante el año alternando épocas húmedas (septiembre-diciembre) con secas (diciembre-abril).

Para el desarrollo del proyecto se utilizaron 159 imágenes Modis, compuestas cada una por las bandas 1, 9, 10, 12, 31 y 32, lo que equivale a un total de 954 bandas espectrales; el estudio se realizó para los años de 2010 y 2011, abarcando las épocas de mayor lluvia y sequía para la zona, las que están entre los meses de enero, febrero y marzo para la época de sequía y los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre para la época húmeda mayor. Adicionalmente, se utilizó una serie de datos de campo de pH, suministrados por el programa Redcam del Invemar, que corresponden a puntos reales dentro del área de cobertura del proyecto. La georreferenciación de las imágenes se realizó mediante las herramientas Modis Reprojection Tools (LP DAAC, 2011) y MRT Swath (LP DAAC, 2010). Se utilizó el producto MOD03 que contiene las coordenadas geográficas, el cenit solar y del satélite además de los ángulos acimutales lo que permite georreferenciar los diferentes productos de Modis de primer nivel. Para la corrección de efectos atmosféricos se utilizó el método del pixel oscuro.

Con el objetivo de contrarrestar la presencia de las nubes en las imágenes, fue necesario realizar una reposición de píxeles con nubes mediante el promedio estadístico de los datos procesados; a partir de las imágenes libres de nubes se calcularon las variables.

Clorofila a (Cl-a)

Para la estimación de la clorofila a se utilizó el modelo OC4V4 que pertenece a la familia de algoritmos OC para el sensor Modis representado por la ecuación (1).

$$Cl - a = 10^{(a_0 + a_1 * R + a_2 * R^2 + a_3 * R^3 + a_4 * R^4)} \quad (1)$$

Donde $a_0=0.366$, $a_1=-3.067$, $a_2=1.930$, $a_3=0.649$, $a_4=-1.532$ y R es el logaritmo de base 10 de la razón entre las reflectancias de las bandas azul y verde respectivamente.

Temperatura Superficial del Mar (TSM)

Para este estudio se seleccionó un algoritmo de la familia Split Windows cuya estructura y funcionamiento se limita a variables y datos captados por sensores remotos, utilizado por Kharraz (2003) cuya expresión se presenta en la ecuación (2).

$$TSM = T_{31} + a_0(T_{31} - T_{32}) + a_1(T_{31} - T_{32})^2 + a_2 \quad (2)$$

Donde T_{31} , T_{32} son los valores de temperatura de brillo (T) de las bandas 31 y 32 de Modis, a_0 , a_1 y a_2 son coeficientes constantes cuyos valores son 2.75, 0.67 y 0.36 respectivamente. La temperatura de brillo para las bandas 31 y 32 de Modis se estimó mediante la ecuación utilizada por García *et al.* (2008).

Salinidad superficial del mar

Considerando que la salinidad superficial del mar (SSM) se encuentra fuertemente correlacionada con la materia orgánica disuelta (CDOM, por sus siglas en inglés) se aplicó la ecuación (3) propuesta por Binding y Bowers (2003), ya que este algoritmo se acoplaba de mejor forma a las condiciones naturales de la zona de estudio.

$$SSM = \alpha g_{440} + \beta \quad (3)$$

Donde α es igual a -11.5 y β es igual a 35.6. El valor de g_{440} se obtiene mediante la ecuación (4).

$$g_{440} = 0.635 * \left(\frac{R_{670}}{R_{490}} \right) + 0.103 \quad (4)$$

Donde R se refiere a la reflectividad en la región del espectro electromagnético correspondiente a 670 y 490 μm .

La unidad de medida para la salinidad en las ecuaciones (3) y (4) es en unidades prácticas de salinidad (PSU, por sus siglas en inglés).

Potencial de hidrógeno (pH)

Para el cálculo del pH en las imágenes se utilizó un conjunto de datos de campo de pH, suministrados por el programa Redcam del Invemar, de puntos en el área de cobertura del proyecto. Se realizó una regresión lineal de estos datos contra los datos de temperatura estimados con el fin de encontrar la ecuación que modela la relación de estas dos variables para la zona de estudio; de esta regresión se obtuvo la ecuación (5), que se aplicó para la imagen de TSM, obteniendo de este modo una imagen de pH del agua de mar.

$$pH = 0.7739 * \ln(TSM) + 5.5886 \quad (5)$$

Turbidez

Se aplicó la ecuación utilizada por Chen (2007), que permite realizar una estimación de la turbidez del agua en unidades nefelométricas de turbidez (NTU, por sus siglas en inglés).

$$Turbidez = 1203.9 * R_{rs}(645)^{1.087} \quad (6)$$

Donde $R_{rs}(645)$ corresponde a la reflectancia de la banda 1 (645 μm) de Modis. Para convertir los valores de NTU obtenidos de la ecuación (6) a valores de mg/m^3 se aplicó la ecuación (7) definida por:

$$SPM = 0.9946 * NTU \quad (7)$$

Donde SPM se refiere a la materia orgánica en suspensión dada en mg/m^3 .

Una vez calculadas y validadas las imágenes correspondientes a las variables mencionadas, se determinaron los rangos en los que prolifera la macroalga Gracilaria, para cada fecha; en este caso la Gracilaria depende de seis condiciones principalmente cuyos rangos se presentan en la Tabla 1.

La variable profundidad no se consideró puesto que se mantiene constante durante todo el periodo de tiempo empleado en este estudio. Por otro lado, para la determinación de las áreas aptas de proliferación, se empleó el método de intersección de capas (Invemar, 2010) (Figura 1).

Tabla 1. Condiciones de proliferación de la macroalga *Gracilaria* por cada variable

| Variable | Rango |
|--------------|-----------------------------|
| Temperatura | 23 - 25°C |
| Salinidad | 31 - 34 PSU |
| Turbidez | 105 - 250 mg/m ³ |
| pH | 8.1 - 8.3 |
| Chlorofila-a | 5 - 10 mg/m ³ |
| Profundidad | 0 - 20 m |

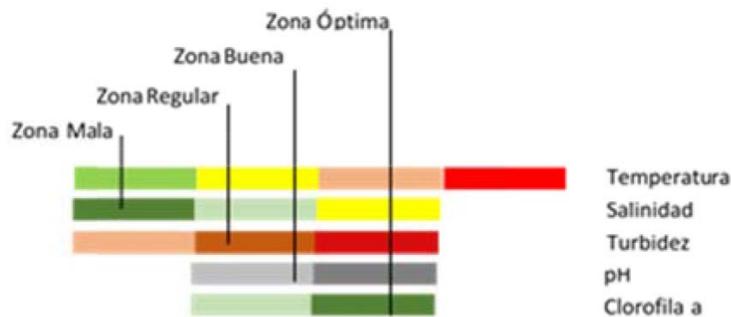


Figura 1. Intersección de capas según rango definido para las variables

Resultados

La ubicación de las zonas que cumplen con las condiciones, cambian de acuerdo con la época del año, en la época seca mayor (enero-marzo) se destaca que las zonas óptimas para el cultivo de *Gracilaria* se encuentran localizadas entre la Ciénaga de Santa Marta y la costa del Parque Natural Tayrona, aunque también pueden notarse pequeños parches en la parte este de la zona de estudio (Figura 2).

En la época húmeda mayor (septiembre-diciembre) las áreas que cumplen con las condiciones ambientales aptas para el ejemplar se encuentran hacia el este de la zona de estudio, entre el Parque Natural Tayrona y la baja Guajira (Figura 3).

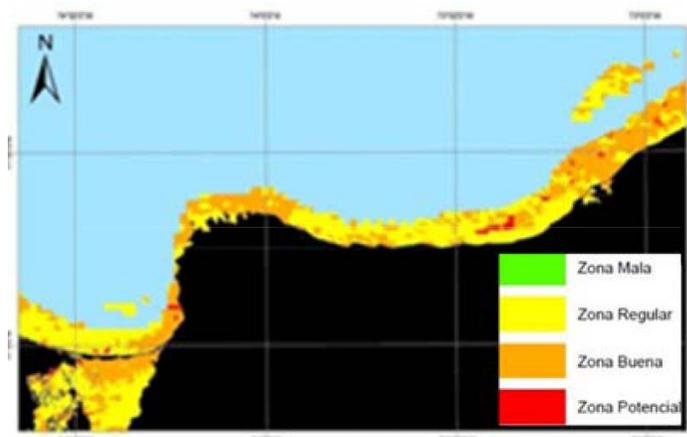


Figura 2. Sectorización por cumplimiento de condiciones para la época seca mayor de 2010 (febrero)

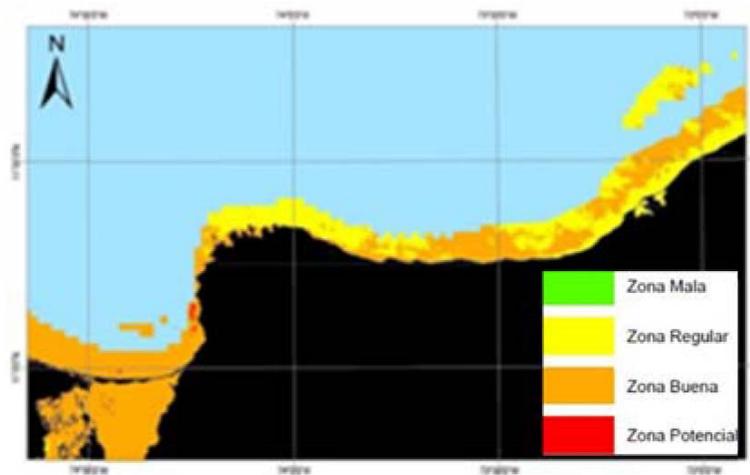


Figura 3. Sectorización por cumplimiento de condiciones para la época húmeda mayor de 2010 (diciembre)

Se determinaron las zonas con mayor prevalencia de las condiciones óptimas considerando la permanencia de un pixel en el rango óptimo, para este producto se tuvo en cuenta el número de imágenes utilizadas para cada mes: se definieron cuatro rangos que indican en porcentaje los niveles de permanencia (Figura 4).

Los productos de persistencia temporal indican la estabilidad de las aguas en cuanto al cumplimiento de condiciones óptimas.

Conclusiones

La mejor temporada para cultivar la *Gracilaria Sp* se presenta entre los meses diciembre y febrero (temporada seca), época durante la cual las condiciones del agua se presentan óptimas para la proliferación y el crecimiento de las macroalgas, este resultado concuerda con Edding *et al.* (2006), que menciona que el máximo crecimiento de la *Gracilariachilensis* ocurre entre la primavera y el verano. El

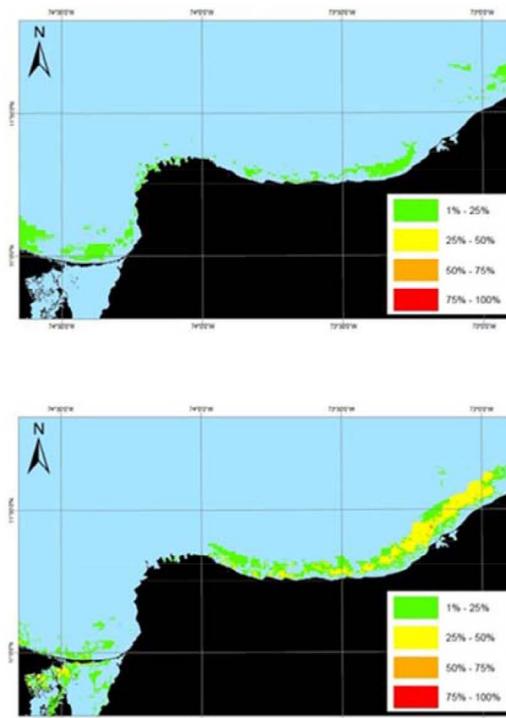


Figura 4. Persistencia temporal de las condiciones óptimas para la época seca mayor de 2010 (febrero) (a) y para la época húmeda mayor de 2010 (diciembre) (b)

comportamiento espacial y temporal de las aguas permite afirmar que el fenómeno de afloramiento comienza en diciembre, alcanza su punto máximo en enero y finaliza en febrero.

La metodología aplicada en esta investigación puede ser utilizada para identificar las zonas aptas para cultivar cualquier tipo de macroalga, así como para determinar su presencia física en una zona; de igual forma, se puede aplicar también para identificar zonas potenciales para la biodiversidad ya que tiene en cuenta variables de alto peso y que de una manera u otra dictan y modifican las áreas en donde se concentran la mayor cantidad de flora y fauna en los ecosistemas marinos.

Agradecimientos

Los autores manifiestan sus agradecimientos al Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés por el suministro de los datos de TSM, salinidad y pH.

Referencias

- Álvarez, R., Pardo, C., y Trespalacios, A. (2007). Evaluación y utilización potencial de las macroalgas marinas del caribe y el pacífico de Colombia: estado actual de su conocimiento. *Biosalud, Rev. Cienc. Básicas*, 7, 113-129.
- Baos, R. A., y Morales, S. (2007). *Algas asociadas a un manglar en el Pacífico colombiano. Municipio de Buenaventura-Valle del Cauca*. Universidad del Cauca: Facultad de Ciencias Agropecuarias, Grupo de investigación Nutrición Agropecuaria, 84-89.
- Bava, J. (2004). *Metodologías de procesamiento de imágenes NOAA-AVHRR y su utilización en aplicaciones oceanográficas y biológico-pesqueras en el Atlántico Sudoccidental*. Buenos Aires: Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
- Bernal, G., Poveda, G., Roldán, P., y Andrade, C. (2006). Patrones de variabilidad de las temperaturas superficiales del mar en la costa caribe colombiana. *Ciencias de la Tierra*, 195- 208.
- Binding, C. and Bowers, D. (2003). Measuring the salinity of the Clyde Sea from Remotely Sensed Ocean Colour. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 605-611.
- Bowers, D., Evans, D., Thomas, D., Ellis, K. and Williams, P. I. (2004). Interpreting the Colour of an Estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 13-20.
- Cardenas, J. (2011). La oceanografía moderna. *Cienciorama*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Recuperado de http://www.cienciorama.ccadet.unam.mx/articulos_extensos/78_extenso.pdf
- Chen, Z., Hu, C., and Muller-Karger, F. (2007). Monitoring Turbidity in Tampa Bay Using Modis/Aqua 250-m Imagery. *Remote Sensing of Environment*, 207-220.
- Cifuentes, J., Torres, M., y Frías, M. (1986). El océano y sus recursos XI. *Revista Acuicultura*.
- Dogliotti. (2007). *Estimación de la biomasa fitoplanctónica mediante sensoramiento remoto del color del mar y datos de campo en la plataforma continental patagónica*. Buenos Aires: Biblioteca Digital de la Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Buenos Aires.
- Dotro, P., Nardi, M., Rodríguez, D., y Rodríguez, V. (1994). *Estudio de la evolución del pH en función de la temperatura*. Club de Ciencias "Leonardo Da Vinci" Departamento de Investigación y Desarrollo.
- Ecopetrol. (2009). *Ecopetrol, energía para el futuro*. Recuperado de <http://www.ecopetrol.com.co/especiales/RevistaInnova3ed/idi2.htm>
- Edding, M., Tala, F., y Vásquez, J. (2006). *Fotosíntesis, productividad y algas marinas. Fisiología Vegetal*. Chile: Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile.
- García, M., Boulanger, P., Duque, J., and Giraldo, S. (2008). CFD Analysis of the Effect on Buoyancy Due to Terrain Temperature Based on an Integrated DEM and Landsat Infrared Imagery. *Ingeniería y Ciencia*, 65-84.
- Kharraz, J., y Sobrino, J. A. (2003). Estimación de la temperatura de la superficie terrestre y del contenido total en vapor de agua atmosférico a partir de datos Modis. *Revista de Teledetección*, 59-64.
- Lawson, T. (1995). *Fundamentals of Aquacultural Engineering. Department of Biological Engineering*. Louisiana: Louisiana State University.
- LP DAAC (2010). Modis Reprojection Tool Swath User Manual. Release 2.2
- LP DAAC (2011). Modis Reprojection Tool User's Manual. Release 4.1
- Miller, R., and McKee, B. (2004). Using Modis Terra 250 m imagery to map concentrations of total suspended matter in coastal waters. *Remote Sensing of Environment*, 259-266.
- Mumtaz, A. (2011). Algas, crece la demanda. *AQUA*, 92.
- Rivera, C., Zapata, Á., Pinilla, G., Donato, J., Chaparro, B., y Jimenez, P. (2005). Comparación de la estimación de la clorofila-a mediante los métodos espectrofotométrico y fluorométrico. *Acta Biológica Colombiana*, 95-103.

