

ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD DE LOS ECOSISTEMAS
OCEÁNICOS MEDIANTE EL ANÁLISIS DE IMÁGENES DE
CLOROFILA DEL SENSOR MODIS

Alumno: Francisco José Martínez Martínez

Director: José Antonio Piedra Fernández

Abril, 2012

Índice

1. Capítulo I: Introducción.....	5
1.1 Descripción General.....	6
1.2 Objetivos.....	7
1.3 Recursos.....	8
1.4 Metodología.....	12
1.5 Planificación.....	15
2. Capítulo II: Conceptos Teóricos.....	20
2.1 Visión Artificial.....	21
2.2 Teledetección.....	31
2.3 Estructuras Oceánicas.....	39
2.4 Lógica difusa.....	43
3. Capítulo III: Proyecto Desarrollado.....	48
3.1 Análisis.....	49
3.2 Diseño.....	52
3.3 Ficheros HDF.....	55
3.4 Tratamiento de imágenes.....	65
3.5 Cálculo de descriptores.....	73
3.6 Algoritmo de fusión basado en distancia.....	77
3.7 Aplicación Cliente.....	80
4. Capítulo IV: Resultados.....	87
4.1 Evaluación de los objetivos.....	88
4.2 Clasificación de regiones.....	90
4.3 Etiquetado de regiones.....	93
4.4 Comparación con SEAWIFS.....	96
5. Capítulo V: Conclusiones y Trabajos futuros.....	97
5.1 Conclusiones Finales.....	98
5.2 Trabajos Futuros.....	99
6. Anexo I.....	101
7. Anexo II.....	115
8. Anexo III.....	121
9. Bibliografía y Enlaces Web.....	125

Prologo y agradecimientos

CAPITULO I: Introducción

1.1 Descripción General

El siguiente documento presenta la memoria de un Proyecto Fin de Carrera realizado en el último curso de Ingeniería Informática. El ámbito con el que se corresponde es el de la “Visión artificial”, dentro del *Grupo de Análisis de Imágenes* de la Universidad de Almería.

Debido a los avances tecnológicos cada día los sistemas de teledetección son capaces de generar una cantidad mucho mayor de datos, gracias a los sensores multispectrales, a esto hay que añadir la gran cantidad de información obtenida tratando esos mismos datos. Todo esto hace necesario la creación de sistemas automáticos para el tratamiento, análisis y recuperación de toda esta información.

Entrando en el terreno de la oceanografía, se plantean una serie de problemas y obstáculos para estos sistemas automáticos, el mayor problema es el de la variación morfológica de las estructuras oceánicas, lo que impide que se pueda desarrollar un modelo matemático que permita utilizar técnicas clásicas.

El propósito del proyecto se centra en sentar las bases para el estudio de los ecosistemas oceánicos mediante el análisis de imágenes de clorofila procedentes del sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) [4]. Estas imágenes contienen información sobre la concentración de clorofila de tipo A, que se encuentra en la superficie marina, este tipo de clorofila se encuentra en la mayoría de las plantas y tiene la característica de absorber la luz durante la fotosíntesis eso permite que sea muy fácil de detectar por los sensores de los satélites. Por ello el proyecto desarrollará una aplicación que permite transformar una imagen tomada por el satélite en un conjunto de datos clasificados y estructurados para su posterior análisis. De esta forma los oceanógrafos podrán centrarse directamente en el estudio de las concentraciones de clorofila y a su vez del fitoplancton, así dispondrán de una herramienta de trabajo adaptada a sus necesidades y su trabajo.

Las imágenes con las que vamos a tratar en este proyecto proceden principalmente del sensor MODIS a bordo del satélite AQUA de la NASA [17]. AQUA sigue un tipo de órbita polar conocido como Sun synchronous, lo que significa que cruza el ecuador en la misma hora local en cada pasada. AQUA sube desde la órbita de sur a norte durante el día, cruza cerca del Polo Norte, los círculos alrededor de la Tierra de noche, y cruza el Polo Sur, cerca de volver a la cara durante el día. Esto permite al sensor MODIS crear una imagen casi completa de la tierra.

Los datos sobre la concentración de clorofila se obtienen a partir de los valores medidos por el sensor en un rango del espectro. Dichos datos son procesados para extraer unos valores fiables sobre la concentración de clorofila. El algoritmo de procesamiento ha sido validado con medidas in situ [7] y está siendo ampliamente utilizado. Los datos obtenidos se almacenan en un fichero HDF.

Las imágenes a utilizar corresponden a la costa africana y a las islas canarias, aunque también se optó por incluir imágenes de otras zonas geográficas como la costa de Estados Unidos. Las estructuras principales que abordará el sistema son afloramiento, giro cálido, giro frío, estelas y filamentos.

El proyecto desarrollado puede dividirse en 4 partes importantes, esta división es solo teórica, ya que en la práctica las cuatro partes están completamente integradas. Por un lado tenemos una aplicación basada en la tecnología Java Server Pages que actuará como interfaz para el usuario, a través de ella se realizarán las consultas, así como otros procesos como el etiquetado o los parámetros de clasificación.

Por otro lado una serie de pequeñas aplicaciones desarrolladas utilizando la librería OpenCv que nos permite realizar los procesos propios del tratamiento digital de imágenes, como por ejemplo filtrados y umbralizados [6], y para el caso particular de esta aplicación realizan los cálculos de las variables difusas [13]. El tercer punto es una base de datos que almacena toda la información de la aplicación, se encuentra instalada junto al servidor web donde se almacena la aplicación jsp.

Finalmente una aplicación realizada en Java que es utilizada para dos cosas, por un lado sirve para unir las distintas partes de la aplicación, y por otro lado la implementación de algunos descriptores y algoritmos [8]

Cabe destacar que para la realización de la aplicación se han incluido distintas tecnologías (Java, OpenCv, jsp,...), esto se ha hecho de esta forma con el objetivo de aprovechar las virtudes de cada una de esas tecnologías y que al combinarlas se obtuviese un sistema más robusto y fiable.

1.2 Objetivos

El objetivo principal del proyecto es el de desarrollar una aplicación que facilite la clasificación, análisis y recuperación de información de datos de imágenes de clorofila obtenidas con el sensor MODIS y realizar algunos estudios, pruebas y comparaciones sobre las mismas.

Los objetivos que nos hemos marcado para el proyecto son los siguientes:

1.2.1 Sistema de extracción de datos de los ficheros HDF.

La información original del sensor MODIS se encuentra almacenada en ficheros con extensión HDF, por tanto uno de los primeros objetivos que ha de cumplir la aplicación es el de extraer los datos y codificarlos para su uso posterior.

1.2.2 Tratamiento digital de la imagen.

Las imágenes extraídas han de pasar por un proceso dividido en 2 partes principales.

- Preprocesado: Parte destinada a eliminar defectos en la imagen y facilitar el proceso de segmentación
- Segmentación: Proceso para dividir la imagen en distintas regiones según una serie de criterios, para nuestro caso de estudio, segmentará por conjuntos difusos.

1.2.3 Calculo de descriptores.

Necesitamos extraer estos datos de cara a la clasificación, consulta y descripción de las estructuras, tras realizar el proceso e segmentación se han de poder extraer distintas características numéricas que definan las distintas divisiones creadas por la segmentación de la imagen.

1.2.4 Sistema de clasificación.

Un objetivo muy importante para la aplicación es la inclusión de sistemas de clasificación automáticos, que permitan trabajar tanto con lógica difusa como con descriptores clásicos

1.2.5 Sistema de recuperación.

Es necesario que el usuario de la aplicación sea capaz de acceder a los datos de la aplicación, además debe incluir un sistema de etiquetado automático que permita al experto añadir información a las imágenes.

1.2.6 Estudio sobre las imágenes.

Un objetivo final para el proyecto es el de realizar un pequeño estudio sobre las imágenes utilizadas comparándolas con otras del mismo tipo, y también con imágenes de distintos tipos para tratar de encontrar equivalencias. Este estudio se realizará utilizando la aplicación desarrollada.

1.3 Recursos

Para la realización de la aplicación se han utilizado varias tecnologías así como un conjunto de librerías desarrolladas por distintas empresas.

1.3.1 Java

Lenguaje de programación desarrollado por la empresa Sun Microsystem en el año 1996, utiliza parte de la sintaxis de C++ aunque lo hace de forma simplificado facilitando el desarrollo de aplicaciones.

Java es un lenguaje libre y por eso actualmente pueden encontrarse multitud de librerías para los fines más diversos, debido a su sencillez y facilidad de desarrollo y acceso ha tenido una gran extensión en la construcción de aplicaciones en Internet.

Sus principales características son:

1. **Simple:** Java ha sido diseñado para ofrecer la misma funcionalidad que cualquier lenguaje potente, como por ejemplo C++, pero sin las complicaciones de éste. Es muy similar a C++ por lo que su aprendizaje resulta sencillo si se conoce el primero.
2. **Orientado a objetos:** Java se encuentra ubicado en el paradigma de la programación orientada a objetos, tal vez de manera más intensa que otros lenguajes.
3. **Distribuido:** Proporciona las herramientas básicas para desarrollar programas distribuidos, distintos programas ejecutándose en diferentes quinas, cooperando entre sí.
4. **Robusto y seguro:** Java realiza verificaciones en busca de problemas tanto en tiempo de compilación como en tiempo de ejecución. Se trata de un sistema muy fiable y seguro (dentro de la categoría al que pertenece), muy depurado en cuestiones de optimización y gestión interna de la memoria.
5. **Portable:** Un mismo programa puede funcionar en distintos sistemas operativos y distintas arquitecturas de computadores. Se respetan los tipos de datos (mismo número de bits) y la ejecución normal de una aplicación.
6. **Independiente a la arquitectura:** Al compilar un programa en Java, el código resultante un tipo de código binario conocido como byte code. Este código es interpretado por diferentes computadoras de igual manera, solamente hay que implementar un intérprete para cada plataforma. De esa manera Java

1.3.2 *MySQL*

MySQL es un sistema de gestión de base de datos relacional, multihilo y multusuario con más de seis millones de instalaciones. MySQL AB —desde enero de 2008 una subsidiaria de Sun Microsystems y ésta a su vez de Oracle Corporation desde abril de 2009 — desarrolla MySQL como software libre en un esquema de licenciamiento dual.

Algunas de las características adiciones de interés son:

- Uso de multihilos mediante hilos del kernel.
- Usa tablas en disco b-tree para búsquedas rápidas con compresión de índice.
- Completo soporte para operadores y funciones en cláusulas select y where.
- Completo soporte para cláusulas group by y order by, soporte de funciones de agrupación.
- Los clientes se conectan al servidor MySQL usando sockets TCP/IP en cualquier plataforma. En sistemas Windows se pueden conectar usando named pipes y en sistemas Unix usando ficheros socket Unix.
- En MySQL 5.0, los clientes y servidores Windows se pueden conectar usando memoria compartida.

1.3.3 NetBeans

NetBeans se refiere a una plataforma para el desarrollo de aplicaciones de escritorio usando Java y a un entorno de desarrollo integrado (IDE).

La plataforma NetBeans permite que las aplicaciones sean desarrolladas a partir de un conjunto de módulos. Un módulo es un archivo Java que contiene clases de Java escritas para interactuar con las APIs de NetBeans y un archivo especial (manifest file) que lo identifica como módulo.

Debido a que los módulos pueden ser desarrollados independientemente, las aplicaciones basadas en la plataforma NetBeans pueden ser extendidas fácilmente por otros desarrolladores de software.

NetBeans es un proyecto de código abierto de gran éxito con una gran base de usuarios, Sun Microsystems fundó el proyecto de código abierto NetBeans en junio 2000 y continúa siendo el patrocinador principal de los proyectos

1.3.4 Librería HDFlib

HDF es el nombre de un conjunto de formatos de archivo y bibliotecas diseñadas para almacenar y organizar grandes cantidades de datos numéricos.

El formato HDF (Hierarchical Data Format) fue desarrollado originalmente por el National Center for Supercomputing Applications, en la

actualidad cuenta con el apoyo del grupo HDF cuyo objetivo es asegurar el continuo desarrollo de esta tecnología.

Esta librería contiene un conjunto de funciones y clases que permiten crear aplicaciones para el manejo de este tipo de ficheros, se ha utilizado la versión de la librería en Java.

1.3.5 *OpenCv*

Es una biblioteca libre de visión artificial desarrollada por Intel. Se ha utilizado en muchas aplicaciones, desde sistemas de seguridad con detección e movimiento hasta sistemas de reconocimiento facial, debido a su tipo e licencia permite que sea usada libremente para propósitos comerciales y de investigación.

Es multiplataforma, hay versiones para Mac, Linux y Windows disponiendo de más de 500 funciones abarcando múltiples tareas del proceso de visión artificial. Se pretende dar un entorno fácil de usar y muy eficiente, para ello la librería se desarrollo en C y C++, y aprovechando las capacidades de los procesadores multinúcleo.

1.3.6 *Eclipse*

Es un entorno de desarrollo integrado de código abierto multiplataforma para desarrollar aplicaciones integradas, permite la integración de numerosos plugins que permiten desde editores UML hasta desarrollar aplicaciones en lenguajes de programación distintos a Java.

Eclipse posee compilación en tiempo real, pruebas unitarias (JUnit), control de versiones (CSV), integración (ant) como características más interesantes.

Para el proyecto actual se utilizo un plugin que permitía la compilación en C++ para desarrollar subprogramas con la librería OpenCv

1.3.7 *JSP*

JavaServer Pages (JSP) es una tecnología Java para el desarrollo de contenido dinámico para web, desarrollado por la compañía Sun Microsystems.

Una de las ventajas de JSP es la facilidad para usar código Java, esto lo realiza mediante scripts, además de eso incluye algunos acciones predefinidas propias mediante etiquetas.

1.3.8 *Dreamweaver*

Herramienta de desarrollo de aplicaciones web inicialmente desarrollado por Macromedia (actualmente producido por Adobe Systems). Ampliamente utilizado por su elevada integración con otras herramientas como Adobe Flash.

Dreamweaver permite ocultar el código HTML de cara al usuario haciendo posible para alguien no entendido en la materia crear páginas web fácilmente sin escribir códigos. Permite conexión con bases de datos como MySQL o Microsoft Access y mostrar el contenido utilizando diversas tecnologías de script (ASP, ASP .NET, JSP, PHP) sin necesidad de conocimientos de programación.

1.3.9 WEKA

Weka (Waikato Environment for Knowledge Analysis), es un software para aprendizaje automático y minería de datos escrito en Java y desarrollado en la Universidad de Waikato, es software libre distribuido bajo licencia GNU-GPL

Las mayores ventajas de Weka son:

- Disponible libremente bajo licencia GNU-GPL
- Debido a estar implementado en Java posee una gran portabilidad
- Contiene una gran cantidad de algoritmos y técnicas para el procesamiento de los datos y el modelado
- Fácil de utilizar y modificar
- Permite conexión a bases de datos gracias a JDBC

1.3.10 XAMPP

Es un servidor independiente de plataforma desarrollado como software libre, consiste principalmente en la base de datos MySQL y el servidor Apache, además de algunos interpretes para los lenguaje de script. Actúa como servidor web libre, fácil de usar y capaz de interpretar paginas dinámica, disponible actualmente para la mayoría de los sistemas operativos.

Fácil de instalar y configurar permite añadirle funcionalidades extra mediante módulos, por ejemplo Tomcat para aplicaciones en JSP. Originalmente se desarrollo para permitir a los diseñadores de sitios web y programadores testear su trabajo en sus propios ordenadores sin ningún acceso a Internet, sin embargo actualmente con algunas modificaciones por motivo de seguridad, puede ser suficientemente fiable como servidor Web.

1.4 Metodología

En este capítulo se describirá la mecánica de trabajo seguida para el desarrollo del proyecto. A continuación se presenta la metodología dividida en varias actividades

✓ **Actividad 1: Análisis del problema**

En esta primera actividad se 3 puntos importantes en el proyecto:

- Establecimiento de los objetivos generales del proyecto
- Proceso de documentación sobre los conceptos teóricos del proyecto, por un lado aquellos relacionados con la temática como pueden ser que es un giro o un afloramiento. Y por otro lado documentarse sobre los elementos a utilizar en el proyecto, como por ejemplo la lógica difusa.
- División del proyecto en un conjunto de tareas y una planificación orientativa.

✓ **Actividad 2: Estudio de las tareas a tratar**

Para cada una de las tareas definidas se realiza un estudio más en profundidad sobre cada una de ellas además de buscar artículos y otras bibliografías mas específicas sobre esas tareas. Principalmente información sobre los siguientes temas:

- Información sobre la lógica difusa
- Sistemas de clasificación, desde algoritmos como la MLP hasta sistemas expertos
- Algoritmos de segmentación.
- Estudio de sistemas de recuperación de imágenes.
- Teledetección y minería de datos

✓ **Actividad 3: Prueba con sistemas ya desarrollados**

Pruebas sobre distintas aplicaciones ya desarrolladas para clasificar, segmentar y tratar imágenes para coger ideas de cara al proyecto, además de comprobar si algunas de estas aplicaciones pudiesen ser utilizadas como apoyo para el proyecto.

Realización de pruebas para elegir las tecnologías apropiadas para el desarrollo del proyecto tratando de comprobar si es posible integrarlas tal y como se pretendía.

✓ **Actividad 4: Proceso de las imágenes**

- Implementación del sistema de extracción de las imágenes a partir de los ficheros HDF
- Pruebas con distintos algoritmos de preprocesado
- Segmentación de las imágenes

✓ **Actividad 5: Cálculo de Descriptores**

Esta actividad se divide en 2 partes:

- Estudio y selección de descriptores clásicos (invariantes de hu, momentos tensoriales, etc.)
- Desarrollo e implementación de las funciones de fuzzyficacion que permiten a partir de las regiones extraer descriptores difusos

✓ **Actividad 6: Creación de la base de datos**

- Creación de la estructura de la base de datos, incluyendo el diseño de cada tablas y las relaciones entre ellas
- Implementación de la base de datos

✓ **Actividad 7: Algoritmos de clasificación**

- Seleccionar un conjunto de algoritmos de clasificación
- Integrar los algoritmos de clasificación en la aplicación
- Pruebas con la aplicación WEKA para obtener información útil de cara a la clasificación

✓ **Actividad 8: Recuperación y etiquetado manual**

- Implementación de consultas simples
- Desarrollo del algoritmo de fusión de regiones basado en distancia
- Implementación del sistema de etiquetado manual de regiones

✓ **Actividad 9: Aplicación web**

- Puesta a punto del servidor
- Diseño de la aplicación web
- Desarrollo de la aplicación JSP
- Integración de la aplicación Java con la aplicación JSP

✓ **Actividad 10: Pruebas de funcionamiento**

Realización de pruebas generales sobre la aplicación para comprobar el buen funcionamiento de la aplicación y reparar posibles errores ocurridos durante la implementación

✓ **Actividad 11: Pruebas sobre la aplicación**

Utilizar la información obtenida y la aplicación desarrollada para realizar distintas pruebas, clasificaciones y estudios de las imágenes y estructuras oceánicas.

✓ **Actividad 12: Documentación**

- Documentar el código fuente de la aplicación
- Realización de la memoria del proyecto.

1.5 Planificación

Actividad	Tareas	Tiempo
1. Análisis del problema	Establecimiento de los objetivos del proyecto	5 días
	Proceso de documentación	10 días
	Desglose del proyecto en tareas y planificación	2 día
	Estudio de la lógica difusa	3 días
2. Estudio de las tareas a realizar	Sistemas de clasificación	2 días
	Algoritmos de segmentación	3 días
	Estudio de los sistemas de recuperación de imágenes	4 día
	Teledetección y minería de datos	2 días
3. Pruebas con sistemas ya desarrollados	Sistemas de clasificación (WEKA)	5 días
	Sistemas de tratamiento de imágenes de satélites (SEADAS)	10 días

	Aplicaciones y tecnologías del proyecto (Java, jsp, netbeans)	3 días
4. Proceso de las imágenes	Tratamiento de los fichero HDF	15 días
	Pruebas de preprocesado	12 días
	Segmentación de las imágenes	20 días
	Estudio y selección de descriptores	12 días
5. Calculo de descriptores	Creación de descriptores basados en lógica difusa	10 días
	Creación de la estructura de la base de datos	2 días
6. Creación de la base de datos	Implementar la base de datos	3 días
	Selección de algoritmos útiles para la aplicación	5 días
7. Algoritmos de clasificación		

	Integración de los algoritmos en la aplicación	1 día
	Realización de pruebas con Weka con datos finales del proyecto	2 días
8. Recuperación y etiquetado manual	Implementación de consultas simples	7 días
	Desarrollo del algoritmo de fusión de regiones difusas basado en distancia	10 días
	Implementación del sistema de etiquetado manual de regiones	25 días
	Puesta a punto del servidor	3 días
9. Aplicación Web	Diseño de la aplicación web	5 días
	Desarrollo de la aplicación JSP	15 días
	Integración entre la aplicación Java y la aplicación JSP	3 días

10. Pruebas de funcionamiento		30 días
11. Pruebas sobre la aplicación		30 días
12. Documentación del proyecto		20 días
Días aproximados		282 días

CAPITULO II: CONCEPTOS TEÓRICOS

2.1 VISION ARTIFICIAL

2.1.1 INTRODUCCION A LA VISIÓN ARTIFICIAL

En el cuerpo humano el sentido que mas información aporta al cerebro sobre el entorno es el sentido de la vista, la forma más sencilla de dar mucha información a una persona es mediante elementos visuales, y como reza un refrán popular “Una imagen vale más que mil palabras”. Todo esto ha hecho que durante mucho tiempo se haya tratado de crear sistemas artificiales autónomos capaces de obtener información directamente de las imágenes o del medio en el que se encuentra.

La **Visión Artificial** se define como el proceso de extracción de información del mundo físico, a partir de imágenes con la ayuda de un computador. Un sistema de visión artificial puede permitirnos desde la identificación objetos en una fotografía, hasta el reconocimiento de obstáculos de un vehículo móvil autónomo.

2.1.2 REPRESENTACION

INTRODUCCION

En primer lugar definiremos una imagen como una función bidimensional $f(x,y)$ donde x e y representan las coordenadas espaciales en la imagen y f nos da el valor de la intensidad de gris en las coordenadas (x,y) .

Para las imágenes digitalizadas los valores de la función y de las coordenadas han sido discretizados. De esta forma los valores x e y representan el numero de filas y columnas respectivamente de una matriz bidimensional. Los valores de intensidad de gris se han dispuesto en un rango entre 0 y 255 siendo el valor 0 negro y 255 blanco. Un ejemplo de este tipo de imágenes se puede ver en la figura 1:

Las imágenes en color siguen el mismo sistema aunque en lugar de tener una matriz representando tonos de gris, tenemos múltiples matrices representando distintos tonos de intensidad de varios colores. Los colores elegidos dependen del modelo de color usado RGB, CMYK, etc.

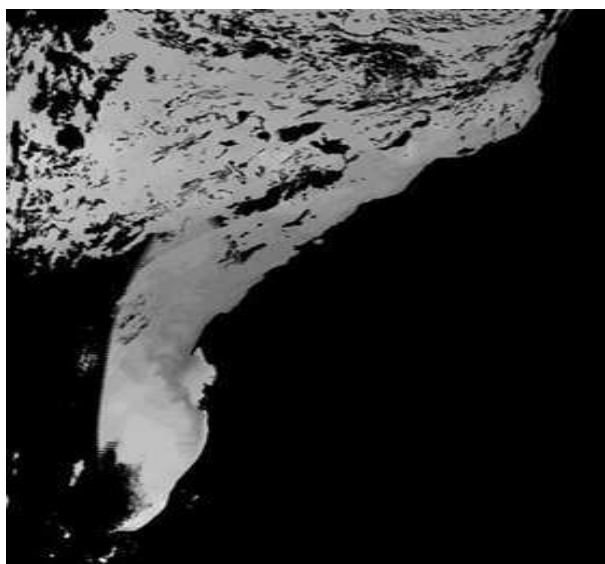


Figura 1. Ejemplo de una imagen de satélite en escala de grises

RGB

RGB son las siglas de red, green y blue, es un modelo basado en síntesis aditiva que permite representar un cualquier color mediante la adición de colores, la síntesis es aditiva porque la unión de los tres colores da lugar al color blanco.

Una imagen en RGB está formada por tres matrices una para rojo, otra para verde y una para azul, todas con el mismo número de filas y de columnas, cada una de estas matrices es igual que la del apartado anterior, con la salvedad de que cada matriz solo muestra los valores de intensidad para un color. La imagen final se obtiene al superponer el valor de intensidad de cada color en cada pixel de la imagen.

Para obtener un pixel rojo bastaría con poner a 255 ese pixel en la matriz del color rojo y un 0 en las otras dos, si se quiere obtener el color blanco en un pixel habría que ponerlo a 255 en las tres matrices, para que fuese negro las 3 a cero.

CMYK

CMYK es el acrónimo de Cyan, Magenta, Yellow y Key (o Black), es un modelo de colores sustractivo utilizado sobre todo en la impresión de colores, este modelo se dice sustractivo porque la unión de los pigmentos (cyan, magenta y amarillo) sobre un fondo blanco consigue el color negro.

Este modelo incorpora el negro debido a la gran dificultad que supone crear un color negro puro, debido a la imposibilidad de crear suficientes pigmentos puros.

COMPARACION ENTRE RGB Y CMYK

Los monitores de ordenador y otras pantallas usan el modelo RGB, debido a que el modelo CMYK no puede reproducir algunos colores como por ejemplo el azul puro, en cuanto a materiales impresos el modelo CMYK produce un buen resultado con mayor contraste, mientras que algunas combinaciones de luz del RGB no pueden ser reproducidas directamente en papel.

2.1.3 ETAPAS DEL PROCESO DE VISION ARTIFICIAL

INTRODUCCION

El proceso de un sistema de visión artificial en nuestro proyecto puede ser representado con el esquema de la figura 2:

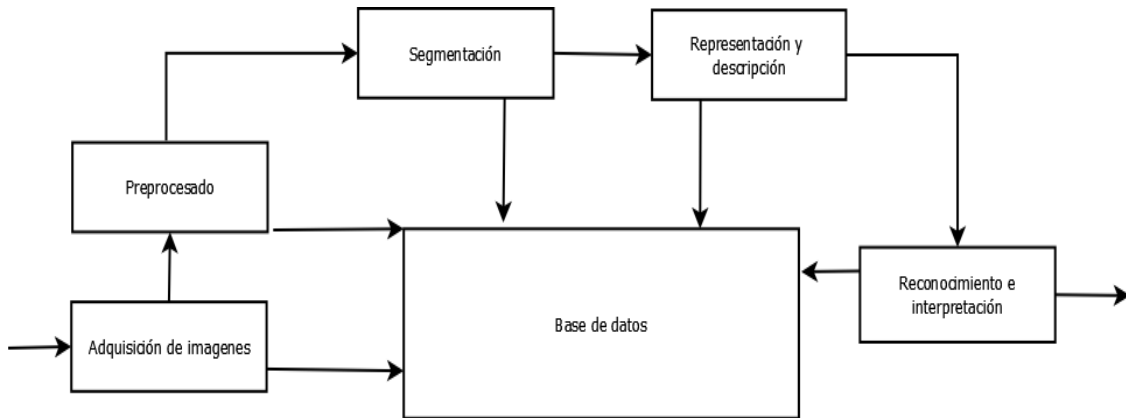


Figura 2: Esquema general de un sistema de visión artificial

Las distintas etapas del proceso se relacionan con una base de datos, la cual almacena la información que se va obteniendo de las distintas etapas, esta información varía dependiendo del sistema, en algunos la información a recoger será muy simple, mientras en otros requerirá una compleja estructura.

Las etapas del sistema son las siguientes:

- **Adquisición de imágenes:** Proceso encargado de capturar y digitalizar las imágenes del mundo real que se van a utilizar posteriormente en el resto de los procesos. Este proceso es muy delicada, ya que de la calidad en la adquisición y digitalización puede depender la calidad final del sistema, una imagen con poca calidad necesitaría mas procesamiento y posiblemente tuviese perdidas de información, mientras una imagen de mucha calidad requiere poco procesamiento y da una gran información.
- **Preprocesado:** El objetivo de este proceso es mejorar la calidad de la imagen digitalizada facilitando el trabajo de las posteriores etapas, ejemplos de tratamiento de imágenes puede ser aumentar su contraste, eliminar ruido, aumentar su brillo, etc.
- **Segmentación:** En el proceso de segmentación tratamos de dividir la imagen en partes, que denominamos regiones de interés, esto es complicado debido a la dificultad de hacer que un sistema automático divida exactamente lo que pretendemos y se necesitan muchos ajustes para conseguir buenos resultados.

- **Representación y descripción:** Una vez que se ha dividido la imagen en regiones es necesario caracterizar y extraer información de cada una de ellas, esta información es la que utilizaremos para el reconocimiento. Para ello transformamos la información obtenida antes como píxeles en valores numéricos que describan aspectos de la región tales como área o forma. De esta forma la imagen queda transformada en un conjunto de propiedades numéricas para describir una región.
- **Reconocimiento e interpretación:** Con todas las regiones perfectamente representadas y descritas entramos en la última parte del proceso, el reconocimiento consiste en asignar un valor o etiqueta a una región en función de la información obtenida en la etapa anterior. Finalmente la interpretación consiste darle un significado al resultado obtenido.

TRATAMIENTO DE IMÁGENES

Esta sección trata de hacer un resumen sobre las técnicas más comunes durante el proceso del sistema de visión, la mayor parte de las definiciones e imágenes mostradas a continuación proceden de la obra [6]:

1. MEJORA DE LA IMAGEN

El objetivo principal de este tipo de técnicas es procesar una imagen de forma que se adecue más que la imagen original para una aplicación específica, los métodos de mejora pueden estar basados en técnicas en el dominio espacial o bien en el dominio de la frecuencia.

- **Dominio espacial:**

Este término se refiere al conjunto de píxeles que componen una imagen y sus métodos operan directamente sobre los píxeles. Las técnicas basadas en esta aproximación se conocen como procesamiento por máscara o filtrado.

- **Dominio de la frecuencia:**

La base de las técnicas en este dominio es el teorema de convolución, para pasar una imagen del dominio espacial al dominio de la frecuencia se utiliza la transformada de Fourier.

2. FILTROS SUAVIZANTES

Los filtros suavizantes se emplean para difuminar la imagen y reducir el ruido, en algunos casos es interesante volver más borrosa la imagen para eliminar algunos detalles de la imagen que no interesan para la aplicación pero que pueden causar problemas a la hora de realizar la segmentación.

➤ Filtro paso bajo

Para la construcción de un filtro de este tipo basta con construir una matriz con todos los coeficientes positivos, por ejemplo la figura 3:

$$\frac{1}{25} \times \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \hline \end{array}$$

Figura 3: Filtro paso bajo de 5 x 5

Es necesario realizar la división por 25 para evitar que los tonos de la imagen se salgan fuera de rango.

➤ Filtro de la media

El mayor problema del filtro paso bajo es que difumina también los bordes y los detalles de realce, cuando el objetivo para un filtro suavizante sea reducir el ruido es más efectivo utilizar el filtro de la media, consiste en sustituir el valor del pixel por el valor de la media de su entorno.

3. FILTROS REALZANTES

Este tipo de filtros busca resaltar detalles finos o intensificar detalles previamente difuminados.

➤ Filtro paso alto

Para la construcción de este tipo de filtros situamos valores positivos cerca de la zona central de la matriz y situamos valores negativos en la periferia, tomando en cuenta que la suma final de todos los coeficientes de la matriz ha de ser 0. Por ejemplo la matriz de la figura 4.

$$\frac{1}{9} \times \begin{array}{|c|c|c|} \hline -1 & -1 & -1 \\ \hline -1 & 8 & -1 \\ \hline -1 & -1 & -1 \\ \hline \end{array}$$

Figura 4: Filtro paso alto de 3 x 3

➤ Filtros diferenciales

El promediado de los píxeles tiene a difuminar la imagen, como esta operación es análoga a la integración, cabe esperar que la diferenciación tenga el efecto contrario y aumente la nitidez de la imagen.

Lo más común suele ser utilizar el gradiente, la aproximación puede darse de distintas formas dando lugar a varios operadores (figura 5):

Operadores de Roberts de gradiente:

$$\begin{array}{|c|c|} \hline 1 & 0 \\ \hline 0 & 1 \\ \hline \end{array} \text{ y } \begin{array}{|c|c|} \hline 0 & 1 \\ \hline -1 & 0 \\ \hline \end{array}$$

Operadores de Prewitt:

$$\begin{array}{|c|c|c|} \hline -1 & -1 & -1 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline \end{array} \text{ y } \begin{array}{|c|c|c|} \hline -1 & 0 & 1 \\ \hline -1 & 0 & 1 \\ \hline -1 & 0 & 1 \\ \hline \end{array}$$

Operadores de Sobel:

$$\begin{array}{|c|c|c|} \hline -1 & -2 & -1 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 1 & 2 & 1 \\ \hline \end{array} \text{ y } \begin{array}{|c|c|c|} \hline -1 & 0 & 1 \\ \hline -2 & 0 & 2 \\ \hline -1 & 0 & 1 \\ \hline \end{array}$$

Figura 5: Filtros diferenciales

4. SEGMENTACIÓN DE IMÁGENES

A continuación se muestran diversas técnicas para dividir una imagen en distintas regiones, estas técnicas pueden agruparse en tres conjuntos, técnicas basada en la detección de la frontera, técnicas de umbralizado y técnicas basadas en el agrupamiento de píxeles, para el desarrollo del proyecto se han utilizado técnicas basadas en umbralizado, por eso detallaremos este tipo de técnicas a continuación

5. TECNICAS BASADAS EN UMBRALIZACIÓN

Si tenemos el histograma de una imagen $f(x,y)$, de tal forma que se diferencian claramente los tonos de gris del objeto respecto al fondo (figura 6), una forma evidente de extraer los objetos del fondo es elegir un umbral T que separe los tonos. Entonces los píxeles del objeto cumplirán que $f(x,y) > T$, en otro caso se corresponderán con el fondo de la imagen. De esta forma podemos obtener la imagen umbralizada $f(x,y)$ como:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & f(x, y) < T \\ 0 & f(x, y) \geq T \end{cases}$$

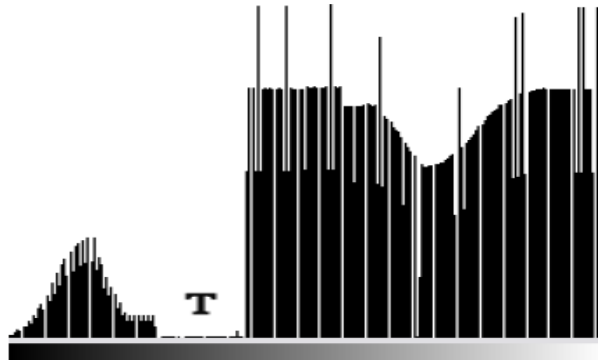


Figura 6: Histograma particionado por T

A la hora de segmentar las imágenes mediante umbralizado hay distintas formas de coger el umbral T, la técnica más sencilla de umbralización, consiste en dividir el histograma usando un umbral único, tras elegir el umbral correspondiente se procesa toda la imagen dándole a cada pixel el valor de fondo o de objeto. En la práctica este tipo de umbralización puede funcionar bien en entornos perfectamente controlados

6. DESCRIPCION DE REGIONES

Para poder reconocer un objeto en la imagen es necesario extraer de él una serie de características que lo describan de forma matemática, a esas características es a las que llamamos descriptores. Los descriptores los vamos a clasificar en dos tipos, por un lado los descriptores topológicos y por otro los descriptores obtenidos por la teoría de momentos. En otra sección posterior se hablara sobre los descriptores difusos los cuales son específicos del problema que trata este proyecto.

6.1 DESCRIPTORES TOPOLÓGICOS

Debido a la gran cantidad de descriptores existentes tan solo se han detallado aquellos que son utilizados en el proyecto.

➤ Área

Se define como el número de pixeles que contiene la región:

$$A(x) = \sum_{i,j} g(X_i, Y_j)$$

➤ Perímetro

Podemos definir el perímetro de una región como la longitud de su contorno.

➤ Eje mayor de la elipse

Definimos este eje como la longitud en pixeles del eje mayor de la elipse de la región, calculado a partir de los momentos de segundo orden.

$$b = \sqrt{\frac{mt_{20} + mt_{02} + \sqrt{(mt_{20} - mt_{02})^2 + 4 \times mt_{11}^2}}{\frac{mt_{00}}{2}}}$$

➤ Eje menor de la elipse

Definimos este eje como la longitud en pixeles del eje menor de la elipse de la región, calculado a partir de los momentos de segundo orden.

$$b = \sqrt{\frac{mt_{20} + mt_{02} - \sqrt{(mt_{20} - mt_{02})^2 + 4 \times mt_{11}^2}}{\frac{mt_{00}}{2}}}$$

➤ Orientación

Angulo entre el eje de abscisas y el eje mayor de la elipse

$$\phi = \frac{1}{2} \times \tan^{-1} \left(\frac{2 \times mt_{11}}{mt_{20} - mt_{02}} \right)$$

➤ Excentricidad

Es el grado de similitud entre la elipse y la región.

$$Excentricidad = \left(\frac{(mt_{20} - mt_{02})^2 + 4 \times mt_{11}^2}{mt_{00}} \right)$$

➤ Centroide del elipse

La elipse circunscrita determina la silueta que más se aproxima a una región, el centroide del elipsoide es el lugar donde se cortan el eje mayor y el eje menor.

$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}$$

$$\bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}}$$

TEORIA DE MOMENTOS

La teoría de momentos nos permite calcular un conjunto de descriptores, algunos de los cuales son invariantes frente a rotaciones, cambios de escala o traslaciones.

➤ **Momentos de inercia**

La geometría de una región plana se basa en el tamaño, la posición, la orientación y la forma. Todas estas medidas están relacionadas con una familia de parámetros llamada momentos. Los momentos de orden $p+q$ de una imagen $I(x,y)$ son:

$$M_{p,q} = \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^M x^p y^q I(x,y)$$

➤ **Momentos centrales**

Estos momentos se utilizan para describir una región independientemente de la posición donde se encuentre el objeto, pueden calcularse a partir del centro de gravedad

$$\mu_{p,q} = \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^M (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q I(x,y)$$

➤ **Invariantes de Hu**

Momentos calculados a partir de los momentos centrales de segundo y tercer orden, tienen como característica principal que son independientes a rotación, traslación y cambio de escala

$$\begin{aligned}
\phi_1 &= \eta_{20} + \eta_{02} \\
\phi_2 &= (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \\
\phi_3 &= (\eta_{30} + 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \\
\phi_4 &= (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \\
\phi_5 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + \\
& (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\
\phi_6 &= (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} - \eta_{12})^2 - (\eta_{21} - \eta_{03})^2] \\
& + 4\eta_{211}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \\
\phi_7 &= (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{00} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + \\
& (3\eta_{12} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]
\end{aligned}$$

➤ Momentos invariantes de Maitra

Se calculan a partir de los momentos invariantes de Hu, de esa forma también son invariantes al cambio de escala, la rotación o la rotación. Junto a todo esto añade el ser invariante frente a cambios de contraste.

$$\begin{aligned}
L_1 &= \frac{\sqrt{\phi_2}}{\phi_1} & L_2 &= \frac{\phi_3 m t_{00}}{\phi_1 \phi_2} & L_3 &= \frac{\phi_4}{\phi_3} \\
L_4 &= \frac{\sqrt{\phi_5}}{\phi_4} & L_5 &= \frac{\phi_6}{\phi_1 \phi_4} & L_6 &= \frac{\phi_7}{\phi_5}
\end{aligned}$$

2.1.4 APLICACIONES DE LA VISION ARTIFICIAL

Actualmente el número de aplicaciones basadas en visión artificial va en aumento, encontrándose aplicaciones en múltiples campos, a continuación se nombran solo algunos campos y aplicaciones, aunque cada vez el número de campos y de aplicaciones aumenta más.

- **Medicina:** Análisis de imágenes de microscopio, herramientas de apoyo al diagnóstico (tomografía, escáner, resonancia, etc.)
- **Robótica:** Detección de obstáculos en robots móviles y en los espacios de trabajo de los robots fijos, seguimientos de objetos, reconocimiento del entorno.
- **Control de calidad:** Inspección de productos, identificar y etiquetar. Inspección de circuitos impresos.

- **Astronomía:** Investigación y exploración del universo
- **Reconocimientos de caracteres:** Revisión de cheques, inspección de textos, digitalización de textos manuscritos, identificación de firmas.
- **Tráfico:** Reconocimiento de matriculas de coches. Control automatico de sistemas de señalización.
- **Militares:** Seguimiento y rastreo de objetivos. Sistemas de vigilancia de objetivos
- **Teledetección:** Meteorología y oceanografía

2.2 TELEDETECCION

2.2.1 INTRODUCCION

El termino teledetección proviene del inglés *remote sensing*, y podemos definirlo como la adquisición de información de un objeto o un fenómeno mediante algún tipo de aparato o instrumento con el cual no se encuentra en contacto. El proceso no se refiere únicamente a la adquisición sino también abarca su posterior tratamiento [1].

A. Fuente de energía o iluminación.

Lo primero que se necesita es una fuente que ilumine o provea energía electromagnética al objeto de interés, para nuestro caso nuestra fuente será el sol.

B. Radiación y la atmosfera

Al transmitirse la energía desde la fuente anteriormente mencionada y el objeto, se produce una interacción con la atmosfera, la cual volverá a repetirse cuando se transmita desde el objeto hacia el sensor.

C. Interacción con el objeto

La energía interactuara con el objeto dependiendo de sus propiedades y de la radiación que incida sobre él.

D. Detección de energía por el sensor.

Necesitamos un sensor que recoja la información sobre la radiación electromagnética reflejada o emitida por el objeto y la atmosfera.

E. Transmisión, recepción y procesamiento.

Los datos obtenidos por el sensor son transmitidos a una estación de recepción y procesamiento donde es convenientemente tratada

F. Interpretación y análisis

La imagen procesada es interpretada y analizada con el objetivo de extraer información sobre ella.

G. Aplicación

Finalmente el último paso se alcanza cuando aplicamos la información para resolver el problema que queríamos tratar con el sistema de teledetección

2.2.3. TELEDETECCION EN OCEANOGRAFIA

En el caso concreto de la teledetección en oceanografía la detección de energía electromagnética se produce en el océano. Según la forma de captación de esa energía podemos englobar los sensores en dos tipos:

- **Sensores activos:** Emiten la señal electromagnética y reciben su reflejo o su dispersión causados por la superficie.
- **Sensores pasivos:** Reciben la señal de la tierra o bien del océano en alguna banda, pueden ser térmicos o bien visibles.

A continuación definiremos cuatro parámetros que representan las características fundamentales de los datos adquiridos en un sistema de este tipo:

➤ **Resolución espectral**

Número de bandas y a la anchura espectral de esas bandas que un sensor puede detectar.

➤ **Resolución espacial**

Es una medida del objeto más pequeño que puede ser resuelto por el sensor, o el área en la superficie que recoge cada pixel.

➤ **Resolución radiométrica**

Número de posibles valores que puede tomar cada datos, por ejemplo con 8 bits, el rango de valores estaría entre 0 y 255

➤ **Resolución temporal**

Cada cuanto tiempo recoge el sensor una imagen de un área en particular

2.2.4 NIVELES DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Para facilitar el procesamiento de la información, la NASA definió varios niveles como parte de su sistema de observación de la Tierra (del acrónimo en inglés EOS). Los niveles en los que se dividió fueron los siguientes [17]:

✓ **Nivel 0:**

La información está a máxima resolución, ordenada temporalmente y con errores eliminados

✓ **Nivel 1a**

Información de máxima resolución reconstruida, ordenada cronológicamente y con anotaciones auxiliares como coeficientes de calibración radiométrica y geométrica entre otros, están anotados pero sin aplicarse al nivel 0.

✓ **Nivel 1b**

La información del nivel anterior ha sido procesada, impidiendo que se pueda recuperar la información del nivel 0.

✓ **Nivel 2**

Variables geofísicas derivadas a la misma resolución y localización que la información de nivel 1

✓ **Nivel 3**

Variables mapeadas uniformemente en “grids” espacio-temporales

✓ **Nivel 4**

Resultado de los análisis de niveles inferiores.

2.2.5 SATELITE AQUA

La información utilizada ha sido extraída de la página web del proyecto Aqua [18]

Aqua también denominado EOS-PM, es un satélite de observación de la Tierra dedicado al estudio del ciclo del agua, desde el agua de los océanos hasta el vapor de agua en la atmósfera. Fue puesto en órbita el 4 de mayo de 2002 desde la base de Vandenberg utilizando un cohete Delta II (Delta II 7020 - 10L). El tipo de órbita que describe el satélite se la denomina *Sun Synchronous*, lo que significa que cruza el ecuador en la misma hora local en cada pasada, sube desde la órbita de sur a norte durante el día, cruza cerca del Polo Norte, los círculos alrededor de la Tierra de noche, y cruza el Polo Sur, cerca de volver a la cara durante el día.

El satélite va equipado con seis instrumentos para realizar diferentes mediciones, AIRS, AMSU-A, HSB, AMSR-E, CERES y MODIS:

- **AIRS** (*Atmospheric Infrared Sounder*): Es un espectrómetro de alta resolución con el propósito fundamental de obtener mediciones de humedad y temperatura de la superficie. Este instrumento tiene 2382 canales en el infrarrojo con una longitud de onda entre 0.4 y 15.4 μm y cuatro canales en el espectro visible / infrarrojo cercano en el rango 0.4 – 1.1 μm (figura 7)



Figura 7: Fotografía de AIRS

- **AMSU-A** (*Advanced Microwave Sounding Unit*): Físicamente se encuentra dividido en dos módulos llamados AMSU-A1 y AMSU-A2, este instrumento realiza mediciones en 15 canales en el nivel de microondas (entre 15 y 90 GHz) para realizar perfiles de temperatura atmosférica (figura 8).



Figura 8: Fotografía de AMSU-A

- **HSB** (*Humidity Sounder for Brazil*): Se utiliza para medir valores de humedad incluso por debajo de las nubes, mide cuatro canales en la banda de microondas entre 150 y 183 GHz (Figura 9)



Figura 9: Fotografía de HSB

- **CERES** (*Clouds and the Earth's Radiant Energy System*): Se compone de dos radiómetros de banda ancha del espectro visible hasta el infrarrojo (0.3 y $5 \mu\text{m}$), mide el equilibrio energético de la atmósfera, y la radiación ultravioleta reflejada y absorbida tanto por la superficie, nubes y la atmósfera (Figura 10).



Figura 10: Fotografía de CERES

- **AMSR-E** (*Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS*): Es un radiómetro que realiza sus mediciones la longitud de onda de microondas (6.9 – 89 GHz), se utiliza para medir la tasa de lluvia mediante la dispersión de microondas por las gotas de agua, además de eso mide vientos y temperatura en la superficie del mar (Figura 11).



Figura 11: Fotografía de AMSR-E

- **MODIS** (*The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*): Los datos usados para este proyecto han sido obtenidos por MODIS por eso más adelante será descrito con profundidad (Figura 12).



Figura 12: Fotografía de MODIS

2.2.6. SENSOR MODIS

El primer MODIS fue lanzado a bordo del satélite Terra en diciembre del año 1999, posee 36 bandas que van desde el espectro visible hasta el infrarrojo, 21 bandas situadas entre 0.4 – 3.0 μm y las 15 restantes situadas entre 3 – 14.5 μm . Las figuras 13 y 14 contienen información sobre cada una de las bandas:

Primary Use	Band	Bandwidth	Spectral Radiance	Required SNR
Land/Cloud Boundaries	1	620-670	21.8	128
	2	841-876	24.7	201
Land/Cloud Properties	3	459-479	35.3	243
	4	545-565	29.0	228
	5	1230-1250	5.4	74
	6	1628-1652	7.3	275
	7	2105-2155	1.0	110
Ocean color/ Phytoplankton/ Biogeochemistry	8	405-420	44.9	880
	9	438-448	41.9	838
	10	483-493	32.1	802
	11	526-536	27.9	754
	12	546-556	21.0	750
	13	662-672	9.5	910
	14	673-683	8.7	1087
	15	743-753	10.2	586
	16	862-877	6.2	516
Atmospheric Water Vapor	17	890-920	10.0	167
	18	931-941	3.6	57
	19	915-965	15.0	250

Figura 13: Bandas del sensor MODIS I

Primary Use	Band	Bandwidth	Spectral Radiance	Required $NE\Delta(K)$
Surface/Cloud Temperature	20	3.660-3.840	0.45	0.05
	21	3.929-3.989	2.38	2.00
	22	3.929-3.989	0.67	0.07
	23	4.020-4.080	0.79	0.07
Atmospheric Temperature	24	4.433-4.498	0.17	0.25
	25	4.482-4.549	0.59	0.25
Cirrus Clouds	26	1.360-1.390	6.00	150 ³
Water Vapor	27	6.535-6.895	1.16	0.25
	28	7.175-7.475	2.18	0.25
	29	8.400-8.700	9.58	0.05
Ozone	30	9.580-9.880	3.69	0.25
Surface/Cloud Temperature	31	10.780-11.280	9.55	0.05
	32	11.770-12.270	8.94	0.05
Cloud Top Altitude	33	13.185-13.485	4.52	0.25
Altitude	34	13.485-13.785	3.76	0.25
	35	13.785-14.085	3.11	0.25
	36	14.085-14.385	2.08	0.35

Figura 14: Bandas del sensor MODIS II

En la figura 15 se puede ver de forma esquemática los elementos que forman parte de MODIS[17].

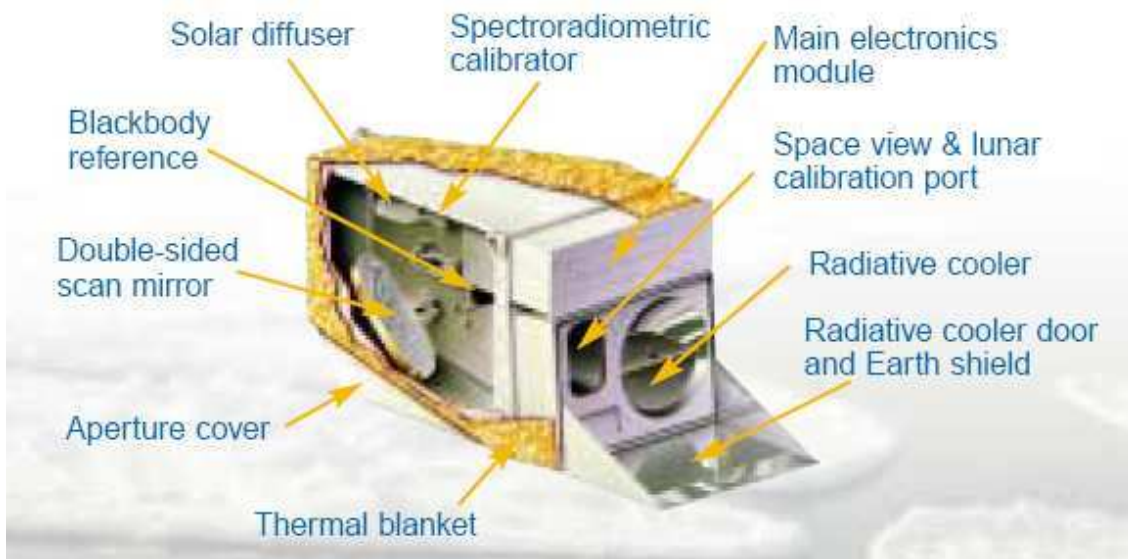


Figura 15: Esquema del sensor MODIS

MODIS obtiene diferentes tipos de información, por un lado información atmosférica (por ejemplo propiedades de la atmosfera tales como

temperatura y vapor de agua), información sobre la superficie del océano (por ejemplo temperatura superficial y concentración de clorofila) y sobre hielo y tierra (por ejemplo detectando anomalías producidas por un incendio).

Para el desarrollo del proyecto nos hemos centrado en los datos de concentración de clorofila y también hemos utilizado resultados de temperatura superficial del océano para poder realizar comparaciones.

2.3 ESTRUCTURAS OCEANICAS

2.3.1 INTRODUCCION

El aspecto más importante de la aplicación en la que se centra el proyecto es la capacidad de reconocer estructuras oceánicas, para ello hemos centrado el estudio sobre la zona de las Islas Canarias, el principal motivo es que debido a su situación y las corrientes oceánicas que circulan, entre otros aspectos; nos encontramos con multitud de estructuras oceánicas a estudiar y a tratar. Comencemos con una descripción de las islas y su entorno (figura 16).

Las islas se sitúan entre las latitudes 27 – 29° N y las longitudes 18 – 13° O, a una distancia de África de unos 90 Km. Si tomamos en cuenta el esquema de circulación oceánica global, podemos observar que esta zona se caracteriza por tener en su límite superior la corriente de Azores que dirige el flujo de agua hacia el este, cuando se aproxima a África se ve obligado a cambiar su dirección hacia el sudoeste debido a la presencia de los vientos alisios, a esto es lo que se le denomina corriente de Canarias.



Figura 16: Imagen del archipiélago canario tomada desde una lanzadera de la NASA

2.3.2 CLOROFILA

La clorofila pertenece a una familia de pigmentos que se encuentran localizados en organismos que contiene cloroplastos en sus células, esto incluye plantas y algas. Este pigmento es responsable de la primera etapa de la fotosíntesis de las plantas. Normalmente tiene dos picos de absorción en el espectro visible (luz azul y luz roja), sin embargo reflejan la parte media del espectro que se corresponde con el color verde.

Existen dos tipos principales de clorofila, la clorofila a y la clorofila b. Su diferencia principal se presenta a nivel químico en donde la clorofila b presenta algunas variaciones en sus enlace, siendo más abundante es la clorofila a.

En el área de la teledetección se aprovecha su comportamiento frente a la luz para calcular de forma bastante precisa la concentración de clorofila. Cuando un fotón incide sobre electrón de un pigmento fotosintético se producen una serie procesos químicos que finalmente dan como resultado que la energía captada se devuelve en forma de calor o de radiación de mayor longitud de onda, a esto se le llama fluorescencia, la cual es medida por los sensores.

Para calcular la concentración de clorofila se utiliza un algoritmo llamado chl_oc3 (*Chlorophyll-a concentration, OC3*) tanto la descripción como la validación pueden encontrarse en [17] [7].

Básicamente para calcular el valor de concentración de clorofila se utiliza la siguiente ecuación:

$$C_a = 10^{0.283 - 2.753R + 1.457R^2 + 0.659R^3 - 1.403R^4}$$

$$\text{Donde } R = \log_{10} \left(\frac{R_{rs443} > R_{rs488}}{R_{rs551}} \right)$$

El valor de R_{rs} se corresponde con el valor de la reflectancia medida por el sensor en ciertas longitudes de onda, concretamente para clorofila comprueba la 443,488 y 551, además de 555 y 490 para comprobar si los datos son correctos.

Además según los datos el algoritmo tiene unas condiciones para marcar el dato como error o bien dar una advertencia de que puede haber algún problema con el dato.

Bajo estas condiciones marcará la medida de clorofila como error

- Si $R_{rs555} < 0$
- Si R_{rs443} o $R_{rs490} < 0$
- Si $R > 10$

2.3.3 DESCRIPCION DE LAS ESTRUCTURAS OCEÁNICAS [11]

- **Afloramiento (*upwelling*):** Entre las islas Canarias y África se produce un fenómeno denominada Afloramiento, consistente en que las aguas que se encuentran a un nivel de profundidad más bajo se desplazan hacia la superficie, estas aguas más profundas tienen como características que su temperatura es más baja que la que se encuentra en la superficie, además tienen un alto contenido en nutrientes y menor salinidad. Esto se produce debido al paralelismo que hay entre la costa y la dirección del viento dominante, en esa circunstancia, según la teoría de Ekman indica que se produce un transporte de las aguas superficiales hacia mar adentro, las cuales son sustituidas por aguas subsuperficiales (Figura 17).
- **Giros:** La posición de las islas Canarias las sitúa como un obstáculo frente al movimiento en dirección sur de la corriente de Canarias, motivado por esto al llegar la corriente a las islas se forman estas estructuras, también conocidas como remolinos mesoescalares. Dependiendo del sentido en el que giren nos encontramos que hay dos tipos de giros, los giros ciclónicos también llamados giros fríos y los giros anticiclónicos llamados también giros cálidos, el motivo para distinguir cálidos y fríos se debe al valor de temperatura del núcleo. Para la clorofila los giros cálidos tienen un núcleo con un valor de concentración de clorofila bajo mientras que para el giro frío es al contrario (Figura 18).
- **Estela:** Se forman a sotavento de las islas, son estructuras formadas por agua caliente, normalmente las estelas de mayor longitud son aquellas que se corresponden a las islas más occidentales (Gomera, Hierro y La Palma) y a Gran Canaria. El resto de las islas presenta estelas de menor tamaño

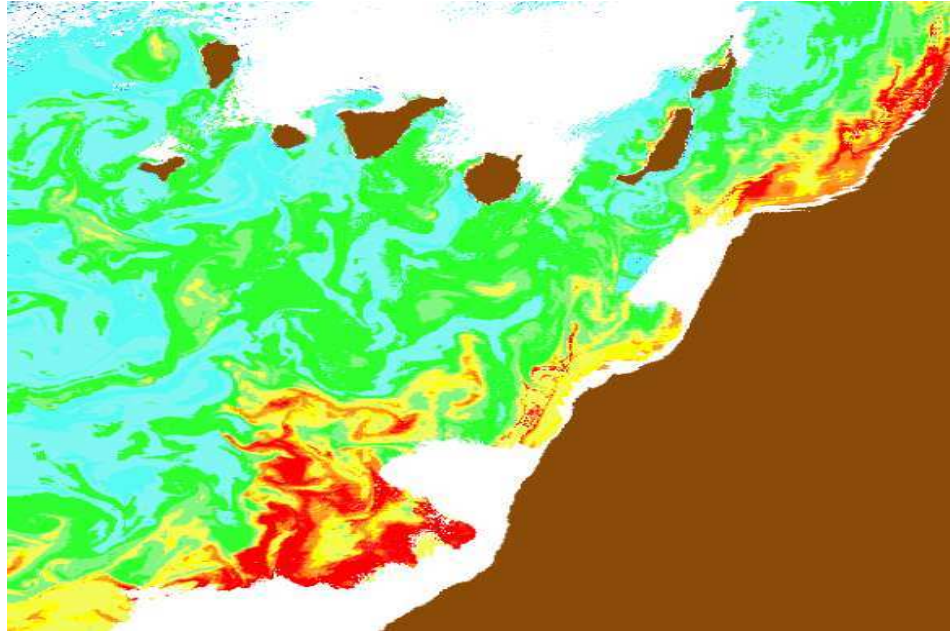


Figura 17: Afloramiento (MODIS 17/03/2004)

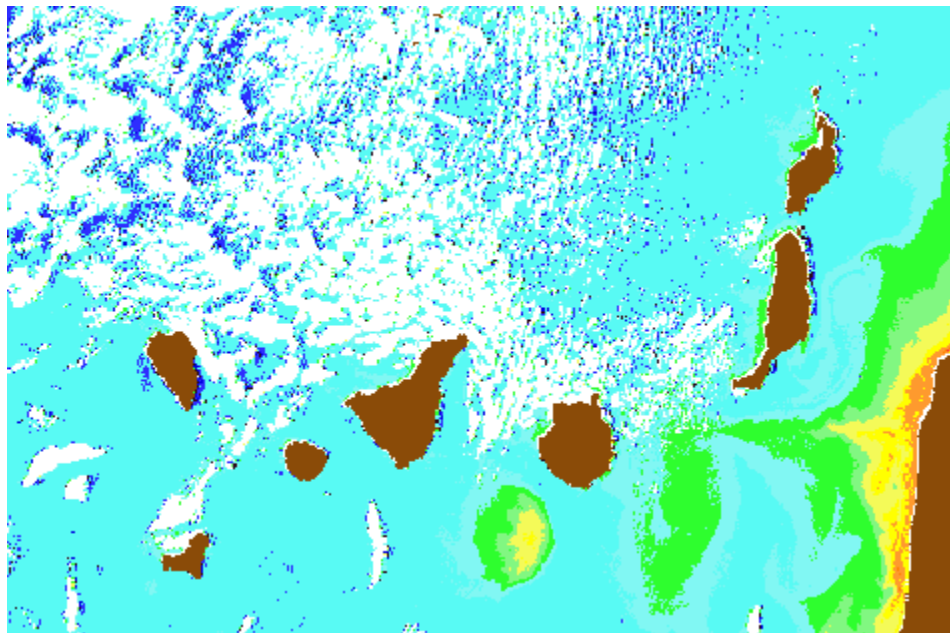


Figura 18: Giro frio (SeaWifs 9/7/2004)

2.4 LOGICA DIFUSA

A continuación se explican todos los aspectos relativos a la lógica difusa abordados en el proyecto, la información se ha obtenido de las referencias [6] [8] [10].

2.4.1 INTRODUCCION

La Lógica Difusa analiza los métodos y principios de razonamiento a partir de proposiciones imprecisas que relacionan magnitudes y valores lingüísticos y cualitativos modelados por conjuntos difusos. El elemento primario de la Lógica Difusa es el lenguaje natural, y sus esquemas de razonamiento son esquemas de “razonamiento aproximado” con proposiciones imprecisas, típicamente de carácter lingüístico, como podrían ser las reglas que se obtienen a partir de la expresión lingüística del conocimiento de un operador humano versado en el control de un determinado proceso. La Lógica Difusa, o más adecuadamente la Teoría de conjuntos difusos, encuentra sus aplicaciones más importantes en sistemas complejos que contienen no linealidades en su forma de operar.

La manipulación de datos, con imprecisión e incertidumbre, es conocida por la comunidad internacional, con el término *fuzzy*. Este término en inglés significa “confuso, borroso, no definido o desenfocado”. La traducción de esta palabra al castellano es difuso o borroso, aunque “*fuzzy*” también se encuentra aceptado en los ámbitos académico y tecnológico. “*Fuzzy*” significa ambiguo o vago, en el sentido del razonamiento humano, más probabilidad de algo.

El nacimiento de la lógica difusa se produjo cuando el Profesor Lotfi A. Zadeh publicó un artículo llamado “*Fuzzy Sets*” (Conjuntos Difusos). En dicho artículo Zadeh presentó una serie de conjuntos sin límites precisos los cuales juegan un importante papel en el reconocimiento de formas, interpretación de significados y en la abstracción.

En la lógica clásica solo es posible tratar la información como cierta o como falsa, mientras que la lógica difusa permite razonamientos aproximados. Por ello su importancia radica en que muchos razonamientos humanos son aproximados por naturaleza, por ejemplo el sentido común.

En la lógica difusa el razonamiento exacto se considera un caso particular, debido a esto es posible trasladar cualquier sistema lógico hacia la lógica difusa. En lógica difusa el conocimiento es interpretado como un conjunto de restricciones flexibles (difusas) sobre un conjunto de variables. Finalmente todo problema en esta lógica es un problema de grados.

La Lógica Difusa se ha convertido en un tema muy común en control de máquinas como el resultado de hacerlas más “capaces” y “responsables”. Se podría decir que permite a los ordenadores trabajar no sólo con métodos cuantitativos sino también cualitativos, se trata de un intento de aplicar una forma más humana de pensar en la programación de computadoras.

2.4.2 TEORIA DE CONJUTOS

En 1965, Zadeh definió el concepto de conjunto difuso basándose en la idea de que existen conjuntos en los que no está claramente determinado si un elemento pertenece o no al conjunto. A veces, un elemento pertenece al conjunto con cierto grado, denominado **Grado de pertenencia**.

Un ejemplo clásico es para clasificar la altura de una persona, ¿en que altura podemos determinar si una persona es alta o no? Por ejemplo si establecemos ese límite en 180 cm en la lógica clásica obtendríamos que una persona de 179 cm no es alta, mientras que la lógica difusa establecería que esa persona tiene **un cierto grado de pertenencia a ser alta**.

Un conjunto difuso A sobre un universo de discurso ordenado U es un conjunto de pares dado por:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) / x \in X\}$$

Se tiene que el elemento x pertenece al conjunto A con un grado de pertenencia $\mu_A(x)$, que puede variar entre 0 y 1.

A veces en lugar de dar una lista exhaustiva de todos los pares que forma el conjunto, se da una definición para toda la función, a esta función se la denomina función característica o **función de pertenencia**.

Si la función solo produce valores dentro del conjunto {0,1} entonces el conjunto generado no es difuso sino "**Crisp**".

De la definición anterior de conjunto difuso podemos derivar una serie de conceptos:

- **Universo de Discurso:** Existen dos posibilidades a la hora de establecer el intervalo de valores válido para el conjunto difuso y son:

A través de un universo de discurso finito o discreto: $\Omega = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$ un conjunto difuso A se puede representar como: $A = \mu_1/X_1 + \mu_2/X_2 + \dots + \mu_n/X_n$ donde μ_i representa el grado de pertenencia del elemento x_i , con $i = 1, 2, \dots, n$.

Habitualmente los elementos de grado cero no se lista, aquí la suma no hace el papel de suma aritmética sino que tiene sentido de agregación y la / no es el operador de división sino que tiene el significado de asociación de ambos valores.

Y al expresar el conjunto difuso a través de su función de pertenencia en un universo de discurso infinito, así un conjunto difuso A sobre Ω puede representarse como: $\int = \mu_A(x)/x$

- **Etiqueta Lingüística:** Es aquella palabra, en lenguaje natural, que expresa o identifica a un conjunto difuso, que puede estar formalmente definido o no.

Así la función de pertenencia de un conjunto difuso A, $\mu_A(x)$, expresa el grado en que x verifica la categoría especificada por A.

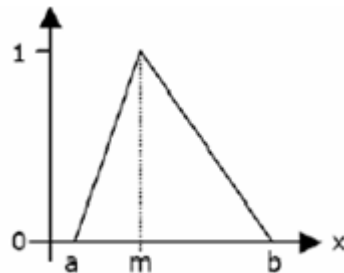
- Con esta definición, podemos asegurar que en nuestra vida cotidiana utilizamos multitud de etiquetas lingüísticas para expresar conceptos abstractos: “joven”, “viejo”, “frío”, “caliente”, “barato”, “caro”, “limpio”, “sucio”...
- Además, la definición intuitiva de esas etiquetas, no sólo puede variar de un individuo a otro y del momento particular, sino que también varía del contexto en el que se aplique. Por ejemplo, seguramente no medirán la misma altura una persona “alta” y un edificio “alto”.
- La representación de conjuntos difusos puede ser variada y depende, fundamentalmente de la naturaleza del universo de discurso (establece el contexto) sobre el que definamos el conjunto difuso.

2.4.3 TIPOS DE FUNCIONES DE PERTENENCIA.

En la elección del tipo de función de pertenencia se busca el uso de funciones simples con el fin de simplificar los cálculos matemáticos, sin la pérdida de exactitud. A continuación se muestran algunas de las más comunes.

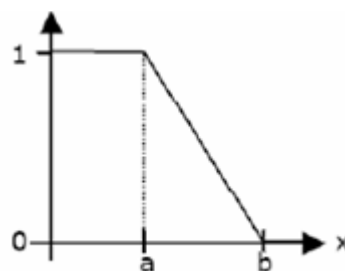
1. **Triangular:** Definido por sus límites inferior a y superior b, y el valor modal m, tal que $a < m < b$.

$$A(X) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a} & \text{si } x \in (a, m] \\ \frac{b-x}{b-m} & \text{si } x \in (m, b] \\ 1 & \text{si } x \geq b \end{cases}$$



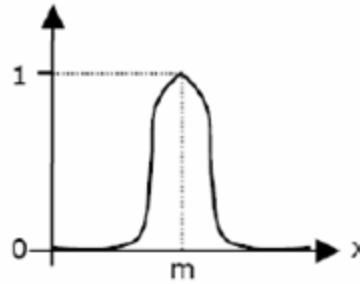
2. **Función L:** Se trata de una función definida por dos parámetros de la siguiente forma:

$$L(X) = \begin{cases} 1 & \text{si } x \leq a \\ \frac{a-x}{b-a} & \text{si } a < x \leq b \\ 0 & \text{si } x > b \end{cases}$$



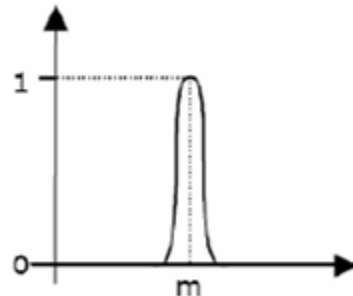
3. **Función Gaussiana**: Definida por su valor medio m y el valor de $k > 0$

- Es la típica campana de Gauss
- Cuanto Mayor es k , más estrecha es la campana



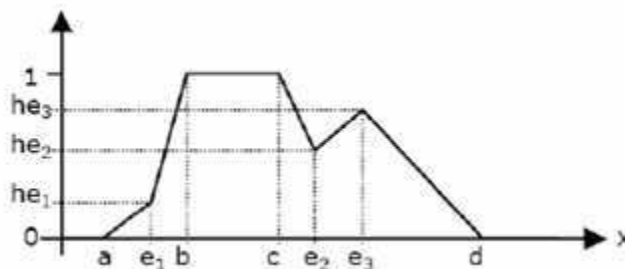
4. **Función Pseudo-Exponencial**: Definida por su valor medio m y el valor $k > 1$.

$$P(x) = \frac{1}{1} + k(x - m)^2$$



Cuanto mayor es el valor de k , el crecimiento es más rápido aún y la “campana” es más estrecha

5. **Función Trapecio Extendido**: Definida por los cuatro valores de un trapecio $[a,b,c,d]$, y un lista de puntos entre a y b y/o entre c y d , con su valor de pertenencia asociado a cada uno de esos puntos.



En general la función **Trapezoidal** se adapta bastante bien a la definición de cualquier concepto, con la ventaja de su fácil definición, representación y simplicidad de cálculos.

2.4.4 VENTAJAS E INCONVENIENTES

Este tipo de lógica tiene una serie de ventajas y de desventajas

Entre las ventajas tenemos que con sistemas basados en lógica difusa es posible evaluar una cantidad de variables mucho mayor, simulando el conocimiento humano, permitiendo emplear términos como “alto”. Además, se relacionan entradas y salidas sin necesidad de conocer todo el conjunto de variables permitiendo que el sistema sea más confiable y estable que uno convencional.

Se puede simplificar la asignación de soluciones previas a problemas sin resolver, al no requerir el conocimiento de todas las variables se pueden obtener prototipos rápidamente, permitiendo un desarrollo más económico. A todo lo anterior hay que sumar que la adquisición y representación del conocimiento se vuelve más sencilla, y unas pocas reglas pueden abarcar una gran cantidad de complejidades.

Pero todo esto conlleva un inconveniente, estos sistemas requieren mayor simulación y una gran depuración y prueba antes de poder pasar a ser operacionales.

2.4.5 APLICACIONES

El uso de la lógica difusa ha crecido debido a su capacidad de resolver problemas relacionados con la incertidumbre de la información o del conocimiento de una forma entendible y comprensible por humanos. Algunas de sus aplicaciones

- En el área médica se ha empleado para el diagnóstico y análisis
- Como apoyo en la toma de decisión, por ejemplo en la búsqueda de caminos críticos en la ejecución de proyectos y asesoramiento a la inversión.
- En el campo del control de sistemas en tiempo real
- En el sector automovilístico, por ejemplo en sistemas de frenado y cambios de marcha
- En el sector de los electrodomésticos.
- Control de maquinaria, un ejemplo muy conocido es el control de frenado del metro de Sendai.

CAPITULO III: PROYECTO DESARROLLADO

3.1 Análisis

3.1.1 *Descripción del problema*

Con el avance tecnológico actual en los sistemas de teledetección, el volumen de datos que necesitan ser tratados ha aumentado mucho, por ello se hace necesario sistemas automáticos que permitan tratar toda esa cantidad de información de forma rápida y precisa.

La solución que se aborda en el proyecto consiste en desarrollar una aplicación que permita tratar la información obtenida mediante el uso de lógica difusa, han sido dos los motivos principales que nos han hecho abordar el problema desde esta perspectiva.

En primer lugar simplificar las consultas y el trabajo, en los sistemas que no están basados en este tipo de lógica, los expertos que pretendían usarlos tenían que comprobar un conjunto de variables matemáticas y usar modelos aproximados para obtener resultados, mientras que el uso de lógica difusa permite crear descriptores cualitativos, permitiendo reducir consultas a la búsqueda de agua fría o caliente.

Por otro lado, las imágenes de satélite suelen tener defectos por cuestión de las nubes, normalmente se aplicaba un conjunto de técnicas para minimizar su efecto. Debido a que la lógica difusa permite trabajar con incertidumbre, con este sistema podemos trabajar con la información válida e ignorar las nubes, reduciéndose notablemente sus efectos.

3.1.2 *Requisitos de la aplicación*

Para que la aplicación cumpla los objetivos marcados, se han establecido una serie de requisitos a cumplir, los requisitos se han dividido en dos partes, por un lado aquellos requisitos básicos de obligatorio cumplimiento para poder afirmar que el funcionamiento es adecuado, estos requisitos son obligatorios tanto para esta aplicación como para otras que pretendan solucionar este problema, y por otro lado requisitos específicos que son aquellos que pertenecen exclusivamente a este proyecto y que son obligados para cumplir con el propósito específico del mismo.

Requisitos básicos

- El principal y más importante requisito que el sistema debe de cumplir es el de ser capaz de identificar las estructuras oceánicas mencionadas en el capítulo anterior: estela, giro cálido, giro frío, afloramiento y filamento.

- Otro requisito importante es que el sistema ha de ser capaz de mantener toda la información bien ordenada y clasificada, además de garantizar un fácil acceso a la misma.
- Se busca que se pueda acceder a la aplicación de forma remota y fácil.
- El sistema debe de estar abierto a la búsqueda de otras estructuras y situaciones para las que no fue diseñado inicialmente.
- Todo el sistema diseñado se hizo para el satélite Aqua, pero se debe permitir que sea capaz de trabajar con algunos sistemas más.
- Y finalmente el sistema debe de ser suficientemente flexible para que las condiciones para la búsqueda de estructuras puedan variar a petición del usuario.

Requisitos específicos

Nos hemos marcado 3 requisitos específicos para esta aplicación:

- Que todo el proceso de segmentación se realice de forma difusa, para poder explotar todas las ventajas de la lógica difusa
- El proceso de clasificación y acceso también ha de ser construido sobre la base de la lógica difusa
- Finalmente, las funciones difusas, así como los parámetros de clasificación han de poder variarse para conseguir que usuarios expertos puedan obtener mediante experimentación unos resultados de gran precisión.

3.1.3 Descripción de la aplicación

Para cumplir con los requisitos establecidos a priori, la aplicación va a dividirse en varias partes bien diferenciadas pero todas ellas perfectamente integradas entre ellas, hay un total de 5 partes: base de datos, aplicación OpenCv, aplicación cliente, aplicación base e interfaz JSP.

Base de datos

Para poder almacenar y recuperar grandes cantidades de información se ha montado una base de datos con MySQL la cual garantiza que se conserve la información de forma bien ordenada y se pueda acceder a ella de forma rápida y sencilla.

Aplicación en C

Debido al tamaño de las imágenes producidas por el satélite hubo que desarrollar una aplicación que nos permitiese realizar todas las operaciones complejas de tratamiento y segmentación de forma rápida, para ello se recurrió a la librería OpenCV, la cual implementa un conjunto de funciones que nos permiten realizar de forma rápida todas las operaciones necesarias para la aplicación.

Con OpenCv se implementa el método de segmentación difuso, el tratamiento inicial sobre la imagen, el escalado en gris y finalmente el cálculo de descriptores clásicos y difusos que posteriormente se utilizaran para clasificar las estructuras.

Aplicación base

Íntegramente desarrollada en Java, su función es la de servir de conexión entre la aplicación de OpenCv, la base de datos, la aplicación cliente y la aplicación JSP, esta base realiza las operaciones de extracción de los ficheros HDF, la generación de imágenes a partir de esos datos, controla la ejecución de la aplicación OpenCv, interacciona con la base de datos y sus funciones dan soporte a la aplicación JSP.

Aplicación cliente

Esta aplicación permite de forma gráfica realizar etiquetado sobre una región o sobre una lista completa, además de poder comparar sus descriptores y realizar fusiones y previsualizarlas antes de guardarlas, generar imágenes con las regiones de interés, etc. Más adelante se profundizara en esta aplicación.

Interfaz JSP

Se ha desarrollado una página web con la tecnología JSP para permitir que usuarios de forma remota puedan acceder a la información conseguida mediante la realización de consultas, además de poner realizar clasificaciones, insertar imágenes, etc.

3.2 Diseño

La aplicación ha de integrar una serie de procesos tanto propios del tratamiento digital de imágenes como procesos de actualización de la base de datos y algoritmos propios del desarrollo del proyecto, en la figura 19 puede verse la estructura general de la aplicación

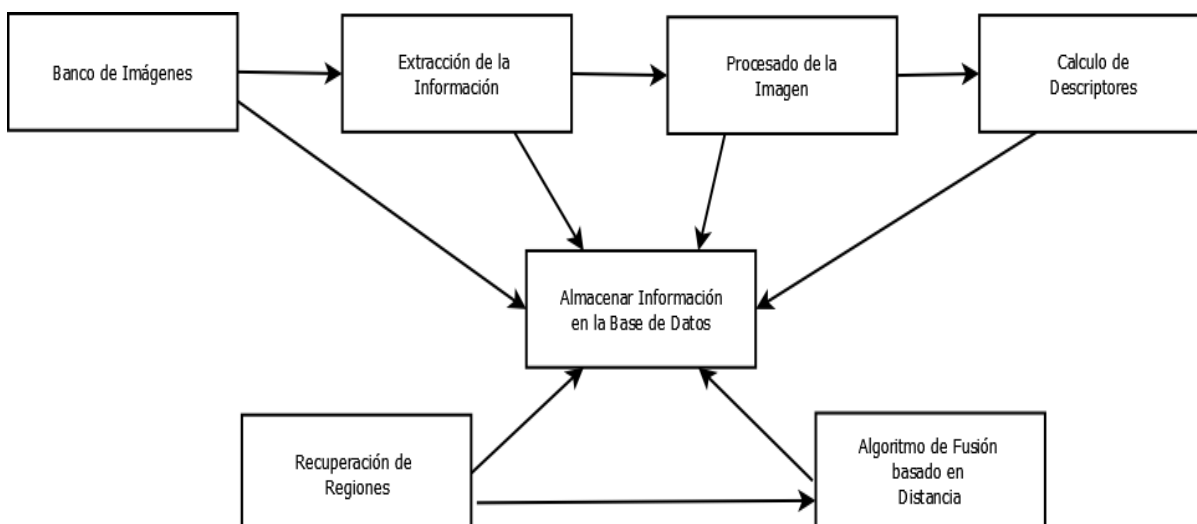


Figura 19. Estructura de la aplicación

- Banco de imágenes: Este es el lugar donde se almacenan las imágenes, tanto cuando se encuentran en formato HDF antes de extraer la información como las imágenes procesadas, todas colocadas en un directorio u otro dependiendo del sensor que las capturó, de la información que contienen (OC, SST, etc.).
- Extracción de la información: En este punto se extraen los datos del fichero HDF y se procede a convertirlos a una imagen en color, filtrados para descartar imágenes de mala calidad.
- Procesado de la imagen: Sobre los datos extraídos del fichero HDF se procede a realizar una serie de procesos de mejora de la calidad de imagen y un proceso completo de segmentación.
- Cálculo de descriptores: Sobre la imagen segmentada se proceden a calcular por un lado, descriptores basados en teoría de momentos (Hu, maitra, etc) y por otro lado descriptores basados en lógica difusa (concentración, tamaño, distancia, etc)
- Almacenar información en la base de datos: A lo largo de los diferentes pasos se va guardando información en la base de datos, desde la ruta original de los ficheros hasta el valor de los descriptores de las diferentes regiones segmentadas.

- Recuperación de imágenes: Una aplicación Java que nos permite recuperar y etiquetar regiones haciendo consultas sobre la base de datos
- Algoritmo de fusión basado en distancia: Algoritmo que nos permite unir regiones simples con características difusas similares.

Extracción de información

En la figura 20 podemos ver el proceso que sigue una imagen desde que es cargada hasta que se generan los ficheros bmp:

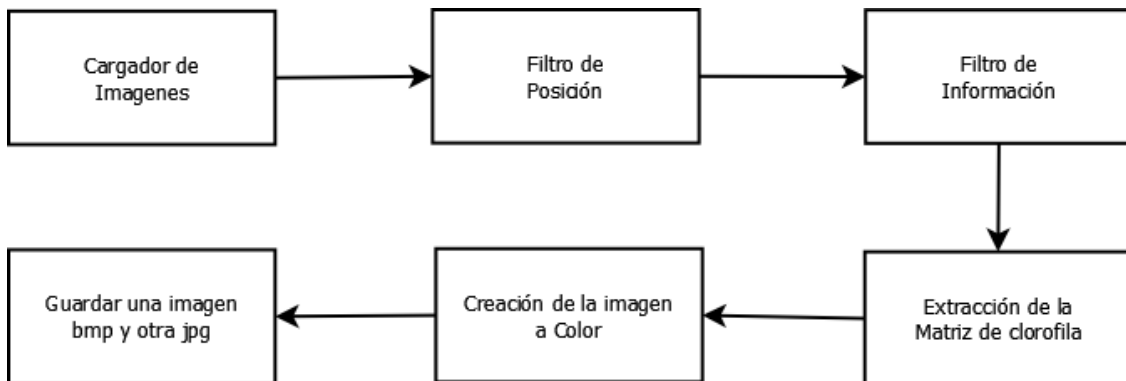


Figura 20. Proceso de extracción

Las clases de la librería de Java utilizadas para este proceso son las siguientes: Cargador, CargadorDatos, DatosArchivo, Extractor, ExtractorSST, ExtractorCHL, ExtractorMLAC_CHL, Imagen.

Procesado de la imagen

En la figura 21 podemos ver el proceso que sigue la imagen desde que se genera el bmp hasta que los datos de las regiones se almacenan en la base de datos.

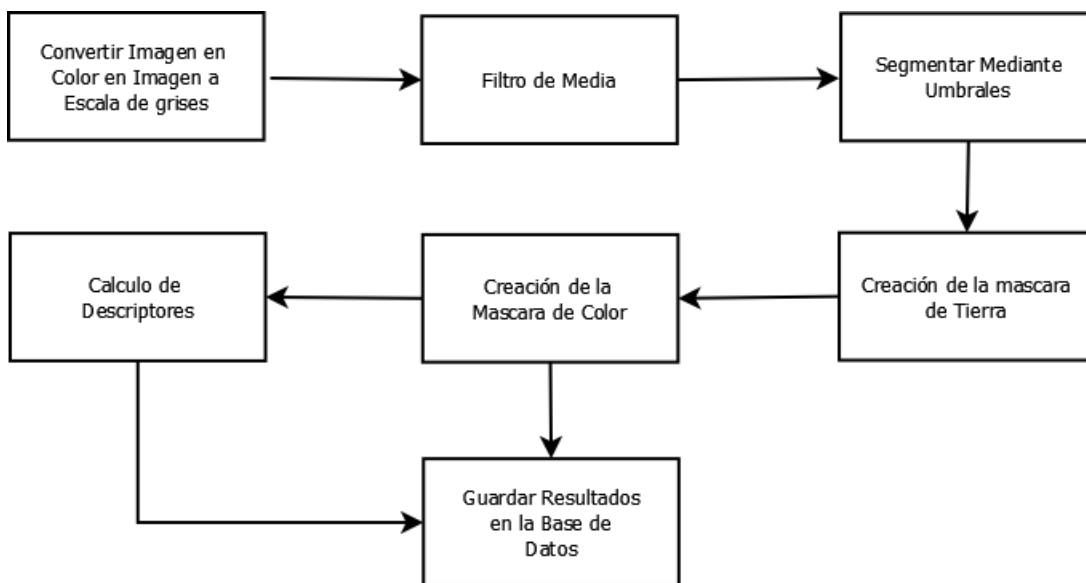


Figura 21. Procesado de la imagen

Las clases de la librería de Java utilizadas para este proceso son las siguientes: Preprocesado, segmentación, regiones. Además de dos pequeñas aplicaciones en C++ programadas con OpenCv que son llamadas desde Java.

Base de datos

En la figura 22 podemos ver un esbozo de lo que sería el diagrama entidad relación de la base de datos que utilizamos para la aplicación (Para simplificar la visualización se han suprimido los atributos de las tablas salvo las claves).

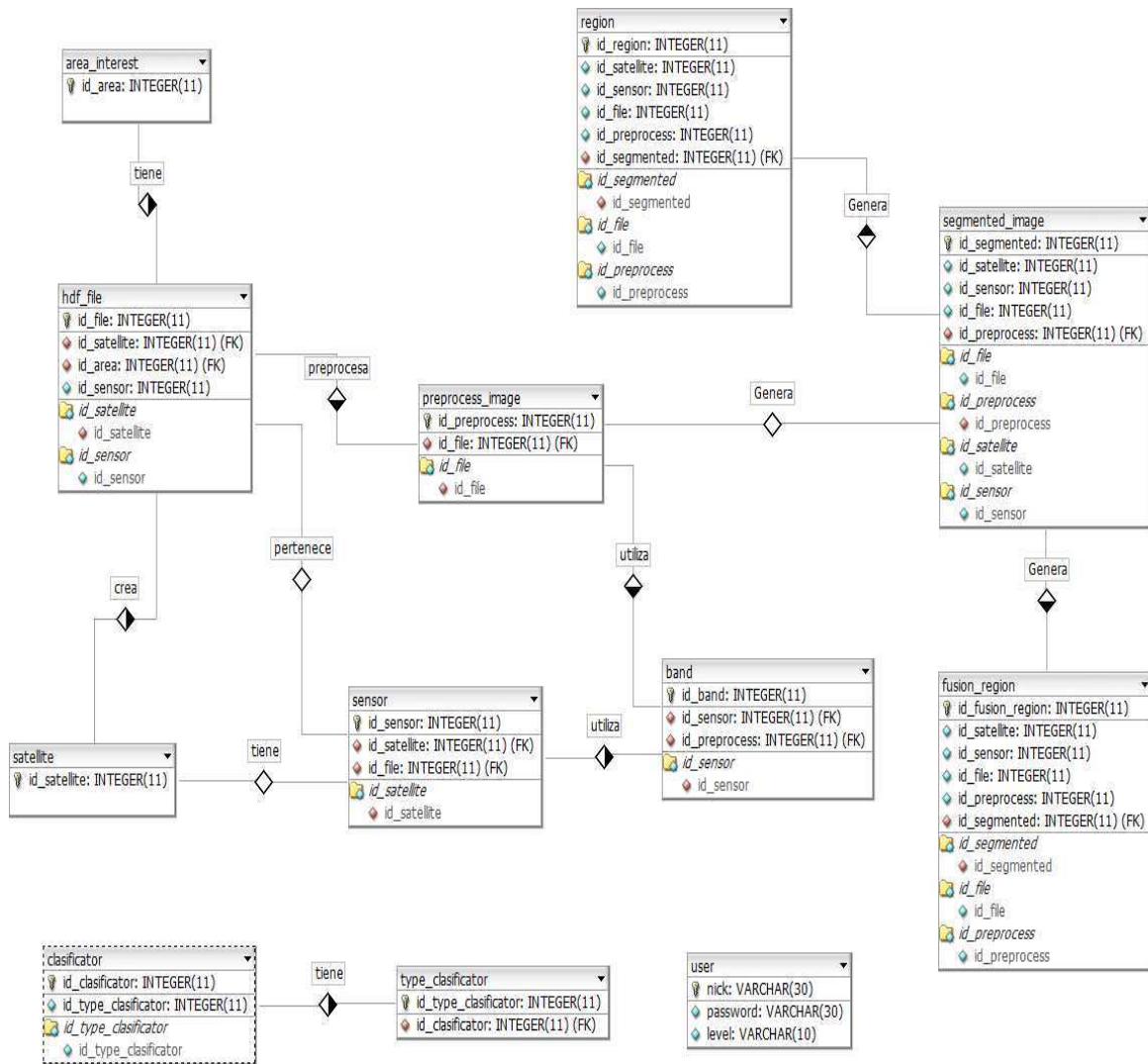


Figura 22. Diagrama entidad relación

Para el desarrollo las tablas más importantes son `region` y `fusion_region`, las cuales almacenan los valores de los descriptores difusos y no difusos. Cuando se segmenta una imagen y se calculan los diferentes descriptores se almacenan en esta tabla a la espera de su procesamiento posterior. Otra tabla a considerar es la tabla `HDF_file` la cual mantiene información sobre los ficheros originales, en el anexo III se halla una descripción más detallada de los atributos de las diferentes tablas.

3.3 Ficheros HDF

3.3.1 Introducción

La información de las imágenes se encuentra almacenada en ficheros de tipo HDF (*High density fiberboard*), la estructura interna de estos ficheros es un árbol en donde las hojas almacenan matrices con los datos.

Podemos encontrar varias estructuras de ficheros en función del sensor, del tipo de datos o de la antigüedad de los mismos. Los ficheros más antiguos contenían simultáneamente información sobre concentración de clorofila y temperatura superficial, posteriormente estos datos se dividieron en dos archivos distintos, específicos para cada producto. Además de esta división los ficheros más recientes contienen unas ligeras variaciones en las matrices de datos relativas a la latitud y la longitud.

El sistema actualmente soporta la lectura de ficheros HDF para temperatura superficial y clorofila para el sensor MODIS y SeaWifs (ficheros MLAC), todas las variaciones sufridas por los ficheros mencionadas anteriormente. Para el desarrollo del proyecto nos centraremos en las imágenes de clorofila para el sensor MODIS, aunque se utilizaran las imágenes de SST (Sea Surface Temperature: Temperatura superficial marina) para realizar una serie de estudios y comparaciones.

Inicialmente para estudiar el contenido de los ficheros de datos utilizamos la herramienta HDFView (Figura 19), perteneciente a la empresa desarrolladora de este formato [19].

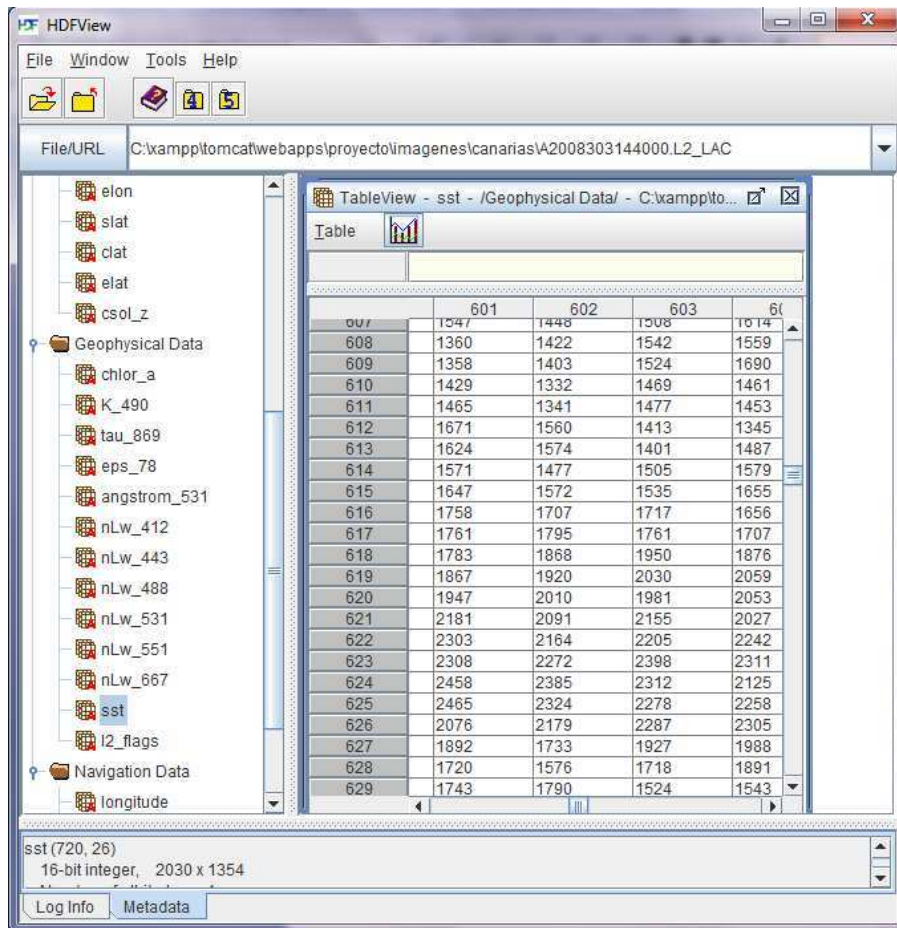


Figura 24. Captura de la aplicación HDFVIEW

La figura 23 pertenece a una de las imágenes que contienen información sobre clorofila (matriz chlor_a) y SST, en el mismo fichero.

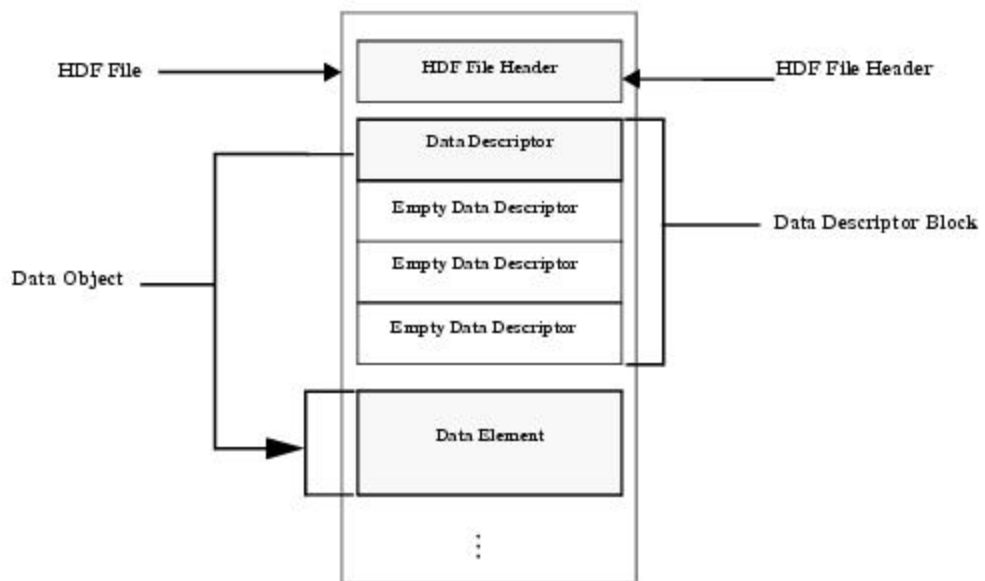


Figura 24. Estructura de un fichero HDF [19]

En la figura 24 se puede ver la estructura general del fichero HDF, en primer lugar contiene una cabecera con la información general del fichero, dentro nos encontramos con un bloque con los descriptores de datos, de esta forma se puede mantener un orden dentro del fichero y finalmente dentro de cada descriptor de datos nos encontramos con los datos y sus correspondientes metadatos.

Si observamos la figura 23 podemos observar dos descriptores de datos, Geophysical data y Navigation Data, y dentro de ambos varios elementos correspondientes a la información guardada en el fichero.

3.3.2 Estructura interna.

Todos los ficheros pertenecientes a MODIS dividen la información en 4 grupos (Para SeaWifs son 5), tres de estos elementos son propios de la zona geográfica, del sensor, de la fecha, etc, siendo comunes a todas las imágenes de MODIS (internamente los datos pueden variar en función de si la imagen es de clorofila o SST y de si utiliza el formato antiguo o bien utilizan el formato actual):

- Sensor band parameters: Almacena información sobre los parámetros de las bandas del sensor
 - *Wavelength*: En esta matriz se almacenan las longitudes de onda de las distintas bandas de MODIS usadas para calcular la información
 - *Vcal_gain*: Nos da información sobre la ganancia de calibración indirecta para cada banda
 - *Vcal_offset*: Se refiere a la compensación de la calibración indirecta para cada banda
 - *F0*: Media de flujo solar para cada banda
 - *K_oz*: Coeficiente de absorción de ozono por banda
 - *Tau_r*: Espesor óptico de Rayleigh

- Scan-lines attributes: Guarda información sobre la fecha y hora de captura así como de los parámetros de escaneo
 - *Year*: Año de captura de la imagen
 - *Day*: Día de captura de la imagen
 - *Msec*: Milisegundo de captura de la imagen
 - *Slon*: Pixel de inicio del escaneo en longitud
 - *Clon*: Pixel central del escaneo en longitud
 - *Elon*: Pixel del fin del escaneo en longitud
 - *Slas*: Pixel de inicio del escaneo en latitud
 - *Clas*: Pixel central del escaneo en latitud

- *Elat*: Pixel del fin del escaneo en latitud
 - *Csol_z*: Pixel centra del escaneo del ángulo del cenit solar
- Navigation data: Proporciona datos geográficos y su distribución en la matriz de datos.
- *Longitude*: Longitud
 - *Latitude*: Latitud
 - *Cntl_pt_cols*: Vector que almacena los índices de los puntos de control para la latitud y la longitud por columnas
 - *Cntl_pt_rows*: Igual que el anterior pero para las filas
 - *Tilt*: Angulo de inclinación para el escaneo, si el valor es negativo la inclinación es hacia delante si positivo al contrario.

Los datos *Longitude* y *Latitude* han ido variando desde los archivos más antiguos hasta los actuales, inicialmente era una matriz de 2030 x 170 y se almacenaban los datos de latitud y longitud en lugar de pixel a pixel, lo hacían por intervalos (un total de 170 intervalos), tras la división en dos fichero, uno para cada tipo de datos se modificó la matriz para los datos de clorofila, se paso a muestrear la latitud y longitud para cada pixel, teniendo una matriz de 2030 x1354 y la de SST permaneció inalterada. Tras el último cambio la matriz de SST adoptó la misma forma que la de clorofila, y los datos de *cntl_pt_cols* y *cntl_pt_rows* perdieron su utilidad, actualmente solo se usa por motivos de compatibilidad.

El cuarto grupo de datos es dependiente del tipo de imagen que se muestre siendo diferente si hablamos de clorofila o SST, puesto que el proyecto trata de clorofila solo hablaremos de sus datos:

- Geophysical data:
- *Chlor_a*: Concentración de clorofila, el valor de concentración de este tipo de imágenes se obtiene mediante el algoritmo OC3.
 - *K_490*: Coeficiente de atenuación difusa en 490 nm
 - *Tau_869*: Espesor óptico del aerosol en 860 nm.
 - *Eps_78*: Épsilon de corrección del aerosol a 765 y 865 nm
 - *Angstrom_531*: Coeficiente de angstrom de 531 a 869 nm
 - *nLw_412*: Radiación normalizada en 412 nm
 - *nLw_443*: Radiación normalizada en 443 nm
 - *nLw_488*: Radiación normalizada en 488 nm
 - *nLw_531*: Radiación normalizada en 531 nm
 - *nLw_551*: Radiación normalizada en 551 nm
 - *nLw_667*: Radiación normalizada en 667 nm

- *L2_flags*: Conjunto de banderas para indicar distintas características de los píxeles, son 32 bits detallados en la figura 25:

Bit = 1	Condicion indicada	Nombre Algoritmo
1	Fallo en la corrección atmosférica debido a entradas invalidas	ATMFAIL
2	Tierra	LAND
3	Faltan datos auxiliares	BADANC
4	Destello solar intenso	HIGLINT
5	Radiación total muy alta en alguna banda	HILT
6	Angulo cenit del satélite sobre el limite	HISATZEN
7	Agua poco profunda	COASTZ
8	Valor de radiación negativo en el agua en alguna banda	NEGLW
9	Contaminación de luz externa	STRAYLIGHT
10	Nubes o/y hielo	CLDICE
11	Coccolithophore	COCCOLITH
12	Agua turbia	TURBIDW
13	Angulo cenit solar sobre el limite	HISOLZEN
14	Concentración alta de aerosol	HITAU
15	Baja radiación en 555 nm	LOWLW
16	Clorofila no calculable	CHLFAIL
17	Navegación cuestionable	NAVWARN
18	Índice de absorción de aerosol sobre el umbral	ABSAER
19	Trichodesmium	TRICHO
20	Máximo de iteraciones del algoritmo NIR	MAXAERITER
21	Destello solar moderado	MODGLINT
22	Clorofila fuera de rango	CHLWARN
23	Épsilon fuera de rango	ATMWARN
24	Pixel oscuro para alguna banda	DARKPIXEL
25	Pixel con hielo sobre el agua	SEAICE
26	Error de navegación condición indicada en los flag de navegación	NAVFAIL
27	Insuficientes pixeles vecinos validos para el filtro épsilon	FILTER
28	Bandera de advertencia para SST (solo para MODIS)	SSTWARN
29	Bandera de error para SST (solo para MODIS)	SSTFAIL
30 - 31	Banderas libres	SPARE
32	Datos de océano claros (sin nubes, tierra o hielo)	OCEAN

Figura 25. Tabla de flags

3.3.3 Extracción de la información

Además de la información contenida dentro del fichero, en el nombre del archivo van incluidos ciertos datos de interés, sírvase el siguiente nombre como ejemplo:

iyyyydddhhmss.L2_ccc

El carácter i sirve para delimitar el satélite, una A para Aqua, T para Terra y S para SeaWifs. Los siguientes se utilizan para dar información sobre la fecha de los datos, yyyy refiere al año, ddd es el día del año entre 1 y 365 (366 si el año es bisiesto), hh nos da la hora, mm los minutos y ss los segundos. El L2 es indicativo de que estamos utilizando los datos de nivel 2. Finalmente ccc nos sirve para indicarnos la resolución y el tipo de producto, nuestro caso las imágenes serán LAC_OC (ficheros que solo contienen datos de clorofila), LAC (contienen datos de clorofila y SST),

Para extraer los datos hay que tener en cuenta dos de sus metadatos, el *scope* y el *intercept*. Para ahorrar espacio al almacenar valores en punto flotante se procede a transformarlos en números enteros, y estos dos valores son los factores de conversión de uno a otro. Para obtener el dato real hay que multiplicar el *scope* por el dato almacenado y sumar el *intercept*. Para cada dato hay otros dos metadatos, por un lado *long_name* que se refiere al nombre completo de los datos y *units* referido a las unidades de medida para los datos. Estos metadatos se utilizan para los datos geofísicos, los demás pueden variar en función del dato al que se refiera.

3.3.4 Operaciones sobre los ficheros HDF

Antes de preprocesar y segmentar los datos se realizan tres operaciones sobre los ficheros HDF: extracción de la matriz de clorofila, filtrado de los ficheros HDF y conversión a imagen.

Filtrado de los ficheros HDF

Todas las imágenes captadas por el sensor MODIS no pueden ser aprovechadas para extraer información, esto se debe a dos causas, por un lado un exceso de nubosidad provoca que no sea capaz de leer la mayoría de los datos (especialmente grave para el caso de la clorofila) y otra causa es debido a que los datos medidos no estén geográficamente situados donde nos interesa. Para evitar esto y trabajar con imágenes con buena información implementamos dos filtros previos, los cuales eliminarán las imágenes con poca información o bien que no se encuentren centradas sobre la zona geográfica de estudio.

Filtro de posicionamiento.

Para realizar esta parte primero hubo que calcular un posible centro para la zona geográfica en cuestión, para las explicaciones nos referiremos de aquí en adelante a canarias, ya que es nuestra principal zona de estudio, aunque el algoritmo está adaptado para funcionar en otras áreas geográficas, para ello hubo que recurrir a mapas y averiguar la latitud y la longitud de las islas, entonces se dibujo un rectángulo que incluyese todas las islas, tomamos el punto de intersección de las dos diagonales y obtuvimos un centro orientativo en las coordenadas, latitud 28.2 y longitud 16.4.

El proceso para averiguar si una imagen se haya centrada es el siguiente, eliminamos las 500 filas superiores y las 500 filas inferiores. Después eliminamos las 300 primeras columnas y las 300 últimas columnas y verificamos extrayendo las matrices de longitud y latitud, si en la imagen esta el centro que habíamos calculado.

Puesto que este proceso era bastante lento se optimizo, para ello seleccionamos los 4 puntos rojos que se pueden ver en la figura 26.

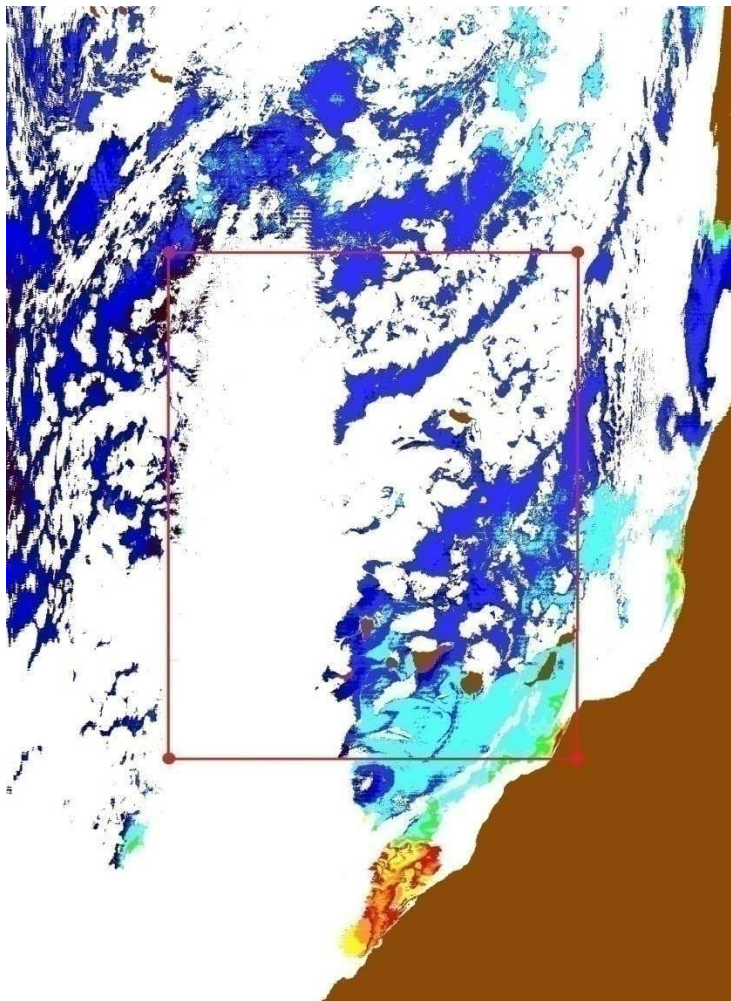


Figura 26. Área de selección del filtro (MODIS 19/08/2009)

Para que el filtro acepte una imagen es necesario que el centro geográfico del área se encuentre dentro del recuadro rojo de la imagen anterior.

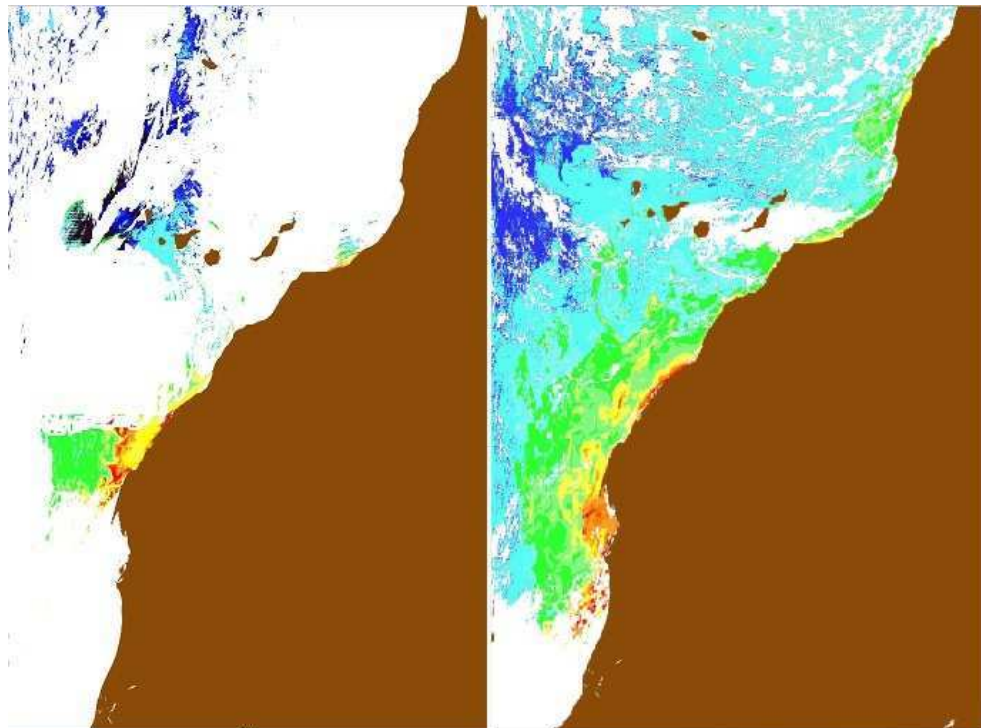
Obtenemos la latitud y longitud de los 4 puntos y comprobamos si el centro se encuentra dentro del cuadrado que delimitan esos 4 puntos, en caso de no encontrarse dentro del cuadro se procede a descartar la imagen.

El cálculo del centro geográfico se le añade a la base de datos al crear un área geográfica y dicho centro se calcula fuera de la aplicación.

Filtro de porcentaje de datos

Debido al efecto de las masas nubosas, ruidos y errores en las mediciones o cálculos es muy común, y más en el caso de la clorofila, que aparezcan muchos puntos de la imagen sin información útil. Este filtro trata de eliminar aquellas imágenes en las que el número de puntos sea muy pequeño.

Para hacer esto, durante el proceso de extracción de los datos, vamos anotando los puntos inservibles (errores, nubes y tierra), tras extraer toda la información del archivo calculamos el porcentaje de información útil que hemos encontrado, el filtro está establecido de forma que para que una imagen sea reconocida como válida ha de poseer al menos un 20% de puntos válidos. La siguiente imagen muestra la diferencia entre una imagen con menos de un 20% de puntos útiles y otra con los suficientes (Figura 27).



MODIS 18 /03/ 2005

MODIS 25/02/2004

Figura 27. Diferencia entre una imagen con menos de un 20% válido y otra con más de un 20%.

El resultado de aplicar los dos filtros nos permite obtener unas imágenes con suficiente información para segmentar y eliminar aquellas que nos son del todo inservibles. El hecho de aplicar este filtro provoca una reducción muy elevada del número de imágenes, la tabla de la figura 28 muestra los resultados después de aplicar el proceso de filtrado sobre un conjunto de 85 archivos HDF para datos de clorofila.

	Imágenes útiles	Imágenes descartadas	% útil
Sin filtro	85	0	100%
Filtro de posición	76	9	89,40%
Filtro de porcentaje	25	60	29,41%
Ambos filtros	20	65	23,52%

Figura 28. Tabla con los resultados de los filtros

Viendo los resultados de la tabla podemos concluir que el principal motivo de descarte se debe principalmente a la falta de información útil.

Extracción de información de los ficheros HDF

Anteriormente se comentó la estructura de este tipo de ficheros, ahora detallaremos el proceso para extraer los datos de los ficheros.

Para cada tipo de fichero y de datos la estructura interna es exactamente la misma, por tanto para acceder a alguna matriz de datos del fichero necesitamos dos valores, el primero nos indica el descriptor de datos, por ejemplo el valor 2 en una imagen de MODIS corresponde a Geophysical data, que es donde está guardada la matriz con los datos de concentración de clorofila (chlo_a) y el segundo valor corresponde a la posición de los elementos dentro del descriptor, siguiendo con el ejemplo, el valor 0 nos devuelve la matriz de clorofila.

A pesar de la todos los datos contenidos en el fichero HDF tan solo se accederá de forma automática para este proyecto, a la matriz de datos (clorofila), latitud, longitud y l2_flag, por tanto se describirá el proceso para cada una de ellas.

Tanto la latitud como la longitud son usados para realizar el filtro de posición descrito anteriormente, estos datos han variado con las distintas versiones y nos encontramos con dos casos, que la matriz tenga solo 170 columnas o tenga 1354. Si tenemos 1354 columnas tan solo tenemos que extraer los datos de la columna 300 y los datos de la columna 1054 para averiguar sus coordenadas (este proceso se realiza para la fila 500 y la 1530), es un proceso rápido y sencillo.

El mayor problema es cuando son solo 170 columnas, ya que en principio no sabemos qué latitud o longitud corresponde a cada columna. Tras varias pruebas se decidió buscar una equivalencia entre estas columnas, finalmente se estableció que cada columna de este tipo se correspondía con aproximadamente 8 de las anteriores, de esta forma aproximamos el posicionamiento de las coordenadas en la columna 37 y 133, y el proceso era exactamente igual que antes. El inconveniente es que se produce una leve pérdida de precisión, aunque tras las pruebas empíricas dicha pérdida es demasiado pequeña para tenerla en cuenta.

La matriz de clorofila en todos los tipos de imágenes tiene exactamente el mismo tamaño, 2030x1354, la única variación está en el valor del error, en las imágenes clásicas el error se marca con un -1 mientras que en las más modernas se marca con -32767. Todo lo demás permanece inalterado.

Debido al tamaño de la matriz y de todas las operaciones que posteriormente hay que realizar, además de la conversión a imagen, se ha buscado que este proceso sea lo más eficiente posible, para ello utilizaremos la matriz `l2_flags`. Cada vez que queramos acceder a una posición de la matriz de clorofila, accederemos antes a la matriz `l2_flags` y veremos un par de banderas concretas.

El proceso es el siguiente:

1. Accedemos a un punto de la matriz
2. Si el bit 32 está a 1. Multiplicamos el valor de la matriz de clorofila por el scope y sumamos en intercept (esta bandera indica que el datos es muy fiable).
3. Si el valor es -1 o -32767, accedemos a la matriz `l2_flags`
 - a. Si el bit 2 es 1, en esa posición hay tierra, devolvemos el valor -2
 - b. Si el bit 2 es 0, devolvemos -1, no necesitamos discriminar si el valor se ha producido por nubes, por un error o por otra causa
4. Si el valor es menor que 0(y no es ninguno de los anteriores) o mayor que 100 y esta activado el bit 22, procedemos a ajustar el valor a 0 o 100 dependiendo del valor. La cantidad de datos que aparecen en estas condiciones son muy pocos.

5. Accedemos al siguiente punto de la matriz y repetimos desde 2

De esta forma obtenemos una matriz con valores de concentración entre 0 y 100, con un -1 en los lugares donde se haya producido un error o haya exceso de nubosidad y un -2 en las zonas donde hay tierra. El motivo de mirar las dos matrices es el de evitar hacer algunos cálculos innecesarios, obtener información adicional y además ajustando los valores fuera de rango evitamos errores y problemas en los siguientes pasos.

3.4 Tratamiento de imágenes

3.4.1 *Introducción*

Los datos obtenidos de los ficheros HDF han de ser tratados y convertidos en imágenes con el fin de aplicar técnicas de tratamiento digital de imágenes para poder por un lado eliminar defectos y por otro lado poder utilizar sistemas de clasificación para automatizar el reconocimiento de las estructuras, en la siguiente figura se ilustra el puntos donde nos encontramos, dentro del sistema completo de visión artificial (Figura 29)

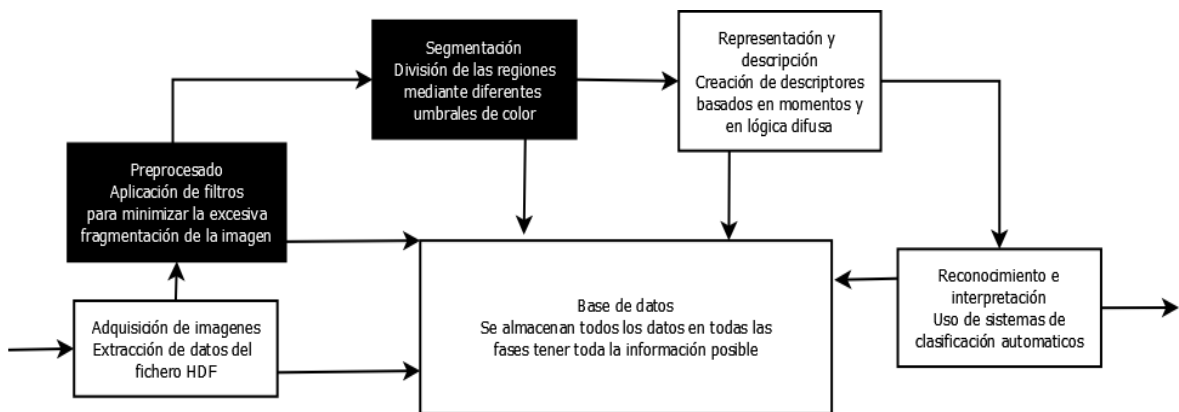


Figura 29. Esquema del proceso de Tratamiento Digital de Imágenes

El proceso general para cualquier imagen introducida en el sistema consta de una serie de pasos (Figura 30).

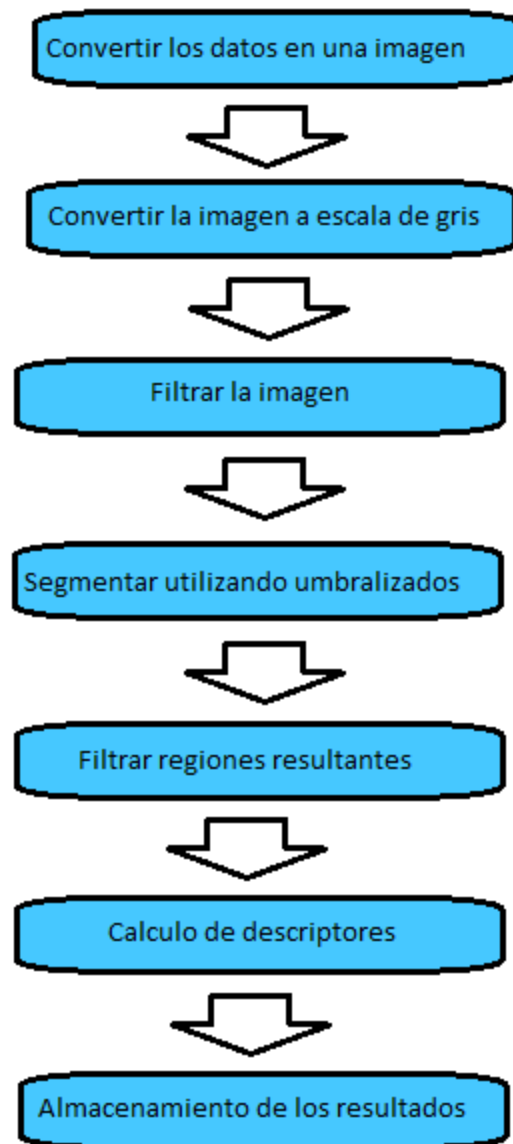


Figura 30. Pasos del proceso de tratamiento

En el punto donde se calculan los descriptores, calculan tanto los descriptores clásicos tales como Hu o Zernike y los descriptores difusos.

3.4.2 Generación de la imagen

Hasta este momento tan solo teníamos un fichero con un conjunto de matrices de datos, ahora vamos a convertir la matriz de datos que nos interesa en una imagen bmp para a partir de este momento trabajar exclusivamente con imágenes. Además de poder aprovechar los algoritmos y métodos clásicos de trabajo con imágenes, nos quedamos solamente con los datos que nos interesan, siendo más fácil trabajar con ello y reduciendo ficheros de más entre 20 y 140 megabytes a imágenes de tan solo 8.

Para generar la imagen se necesita una escala de equivalencia entre concentración de clorofila y colores, para ello se utilizó y modificó la escala de

colores utilizados por el CREPAD (Centro de REcepción, Proceso, Archivo y Distribución de imágenes de observación de la tierra) [21]. Las modificaciones fueron realizadas para poder adaptarlo a las características difusas propias de este proyecto. La escala usada es la de la figura 31:

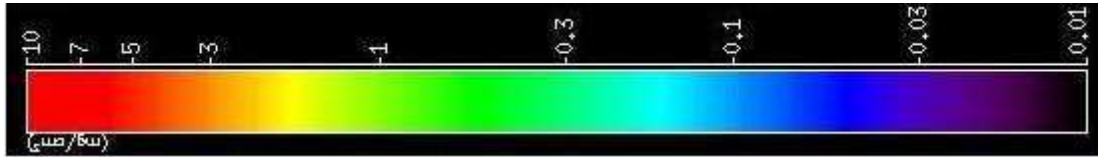


Figura 31. Escala de concentración de Clorofila

Para cada posición de la matriz de datos contenida en el fichero HDF asociamos un tono de color, cada una de estas posiciones de la matriz de datos se convertirá en un pixel de la nueva imagen, valores erróneos se marcan con el tono blanco y las posiciones de tierra se colorean de un color marrón característico, el principal motivo para esto es facilitar las operaciones posteriores, finalmente obtenemos una imagen como la de la figura 32:

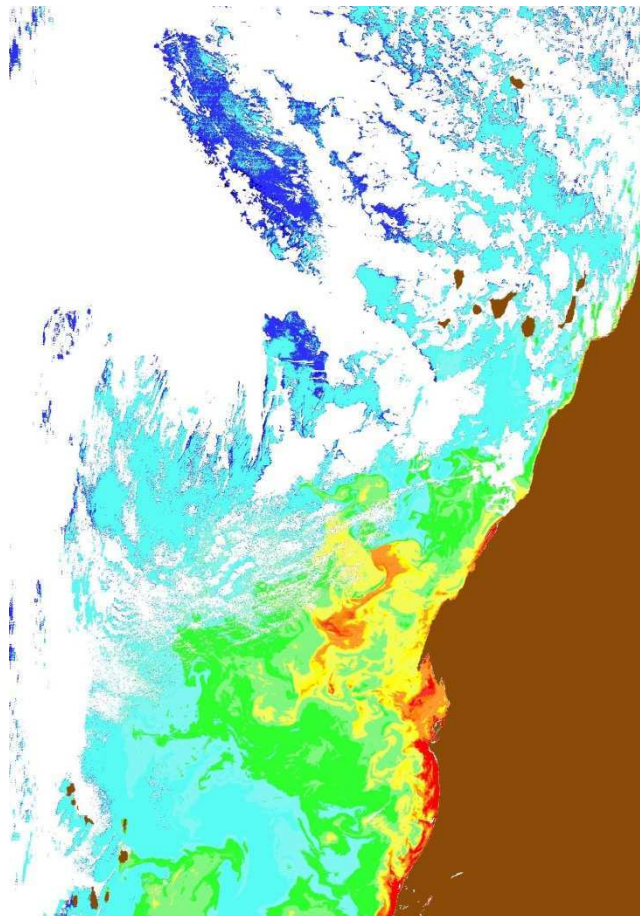


Figura 32. Imagen de Concentración de Clorofila (MODIS 30/11/2008)

Debido a las nubes y errores del sensor se hace necesario tratar las imágenes obtenidas para poder minimizar estos problemas.

3.4.3 Escalado de gris

Antes de empezar a tratar las imágenes se realiza una conversión de los colores originales a diversos tonos en escala de grises, esto se hace por varios motivos, por un lado reducimos el número de matrices de la imagen de 3 a 1 reduciendo considerablemente su tamaño en la memoria así como agilizando su procesamiento.

Por otro lado, se con esta conversión es posible utilizar la librería OpenCv, esta librería contiene multitud de algoritmos para el tratamiento de imágenes ya implementados y con una ejecución muy optimizada, de esa forma se obtiene una mejora en el rendimiento de la aplicación.

La figura 33 muestra el resultado de esta conversión y la tabla de la figura 34 muestra la equivalencia entre los colores de la imagen original y los tonos en gris:

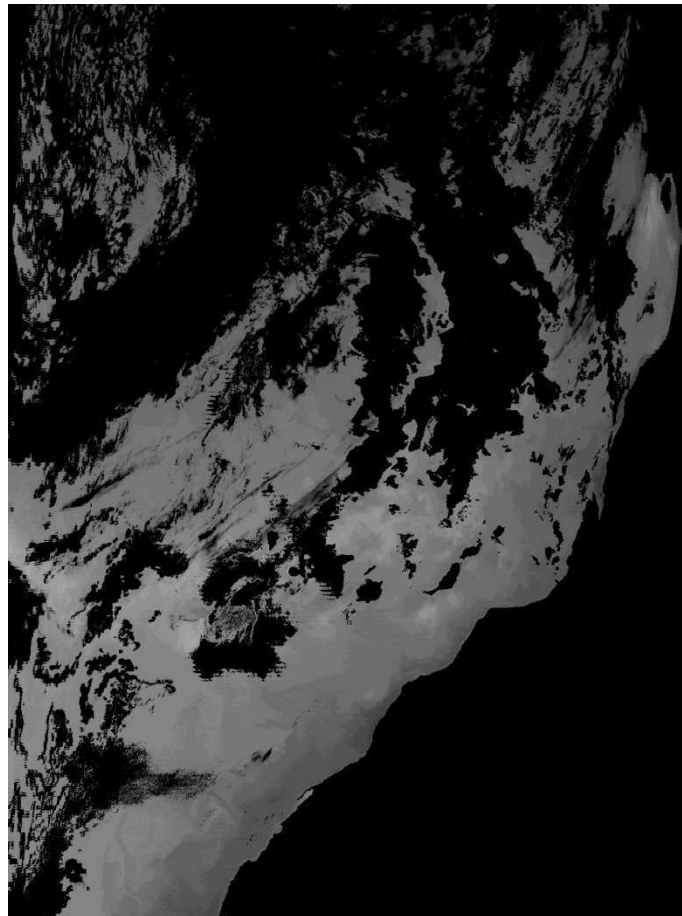


Figura 33. Imagen en escala de grises (MODIS 20/05/2009)

Color	Concentración	Tono de gris
0x8A4B08	Tierra	0xFF
0x0101DF	[0.03 , 0.06)	0x14
0x2E2EFE	[0.06 , 0.1)	0x28
0x58FAF4	[0.1 , 0.2)	0x3C
0x81F7F3	[0.2 , 0.3)	0x50
0x2EFE2E	[0.3 , 0.6)	0x64
0x81F781	[0.6 , 1)	0x78
0xF4FA58	[1 , 2)	0x8C
0xFFFF00	[2 , 3)	0xA0
0xFE9A2E	[3 , 5)	0xB4
0xFF8000	[5 , 7)	0xC8
0xFE2E2E	[7 , 10)	0xDC
0xFF0000	[10 , 100)	0xF0
0xFFFFFFFF	Errores	0xFF

Figura 34. Tabla de equivalencias

Viendo la tabla puede observarse que no se establece unos valores de gris continuos sino que se toman por intervalos dejando tonos de gris sin utilizar, esto se detallara posteriormente y se debe a la implementación de la lógica difusa.

3.4.4 Filtrado de la imagen

Debido a la naturaleza de las imágenes después de la extracción nos encontramos con una gran cantidad de regiones de pequeño tamaño completamente inservibles, ello conlleva que se necesite aplicar operaciones de filtrado sobre la imagen. El objetivo era reducir las regiones de tamaño minúsculo y pixeles sueltos ya fuese eliminándolos o uniéndolos con otras regiones cercanas

Como se puede ver en la figura 35, a simple vista no es fácil ver la diferencia entre la imagen a la cual se ha aplicado el filtro y a la que no

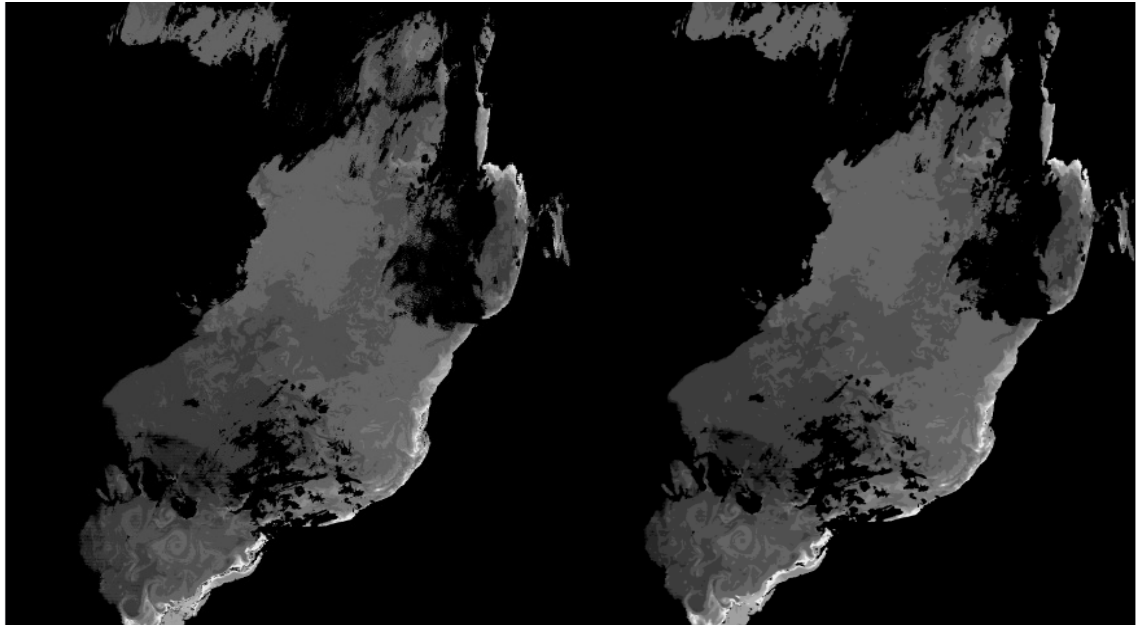


Figura 35. Imagen en gris y preprocesada (MODIS 4/03/2003)

Pero a nivel de segmentación el resultado es bastante apreciable, después de probar con diferentes técnicas y filtros la que funcionó mejor fue el filtro de media, eliminaba las regiones más pequeñas sin causar grandes pérdidas de información consiguiendo los mejores resultados.

3.4.5 Segmentación en regiones

Al comienzo de la segmentación se desarrolló una función difusa (función de fuzzyficacion) para separar los distintos conjuntos, quedando divididos en 5 grupos para concentración de clorofila (muy alta, alta, media, baja, muy baja), 3 para tamaños (pequeño, mediano, grande) y 3 para distancias (cerca, media, lejos). La tabla de la figura 36 muestra la equivalencia entre los conjuntos difusos y los tonos de gris de la imagen, tomando en cuenta que posteriormente la función de fuzzyfication asignará los grados de pertenencia.

Intervalo de tonos	Conjunto difuso
[1,42]	Muy poca
[43,84]	Muy poca/poca
[85,126]	Poca/media
[127,168]	media/alta
[169,210]	alta/muy alta
[211,254]	muy alta

Figura 36. Tabla de equivalencias

Cada conjunto tiene un valor mínimo y otro máximo, ambos son importantes porque son los utilizados como umbrales para realizar la segmentación. Que el valor sea mínimo o máximo no quiere decir que tenga la máxima o mínima pertenencia a un conjunto difuso, sino simplemente cual es el tono de gris de menor y mayor intensidad del conjunto.

Para facilitar el trabajo se usaron las siguientes funciones de la librería OpenCv [9][20]:

cvThreshold(const CvArr* src, CvArr* dst, double threshold, double max_value, int threshold_type)

- *Src*: Matriz de la imagen original donde aplicaremos el umbralizado
- *Dst*: Matriz destino de los resultados del umbralizado
- *Threshold*: Es el valor de umbral
- *Max_value*: Es el valor máximo para los elementos dentro del umbral (para el proyecto 255).
- *Threshold_type*: Tipo de umbralizado, para el proyecto se usaron dos
 - *CV_Thresh_binary*: Si el valor en un pixel es mayor que el valor umbral, colocamos ese pixel a 255, en caso contrario a 0.
 - *CV_Thresh_binary_inv*: Si el valor en un pixel es mayor que el valor umbral colocamos ese pixel a 0, en caso contrario a 255.

cvAnd(const CvArr* src1, const CvArr* src2, CvArr* dst, const CvArr* mask CV_DEFAULT(NULL))

- *Src1*: Primer operando
- *Src2*: Segundo operando
- *Dst*: Destino de la operación
- *Mask*: Mascara, para la segmentación se utilizó la máscara por defecto.

El proceso de umbralizado consta de 3 partes, por un lado utilizando el tipo de umbralizado CV_THRESH_BINARY con el valor mínimo del conjunto obteniendo una imagen auxiliar en la cual todos los pixeles cuyo tono de gris sea mayor que el umbral, serán puestos a 255 y el resto se pondrán a 0.

En la segunda parte repetimos el proceso, pero esta vez utilizaremos como tipo de umbralizado CV_THRESH_BINARY_INV con el valor máximo del conjunto, así obtenemos una imagen auxiliar en el cual están a 255 todos los pixeles que no superen el umbral y el resto a 0.

Una vez obtenidas las dos imágenes procedemos a realizar la intersección (operación AND) entre ambas imágenes, toda la imagen se pondrá a 0, salvo las regiones cuyos tonos se encuentren dentro del intervalo, de esta forma discretizamos aun mas los tonos de gris, adaptándolos a los conjuntos difusos.

El proceso gráficamente ilustrado seria en la figura 37:

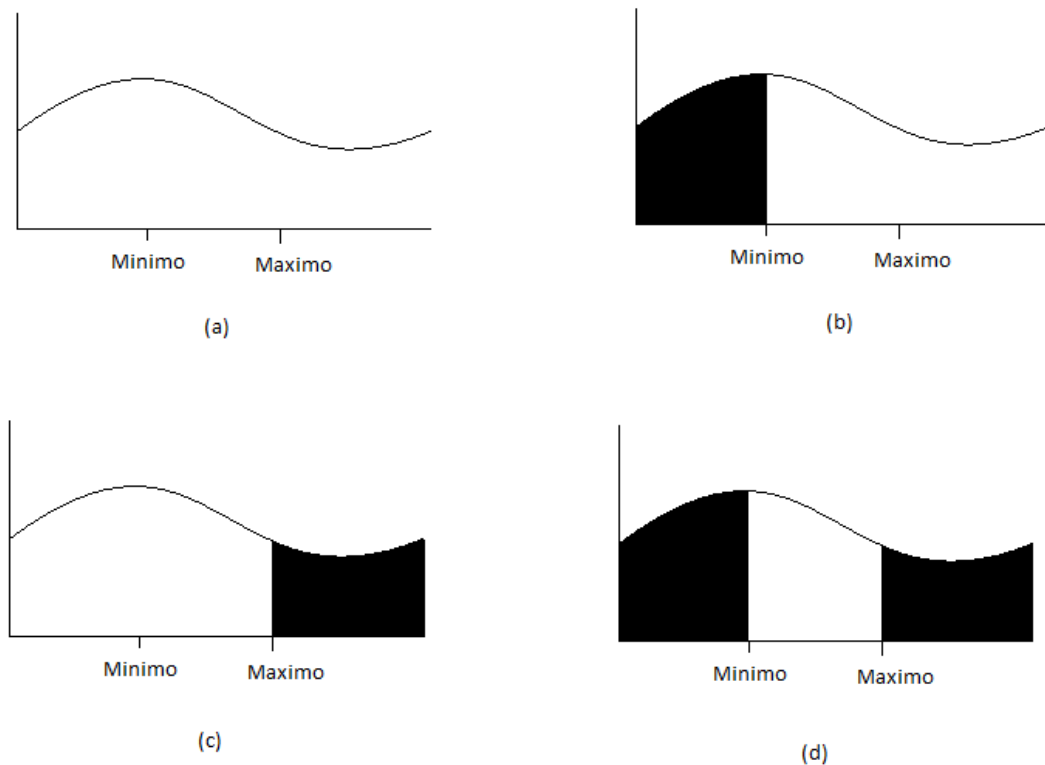


Figura 33. Proceso de umbralización

En la figura 37 (a) tenemos el histograma correspondiente a la imagen, (b) muestra el resultado obtenido tras aplicar el primer umbralizado, (c) es el segundo umbralizado realizado a la imagen original, y finalmente (d) nos da el resultado final de la intersección.

De esta forma dividiríamos la imagen en tonos de gris, ahora procedemos a dividir cada tono en regiones, para ello utilizamos la función de OpenCv:

```
cvFindContours( CvArr* image, CvMemStorage* storage, CvSeq**
first_contour, int header_size CV_DEFAULT(sizeof(CvContour)), int mode
CV_DEFAULT(CV_RETR_LIST), int method
CV_DEFAULT(CV_CHAIN_APPROX_SIMPLE), CvPoint offset
CV_DEFAULT(cvPoint(0,0))
```

- *Image*: La imagen donde se ha almacenado el resultado final de umbralizar

- *Storage*: Una estructura propia de OpenCv para almacenar datos en memoria
- *First_contour*: Estructura donde será almacenado el contorno
- *Mode*: Modo de obtención de los contornos
- *Method*: Método de aproximación a utilizar
- *Offset*: Valor de desplazamiento a partir del cual se quitan los elementos del contorno

Esta función realiza una aproximación al contorno, para el desarrollo del proyecto *mode* ha tomado el valor `CV_RETR_CCOMP`, el cual nos recupera tanto la línea del contorno como su contenido. El método usado es el método de aproximación de cadena simple.

Una vez encontrado el contorno se filtra para descartar aquellas regiones inservibles, el límite se ha puesto en 15 píxeles, es decir, se descartan automáticamente todas las regiones con un número de píxeles menor de 15.

3.5 Calculo de descriptores

3.5.1 Introducción

Con el objetivo de ser capaces de entrenar sistemas que puedan identificar estructuras de forma automática, necesitamos un conjunto de atributos que nos cuantifiquen la información de la región segmentada previamente, esto lo vamos a realizar con los descriptores. Para identificar las regiones utilizaremos descriptores de dos tipos, los primeros son los descriptores que hemos llamado “clásicos” los cuales están basados en características geométricas como la circularidad y también están basados en la teoría de momentos, por ejemplo las invariantes de Hu. Por otro lado tenemos otro conjunto de descriptores denominados difusos, a diferencia de los anteriores estos descriptores se basan en lo que se conoce como lógica difusa, la forma de asociar a una región características difusas es mediante la función de fuzzyfication. A continuación nos centraremos en la forma de calcular estos descriptores difusos.

3.5.2 Descriptores difusos

Los descriptores difusos los vamos a dividir en tres conjuntos, por un lado tenemos los descriptores para definir la concentración de clorofila y su conjunto de valores variará desde poca concentración hasta mucha concentración, son un total de 5.

También disponemos de 3 descriptores para guardar información difusa sobre el tamaño de las regiones, estos tamaños son pequeño, medio y grande, finalmente tenemos 6 descriptores utilizados para medir distancias, 3 de estos descriptores se utilizan para el cálculo de la distancia de la región al continente y el resto para las islas.

En el caso de que nos encontrásemos en una región diferente de las islas Canarias en caso de no poder tomar distancia a islas o distancia a tierra, pondríamos sus valores a 0, indicando la no pertenencia a ningún conjunto.

Descriptores para la concentración de clorofila

Para toda región de la imagen los posibles grupos a los que puede pertenecer en función de su nivel de concentración de clorofila son: muy baja, baja, media, alta y muy alta. Un detalle importante de la lógica difusa es que una región no tiene porque esta única y exclusivamente en un grupo o en otro, sino que cada región tendrá un **grado de pertenencia** a cada uno de los 5 grupos, los valores de los grados de pertenencia varían entre 0 y 1. La función de fuzzyficación utilizada ha sido una triangular mostrada en la figura 38

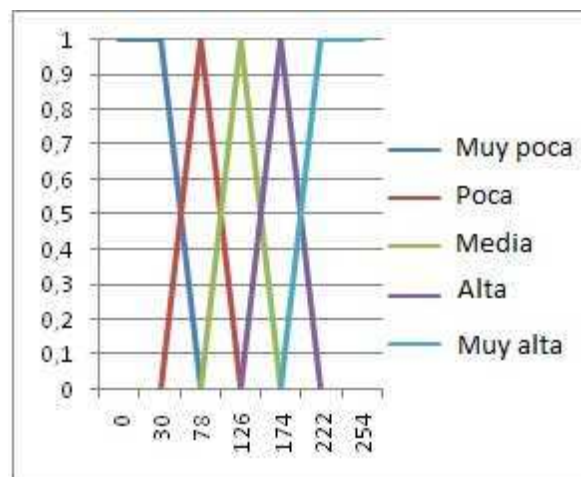


Imagen 38. Grafica de la función

Para dar valores de pertenencia a cada uno de las regiones nos basamos en el tono de gris que tenía asignado, al utilizar funciones triangulares dos conjuntos consecutivos tienen una parte común, por tanto para cada tono de color se calcularán varios valores, para tratar de obtener el grado de pertenencia producido por esas partes comunes, las ecuaciones son:

$$Valor = 1 - \frac{Tono - Valor_{minimo}}{Valor_{maximo} - Valor_{minimo}}$$

$$Valor = \frac{Tono - Valor_{minimo}}{Valor_{maximo} - Valor_{minimo}}$$

La primera ecuación nos calcula el grado de pertenencia para los tonos de gris situados por debajo del punto medio de cada conjunto y la segunda para el resto, esto se debe a que los valores por debajo del valor medio empiezan muy

cerca del conjunto difuso anterior, por tanto tendrá más pertenencia a ese conjunto que aquellos que se sitúan por encima del punto medio.

Las únicas excepciones son los tonos de gris por debajo de 42 que solo tendrán una pertenencia a 1 con el conjunto “muy poca” y los tonos por encima de 210 los cuales siempre tendrán pertenencia 1 con “muy alta”.

Descriptores de tamaño

A la hora de decidir si el tamaño de una región es grande o pequeña nos encontramos con un problema, definir con cuantos pixeles una región es grande o pequeña.

Como medida para determinar el tamaño se decidió usar las estructuras oceánicas, las estelas estructuras pequeñas mientras que los afloramientos suelen ser grandes, por tanto nos quedamos con el tamaño de los giros oceánicos para establecer la medida, los giros suelen tener un radio entre 50 y 200 km, tras varias pruebas los mejores resultados se obtenían tomando como referencia el tamaño mínimo, es decir, 50 km de radio.

Para asignar los grados de pertenencia para a cada conjunto difuso establecemos 3 valores constantes; mínimo, medio y máximo. El valor mínimo se estableció en 10, el valor medio es el área de una circunferencia de radio 50, y finalmente el valor máximo se toma como el triple del valor medio.

Para poder calcular los valores difusos de tamaño calculamos un factor al que denominaremos **factor de escala**, dicho valor se utilizará para pasar el número de pixeles de una imagen a kilómetros y viceversa, para calcularlo utilizamos la superficie total de una isla real, concretamente por tamaño tomamos la isla de Tenerife, durante el proceso de escalado a gris calculamos también su tamaño en pixeles, de esta forma podemos sacar la equivalencia. Con este valor de escala podemos saber a cuantos kilómetros se corresponde cada región.

Una vez obtenida el área aplicamos la función de fuzzyficacion para obtener el valor difuso para el tamaño, la ecuación concreta depende del tamaño original de la región, la figura 39 muestra los intervalos y ecuaciones utilizados.

$$area_{km} = \text{Factor de escala} * area(\text{pixels})$$

$$area_{km} \geq \text{mínimo} \text{ Y } area_{km} \leq 0,75 * \text{medio} \rightarrow \text{tamaño} = \frac{1 - (area_{km} - \text{mínimo})}{(\text{medio} * 0,75) - \text{mínimo}}$$

$$area_{km} > \text{medio} * 0,25 \text{ Y } area_{km} \leq \text{medio} \rightarrow \text{tamaño} = \frac{1 - (area_{km} - \text{medio} * 0,25)}{\text{medio} - (\text{medio} * 0,25)}$$

$$area_{km} \geq \text{medio} \text{ Y } area_{km} \leq 1,75 * \text{medio} \rightarrow \text{tamaño} = \frac{1 - (area_{km} - \text{medio})}{(\text{medio} * 1,75) - \text{medio}}$$

$$area_{km} > \text{medio} * 1,5 \text{ Y } area_{km} \leq \text{máximo} \rightarrow \text{tamaño} = \frac{1 - (area_{km} - \text{medio} * 1,5)}{\text{máximo} - (\text{medio} * 1,5)}$$

$$area_{km} > maximo \rightarrow tamaño = 1(valor\ maximo)$$

Figura 39. Calculo de valores difusos para el tamaño

Descriptores de distancia

Utilizamos dos tipos de descriptores difusos basados en distancia, por un lado distancia a islas y por otro distancia al continente, debido a que el lugar principal de estudio son las islas Canarias, para que el sistema fuese ampliable a otras zonas geográficas ambos parámetros pueden ser descartados, es decir, si la región en la que nos encontramos no contiene islas, por ejemplo, en imágenes de california, los descriptores de distancia a islas se pondrán a cero. De esta forma puede adaptarse perfectamente a cualquier zona.

El proceso tanto para determinar los grados de pertenencia a los conjuntos difusos es el mismo para ambas mediciones, tan solo cambia el método usado para medir las distancias El cálculo se hará con dos puntos, uno es el centro de la región y el otro depende de si la distancia es a continente o a isla.

Calculo de la distancia en las islas

Cada área de interés posee un centro geográfico, el cual esta medido en términos de latitud y longitud, aprovechando la información del fichero HDF podemos saber a qué pixeles corresponden dichos valores geográficos, por tanto, medimos la distancia que hay entre el centro geográfico y el centro de la región de interés.

Calculo de la distancia en continente

El proceso para medir la distancia desde el centro de una región hasta el continente es más complejo que la distancia hacia las islas. Desde el centro de la región trazamos una serie de líneas que prolongamos hasta encontrarnos con el borde de la imagen o con el continente. Una vez localizado el borde recorremos el borde y vamos actualizando el valor de distancia con el más pequeño. Para optimizar el algoritmo tan solo se comprueban unos pocos pixeles, cuando se observa que la distancia entre el centro y el continente empieza a ser demasiado grande finalizamos el algoritmo con la distancia actual.

Una vez obtenido los valores de distancias utilizamos la misma función de fuzzyficacion para todas las distancias, de nuevo tomamos tres valores de referencia mínimo, medio y máximo; con la salvedad de que aquí el valor mínimo siempre es cero (si esta a cero significa que la región esta “pegada” a tierra). Al igual que ocurría con los tamaños, la figura 40 muestra los intervalos y las ecuaciones.

$$\begin{aligned}
\text{valor} \geq 0 \text{ Y } \text{valor} \leq 0,75 * \text{medio} &\rightarrow \text{distancia} = \frac{1 - \text{valor}}{(\text{medio} * 0,75)} \\
\text{valor} > \text{medio} * 0,25 \text{ Y } \text{valor} \leq \text{medio} &\rightarrow \text{distancia} = \frac{(\text{valor} - \text{medio} * 0,25)}{\text{medio} - (\text{medio} * 0,25)} \\
\text{valor} \geq \text{medio} \text{ Y } \text{valor} \leq 1,75 * \text{medio} &\rightarrow \text{distancia} = \frac{1 - (\text{valor} - \text{medio})}{(\text{medio} * 1,75) - \text{medio}} \\
\text{valor} > \text{medio} * 1,5 \text{ Y } \text{valor} \leq \text{maximo} &\rightarrow \text{distancia} = \frac{(\text{valor} - \text{medio} * 1,5)}{\text{maximo} - (\text{medio} * 1,5)} \\
\text{valor} > \text{maximo} &\rightarrow \text{distancia} = 1(\text{valor maximo})
\end{aligned}$$

Figura 40. Calculo de valores difusos para la distancia

3.6 Algoritmo de fusión basado en distancia

3.6.1 Introducción

Debido a la gran fragmentación que había en las imágenes era muy complicado obtener regiones útiles para poder trabajar, se hizo necesario un algoritmo que nos permita unir varias de esas regiones para construir otras regiones más grandes que conserven toda la información de las subregiones que la conforman.

El mayor problema es que no había ningún algoritmo que permitiese unir regiones utilizando exclusivamente lógica difusa, por tanto hubo que diseñarlo y ajustarlo para tratar el problema.

3.6.2 Algoritmo de fusión

Para poder fusionar dos regiones se han de cumplir dos condiciones:

- Ambas regiones deben cumplir con la misma regla difusa
- Las regiones han de estar a una distancia próxima

La regla difusa es una norma que han de cumplir las regiones a fusionar, dicha norma se compone de un conjunto de características difusas y el grado de pertenencia que se ha de tener para cumplir con la regla, por ejemplo, podemos establecer para la concentración de clorofila la siguiente regla, “muy alta ≥ 0.3 y alta ≥ 0.6 ”, esto quiere decir que para que una región cumpla la regla difusa ha de tener una pertenencia mayor que 0.3 al conjunto “muy alta” y 0.6 al conjunto “alta”.

Debido a la gran cantidad de reglas que es posible formar con los descriptores difusos, el algoritmo solo se aplica en la parte de etiquetado y

clasificación donde el usuario experto puede elegir aquellas reglas difusas que se adaptan mejor a las estructuras que quiera buscar y etiquetar.

La segunda condición que se ha de cumplir para poder fusionar dos regiones es encontrarse a una distancia próxima, para esto utilizaremos los ROI (Region of Interest) de las regiones, dos regiones se encuentran a una distancia próxima si se produce una intersección de sus ROI. Las intersecciones pueden ocurrir de las formas mostradas en la figura 41:

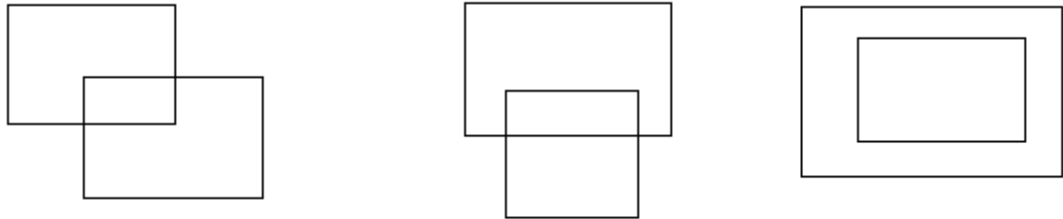


Figura 41. Tipos de intersecciones de ROI. Una esquina, 2 esquinas o 4 esquinas

Ahora queremos extender la fusión de dos regiones a un conjunto de regiones, la primera norma es fácil hacer que se cumpla para un conjunto, pero la segunda norma nos crea un problema a la hora de ampliarlo a un conjunto. Para solventar este problema se implemento el método de **crecimiento de ROI**.

Este método se basa en crear un construir un nuevo ROI que englobe a las regiones que se han fusionado, así este ROI representará a varias regiones fusionadas. Para acelerar el proceso de comprobación en primer lugar comprobamos si un ROI contiene al otro, de esta forma no sería necesario aplicar el algoritmo.

Cada ROI está compuesto por 4 parámetros, las coordenadas del primer punto del ROI (x, y), el ancho (xd) y el alto (yd), de esta forma tendríamos 8 puntos para construir el nuevo ROI, la forma de calcularlo es aplicar las siguientes ecuaciones:

$$x_3 = \min(x_1, x_2) \quad y_3 = \min(y_1, y_2)$$

$$xd_3 = \text{dist}(\max((x_1 + xd_1), (x_2 + xd_2)))$$

$$yd_3 = \text{dist}(\max((y_1 + yd_1), (y_2 + yd_2)))$$

El nuevo ROI contiene las dos regiones fusionadas, ahora para realizar una fusión utilizaremos este ROI como si fuese una sola región. Si es posible se repetirá el proceso, esto será así hasta que no pueda fusionarse con ninguna mas.

El algoritmo en este punto tiene dos problemas que hay que solucionar:

- Regiones que no se fusionan debido a errores en la imagen
- Regiones que se fusionan o no según el orden

Debido a errores en la imagen, nubes, etc es posible que entre dos regiones con las mismas características no haya intersección, para ello el algoritmo se le añade la posibilidad de **aumentar el tamaño de los ROI**, para ello hay una variable denominada factor de tolerancia, la cual nos permite aumentar o reducir el tamaño de los ROI, puede utilizarse para provocar la intersección de dos regiones o también para el caso contrario, para evitar que dos regiones se fusionen. Hay que tener cuidado con este factor, aumentando en 1 o 2 píxeles un ROI podemos en algunas imágenes reducir considerablemente el efecto de las nubes y los errores, pero si el valor es demasiado alto, obtendríamos resultados inservibles.

El problema del orden de las fusiones es más complicado de tratar, surge debido a que la fusión de regiones parte de una región denominada base, si una región no se fusiona con la base sería descartada, y aquí surge el problema, es posible que al fusionar la base con otra región surgiese un ROI capaz de fusionar la región que acabamos de descartar, este problema se agrava aun mas si la región usada como base es demasiado pequeña, este problema se crea también por los defectos de la imagen y por las masas nubosas. Para solucionar este problema se adoptaron dos medidas.

La primera medida fue la de aumentar el número de pasadas, originalmente la fusión se hacía con una sola pasada y surgía el problema, para evitar esto el algoritmo realiza varias pasadas para cada base, al final de cada pasada comprueba si se ha modificado el ROI, si no se ha modificado el ROI finaliza la ejecución pero si el ROI se ha modificado (es decir a añadido alguna región a la fusión) y queda al menos una región sin fusionar hay que volver a ejecutar una pasada.

También se adoptó como medida tomar siempre como base la región más grande, de esa forma es más fácil que se produzcan intersecciones con la base, reduciendo además el tiempo de ejecución del algoritmo, dicha mejora de tiempo se debe a la reducción en el número de pasadas del algoritmo.

Después de coger una base y fusionar todas las posibles regiones, tomamos otra región que cumpla con la regla difusa y que ninguna de sus regiones esté incluida en alguna fusión, la tomamos como base y repetimos el proceso. Una región fusionada debe estar compuesta por al menos dos regiones simples.

3.6.3 Regiones fusionadas

Una región fusionada posee exactamente los mismos atributos difusos que las regiones simples, incluidos los difusos, la única variación existente a la hora de tratar con ellas es el parámetro **lista de regiones**, esta lista contiene todas las regiones simples que contienen la región fusionada.

Para calcular los descriptores que no se basan en lógica difusa se ha implementado otra función con OpenCv. Esta función trata de calcular los descriptores no difusos tal y como hacía antes aunque existe un problema a tratar. Aunque las regiones simples al fusionarlas funcionen como una sola, a la

hora de aplicar el cálculo de descriptores se hayan separadas (especialmente motivado por las masas nubosas y errores en la imagen), para evitar esto se procede a conectar los centros de las regiones entre si generando una línea que teóricamente se encuentra tapada por nubes o errores de la imagen, de esta forma para el algoritmo solo existe 1 sola región.

Esta función tan solo calcula los valores difusos para el tamaño, esto se debe a que es más rápido, fácil y efectivo calcular el área en este punto que dejarlo para fases posteriores porque durante el cálculo de los descriptores difusos se calcula el número de pixeles de la región.

Para el cálculo de los demás descriptores difusos lo haremos utilizando los descriptores difusos de cada región simple que la compone, para ello realizamos la media de los valores para cada uno de los 5 conjuntos que compone el descriptor difuso de concentración de clorofila. A la hora de calcular los descriptores de distancia la cosa cambia un poco.

Por un lado la distancia media a continente e islas se seguirá resolviendo mediante la media de los valores de las regiones simples, pero para la distancia lejana utilizaremos el valor máximo de las regiones simples, de la misma forma la distancia cerca se calculará con el valor mínimo de las regiones simples

3.7 Aplicación Cliente

Por motivos de seguridad la tecnología JSP restringe ciertos componentes gráficos de Java como los JFrame y los demás elementos del paquete jswing, para poder implementar este tipo de elementos manteniendo la seguridad en el servidor se implemento este cliente que interacciona de forma remota con el servidor. Esta aplicación no realiza modificaciones de imágenes ni modifica la base de datos más allá del etiquetado de regiones. A continuación se describen las distintas ventanas y funciones, en el anexo I se realiza una descripción más completa y detallada del funcionamiento de la aplicación:

3.7.1 Identificación de usuario

Para aumentar la seguridad de la aplicación se requiere que el cliente se encuentre registrado, así controlamos quien o quienes acceden a la información (Figura 42).

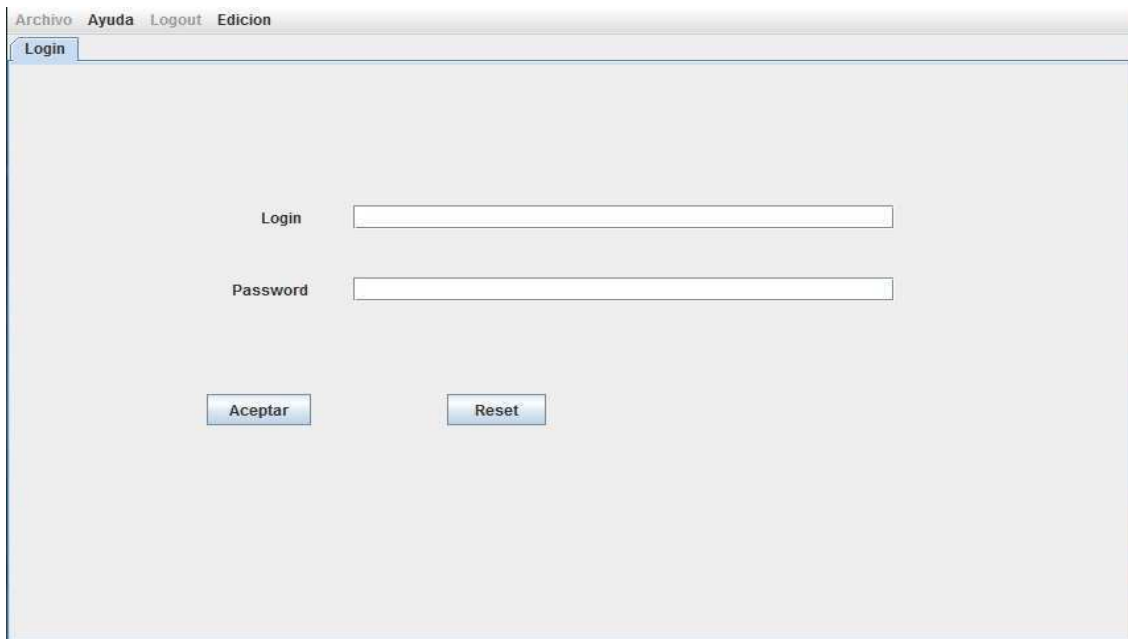


Figura 42. Login y password

3.7.2 Selector de imágenes

A través de la opción archivo podemos seleccionar el tipo de las imágenes, el sensor del que proceden y también la zona geográfica en la que vamos a trabajar, pulsando sobre la imagen de la izquierda o la derecha podemos desplazarnos a través de las distintas imágenes. Al pulsar doble click con el botón izquierdo sobre la imagen central desplegamos el panel para realizar consultas y etiquetar regiones (Figura 43).

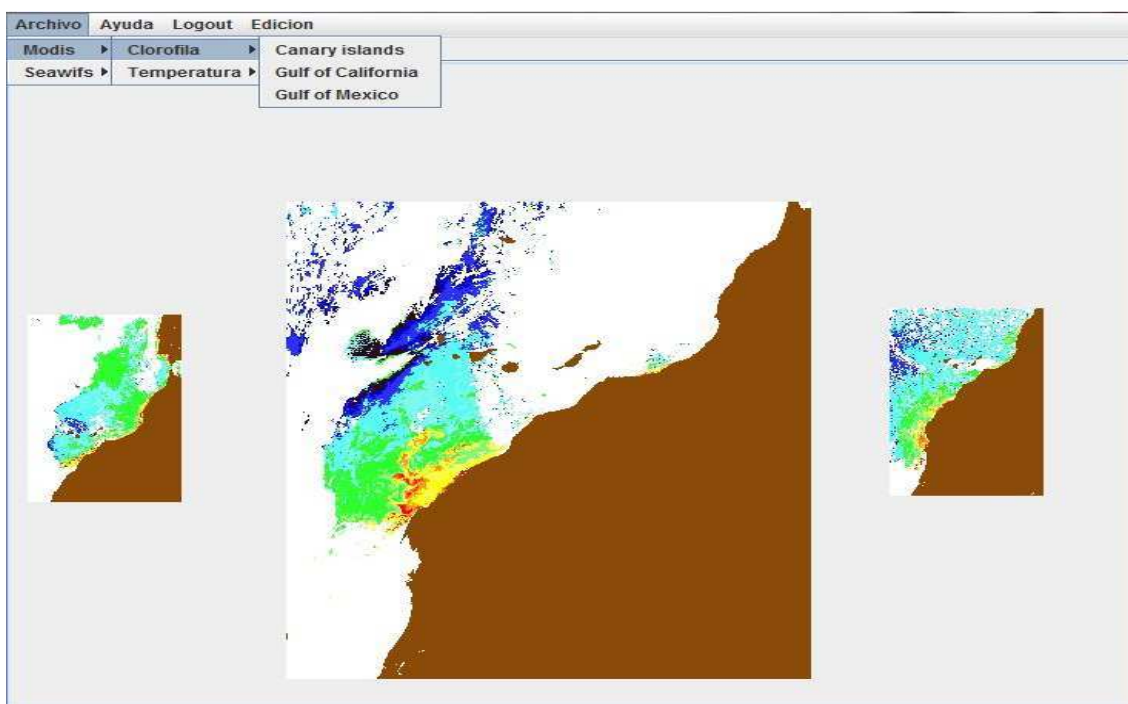


Figura 43. Selector de imágenes

3.7.3 Panel de consultas

Este panel nos permite realizar consultas difusas sobre la imagen que hemos seleccionado previamente, para utilizar un descriptor difuso lo activamos pulsando el cuadro de selección que tienen en la derecha, tras eso desplazamos su barra hacia la izquierda para reducir su pertenencia o a la derecha para aumentarla.

Los botones AND y OR nos permiten realizar consultas mucho más complejas combinando los atributos difusos como queramos. El cuadro de arriba derecha nos permite cambiar los grupos de atributos difusos, las posibilidades son: concentración de clorofila (o SST según el tipo de la imagen), distancia a continente, distancia a islas y tamaño.

Finalmente las opciones situadas en la parte de abajo derecha nos da dos opciones para el posterior tratamiento, el selector de ROI nos permite seleccionar la parte de la imagen sobre la que queramos trabajar, de esta forma cuando se despliegue el panel de imagen elegiremos la zona donde realizar la consulta, si no se selecciona esta opción la consulta será realizada a toda la imagen.

La opción de usar regiones fusionadas se utiliza para indicar a la aplicación que active el algoritmo de fusión de regiones, de esta forma no solo buscará una serie de regiones simples que se adapten a la consulta sino que además realizará fusiones de las mismas. Con el desplegable inferior podemos ajustar el valor de tolerancia del algoritmo, por defecto siempre tomará el valor 0.

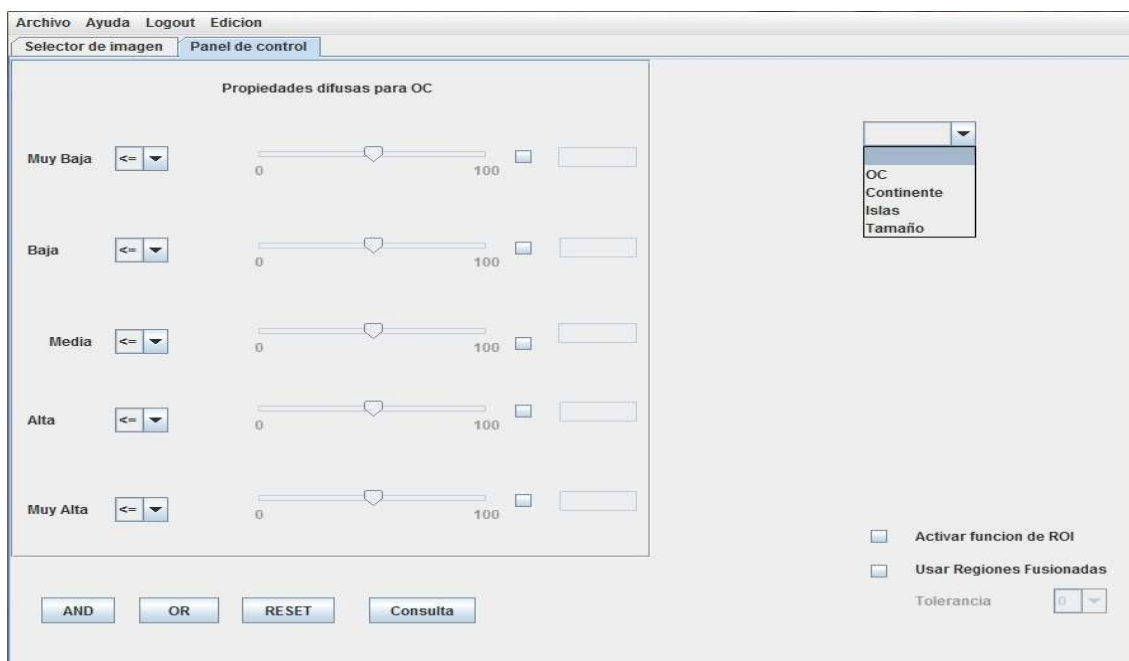


Figura 44. Panel de consultas

3.6.4 Panel de imagen

Desde este panel se pueden realizar varias acciones sobre la imagen seleccionada, previamente ya se ha creado la consulta difusa, y podemos encontrarnos en dos situaciones, que hayamos activado la opción de ROI o no, si no la hemos activado inicialmente un cuadro de texto a la derecha contendrá todas las regiones de la imagen que cumplan con la consulta difusa, si por el contrario seleccionamos la opción de ROI el cuadro aparecerá en blanco esperando que se seleccione un área. La S al final de cada línea nos indica que la región es simple y una F indica que es una región fusionada, con un doble click sobre una región se procede a pintarla sobre la imagen izquierda.

Pasaremos a describir la botonera de la derecha, el botón activar ROI estará activo si se selecciono la opción de selector ROI, una vez que se haya seleccionado el área de interés pulsando este botón procede a realizar la consulta difusa sobre el área que hemos marcado.

Tanto el botón comparar como el botón salvar nos lleva a otros paneles que describiremos posteriormente, pero en resumen, comparar nos permite visualizar simultáneamente una región de la imagen junto con otra región o imagen a elección del usuario, útil por ejemplo para comparar afloramientos de clorofila y SST, o comparar giros en dos imágenes distintas, y salvar nos permite guardar una imagen con la región que hemos seleccionado. El botón cambiar nos permite alterar entre activar selector de ROI y desactivarlo sin necesidad de restablecer la consulta ni volver al panel de consultas.

Finalmente hay que detenerse en los tres elementos restantes de la pantalla, el desplegable, el botón etiquetar y el cuadro de texto. Estos tres elementos nos permiten etiquetar una región. El desplegable contiene una serie de estructuras predefinidas y que se estudian en el proyecto tales como afloramiento, giro, estela, etc. dentro de estas opciones existe una denominada otros, al seleccionar esta opción el cuadro de texto inferior se activa para que podamos elegir de forma manual la etiqueta para la región. Una vez seleccionada una etiqueta con el botón procedemos a asignar dicha etiqueta a la región en cuestión (Figura 45).

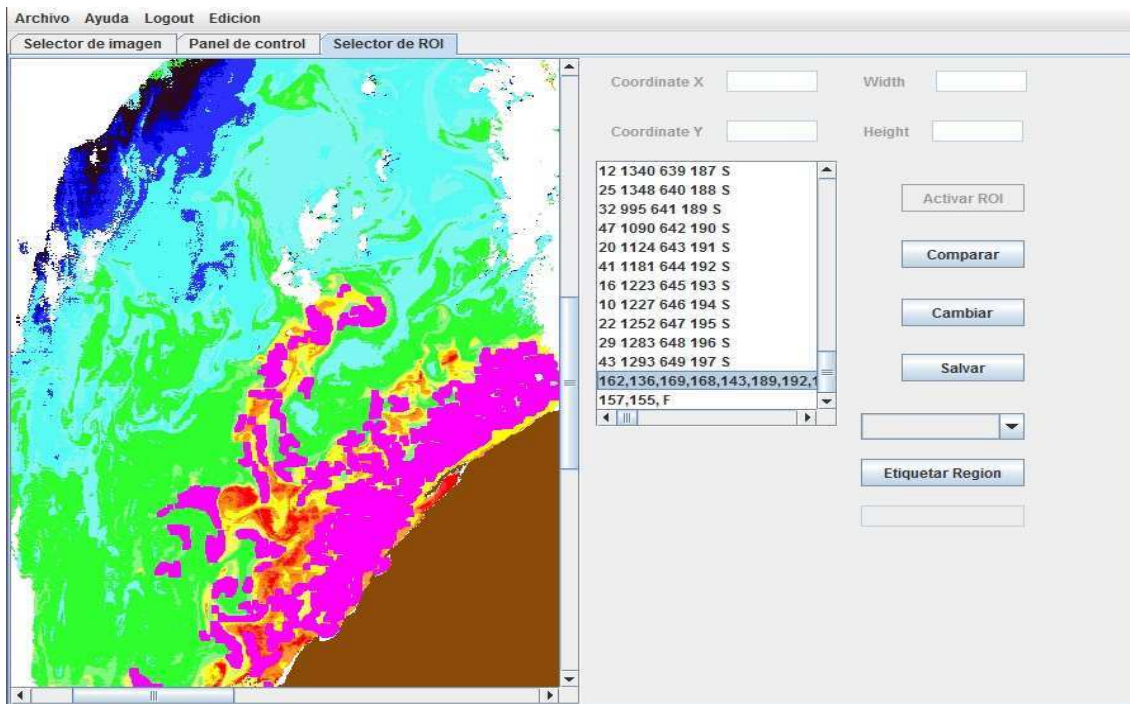


Figura 45. Panel de imagen

3.6.5 Ventana de salvar imagen

Desde esta ventana es posible salvar una copia de la imagen actual, es decir, la imagen con la región de interés pintada, esta imagen puede servir tanto para ilustrar resultados, como para segmentarla para otras aplicaciones y proyectos, por este motivo se da la posibilidad de guardar la imagen como bmp o jpg. Para guardarla tan solo es necesario escribir el nombre, seleccionar el tipo y pulsar el botón salvar (Figura 46).

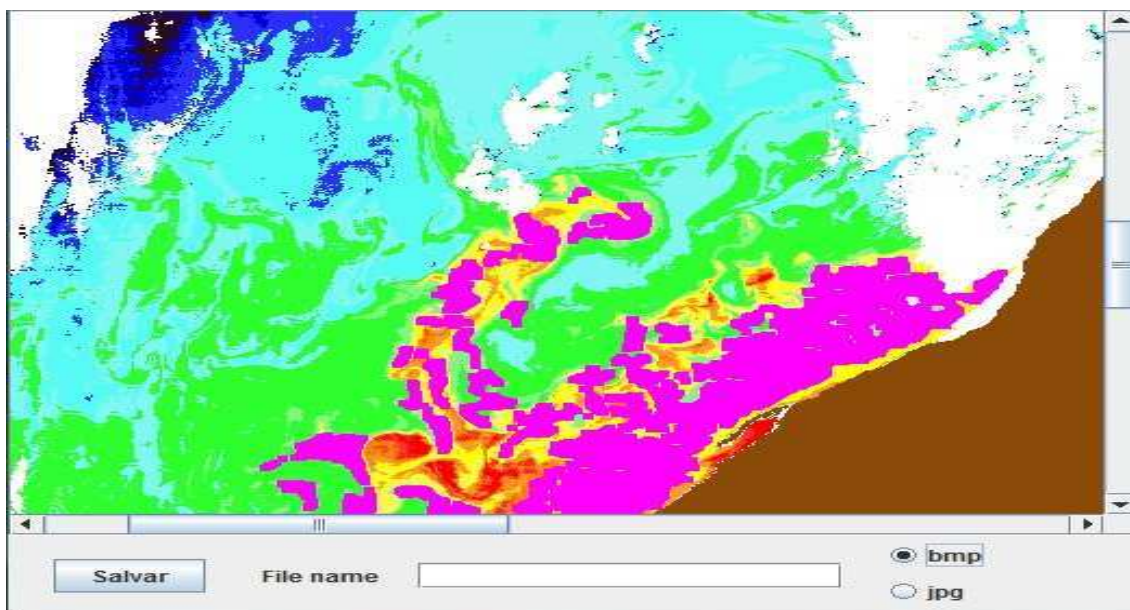


Figura 46. Ventana salvar

3.6.6 Panel de comparación

Este panel fue implementado para facilitar el análisis de los resultados obtenidos en la segmentación y fusión de regiones, permitiendo comparar visualmente dos regiones de dos imágenes distintas, incluso se puede comparar una imagen de temperatura superficial marina con una imagen de concentración de clorofila.

Una vez en este panel se puede utilizar el botón buscar, el cual localiza en la base de datos aquellas imágenes que contengan regiones con las mismas características difusas que la imagen que queremos comparar, cuando termina saca una ventana como la de la figura 47, la cual contiene las imágenes con dichas características:

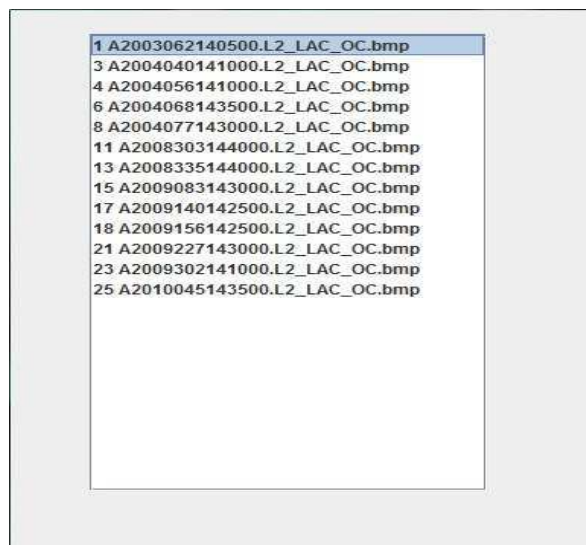


Figura 47. Ventana de resultados de búsqueda

Al elegir alguna de las imágenes de arriba directamente la carga en la mitad derecha del panel de comparación y en el recuadro superior cargaría las regiones simples y fusionadas, además de las regiones que ya tuviese etiquetadas, en caso de que la imagen no tenga ninguna región etiquetada o fusionada solo mostrará las simples.

El botón etiquetas/simples sirve para alternar entre regiones simples que cumplen las condiciones difusas de la región original pero que aun no han sido etiquetadas y las regiones etiquetadas simples o difusas que tuviese la imagen. Todas las regiones fusionadas de la imagen las cargará siempre independientemente de la consulta que se haga.

El botón examinar permite previsualizar y cargar cualquier imagen independientemente del tipo que sea y del sensor que proceda, la imagen seleccionada se colocará en la parte derecha y buscará, si existe la imagen en la

base de datos, las regiones simples que cumplan con la condición, así como las regiones etiquetadas y fusionadas.

Las regiones de la imagen derecha pueden pintarse también para facilitar la comparación, así como seleccionar una región concreta tal y como hacíamos en el panel de imagen. Finalmente la opción comparar muestra una ventana con todos los descriptores y características de dos regiones, una es la región original y la otra es la región seleccionada de la ventana derecha, de esta forma pueden verse la diferencia de atributos difusos, o comparar sus otros descriptores para tratar de entrenar clasificadores, así como comparar los valores de tamaño para ver la variación en el tiempo, entre otros muchos usos.

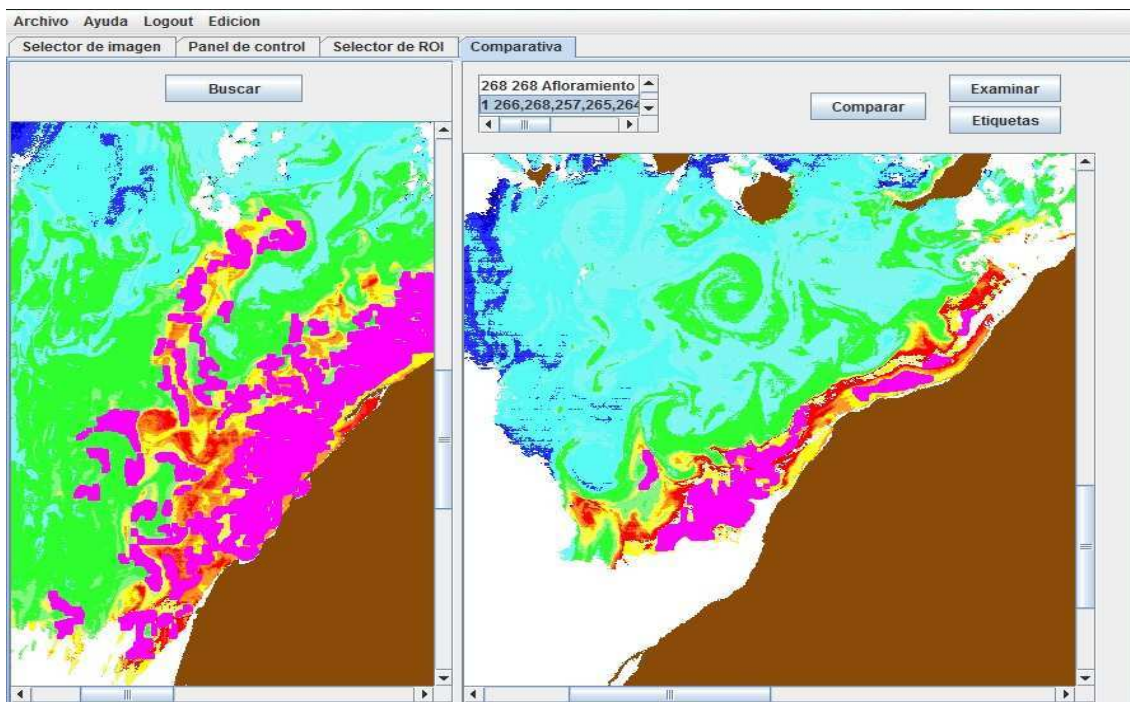


Figura 48. Ventana de comparación

Capítulo IV: Resultados

4.1 Evaluación de los objetivos

Inicialmente nos habíamos marcado los siguientes objetivos para el presente proyecto:

- Sistema de extracción de datos de los ficheros HDF
- Tratamiento digital de la imagen obtenida
- Calculo de descriptores
- Sistema de clasificación
- Sistema de recuperación
- Estudio comparativo de imágenes de SeaWifs y MODIS

Sistema de extracción de datos de los ficheros HDF

Uno de los objetivos del proyecto era el de ser capaces de extraer la información contenida en los ficheros HDF y transformar esos datos en imágenes a color para su posterior tratamiento

La siguiente imagen muestra el resultado obtenido al extraer los datos de un fichero HDF.

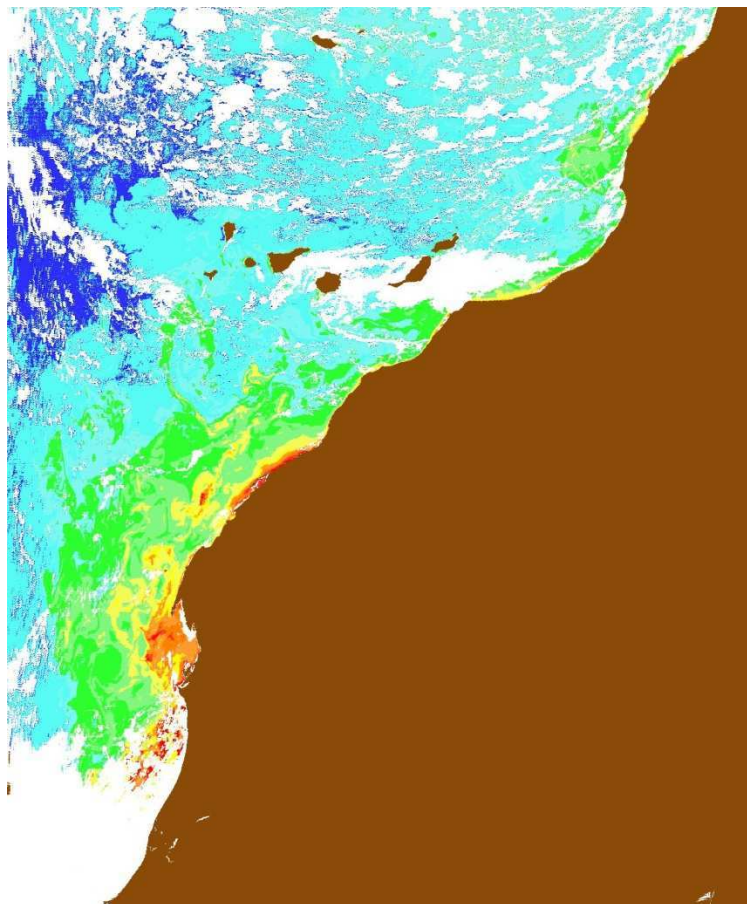


Figura 49. Imagen obtenida por la aplicación (MODIS 25/02/2004)

El sistema es capaz de extraer correctamente los datos para los datos del sensor MODIS, además se añadió la funcionalidad de extraer información de los ficheros de

SEAWIFS, permitiendo de esta forma realizar posteriormente un estudio para comparar los resultados de ambos sensores.

Tratamiento digital de la imagen obtenido

Un objetivo importante del sistema era que fuese capaz de tratar las imágenes, para mejorarlas de cara al proceso posterior y que fuese capaz de segmentar la imagen en diferentes regiones para su posterior descripción y clasificación. La figura 50 se corresponde con 2 imágenes que muestran el proceso completo de tratamiento de la imagen, en la primera se puede ver la imagen original, en la segunda la imagen una vez escalada en gris, la tercera es el resultado de aplicar el preprocesado.

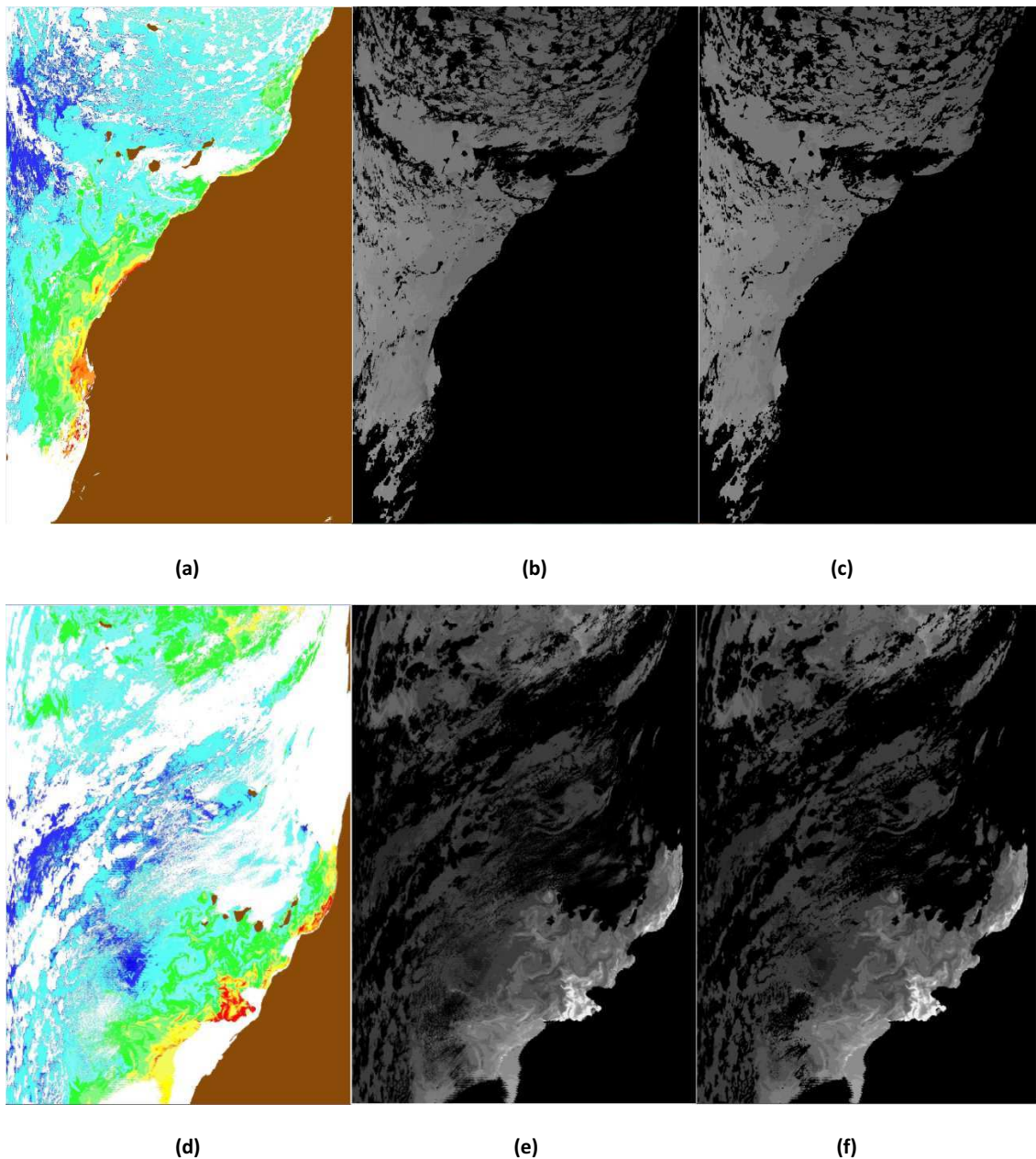


Figura 50. Imágenes originales (a) MODIS 25/02/2004, (d) MODIS 17/03/2004, en escala de grises (b)(e) y preprocesadas (c)(f).

Calculo de descriptores

El sistema debía de ser capaz de calcular un conjunto de descriptores con el fin de que las regiones segmentadas fuesen clasificadas, finalmente han sido implementados diferentes descriptores como los momentos de Hu y también se han implementado descriptores basados en lógica difusa.

Sistema de clasificación

Uno de los objetivos más importantes es que el sistema fuese capaz de clasificar imágenes y regiones de forma automática, para ello se implementaron diferentes sistemas de clasificación y se hicieron varias pruebas, posteriormente se expondrán los resultados de las pruebas del sistema de clasificación

Sistema de recuperación

Toda la información ha sido almacenada en una base de datos permitiendo un acceso bastante sencillo a la información, la aplicación Web se desarrollo principalmente para facilitar la recuperación. La recuperación se realiza mediante consultas difusas, como su nombre indica, estas consultas utilizan los descriptores difusos previamente calculados para recuperar regiones que reúnan ciertas características difusas comunes.

Este sistema fue ampliado posteriormente para permitir recuperar regiones con ciertas características y después ser etiquetadas.

Estudio sobre las imágenes

El sistema se creó originalmente para que un experto en oceanografía tuviese una herramienta que le permitiese realizar estudios oceanográficos con las imágenes de MODIS.

La comparación que haremos posteriormente se hará entre imágenes de SEAWIFS e imágenes de MODIS, para tratar de ver las diferencias entre un sensor.

4.2 Clasificación de regiones

Inicialmente tomamos un conjunto de muestras de regiones ya segmentadas y tras haberles calculados sus descriptores, se procedió a etiquetar manualmente la estructura a la que se correspondía de entre giro, afloramiento y filamento. También se incluyeron un conjunto aleatorio de regiones las cuales no se corresponden a ninguna estructura oceánica, estas estructuras fueron denominadas como “Nada”, de esta forma se incluía la posibilidad de que el sistema tratase de eliminar los elementos que no pertenecen a ninguna estructura.

La cantidad de muestras utilizadas para las pruebas fueron 451 en las siguientes proporciones:

- Afloramiento: 41,68%
- Giro frio: 1,5%
- Filamento: 24,61%
- Nada: 32,15%

A la hora de seleccionar descriptores para clasificar las regiones se hicieron dos cosas, por un lado se hicieron una serie de pruebas con todos los descriptores difusos a la vez sin utilizar ningún otro tipo de descriptor y por otro lado recurrimos a algoritmos de selección de características, los cuales nos dieron varios conjuntos de descriptores, dichos conjuntos fueron probados también. Los algoritmos fueron los siguientes:

Evaluador	Metodo de búsqueda	Descriptores
CFSSubSetEval	Best First	Continent_distance_far, fuzzy_value_1, 2, 3, 4, centroide y
CFSSubSetEval	GeneticSearch	Continent_distance_far, fuzzy_value_1, 2, 3, 4, 5, centroide x, y, Hu7, Maitra
CFSSubSetEval	ForwardSelection	Fuzzy value_1, 2, 4

Figura 51. Tabla con los resultados de los algoritmos de selección de características

Como se puede ver en la tabla de la figura 51 la mayoría de los elementos seleccionados por los diferentes algoritmos de selección se corresponden a descriptores difusos. Sobre la muestra previamente estudiada se han realizado varias pruebas con estos conjuntos de características seleccionadas. La tabla de la figura 52 muestra los resultados obtenidos usando todos los descriptores difusos.

Nombre	Algoritmo	Acierto(%)	ErrorCuadratico	
			Medio(%)	Parámetros
MLP_1	MLP	95,7143	0,1379	L 0.1 M 0.1
MLP_2	MLP	93,3333	0,167	L 0.1 M 0.9
MLP_3	MLP	96,1905	0,1343	L 0.2 M 0.7
BAYES_1	Red Bayesiana	94,7619	0,1423	E BMAEstimator
BAYES_2	Red Bayesiana	95,4762	0,1461	E SimpleEstimator
Nbayes_1	Naive Bayes	95,4762	0,1428	D
Nbayes_2	Naive Bayes	90	0,2148	K
Nbayes_3	Naive Bayes	89,0476	0,2249	
IBK_1	IBK	93,8095	0,1745	K=1
IBK_2	IBK	91,4286	0,1596	K=2
IBK_3	IBK	93,5714	0,167	K=3
IBK_4	IBK	93,3333	0,159	K=4
IBK_5	IBK	93,5714	0,1598	K=5
NBTree	NB Tree	94,5238	0,1612	D

Figura 52. Tabla con los resultados originales

Habiendo utilizado los valores difusos se obtienen unos valores de clasificación buenos, ahora realizaremos el mismo proceso pero esta vez clasificaremos utilizando las características seleccionadas por el algoritmo, además para poder compararlo utilizaremos los mismos algoritmos de clasificación de la prueba anterior, para ver las variaciones en los resultados.

Nombre	Algoritmo	Acierto(%)	ErrorCuadratico	
			Medio(%)	Parámetros
MLP_1	MLP	95,2381	0,1435	L 0.1 M 0.1
MLP_2	MLP	92,381	0,1659	L 0.1 M 0.9
MLP_3	MLP	95,2381	0,1433	L 0.2 M 0.7
BAYES_1	Red Bayesiana	95,4762	0,1486	E BMAEstimator
BAYES_2	Red Bayesiana	95,4762	0,1516	E SimpleEstimator
Nbayes_1	Naive Bayes	95,4762	0,1488	D
Nbayes_2	Naive Bayes	94,0476	0,156	K
Nbayes_3	Naive Bayes	87,1429	0,2055	
IBK_1	IBK	94,0476	0,1711	K=1
IBK_2	IBK	90,2381	0,1614	K=2
IBK_3	IBK	95,2381	0,148	K=3
IBK_4	IBK	94,5238	0,1561	K=4
IBK_5	IBK	94,2857	0,1586	K=5
NBTree	NB Tree	95,9524	0,1378	D

Figura 53. Tabla con los resultados del primer conjunto de descriptores

Nombre	Algoritmo	Acierto(%)	ErrorCuadratico	
			Medio(%)	Parámetros
MLP_1	MLP	91,9084	0,1857	L 0.1 M 0.1
MLP_2	MLP	92,381	0,1885	L 0.1 M 0.9
MLP_3	MLP	95	0,1487	L 0.2 M 0.7
BAYES_1	Red Bayesiana	95,4762	0,1526	E BMAEstimator
BAYES_2	Red Bayesiana	94,0476	0,1675	E SimpleEstimator
Nbayes_1	Naive Bayes	95,2381	0,1559	D
Nbayes_2	Naive Bayes	86,4286	0,2278	K
Nbayes_3	Naive Bayes	77,381	0,295	
IBK_1	IBK	94,0476	0,1711	K=1
IBK_2	IBK	90,2381	0,1659	K=2
IBK_3	IBK	92,381	0,1734	K=3
IBK_4	IBK	91,6667	0,1771	K=4
IBK_5	IBK	93,3333	0,1736	K=5
NBTree	NB Tree	94,0476	0,1629	D

Figura 54. Tabla con los resultados del segundo conjunto de descriptores

Nombre	Algoritmo	Acierto(%)	ErrorCuadratico	
			Medio(%)	Parámetros
MLP_1	MLP	95,4762	0,1458	L 0.1 M 0.1
MLP_2	MLP	95,4762	0,146	L 0.1 M 0.9
MLP_3	MLP	95,4762	0,1471	L 0.2 M 0.7
BAYES_1	Red Bayesiana	95,4762	0,1582	E BMAEstimator
BAYES_2	Red Bayesiana	95,4762	0,1589	E SimpleEstimator
Nbayes_1	Naive Bayes	95,4762	0,1577	D
Nbayes_2	Naive Bayes	92,1429	0,1858	K
Nbayes_3	Naive Bayes	88,0952	0,1834	
IBK_1	IBK	95,4762	0,1455	K=1
IBK_2	IBK	95,4762	0,1458	K=2
IBK_3	IBK	95,4762	0,1465	K=3
IBK_4	IBK	95,4762	0,1456	K=4
IBK_5	IBK	95,4762	0,1451	K=5
NBTree	NB Tree	95,4762	0,152	D

Figura 55. Tabla con los resultados del tercer conjunto de descriptores

Se puede ver en las figuras 53, 54 y 55 que los resultados siguen siendo bastante buenos con los atributos seleccionados, aunque como se ve en la tabla de la figura 55, al usar varios parámetros no difusos la calidad de la clasificación en general se reduce llegando a incluso a bajar del 80% de acierto.

4.3 Etiquetado de regiones

Un aspecto importante a tratar es el funcionamiento del sistema de etiquetado, para esta prueba vamos a probar diferentes consultas difusas para tratar de etiquetar un afloramiento en la región de las islas Canarias, para ello primero determinamos las características importantes de un afloramiento, por un lado sabemos que en un afloramiento hay una gran concentración de clorofila en la superficie y por otro lado sabemos que el afloramiento siempre aparece cerca de la costa.

Para las distintas pruebas tomaremos como descriptores difusos las concentraciones más altas y las distancias al continente, tomaremos la imagen de la figura 56 para las pruebas.

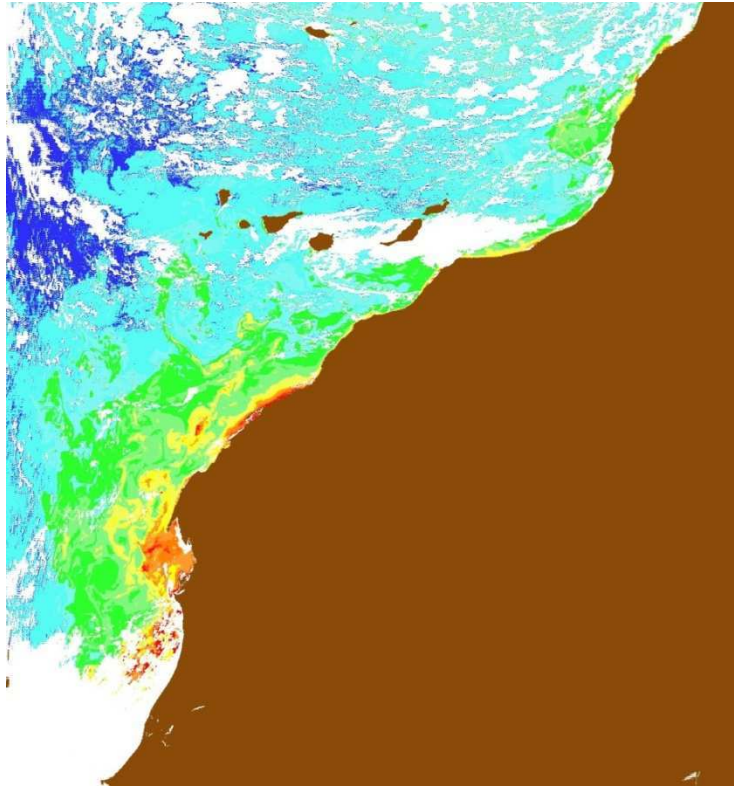


Figura 56. Imagen original (MODIS 25/02/2004)

En primer lugar vamos a especificar que las regiones validas son aquellas que pertenezcan mínimamente a clorofila alta y clorofila muy alta, dándonos dos estructuras fusionadas como se ve en la figura 57, la consulta exacta ha sido la siguiente:

(Clorofila alta >0 AND Clorofila muy alta >0) AND Distancia_continente_cerca >=0.85)

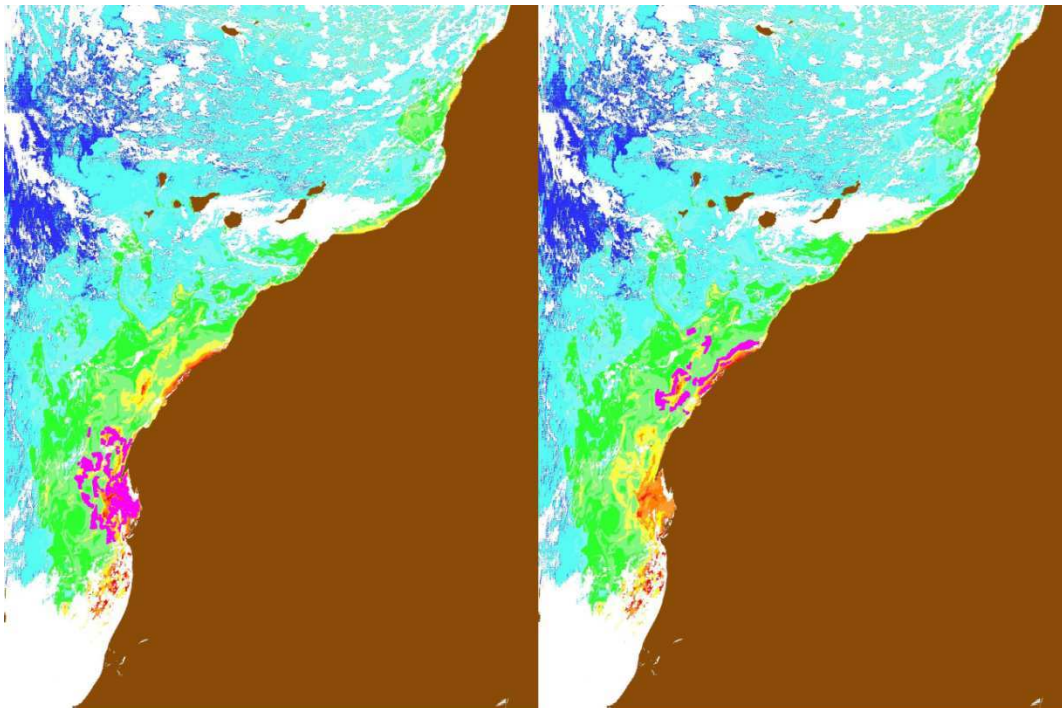


Figura 57. Dos regiones divididas

Esto se debe a que al poner estas características las regiones intermedias que unirían ambas regiones han sido descartadas por la consulta.

Ahora vamos a cambiar la consulta y le indicamos que queremos que las regiones seleccionadas pertenezcan a clorofila alta o a clorofila muy alta, además vamos a incluir regiones que pertenezcan a la categoría entre media y alta

(Clorofila_alta > 0 OR Clorofila_muy_alta > 0 OR Clorofila_media > 0,25) AND Distancia_continente_lejos > 0,85

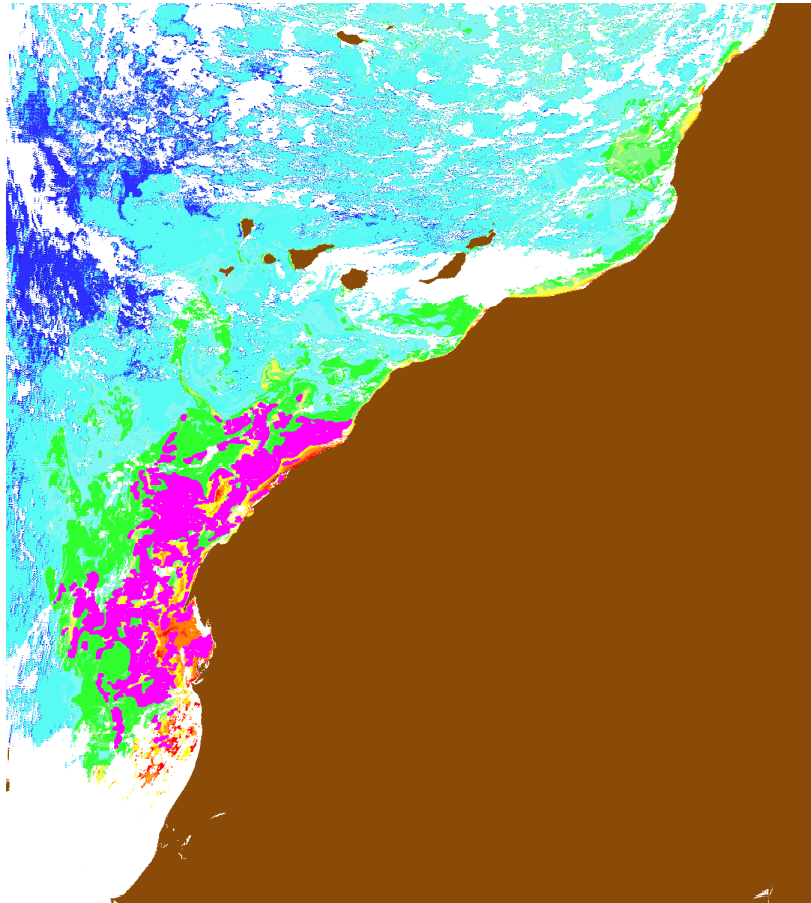


Figura 58. Resultado final con el ajuste del algoritmo de fusión

En la figura 58 se puede ver como lo que antes eran dos regiones fusionadas ahora son solo una, además regiones que anteriormente no se tomaban en cuenta ahora si son consideradas, los valores de las consultas no son absolutos para todas las imágenes de clorofila, es decir, en una imagen pueden ser adecuados para sacar un afloramiento mientras que en otra imagen esos valores pueden hacer que se tomen regiones incorrectas.

4.4 Comparación con SEAWIFS

La última prueba será realizar comparaciones entre imágenes de diferentes formatos, concretamente compararemos los resultados de etiquetar con el sistema imágenes de MODIS y de SEAWIFS. Para ello hemos tomado un conjunto de imágenes de ambos y hemos procedido a etiquetar algunos afloramientos en las imágenes.

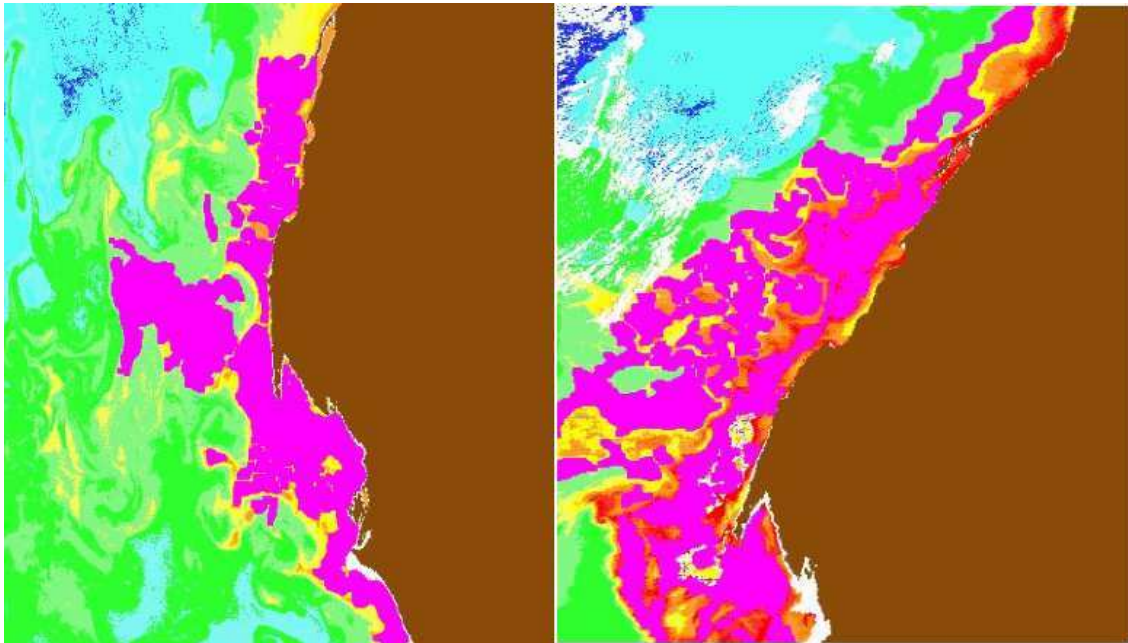


Figura 59. Izquierda imagen Seawifs, derecha imagen de MODIS (15/02/2003)

La imagen de la izquierda en la figura 59 se corresponde con una imagen de SEAWIFS y la derecha con una imagen MODIS, a nivel de descriptores difusos los valores son similares, permitiendo que las consultas realizadas sobre una imagen sean validas para la otra.

Las regiones en las imágenes de SeaWifs se fragmentan menos permitiendo tener regiones simples de mayor tamaño, pero debido a esto el proceso de fusión es más complicado debido a que al haber menos regiones el proceso no es tan preciso. En cambio las imágenes de MODIS se fragmentan mucho más, pero por el contrario permite más precisión en los etiquetados.

Capítulo V: Conclusiones y Trabajos Futuros

5.1 Conclusiones finales

En el presente trabajo se ha tratado de dar un enfoque diferente al reconocimiento automatizado aplicado a la teledetección se ha intentado sustituir los modelos clásicos de descriptores matemáticos tales como los que proceden de la teoría de momentos, por otros tipos de descriptores, en este proyecto se ha tratado de introducir la lógica difusa con este fin.

En este proyecto los resultados obtenidos para los nuevos descriptores ha sido bastante aceptable, esto se debe a que un modelo basado en lógica difusa encaja más en el campo de la teledetección que la lógica clásica que se utilizaba normalmente.

Además de una nueva forma de describir regiones segmentadas de una imagen se ha construido una forma de mezclar la utilización de bases de datos relacionales con la lógica difusa sin necesidad de cambiar su estructura, esto se ha conseguido mediante el desarrollo de las consultas difusas. Estas consultas de cara al usuario de la aplicación son elementos tan sencillos como “concentración alta” o “distancia a continente lejos”, pero la aplicación lo convertía en consultas SQL mucho más complejas.

Uno de los objetivos que se consideraban más importantes de la aplicación y que se ha logrado era un sistema completo que nos permitiese almacenar toda la información obtenida de las imágenes en todos los procesos que se han realizado y que además esta información pudiese recuperarse.

El sistema originalmente fue desarrollado exclusivamente para imágenes del sensor MODIS, aunque esto fue modificado posteriormente para permitir también imágenes de SeaWifs, debido a la estructura de la base de datos y de la aplicación es posible posteriormente añadirle más sensores según fuese necesario.

Este proyecto presenta una serie de aspectos y cualidades que son interesantes destacar:

- Aplicación práctica de la lógica difusa, se ha tratado de usar este tipo de lógica ya que el tipo de problema que tratábamos de solucionar se podía adaptar bien debido a su naturaleza
- Sistema de recuperación basado en características difusas consiguiendo que el usuario pudiese ver las consultas como algo más abstracto, es decir, sin tener que conocer los números y variables que hay detrás, centrándose en elementos más fáciles de comprender como “cerca” o “lejos”
- Este sistema tal y como ha sido implementado para la detección puede extenderse a otras aplicaciones de reconocimiento de elementos en imagen, por ejemplo para la previsión meteorológica o en sistemas agrícolas, incluso aplicado a vehículos móviles automatizados para detectar obstáculos.

- Otra característica destacable es la orientación del sistema para el acceso remoto, el sistema está preparado para usarse de forma remota facilitando su uso.

Como conclusión final tan solo queda añadir a título personal, destacar la gran oportunidad que he tenido de introducirme en el mundo de la teledetección, algo que antes de iniciar el proyecto me resultaba desconocido y del que ahora gracias a este proyecto ya puedo hacerme una idea de lo que hay detrás, y para finalizar citando a Confucio “*Saber que se sabe lo que se sabe y que no se sabe lo que no se sabe; he aquí el verdadero saber*”.

5.2 Trabajos futuros

Debido a la envergadura del presente proyecto es posible establecer una gran cantidad líneas de desarrollo y evolución.

- **Multiprocesamiento de las imágenes**

En el proyecto actual solo se contempla la posibilidad de procesar las imágenes de una en una, una posible mejora es la de introducir permitir mediante multiprocesamiento, tratar varias imágenes de forma concurrente.

Esto incluye también el cálculo de descriptores, generación de imágenes y actualización de la base de datos.

- **Inclusión de información de otros sensores**

Actualmente solo se contempla las imágenes de MODIS y SEAWIFS, pero el sistema podría ampliarse para tratar imágenes de otros sensores más antiguos o ampliarlo para que de forma sencilla se pudiesen añadir futuros sensores, no solo en la base de datos, sino en todo el procesamiento.

- **Ampliación de la información a tratar**

Actualmente el sistema puede tratar con imágenes de concentración de clorofila oceánica y temperatura superficial marina, una posible línea de desarrollo es añadir otras informaciones como por ejemplo la salinidad.

- **Selector de características y clasificadores.**

Incrementar el número de clasificadores con los que cuenta el sistema y mejorar los que utiliza actualmente, además sería interesante añadir algún algoritmo de selección de características integrado en la aplicación para facilitar el trabajo de clasificación

- **Predicción de la evolución de los fenómenos marinos**

El sistema podría ampliarse para que fuese capaz de extraer características no solo de una imagen sino de un conjunto de imágenes y establecer una evolución de los fenómenos marinos y tratar de predecirlos.

- **Acceso remoto**

Mejorar la aplicación cliente de forma que permitiese que el proceso de etiquetado pudiese realizarse de forma remota, manteniendo siempre un buen nivel de seguridad.

Anexo I

1. Introducción

La función de la aplicación es la de ser capaz de ejecutar consultas, permitiendo seleccionar regiones según una serie de parámetros difusos, tales como la concentración de clorofila o la distancia al continente o las islas. Una vez seleccionadas las diferentes características se puede proceder a etiquetar la región o regiones.

Todo el conjunto de regiones y descriptores difusos se encuentran perfectamente almacenados en una base de datos, los resultados de etiquetar regiones o fusionar regiones se almacenara también en la base de datos.

La aplicación tiene diferentes funciones y ventanas de funcionamiento para distintas acciones, a continuación se explicaran de forma detallada todos los menús y opciones de la aplicación.

2. Ventana inicial

Nada más abrir la aplicación se despliega la siguiente ventana:

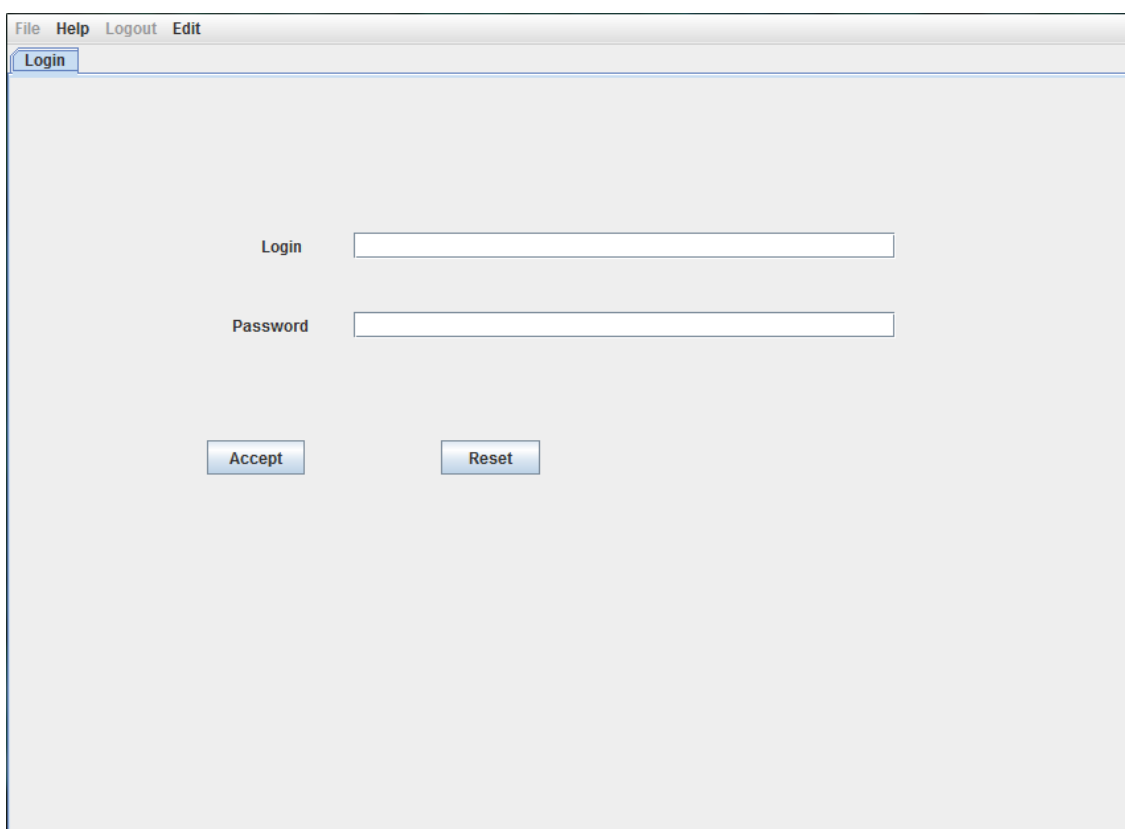
The image shows a screenshot of a web application's login window. The window has a title bar with the text 'File Help Logout Edit' and a small 'Login' button in the top-left corner. The main content area is light gray and contains two text input fields. The first field is labeled 'Login' and the second is labeled 'Password'. Below the input fields are two buttons: 'Accept' on the left and 'Reset' on the right. The overall layout is simple and functional.

Figura 60. Login y password

Por un lado tenemos la botonera superior con las opciones, File, help, logout y edit; en función de la ventana en la que nos encontremos estas opciones estarán habilitadas o no, el funcionamiento de estos botones es el siguiente:

- File: Este botón una vez identificados nos permitirá seleccionar el sensor y el área geográfica en la que vamos a trabajar. Véase apartado 3
- Help: Despliega una pequeña ventana en la que se comentan brevemente algunos detalles de los controles de la aplicación.
- Logout: Permite desconectarse al usuario.
- Edit: Opción de limpieza de la aplicación para eliminar de forma manual elementos de la aplicación que no nos interesen, la aplicación lo hace de forma automática en algunos momentos concretos, con la opción manual se hace cuando el usuario le interesa.

Cada usuario registrado en la base de datos tendrá un login y password que le permitirá acceder a la aplicación, esto se ha implementado por motivos de seguridad para evitar que alguien ajeno a la aplicación realice modificaciones sobre las regiones o la base de datos.

3. Ventana de selección de imagen

Desde esta ventana es posible seleccionar la imagen con la que vamos a trabajar, inicialmente el aspecto es el siguiente:

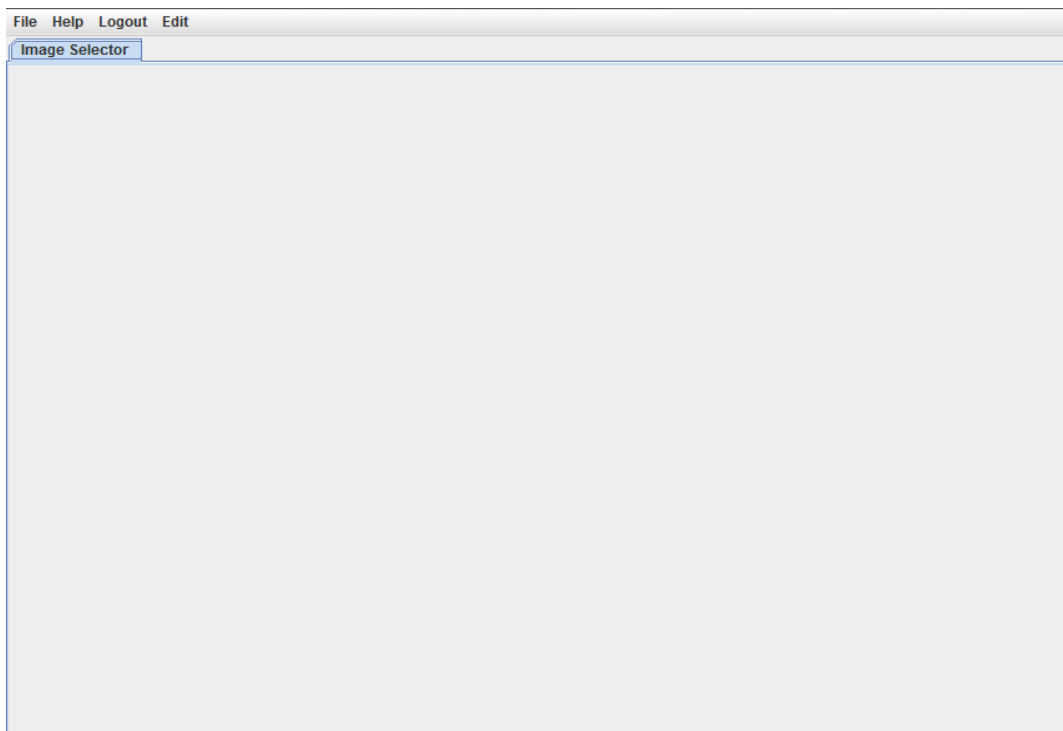


Figura 61. Selección de imagen

Para comenzar a trabajar seleccionamos el botón File en la parte superior izquierda, tras pulsarlo se nos despliega la lista de sensores de los que tenemos imágenes, al seleccionar uno de los sensores se nos despliega el tipo de datos de los que disponemos, en nuestro caso serán Temperature (temperatura superficial marina) y Chlorophile (concentración de clorofila), al seleccionar un tipo de datos se nos despliega la lista de las regiones de interés que se encuentran en la base de datos.

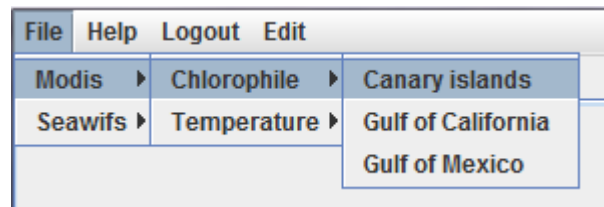


Figura 62. Menú de selección del tipo de imágenes

Una vez seleccionado el sensor, tipo de datos y zona geográfica se despliega en la parte inferior las imágenes correspondientes.

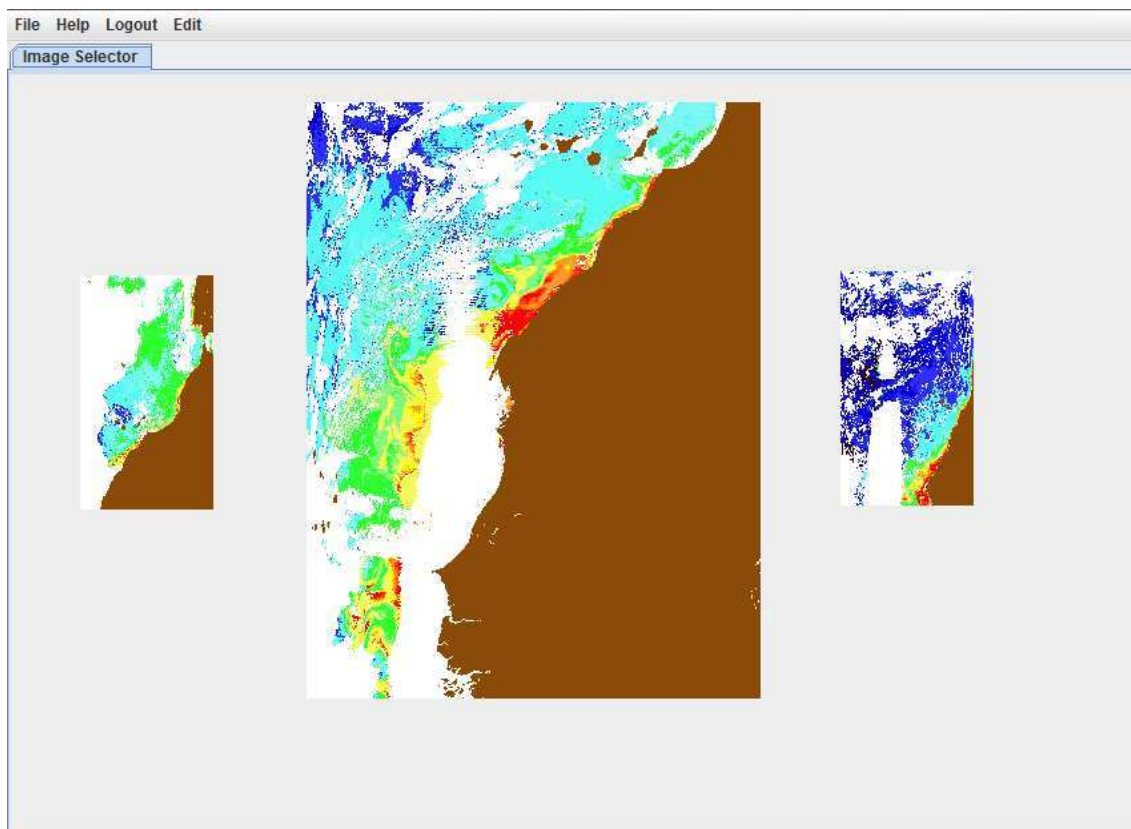


Figura 63. Selector de imágenes

Pulsando la miniatura de la izquierda retrocederíamos por la lista de imágenes y pulsando la miniatura de la derecha avanzaríamos por la lista de imágenes, la imagen central es la imagen activa, es decir, la que vamos a usar para trabajar posteriormente.

Una vez que la imagen ha sido seleccionada debemos hacer doble click sobre la imagen para acceder al panel de consultas.

4. Panel de consultas

Inicialmente se despliega la siguiente ventana.

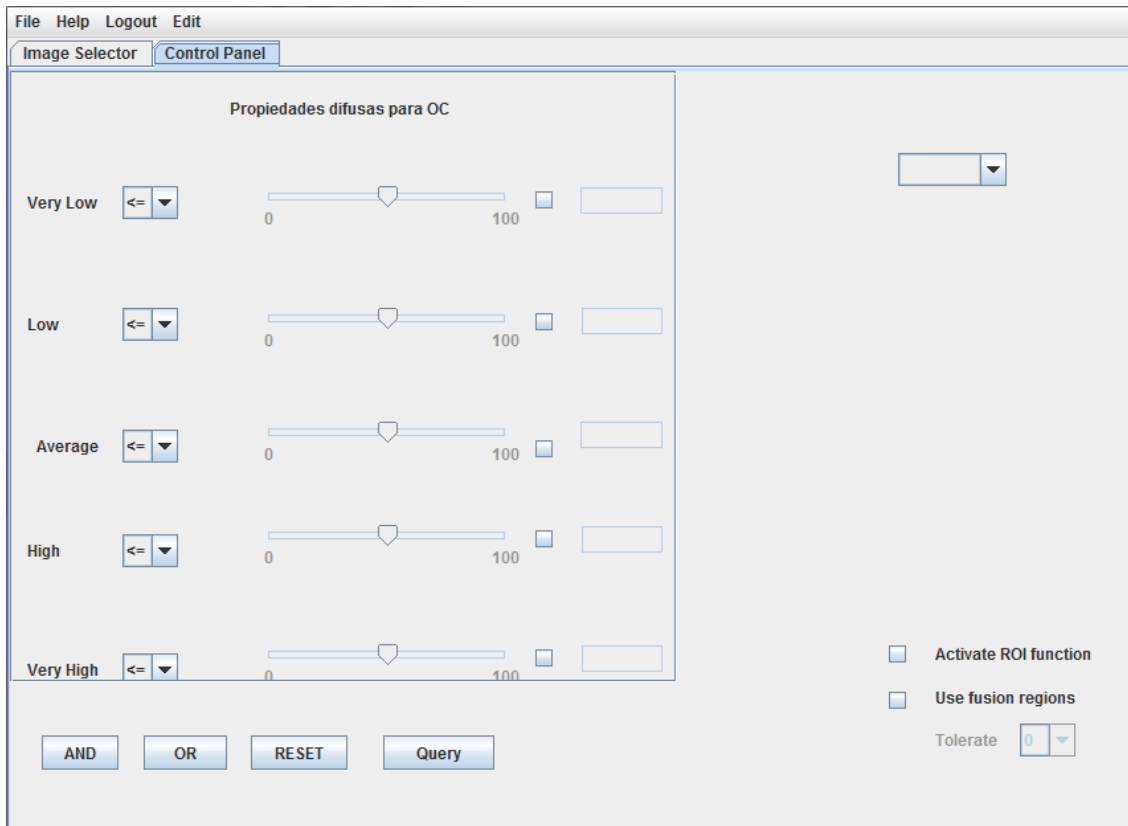


Figura 64. Panel de consultas

Cada vez que se activa una ventana aparece como una pestaña en la parte superior izquierda, para cerrar una pestaña que no nos interesa bastara con pulsar sobre ella con el botón derecho del ratón.

Al haber seleccionado una imagen de clorofila, los descriptores difusos que aparecen en primer lugar son los de concentración de clorofila, si hubiésemos seleccionado temperatura, aparecerían los de temperatura.

El panel tiene 4 partes bien diferenciadas, por un lado la parte izquierda que contiene las barras de consulta, abajo izquierda la botonera de consultas avanzadas, arriba derecha está el desplegable para seleccionar el atributo difuso que nos interese y la parte abajo derecha para activar las opciones especiales.

4.1. Panel de atributos

Tiene el siguiente aspecto al arrancar

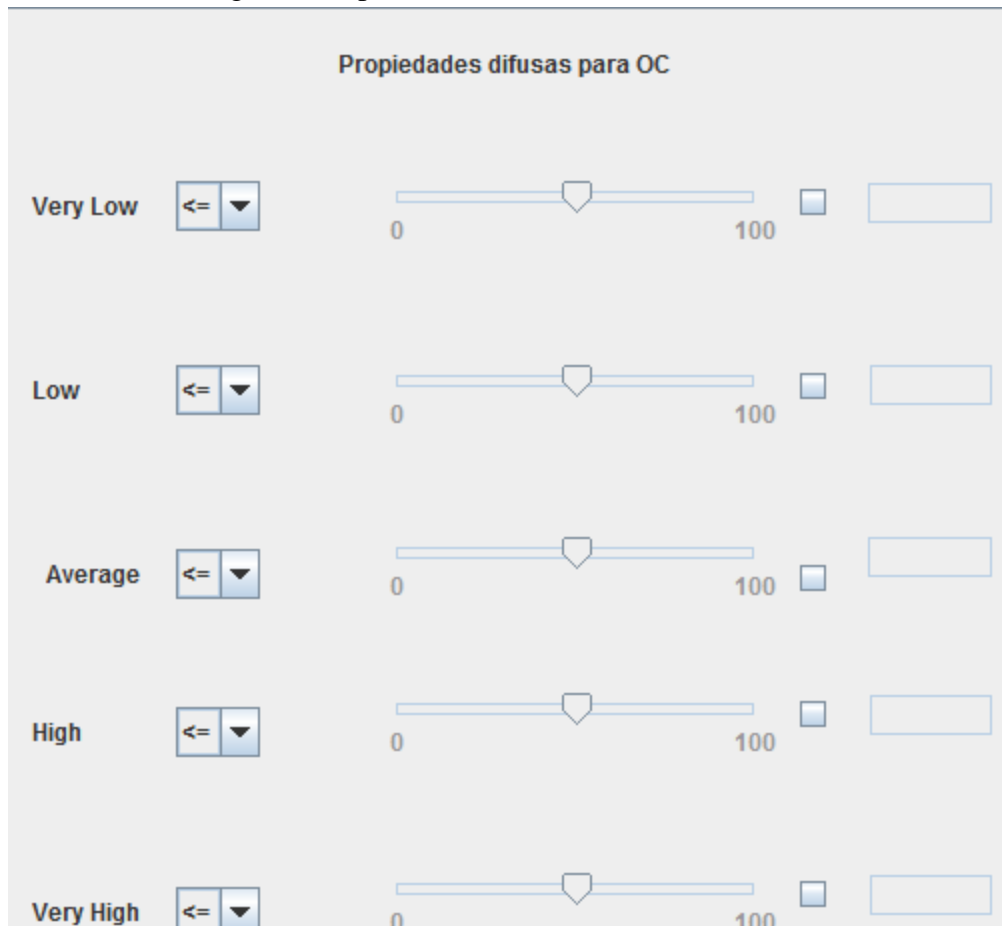


Figura 65. Subpanel difuso

Para cada atributo difuso (very low, low, etc) existe una barra, un cuadro de selección y un cuadro de texto a la derecha, para usar un atributo lo activamos pulsando el cuadrado de selección y un desplegable con varias opciones lógicas (mayor que, menor que, etc).

Tras seleccionar un atributo difuso podemos desplazar la barra a la izquierda o la derecha para aumentar o reducir la pertenencia a ese conjunto difuso, conforme se va variando la barra el cuadro de la derecha va mostrando el valor actual de pertenencia.

Si en lugar de seleccionarlo con la barra queremos dar un valor predeterminado seleccionamos el cuadro de texto y escribimos el valor que nos interese y damos doble click con el botón izquierdo del ratón sobre el recuadro, la barra se actualizará tras hacerlo.

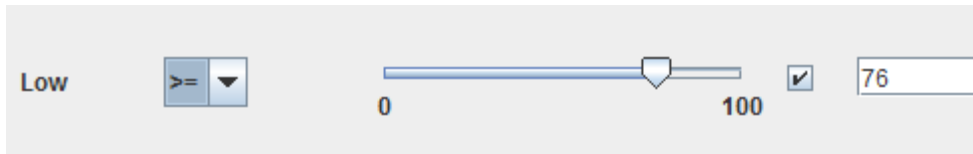


Figura 66. Barra de selección de valor

De esta forma crearíamos una consulta difusa del tipo “clorofila baja con un grado de pertenencia mayor o igual a 76”, con esto indicamos que la region que nos interesa debe tener una valor difuso para baja mayor o igual a 76.

4.2. Botonera de consultas

De la forma anterior pueden crearse fácilmente consultas sencillas, pero no es posible crear consultas más complicadas, la botonera inferior se utiliza para unir consultas simples para obtener otras consultas más complejas, por ejemplo, para localizar un afloramiento las regiones han de tener una concentración alta de clorofila y además estar cerca de tierra, para permitir este tipo de consultas se utilizan estos botones.



Figura 67. Botonera de consulta

La función de cada botón es la siguiente:

- And: Realiza la operación and entre lo que hay ahora mismo en la consulta y el argumento que se introduzca después
- Or: Realiza la operación or
- Reset: Limpia la consulta y la deja preparada para volver a empezar la consulta
- Query: Lanza la consulta y despliega la ventana con los resultados

4.3. Desplegable de selección

A través de este desplegable podemos seleccionar entre diferentes atributos difusos, al seleccionar un atributo difuso el panel de atributos cambiara para adaptarse al nuevo parámetro difuso.



Figura 68. Desplegable

4.4. Opciones especiales

En esta parte podemos acceder a dos opciones especiales para la ventana de etiquetado y selección de regiones.

Por un lado está la opción Activate ROI function, al activarla permite cambiar entre el modo completo y el modo de selección. El modo completo realiza una consulta sobre toda la imagen y muestra todas las regiones que cumplen la consulta difusa, el modo de selección permite elegir la zona de la imagen en la que buscar las regiones. La otra opción es Use fusión regions, permite activar el algoritmo de fusión basado en distancia utilizando la consulta creada, de esta forma, además de las regiones simples aparecerá un conjunto de regiones fusionadas (si las hubiese). Al activar la opción se activará el desplegable Tolerate, que nos permite aumentar o reducir el ROI en el algoritmo, por defecto el crecimiento es cero.

5. Panel de etiquetado

Desde este panel es posible colorear las regiones segmentadas de la imagen y realizar el proceso de etiquetado de las mismas

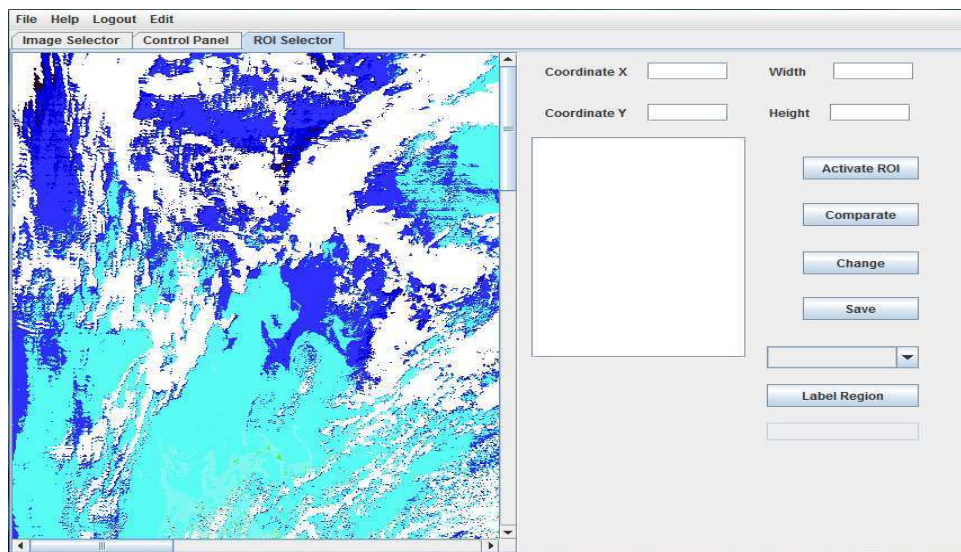


Figura 69. Panel de etiquetado

En la mitad izquierda de la ventana se coloca la imagen que vamos a procesar, en la mitad derecha se sitúan en la parte superior unas casillas destinadas para las coordenadas, si utilizamos el modo completo para buscar regiones estas casillas aparecerán desactivadas.

En el cuadro blanco de la derecha aparecerán los datos de las regiones simples y fusionadas (si las hay y se eligió la opción de fusión de regiones). A continuación se describirá el funcionamiento de los botones

- Activate ROI: Si estamos en modo selección, al pulsar este botón realizara una consulta sobre la imagen en las coordenadas seleccionadas en la parte superior derecha, en modo completo no hará ninguna acción.
- Compare: Activa la ventana de comparación de regiones que describiremos posteriormente
- Change: Nos permite cambiar entre el modo completo y el modo selección.
- Save: Nos permite guardar una copia imagen con la región seleccionada remarcada.
- Label Region: Este botón procederá a etiquetar la región seleccionada, al pulsar el desplegable saldrán algunas opciones predefinidas como afloramiento, estela o giro; junto a estas aparece una opción llamada otros, la cual al activarla, nos permite escribir en el cuadro de texto una etiqueta que no estuviese previamente predefinida

El proceso completo para etiquetar una región es el siguiente:

1.- Si estamos en el modo completo directamente pasamos al paso X, si es en modo selección dibujamos un cuadrado con el ratón en la imagen de la izquierda, al hacer esto en los cuadrados de la parte superior derecha aparecerán las coordenadas de dicho cuadrado. Los cuadrados de texto de la parte superior derecha pueden editarse manualmente

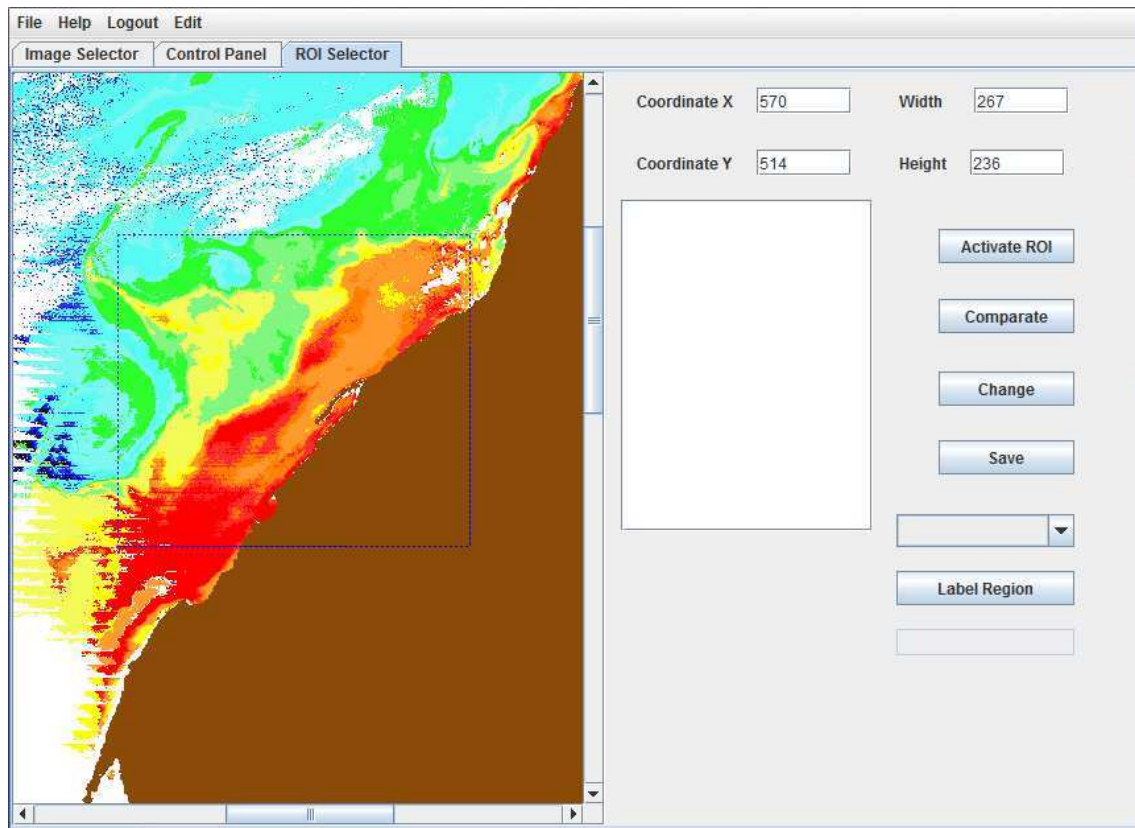


Figura 70. Selector de ROI

2.- Tras seleccionar el recuadro procedemos a pulsar el botón `ActivateROI` para que se realice la consulta, tras lo cual aparecerán las regiones en el cuadro de la derecha, las regiones simples finalizaran con una letra S y las regiones fusionadas con la letra F, si apareciese una línea con solo la letra F, indicaría que no se ha podido realizar ninguna fusión.

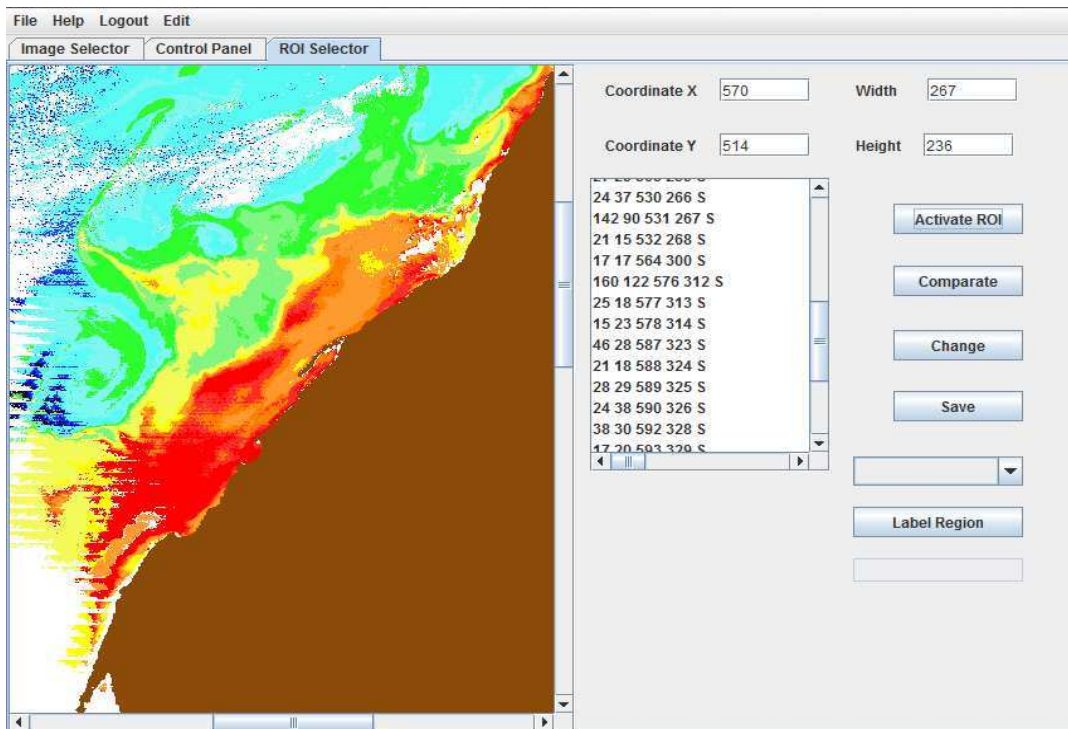


Figura 71. Consulta ejecutada

3.- Seleccionamos la región con la que vamos a tratar, para ello damos doble click con el botón izquierdo del ratón sobre la región que nos interese tratar. La región seleccionada aparecerá remarcada con un tono rosado, en este punto tenemos 3 opciones, por un lado comparar la región con otras regiones previamente etiquetadas, guardar una copia de la imagen con la región seleccionada o etiquetarla.

o *Proceso de etiquetado*

En primer lugar abrimos el desplegable y seleccionamos la opción que deseemos, si no se ajusta a ninguna de las predefinidas procedemos a seleccionar otros y escribimos en el cuadro de texto la etiqueta que queramos. Tras eso pulsamos el botón label Region.



Figura 72. Etiquetado

- *Proceso de guardado de copia*

Al pulsar el botón save se abre la siguiente ventana:

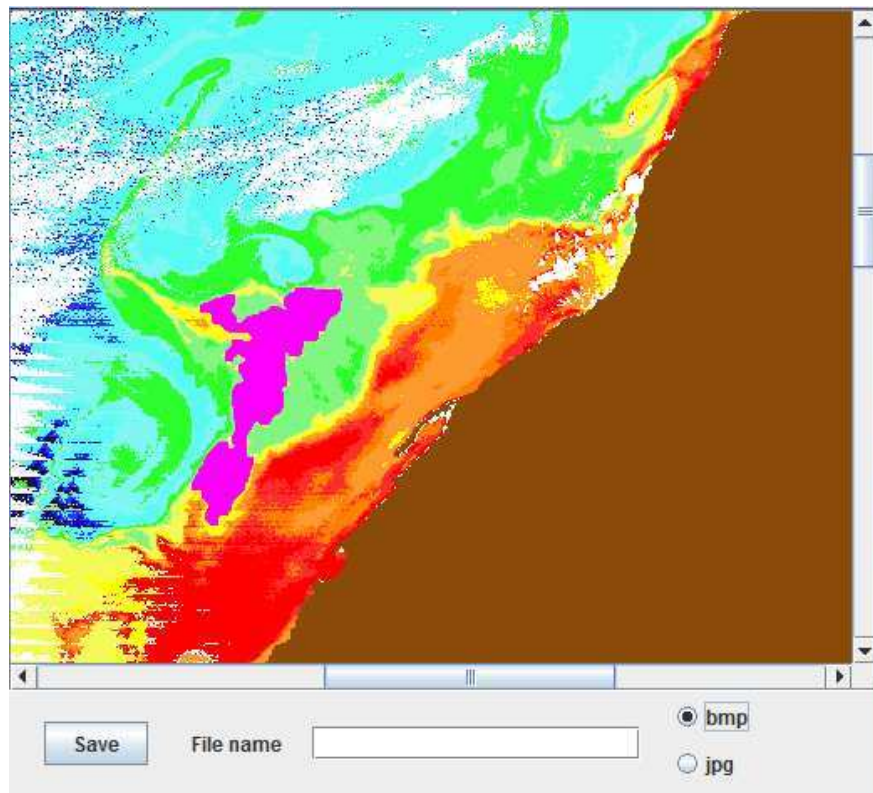


Figura 73. Guardado de imágenes

En la parte superior podemos ver y desplazar la imagen que vamos a guardar, así como la región que hemos seleccionado, para guardar un fichero debemos escribir el nombre del archivo en el cuadro de texto de la parte inferior (nombre sin extensión), tras eso debemos seleccionar una de las dos opciones del lado derecho bmp o jpg, esto nos permitirá almacenar la imagen como archivo bmp o jpg, tras eso pulsamos el botón Save.

- *Proceso de comparación*

Al pulsar el botón compare abrimos la ventana de comparación que describiremos posteriormente.

6. Ventana de Comparación de imágenes

Esta ventana nos permitirá comparar la imagen y la región seleccionada con otra imagen o región previamente guardada, esto nos permite por ejemplo comparar una estructura de dos sensores diferentes por ejemplo, MODIS y SEAWIFS o también comparar datos diferentes, por ejemplo, un afloramiento en clorofila y en temperatura superficial. El aspecto de la ventana es el siguiente:

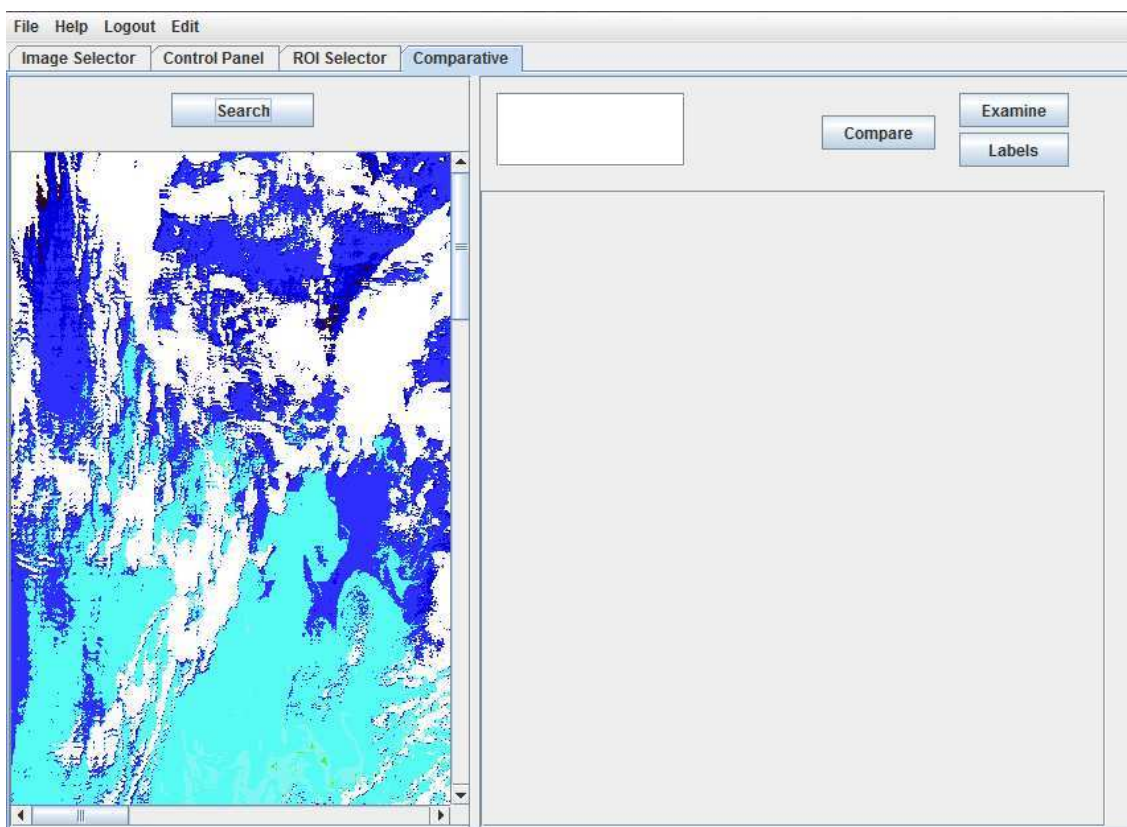


Figura 74. Ventana de comparación

En la parte izquierda tenemos la imagen original y en la parte derecha la imagen con la que la vamos a comparar, los botones en la parte superior nos ayuda a seleccionar y buscar imágenes y regiones para comparar de diferentes formas:

- **Botón Search:** Al pulsar este botón se realiza una búsqueda sobre la base de datos tratando de buscar otras imágenes del mismo tipo las cuales contengan regiones que coincidan con la consulta difusa, tras buscar nos aparece la siguiente ventana con la lista de imágenes, al dar doble click sobre una de ellas la imagen se cargará en el lado derecho.

- **Botón Examine:** Este botón nos permite navegar por los directorios buscando de forma manual la imagen que queremos comparar, en la parte derecha aparece la miniatura de la imagen.

Una vez cargada una imagen en la parte derecha aparecen las dos últimas opciones, por un lado el botón Compare y por otro el botón Labels/Regions. Al cambiar entre Labels y Regions aparecen en la lista de su izquierda las regiones de la imagen de la derecha, la opción Regions carga todas las regiones que cumplan la consulta difusa independientemente de si estan etiquetadas o no, mientras que labels solo carga aquellas que previamente hayan sido etiquetadas. Tras seleccionar una mediante doble click se pintará sobre la parte derecha teniendo un aspecto como el siguiente.

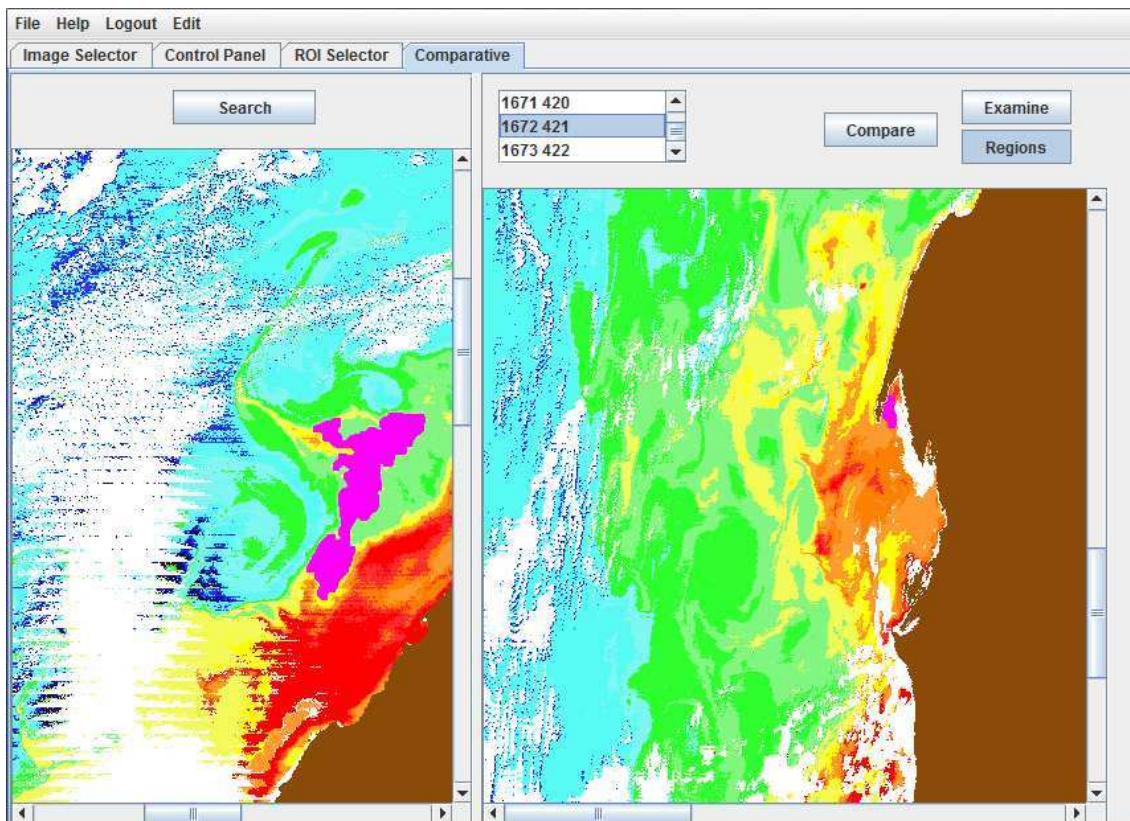


Figura 75. Comparación de 2 imágenes

Al pulsar el botón Compare se nos abre una ventana en la que podemos ver y comparar los descriptores difusos y no difusos de ambas regiones.

tacion	Fuzzy_value...	Fuzzy_value...	Fuzzy_value...	Fuzzy_value...	Fuzzy_value...	Continent_...	Continent
37	1	0	0	0	0	0	0
20807	0	0	0	0.238095	0.761905	0.918932	0

Figura 76. Tabla de resultados

Anexo II

Abreviaturas y símbolos

- MLP: Multi layer perceptron, es un tipo de red neuronal
- IBK: Algoritmo de los k vecinos más cercanos (KNN)
- NBTree: Árbol Naive Bayes
- EMA: Error medio absoluto
- EMC: Error cuadrático medio
- ER(%): Error relativo absoluto
- ECR(%): Error cuadrático relativo

La lista de parámetros según clasificador:

MLP

- L: Learning Ratio, ratio de aprendizaje
- M: Backtracking ratio, ratio de retropropagación

Bayes

- E: Algoritmo de estimación seleccionado

NaiveBayes:

- D: Usar discretización supervisada para los atributos numéricos
- K: Usar método de estimación

IBK:

- K: Distancia del vecino más cercano

Nombre	Algoritmo	Acierto(%)	EMA	ECM	ER(%)	ECR(%)	Parametros
MLP_1	MLP	95,7143	0,0339	0,1379	10,293	34,0087	L 0.1 M 0.1
MLP_2	MLP	93,3333	0,0399	0,167	12,1182	41,1966	L 0.1 M 0.9
MLP_3	MLP	96,1905	0,0326	0,1343	9,8958	33,1206	L 0.2 M 0.7
	Red						
BAYES_1	Bayesiana	94,7619	0,0277	0,1403	8,1403	34,6004	E BMAEstimator
	Red						E
BAYES_2	Bayesiana	95,4762	0,0287	0,1461	8,7218	36,0373	SimpleEstimator
Nbayes_1	Naive Bayes	95,4762	0,0268	0,1428	8,1225	35,2188	D
Nbayes_2	Naive Bayes	90	0,0493	0,2148	14,9522	52,9925	K
Nbayes_3	Naive Bayes	89,0476	0,053	0,2249	16,0911	55,4864	
IBK_1	IBK	93,8095	0,0373	0,1745	11,3285	43,0363	K=1
IBK_2	IBK	91,4286	0,0407	0,1596	12,3366	39,3791	K=2
IBK_3	IBK	93,5714	0,0487	0,167	14,7707	41,1972	K=3
IBK_4	IBK	93,3333	0,0477	0,159	14,4707	39,2204	K=4
IBK_5	IBK	93,5714	0,051	0,1598	15,4837	39,4278	K=5
NBTree	NB Tree	94,5238	0,0362	0,1612	10,998	39,7554	D

Figura 77. Tabla completa de la figura 53

Matriz de confusión de MLP_3

=== Confusion Matrix ===

```

  a   b   c   d   <-- classified as
134  0   3   0   |   a = Nada
  0   2   4   0   |   b = Giro Frio
  0   2  89   7   |   c = Filamento
  0   0   0 179   |   d = Afloramiento

```

Matriz de confusión de Bayes_2

=== Confusion Matrix ===

```

  a   b   c   d   <-- classified as
136  0   1   0   |   a = Nada
  0   1   5   0   |   b = Giro Frio
  0   5  82  11   |   c = Filamento
  0   0   0 179   |   d = Afloramiento

```

Matriz de confusión de NBayes_1

=== Confusion Matrix ===

```

  a   b   c   d   <-- classified as
136  0   1   0   |   a = Nada
  0   0   6   0   |   b = Giro Frio
  0   1  86  11   |   c = Filamento
  0   0   0 179   |   d = Afloramiento

```

Nombre	Algoritmo	Acierto(%)	EMA	ECM	ER(%)	ECR(%)	Parametros
MLP_1	MLP	95,2381	0,0434	0,1435	13,1596	35,392	L 0.1 M 0.1
MLP_2	MLP	92,381	0,0437	0,1659	12,2477	40,925	L 0.1 M 0.9
MLP_3	MLP	95,2381	0,0437	0,1433	13,2671	35,3478	L 0.2 M 0.7
Red							
BAYES_1	Bayesiana	95,4762	0,028	0,1486	8,4976	36,654	E BMAEstimator
Red							
BAYES_2	Bayesiana	95,4762	0,0307	0,1516	9,3184	37,3965	E SimpleEstimator
Nbayes_1	Naive Bayes	95,4762	0,0272	0,1488	8,2423	36,6972	D
Nbayes_2	Naive Bayes	94,0476	0,0385	0,156	11,6732	38,4826	K
Nbayes_3	Naive Bayes	87,1429	0,0617	0,2055	18,7134	50,6986	
IBK_1	IBK	94,0476	0,0361	0,1711	10,9699	42,2022	K=1
IBK_2	IBK	90,2381	0,0401	0,1614	12,1613	39,8208	K=2
IBK_3	IBK	95,2381	0,0378	0,148	11,486	36,5166	K=3
IBK_4	IBK	94,5238	0,0434	0,1561	13,1566	38,4982	K=4
IBK_5	IBK	94,2857	0,0461	0,1586	13,985	39,1198	K=5
NBTree	NB Tree	95,9524	0,0453	0,1378	13,754	33,984	D

Figura 78. Tabla completa de la figura 54

Matriz de confusión de MLP_3

=== Confusion Matrix ===

```

  a   b   c   d   <-- classified as
136  0   1   0   |   a = Nada
  0   0   6   0   |   b = Giro Frio
  0   0  87  11   |   c = Filamento
  0   0   2 177   |   d = Afloramiento

```

Matriz de confusión de Bayes_2

=== Confusion Matrix ===

```

  a   b   c   d   <-- classified as
136  0   1   0   |   a = Nada
  0   0   6   0   |   b = Giro Frio
  0   0  86  12   |   c = Filamento
  0   0   0 179   |   d = Afloramiento

```

Matriz de confusión de NBayes_1

=== Confusion Matrix ===

```

  a   b   c   d   <-- classified as
136  0   1   0   |   a = Nada
  0   0   6   0   |   b = Giro Frio
  0   0  86  12   |   c = Filamento
  0   0   0 179   |   d = Afloramiento

```

Nombre	Algoritmo	Acierto(%)	EMA	ECM	ER(%)	ECR(%)	Parametros
MLP_1	MLP	91,9084	0,0533	0,1857	16,1727	45,8162	L 0.1 M 0.1
MLP_2	MLP	92,381	0,0465	0,1885	14,1169	46,4863	L 0.1 M 0.9
MLP_3	MLP	95	0,0432	0,1487	13,1052	36,6703	L 0.2 M 0.7
	Red						
BAYES_1	Bayesiana	95,4762	0,03	0,1526	9,1172	37,6348	E BMAEstimator
	Red						E
BAYES_2	Bayesiana	94,0476	0,0373	0,1675	11,3296	41,325	SimpleEstimator
Nbayes_1	Naive Bayes	95,2381	0,0299	0,1559	9,0803	38,4598	D
Nbayes_2	Naive Bayes	86,4286	0,0739	0,2278	22,4368	56,1941	K
Nbayes_3	Naive Bayes	77,381	0,1076	0,295	32,6501	72,7734	
IBK_1	IBK	94,0476	0,0362	0,1711	10,9899	42,2029	K=1
IBK_2	IBK	90,2381	0,0419	0,1659	12,704	40,9337	K=2
IBK_3	IBK	92,381	0,0481	0,1734	14,5988	42,7788	K=3
IBK_4	IBK	91,6667	0,0527	0,1771	16,0002	43,6741	K=4
IBK_5	IBK	93,3333	0,0555	0,1736	16,8431	42,8122	K=5
NBTree	NB Tree	94,0476	0,0397	0,1629	12,0469	40,1932	D

Figura 79. Tabla completa de la figura 55

Matriz de confusión de MLP_3

=== Confusion Matrix ===

```

  a   b   c   d   <-- classified as
136  0   1   0   |   a = Nada
  0   0   6   0   |   b = Giro Frio
  0   0  89   9   |   c = Filamento
  1   0   4 174   |   d = Afloramiento

```

Matriz de confusión de Bayes_2

=== Confusion Matrix ===

```

  a   b   c   d   <-- classified as
136  0   1   0   |   a = Nada
  0   0   6   0   |   b = Giro Frio
  0   1  85  12   |   c = Filamento
  1   0   4 174   |   d = Afloramiento

```

Matriz de confusión de NBayes_1

=== Confusion Matrix ===

```

  a   b   c   d   <-- classified as
136  0   1   0   |   a = Nada
  0   0   6   0   |   b = Giro Frio
  0   0  86  12   |   c = Filamento
  1   0   0 178   |   d = Afloramiento

```

Nombre	Algoritmo	Acierto(%)	EMA	ECM	ER(%)	ECR(%)	Parametros
MLP_1	MLP	95,4762	0,0476	0,1458	14,4563	35,9555	L 0.1 M 0.1
MLP_2	MLP	95,4762	0,0436	0,146	13,2359	36,0136	L 0.1 M 0.9
MLP_3	MLP	95,4762	0,0492	0,1471	14,9239	36,2957	L 0.2 M 0.7
Red							
BAYES_1	Bayesiana	95,4762	0,0378	0,1582	11,4601	39,0117	E BMAEstimator
Red							
BAYES_2	Bayesiana	95,4762	0,038	0,1589	11,5226	39,1861	E SimpleEstimator
Nbayes_1	Naive Bayes	95,4762	0,0385	0,1577	11,6684	38,8914	D
Nbayes_2	Naive Bayes	92,1429	0,0586	0,1858	17,7934	45,8429	K
Nbayes_3	Naive Bayes	88,0952	0,0571	0,1834	17,3173	45,2371	
IBK_1	IBK	95,4762	0,0412	0,1455	12,5149	35,881	K=1
IBK_2	IBK	95,4762	0,0421	0,1458	12,7617	35,9583	K=2
IBK_3	IBK	95,4762	0,0428	0,1465	12,9953	36,1441	K=3
IBK_4	IBK	95,4762	0,043	0,1456	13,0498	35,9227	K=4
IBK_5	IBK	95,4762	0,0419	0,1451	12,7207	35,7954	K=5
NBTree	NB Tree	95,4762	0,0428	0,152	12,9827	37,4966	D

Figura 80. Tabla completa de la figura 56

Matriz de confusión de MLP_3

=== Confusion Matrix ===

	a	b	c	d	<-- classified as
136	0	1	0	0	a = Nada
0	0	6	0	0	b = Giro Frio
0	0	86	12	0	c = Filamento
0	0	0	0	179	d = Afloramiento

Matriz de confusión de Bayes_2

=== Confusion Matrix ===

	a	b	c	d	<-- classified as
136	0	1	0	0	a = Nada
0	0	6	0	0	b = Giro Frio
0	0	86	12	0	c = Filamento
0	0	0	0	179	d = Afloramiento

Matriz de confusión de NBayes_1

=== Confusion Matrix ===

	a	b	c	d	<-- classified as
136	0	1	0	0	a = Nada
0	0	6	0	0	b = Giro Frio
0	0	86	12	0	c = Filamento
0	0	0	0	179	d = Afloramiento

Anexo III

Atributos de las tablas

- Area_interest: Esta tabla almacena información sobre un área geográfica de estudio, su atributos son:
 - Name: Nombre de la zona geográfica
 - Longitude: Longitud del centro geográfico del área de interés, usado por la aplicación para el filtro de posición
 - Latitude: Latitud del centro geográfico del área de interés, usado por la aplicación para el filtro de posición.

- Hdf_file: Se conserva la información obtenida de todos los ficheros HDF procesados, independientemente de si paso o no los filtros de selección, sus atributos son:
 - Name: Nombre del fichero.
 - Date_file: Fecha de creación de los datos almacenados por el fichero.
 - Time_file: Hora de creación de los datos almacenados por el fichero.
 - Description: Breve descripción de algún aspecto del fichero.
 - Path: Ruta donde se encuentra almacenado el fichero
 - Size: Tamaño del fichero
 - Format: Determina el tipo de imagen (OC, SST, etc)
 - Product_level: Nivel de los datos que contiene el fichero
 - Latitude: Ruta del fichero que contiene los datos de latitud del fichero
 - Longitude: Ruta del fichero que contiene los datos de longitud del fichero
 - User: Usuario que introdujo el fichero en la base de datos

- Satellite: Datos relacionados con los satélites que obtienen los datos, sus atributos son los siguientes:
 - Name: Nombre del satélite
 - Description: Breve comentario sobre el satélite
 - Organization: Organización responsable del satélite
 - Size_Orbit: Tamaño de la órbita que describe el satélite.
 - Type_orbit: Tipo de órbita que describe el satélite
 - Periode_orbit: Periodo de la orbita
 - Date launched: Fecha de puesta en órbita.

- Sensor: Tabla con información de los diferentes sensores utilizados para la obtención de los datos de las imágenes:
 - Name: Nombre del sensor
 - Description: Breve descripción del sensor
 - Num_bands: Número de bandas.

- **Band:** Información sobre las distintas bandas que utiliza el sensor para realizar la captura de información:
 - **Description:** Descripción de la banda
 - **Primary_use:** Uso principal para una banda, ejemplo en MODIS las bandas 17, 18 y 19 se utiliza para medir el vapor de agua atmosférico
 - **Spatial_resolution:** Resolución espacial
 - **Bandwidth_min:** Ancho de banda mínimo para esta banda
 - **Bandwidth_max:** Ancho de banda máximo para esta banda

- **Preprocess_image:** Los fichero HDF que no han sido descargados generan una serie de imágenes en color, la información de las imágenes procesadas se almacena en esta tabla:
 - **Name:** Nombre de la imagen
 - **Path:** Ruta donde se va a almacenar la imagen
 - **Type:** Tipo de la imagen preprocesada (OC, SST, etc)

- **Segmented_image.** Tabla que contiene la información sobre la segmentación de la imagen:
 - **Algorithm:** Algoritmos de utilizados sobre la imagen
 - **Num_region:** Número de regiones en las que ha sido segmentada la imagen original
 - **Greyscale:** Ruta de la imagen en escala de grises generada a partir de la original
 - **Greyscale_preprocess:** Ruta de la imagen en escala de grises generada tras aplicar procesos de tratamiento digital de imagen sobre la imagen gris original.

- **Region.** Es una de las dos tablas más importantes para la aplicación, en esta tabla se almacenan todos y cada uno de los datos y descriptores obtenidos en la segmentación de la imagen, en su mayoría son tipos de descriptores.
 - **Mxy:** Momentos centrales de orden 3
 - **Hu1...7:** Invariantes de Hu
 - **MM1...6:** Momentos de Maitra
 - **MZ1...5:** Momentos de Zernike
 - **MP1...2:** Pseudoinvariantes de Zernike
 - **ROI_heigh, ROI_Width:** Alto y ancho del ROI (Region Of Interest) de la región
 - **ROI_Coordinate_x, ROI Coordinaty_y:** Coordenadas en la imagen del primer punto del ROI
 - **Perímetro:** Perímetro de la región
 - **Área:** Área de la región
 - **Circularidad:** Grado de circularidad de la región.
 - **Excentricidad:** Excentricidad de la región
 - **Eje mayor, eje menor:** Tamaño de los ejes de la elipse circunscrita

- CentroideX, CentroideY: Centro de la elipse circunscrita de la región
 - Orientación: Orientación de la región
 - Value_Medium: Tono de color medio de la región
 - Fuzzy_Value_1...5: Valor del atributo difuso principal, para el caso de la clorofila este atributo sería Concentración de clorofila.
 - Continent_distance_near, médium, far: Atributos difusos que indican el grado de pertenencia según la distancia entre la región y el continente
 - Distane_island_near, médium, far: Atributos difusos que indican el grado de pertenencia según la distancia entre la región y una isla o un archipiélago.
 - Size_small, médium, big: Atributo difuso para determinar los grande o pequeña que es la región.
 - Color: Color definido para esta región en la imagen.
 - Region_type: Indica si la región es de OC o SST.
 - Structure_type: Almacena la etiqueta del tipo de estructura a la que pertenece la región.
- Fusion_Region: El contenido de esta tabla es exactamente igual al contenido de la tabla region con las únicas diferencias de que se eliminan los campos Value_medium y Color y se incluye el atributo Region_list, la diferencia entre estas tablas es que aquí se almacenan los resultados de aplicar el algoritmo de fusión basado en distancia, y en la otra tabla están los resultados obtenidos tras la segmentación
 - Region_list: Lista de regiones simples que construyen la región fusionada
 - User: Aquí se almacenan los login y password de los diferentes usuarios que acceden al sistema para recuperación y etiquetado de imágenes.

Bibliografía y Enlaces Web

Bibliografía

- [1] E.D. Barton, J. Arístegui, M. Canton, J. García-Braun, S. Hernández-León, L.Nykjaer, C. Almeida, J. Almunia, S. Ballesteros, G. Basterretxea, J. Escánez, L. García-Weill, A. Hernández-Guerra, F. López-Laatzén, R. Molina, M.F. Montero, E.Navarro-Pérez, J.M. Rodríguez, K. van Lenning, H. V´elez, and K. Wild. The transition zone of the canary current upwelling region. *Progress in Oceanography*, (41):455–504, 1998.
- [2] M.Canton, J.A. Torres, F. Guindos, M. Peralta, and J.A. Piedra. Towards an automatic system for ocean satellite image interpretation. In *II Pattern Recognition for Remote Sensing Symposium, Niagara (Canada)*, 2002.
- [3] Chuvieco Salinero, Emilio. *Teledetección ambiental*. Ariel Ciencia, 1 edition, mayo 2002.
- [4] Franz, B.A., P.J. Werdell, G. Meister, E.J. Kwiatkowska, S.W. Bailey, Z. Ahmad, and C.R. McClain (2006). MODIS Land Bands for Ocean Remote Sensing applications. *Proc. Ocean Optics XVIII, Montreal, Canada*, 9-13 October 2006,
- [5] Eloy García J. *Recuperación de Imágenes Usando Atributos Difusos*. Proyecto Fin de Carrera. Universidad de Málaga. 2003.
- [6] Gonzalez R., Woods R. *Digital Image Processing*. Addison-Wesley/Diaz de Santos. 3ª Edición. 2008.
- [7] P. Jeremy Werdell, Bryan A. Franz, Sean W. Bailey, Lawrence W. Harding Jr. and Gene C. Feldman (2007). Approach for the long-term spatial and temporal evaluation of ocean color satellite data products in a coastal environment. *Proceedings of SPIE*, 6680, pp 12
- [8] Klir G.J., Yuan B. *Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications*. Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ, USA. 1994
- [9] *Learning OpenCV - Computer Vision with the OpenCV Library*
- [10] Lizarazo, I., Elsner, P. Fuzzy Regions for Handling Uncertainty in Remote Sensing Image Segmentation. *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2008*.
- [11] Francisco José Machín Jiménez. *Variabilidad espacio temporal de la corriente de Canarias, del afloramiento costero al noroeste de África y de los intercambios atmosfera-oceano de calor y agua dulce*. Tesis Doctoral. Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Departamento de Física. Octubre 2003

- [12] Medina Rodríguez J.M. Bases de Datos Relacionales Difusas: Modelo teórico y aspectos de su implementación. Tesis. Universidad de Granada (1991).
- [13] Nachtgael M., Van der Weken D., E. Kerre E., Wilfried P. Soft Computing in Image Processing: Recent Advances. Springer. 2007.
- [14] Nils J. Nilsson. Inteligencia Artificial, una nueva síntesis. Mc Graw Hill, 2001.
- [15] Piedra J. A., Guindos F., Cantón M. Interpretación automática de imágenes oceánicas mediante sistemas neurodifusos. Revista de la Asociación Española de Teledetección. Número especial en Oceanografía y Teledetección. Nº 25. pp. 114-118, 2006.
- [16] Torres Arriaza, José Antonio. Reconocimiento automático de estructuras oceánicas en imágenes de satélite AVHRR mediante redes neuronales. PhD thesis, Universidad de Almería, 2001.

Enlaces Web

- [17] <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>. Proyecto para el estudio del océano donde se encuentran las imágenes de satélite a distinto nivel de procesamiento (MODIS y SeaWifs).
- [18] <http://aqua.nasa.gov/>. Información completa sobre el satélite Aqua y de sus sensores
- [19] <http://www.hdfgroup.org/>. Página del grupo desarrollador del formato HDF(iniciales..)
- [20] <http://sourceforge.net/projects/opencv/>. Desarrolladores de la librería OpenCv
- [21] www.crepad.rcanaria.es/. Página web del Centro de Recepción, Proceso, Archivo y Distribución localizado en las islas canarias