

GICS-GA SERVICIO GRID DE CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES LANDSAT QUE UTILIZA EL SISTEMA CLASIFICADOR INTELIGENTE XCS

GICS-GA LANDSAT IMAGE CLASSIFICATION GRID SERVICE THAT USES LEARNING CLASSIFIER SYSTEM XCS

Jorge Gabriel, Hoyos Pineda

Ingeniero de Sistemas. Docente Universidad Santo Tomás y Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Grupo Internacional de Investigación en Informática, Comunicaciones y Gestión del Conocimiento – GICOGE. Tunja (Boyacá - Colombia). E-mail: hoyospi@yahoo.com.

José Nelson, Pérez Castillo

Ingeniero de Sistemas. Doctor en Informática. Investigador y Docente de planta Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Grupo Internacional de Investigación en Informática, Comunicaciones y Gestión del Conocimiento – GICOGE. Bogotá D.C. (Colombia). E-mail: jnperezcg@gmail.com

Fecha de recepción: 18 septiembre 2008

Fecha de aprobación: 15 de diciembre de 2008

RESUMEN

El proyecto descrito en este artículo explora la aplicación de la tecnología Grid como apoyo a la formación y la investigación, a través de la promoción de un sistema clasificador de imágenes de satélite a un ambiente Grid, mediante la implementación de un servicio Grid al que tendrá acceso la comunidad de RENATA por medio de un portal Grid desarrollado para tal fin. El desarrollo de nuevas tecnologías de comunicación que soportan mayores anchos de banda y el advenimiento de redes de alta velocidad, han dado un gran impulso a la computación Grid, y ha incentivado la conformación de comunidades científicas que ahora pueden compartir sus recursos, aunque estos se encuentren dispersos geográficamente, recursos tales como hardware, software y capacidad de procesamiento y almacenamiento [6]. Una de las áreas que puede sacar provecho de esta nueva infraestructura es la relacionada con el procesamiento de imágenes de satélite, y más concretamente el proceso de clasificación, teniendo en cuenta la gran cantidad de recursos de procesamiento que este exige. En este documento se describen los resultados de investigación del proyecto GICS-GA que consiste en la implementación de un servicio Grid de clasificación de imágenes Landsat que implementa la funcionalidad definida por los estándares del *Consortio Abierto Geoespacial (Open Geospatial Consortium, OGC)* y que para las operaciones de entrenamiento

y clasificación utiliza el clasificador inteligente XCS, que al igual que la mayoría de los Sistemas Clasificadores Inteligentes hace uso de los algoritmos genéticos como mecanismo evolutivo.

Palabras clave: Servicio Grid, Clasificador inteligente

ABSTRACT

This document describes the GICS-GA Project which explores the application of Grid technology to support training and research, through (the promotion of) a satellite image classification system to a Grid environment by a Grid Service implementation, which will be available by RENATA community through a Grid portal developed for this purpose. The advent of high-speed networks and the increasing development of communication technologies, have given a great impetus to Grid computing, and have encouraged the comprising of scientific communities who would share resources both physical and knowledge even though those resources are spread geographically resources such as hardware, software, processing and storage [6]. One area that could benefit from this new infrastructure is related to the satellite images processing, and more specifically the classification process, taking into account the vast amount of processing and storage resources that this process requires. This document presents the results within the research project, consisting of implementing a Landsat images classification Grid Service that has the functionality defined by the standards of the Open Geospatial Consortium (OGC) and that for training and classification operations uses the Learning Classifier System XCS, which like most of the Learning Classifier Systems makes the use of genetic algorithms as evolutionary mechanism.

Key words: Grid Service, Learning Classifier

INTRODUCCIÓN

Algunas de los trabajos realizados por grandes centros de investigación están generando enormes cantidades de datos que necesitan ser almacenados y procesados. Para atender esta demanda se requiere la combinación del poder computacional y de almacenamiento de varios sitios o centros de procesamiento [9]. La computación Grid surge como respuesta a este tipo de problemas. En [3] se plantea la existencia de tres generaciones de Grid, a lo largo de su proceso de evolución. En la tercera generación, que podemos considerar como la actual, se introduce el enfoque orientado a servicios, y se adopta una visión integral de la infraestructura para la e-science (se empieza a hablar de organizaciones virtuales), además habilita el uso de metadatos para lograr mayor autonomía (se habla de Grid semántica).

Dentro de las grandes colecciones de datos que se vienen generando a nivel mundial están aquellas de tipo geoespacial (imágenes satelitales entre otros), requeridas por las diversas comunidades académicas y científicas. El análisis de los datos contenidos en estas imágenes resulta un problema combinatorial, si se tiene en cuenta que un sensor proporciona información de 7 canales en el caso de LANDSAT-TM hasta 220 canales en el caso de los sensores más modernos, y que el tamaño de la imagen puede estar en el orden de 12000 x 13200 píxeles [7]. Adicional a la cantidad de información, el proceso de clasificación introduce otro grado de complejidad al procesamiento de las imágenes, ya que este debe ser efectuado por personal altamente especializado, personal que es muy escaso en nuestro medio.

En este documento se describe el proyecto GICS-GA que consiste en la implementación de un servicio Grid de clasificación de imágenes Landsat que implementa la funcionalidad definida por los estándares de la OGC y que para las operaciones de entrenamiento y clasificación utiliza el clasificador inteligente XCS. Este proyecto se desarrolló en el marco de la investigación sobre servicios Grid de clasificación de imágenes utilizando técnicas de computación flexible, que viene realizando el grupo de trabajo en computación Grid que hace parte del *Grupo Internacional de Investigación en Informática, Comunicaciones y Gestión del Conocimiento (GICOGE)*, adscrito a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

1. PRELIMINARES

En esta sección se presentan los conceptos de imagen de satélite y clasificación. También se hace una breve descripción del sistema clasificador inteligente XCS, utilizado para las operaciones de entrenamiento y clasificación del servicio Grid. Además se describe el servicio Grid de clasificación GICS-GA. En la segunda sección se presentan los resultados obtenidos mediante la utilización del servicio Grid y se comparan con los alcanzados con la participación de un experto asistido por un software comercial. Por último se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

1.1. CLASIFICACIÓN DE UNA IMAGEN DE ACUERDO AL TIPO DE COBERTURA

Una imagen de satélite puede ser vista como una matriz tridimensional de números que corresponden a los valores de reflectancia para un píxel ubicado en una posición x , y y para una banda z [7]. Un valor de reflectancia corresponde a la intensidad de la respuesta obtenida desde la tierra a la señal emitida por el sensor. A este tipo de datos se le denomina raster.

La clasificación de una imagen es el proceso mediante el cual se definen las clases o categorías presentes en la imagen y cada píxel que hace parte de la misma es asignado a una de estas categorías.

En [8] se plantea como objetivo de la clasificación de imágenes geográficas la categorización de imágenes de acuerdo al tipo de cobertura o uso del suelo, por ejemplo para distinguir entre áreas forestales y residenciales.

1.2. EL SISTEMA CLASIFICADOR INTELIGENTE XCS

XCS es un *Sistema Clasificador Inteligente (Learning Classifier System, LCS)* que ha sido probado con muy buenos resultados en la clasificación de imágenes hiperespectrales por el *Laboratorio de Algoritmos Genéticos de la Universidad de Illinois (Illinois Genetic Algorithms Laboratory, ILLIGAL)* [7].

Un LCS es un sistema adaptativo que aprende a ejecutar la mejor acción en respuesta a una entrada dada. Es adaptativo en el sentido que su habilidad para escoger la mejor acción, mejora con la experiencia. La mejor acción es aquella que recibe el mejor pago (o la mejor calificación) de acuerdo a los parámetros definidos como parte del ambiente, mientras que una entrada corresponde a la percepción recibida del ambiente por parte del sistema (usualmente un vector de valores numéricos). El conjunto de acciones disponibles depende del contexto del sistema. En un contexto de clasificación, las acciones disponibles pueden ser "sí", "no", "benigno", "maligno", etc. [5]

Un sistema clasificador inteligente consiste de tres componentes principales [4]: un sistema de reglas y mensajes, un sistema de distribución de pagos (asignación de pesos) y un algoritmo genético.

El algoritmo utilizado por el sistema XCS [11], desarrolla la extracción de reglas de clasificación de una imagen previamente clasificada por un experto, para su posterior aplicación a imágenes no clasificadas. Cada regla es codificada como un individuo de la población y tiene la forma *si (condición) entonces (clase)*, indicando que si el píxel cumple con la condición o conjunto de condiciones corresponde a una clase determinada, dicha condición es construida sobre el concepto de intervalos espectrales, es decir, los valores mínimos y máximos aceptados para el píxel en una banda determinada de la imagen.

En el proceso se distinguen dos etapas, la de entrenamiento y la de testeo. En la primera se genera un conjunto inicial de reglas a partir de una imagen previamente clasificada por un experto, es al final de esta etapa que se aplica el algoritmo genético. En la segunda etapa, se desarrolla una clasificación sobre una imagen no clasificada a partir del conjunto de reglas resultante de la etapa de entrenamiento.

1.3. GICS-GA: UN SERVICIO GRID DE CLASIFICACIÓN

Un servicio Grid podría ser visto como un componente de software, similar a un servicio Web, que trabaja en un ambiente Grid y que es capaz de recordar información sobre invocaciones anteriores. En esta sección se presenta la propuesta sobre el modelo a utilizar para combinar la computación Grid con la clasificación de imágenes utilizando el sistema clasificador inteligente XCS. Como se mencionó anteriormente el objetivo es extraer reglas a partir de imágenes previamente clasificadas por expertos, para ser usadas posteriormente sobre imágenes sin clasificar.

1.3.1. El modelo propuesto

Este servicio Grid implementa un servicio de clasificación de imágenes de acuerdo a los lineamientos del estándar para un *Servicio Web de Clasificación de Imágenes (Web Image Classification Service, WICS)* de la OGC. Las operaciones que tienen la responsabilidad de entrenamiento y clasificación adaptan el sistema XCS para la generación de un conjunto de reglas a partir de imágenes previamente clasificadas por expertos, para ser usadas posteriormente sobre imágenes sin clasificar.

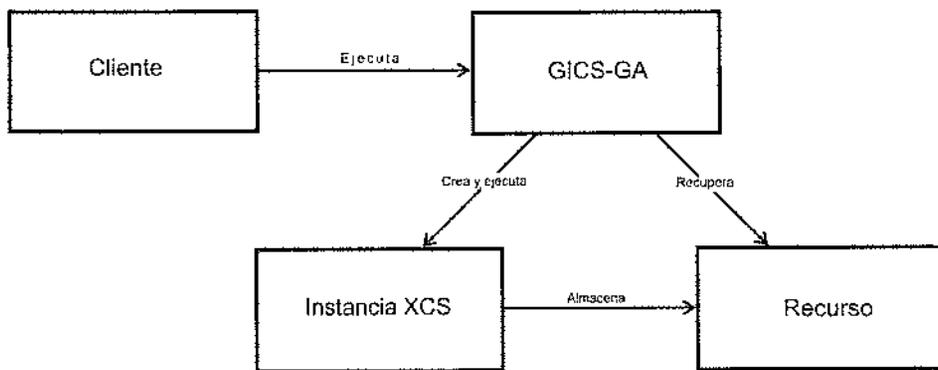


Figura 1. Arquitectura del servicio Grid

La figura 1 presenta un esquema de la arquitectura del servicio Grid, construida sobre una plataforma Globus Toolkit 4.

- **Servicio Grid.** Este servicio crea una instancia del sistema XCS.
- **Sistema XCS.** Realiza el entrenamiento del clasificador y la clasificación.
- **Recurso.** Almacena y recupera la información correspondiente al conjunto de clasificadores usado como población por la instancia del sistema XCS.

1.3.2. Aplicación del modelo WICS

Corresponde al documento OGC 05-017 [12] que a la vez aplica una serie de normativas contempladas en el documento OGC 05-008 *Especificación Común para Servicios Web OGC (OGC Web Services Common Specification)* [10]. Este estándar proporciona las especificaciones para una interfaz que desarrolla la clasificación de imágenes digitales, y que incluye funcionalidades para realizar clasificaciones de tipo supervisado y no supervisado, realizar el entrenamiento para la clasificación supervisada, así como recuperar clasificadores ya entrenados desde el servidor o recibir desde el lado del cliente los parámetros requeridos para el entrenamiento.

Esta interfaz especifica cuatro operaciones que pueden ser ejecutadas por un servicio WICS, por petición de una aplicación cliente:

- **GetCapabilities.** Retorna al cliente una descripción de las funcionalidades de una implementación específica del servicio, que contiene información como el identificador y el tipo de cada uno de los clasificadores disponibles desde el servidor y las operaciones ofrecidas.
- **GetClassification.** Permite al cliente enviar al servidor la imagen a ser clasificada, posiblemente con algunos parámetros para la clasificación, ejecuta la clasificación y retorna la imagen ya clasificada.
- **DescribeClassifier.** Retorna al cliente información detallada acerca del clasificador disponible en el servidor, como el identificador, la versión, el proveedor, etc.
- **TrainClassifier.** Permite al cliente enviar al servidor la información requerida para el entrenamiento del clasificador, como son el tipo de clasificador y los datos de entrenamiento, ejecuta el entrenamiento del clasificador y retorna los parámetros resultantes del entrenamiento.

Para información más detallada sobre la especificación WICS, se puede consultar el documento OGC 05-017 [12].

1.3.3. El entorno Grid

El servicio Grid de clasificación opera en un entorno Grid, por tal motivo, en la figura 2 se presenta un esquema general del mismo.

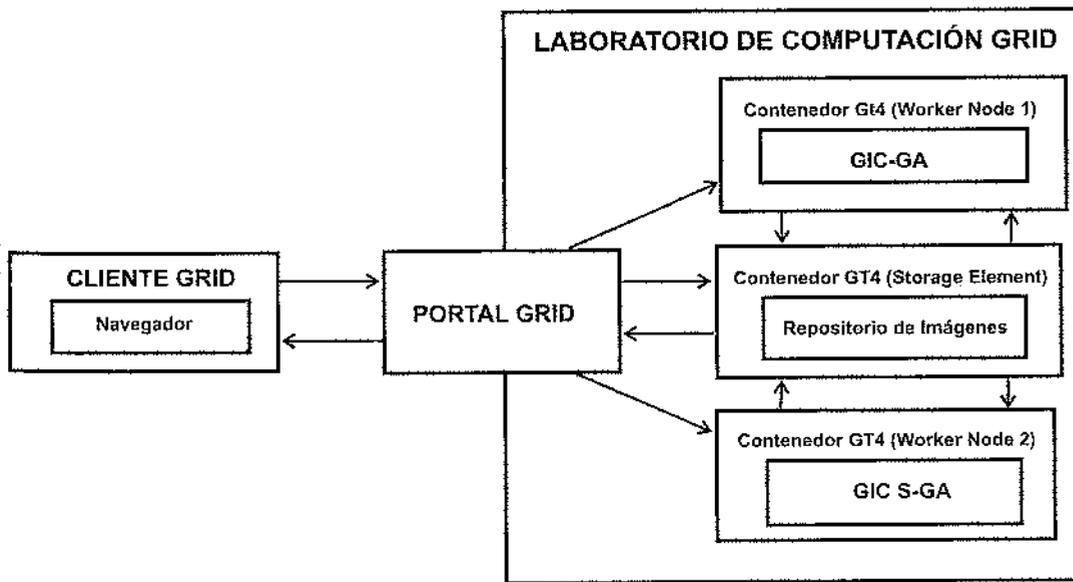


Figura 2. Entorno de operación del servicio Grid.

Un cliente Grid, que tiene creada su credencial en un servidor *Myproxy* ingresa al Portal Grid. Desde el portal se tiene acceso a los diferentes servicios Grid disponibles en el Laboratorio de Computación Grid del grupo de investigación GICOGE. En el módulo de clasificación puede seleccionar la operación a ejecutar e ingresar los parámetros requeridos de acuerdo a su selección. El portal utiliza un portlet para construir la especificación del trabajo y enviar dicha especificación a la máquina seleccionada para ejecutar el trabajo o *Worker Node*. El contenedor que recibe la solicitud del trabajo de acuerdo a la operación solicitada, realiza la transferencia de los archivos requeridos por el mismo vía GridFTP, ejecuta el cliente que invoca el servicio Grid con los parámetros contenidos en la especificación, y por último en el caso de la operación de clasificación, traslada el archivo resultado a una máquina dispuesta para el almacenamiento o *Storage Element* utilizando también GridFTP. El resultado puede ser visualizado posteriormente desde el mismo portal.

Los usuarios proporcionan los parámetros utilizados para la ejecución de la clasificación a través de un portal Grid que fué desarrollado por el grupo de trabajo en computación Grid que hace parte del grupo de investigación GICOGE, adscrito a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, mediante una interfaz como la mostrada en la Figura 3.

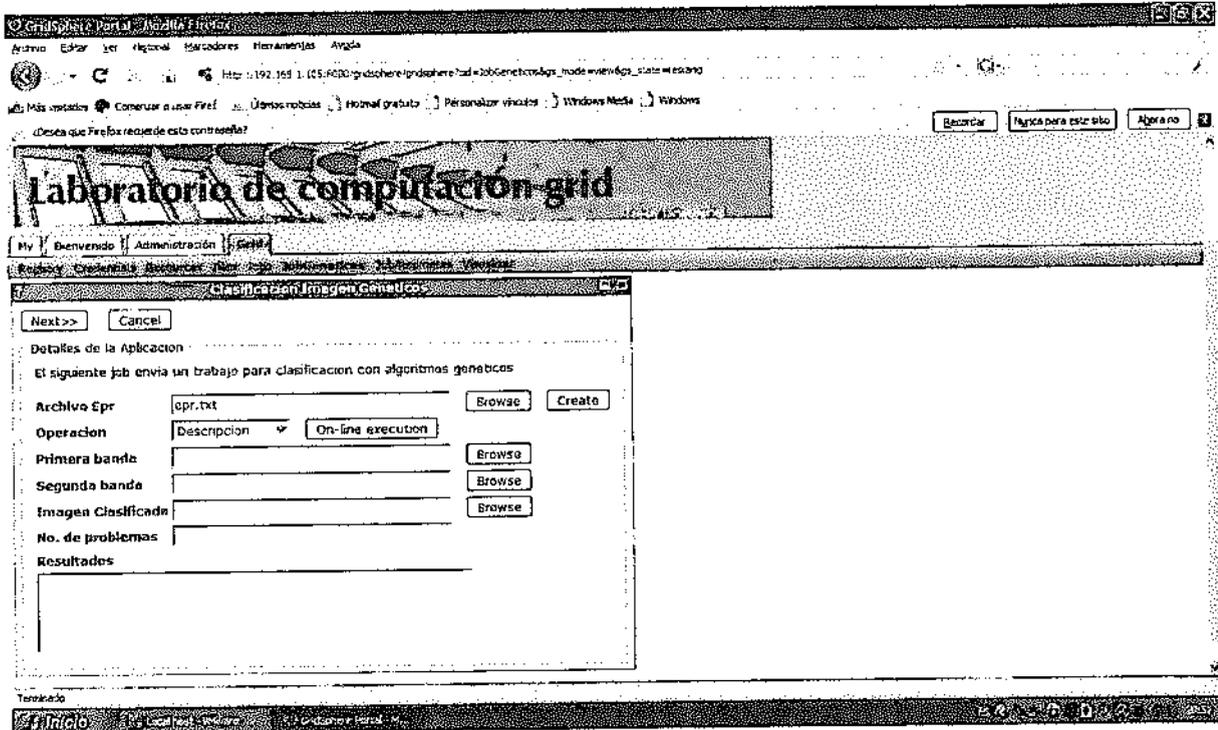


Figura 3. Ingreso de parámetros a través del portal Grid.

1.3.4. Implementación del Servicio Grid

Como ya se mencionó, la implementación del Servicio Grid corresponde a las especificaciones del estándar WICS de la OGC, y utiliza el sistema XCS dentro de los métodos que tienen la responsabilidad de entrenar el clasificador y aplicarlo al proceso de clasificación de imágenes. Para la implementación del servicio Grid se siguieron los cinco pasos descritos en [9], y que se resumen en:

Definir la interfaz del servicio. Corresponde a la especificación de la interfaz del servicio utilizando el *Lenguaje de Descripción de Servicios Web (Web Service Description Language, WSDL)*. Mediante este lenguaje se definen las operaciones que componen el servicio, así como los tipos requeridos por los parámetros de entrada y salida de dichas operaciones. Los tipos definidos aquí corresponden a la estructura de clases planteada por el estándar WICS para el proceso de clasificación de imágenes. En este caso no se requiere especificar el uso de SOAP para codificar los mensajes de entrada y salida mediante los *bindings*, ya que estos son generados en forma automática por una herramienta de Globus Toolkit durante la construcción del servicio.

Implementar el servicio. Corresponde a la implementación en código Java de la interfaz definida en el archivo WSDL. Adicionalmente se incorpora la estructura de clases correspondiente al sistema XCS [1] (algoritmos de clasificación).

Definir los parámetros de despliegue. Corresponde a la creación de los archivos utilizados para el despliegue del servicio, el *Descriptor de Despliegue de Servicio Web (Web Service Deployment Descriptor, WSDD)* y la *Interfaz Java para Nombrado y Directorio (Java Naming and Directory Interface, JNDI)*. En el primero se definen los parámetros para el despliegue del servicio, como el nombre con el que aparecerá el servicio en el contenedor, la ubicación del archivo WSDL asociado, las operaciones permitidas y otros. En el segundo se especifican aspectos relacionados con la creación y el manejo de los recursos asociados a las diferentes instancias del servicio.

Compilar y generar el archivo Grid. Globus utiliza *Ant* como herramienta de construcción. En este proceso se adicionan las secciones de *bindings* y *service* al WSDL, a partir de este se generan los stubs, que posteriormente son compilados al igual que los archivos correspondientes a la implementación del servicio. Por último organiza los archivos generados en una estructura requerida para el despliegue del servicio, el *Archivo Grid (Grid Archive, GAR)*.

Desplegar el servicio. Consistente en la ejecución de un comando de Globus, que despliega el archivo GAR en el contenedor, para que el servicio pueda ser accedido por los clientes en forma remota.

Para utilizar el servicio, fue necesaria la implementación de dos aplicaciones cliente y un portlet que permite su invocación desde un portal Grid.

- **Cliente Factoría.** Tiene como fin la obtención de una *Referencia de Punto Extremo (Endpoint Reference, EPR)*, la cual es necesaria para la invocación de las diferentes operaciones del servicio. El EPR es una referencia al servicio Grid, que contiene una URI que apunta al servicio y un identificador de recurso que apunta al recurso que va ser asociado a la instancia del servicio.
- **Cliente Ejecución.** Esta aplicación contempla la invocación remota de las cuatro operaciones definidas para el servicio, con los parámetros especificados.
- **Portlet.** Esta aplicación proporciona una interfaz gráfica mediante la cual se puede seleccionar la operación a ejecutar e ingresar los parámetros requeridos por la misma. Construye la especificación del trabajo y envía dicha especificación a la máquina seleccionada para ejecutar el trabajo (*Worker Node*).

2. CASO DE ESTUDIO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

2.1. CONSIDERACIONES CON LOS DATOS

Los datos disponibles para este estudio fueron facilitados por el *Grupo de Investigación en Geomática y Ambiente (GIGA)* adscrito a la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, quienes realizaron la clasificación de cobertura y uso del suelo de la zona objeto de estudio mediante el análisis e interpretación de imágenes de sensores remotos, como parte del proyecto "Zonificación Ambiental del corredor de páramo y bosque altoandino Iguaque – La Rusia – Guantiva, en los departamentos de Boyacá y Santander".

La imagen utilizada proviene del satélite Landsat TM+, tiene fecha de adquisición 200-12-13, viene en formato GeoTIFF y ya se encuentra ocorrectificada y georeferenciada. La imagen contiene datos multiespectrales (7 bandas), con 3240 * 3328 píxeles, 8 bits por píxel y una resolución de terreno de 30 metros para las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7 y de 60 metros para la banda 6. Para las pruebas correspondientes se utilizó una ventana de 500*500 píxeles.

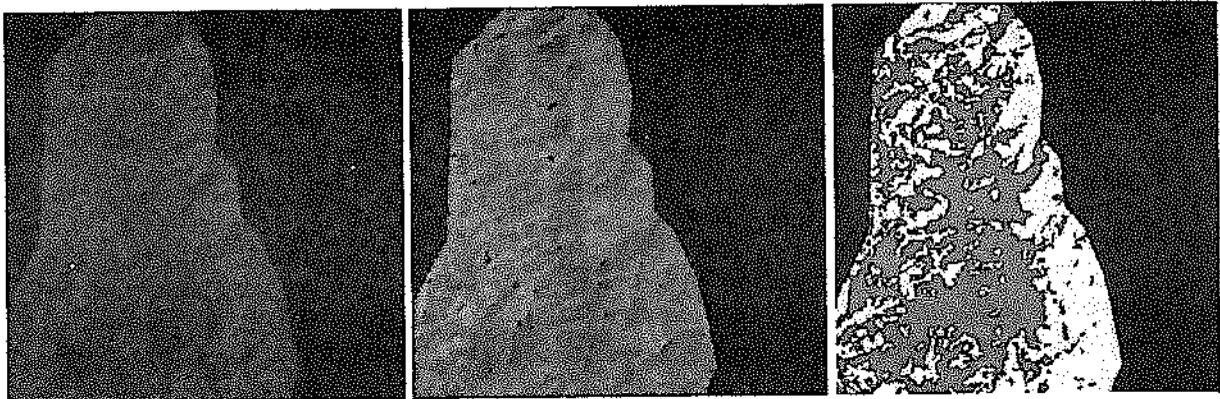


Figura 4. Banda 3, Banda 4 e imagen resultado de la clasificación realizada por el experto

En la clasificación realizada por el experto se definieron catorce clases, y el proceso fue apoyado en información recolectada durante el trabajo de campo, en información secundaria y en los patrones identificados.

2.2. CLASIFICACIÓN CON EL SERVICIO GRID DE CLASIFICACIÓN APLICANDO EL SISTEMA CLASIFICADOR INTELIGENTE XCS

En la figura 5 se presentan los resultados obtenidos con el servicio Grid de clasificación aplicando el sistema clasificador inteligente XCS.

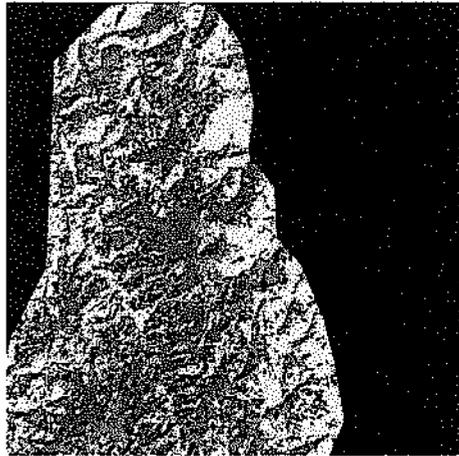


Figura 5. Imagen clasificada por el servicio Grid.

El resultado de la clasificación efectuada por el servicio Grid muestra buenos resultados, de acuerdo a los índices de calidad utilizados, como se observa en la Tabla 1.

El índice Q_{ppa}^i (Positive Predictive Accuracy), mide la proporción de los píxeles clasificados en forma correcta en relación con todos los píxeles asociados por el clasificador a una determinada clase, y está dado por la ecuación 2:

$$Q_{ppa}^i = \frac{P_{C_i}^{C_i}}{\sum_{k=1}^n P_{C_i}^{C_k}} \quad (2)$$

Tabla 1. Matriz de Confusión.

		CLASIFICACIÓN EXPERTO														Qppa	
		CLASE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		13
CLASIFICACIÓN SERVICIO GRID	0	116028	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	99%
	1	2	6	0	36	4	1	37	48	0	0	96	35	0	0	0	2%
	2	48	10627	82	9379	401	1	13	0	0	0	0	0	0	0	19	0%
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
	8	1	418	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	979	0%
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
	10	40	44084	0	4095	625	302	380	0	0	0	1	2	0	1282	0%	
	11	407	22571	0	23516	4874	586	6490	1470	0	0	440	417	0	133	0%	
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
Qsens		99%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	91%	0%	0%		

El índice Q_{sens} (Sensitivity), mide la proporción de los píxeles clasificados en forma correcta en relación con todos los píxeles asociados por el experto a una determinada clase, y esta dado por la ecuación 3:

$$Q_{sens}^i = \frac{P_{C_i}^C}{\sum_{k=1}^n P_{C_k}^C} \quad (3)$$

El índice K o índice Kappa de Cohen es de 0,46 que de acuerdo a los valores de referencia indica un nivel de concordancia moderado entre la clasificación realizada por el experto, y la efectuada por el servicio Grid. El índice K [2] esta definido de acuerdo a la ecuación 4: Índice Kappa de Cohen

$$K = \frac{\eta \delta - \lambda}{\eta^2 - \lambda} \quad (4)$$

Dónde,

$$\delta = \sum m_{i,j}$$

$$\eta = \sum \sum m_{i,j}$$

$$\lambda = \frac{\sum_{c=1}^n [\sum m_{i,c} \sum m_{c,j}]}{\eta}$$

Siendo M_n una matriz de confusión como la presentada en la Tabla 1:

$$M_n = \begin{bmatrix} m_{1,1} & \dots & m_{1,n} \\ \vdots & & \vdots \\ m_{n,1} & \dots & m_{n,n} \end{bmatrix}$$

Dónde m_{ij} representa el número de píxeles que fueron asignados a la clase i por el clasificador, pero que de acuerdo a la clasificación realizada por el experto corresponden a la clase j .

Por último, es importante anotar que la calidad de los resultados está sujeta al cumplimiento de algunos supuestos, por parte de los datos utilizados para el entrenamiento del clasificador, como son [7]:

- Que los datos de referencia sean realmente representativos de las clases buscadas
- Que los datos de referencia estén debidamente ocorrectificados y georreferenciados y exista una absoluta sincronización de las imágenes originales con la imagen resultado de la clasificación realizada por el experto.
- Que la clasificación realizada por el experto sea de buena calidad.
- Que no existan cambios en los límites de la vegetación entre las fechas de toma de la imagen y la verificación realizada directamente en el terreno.

3. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Mediante el desarrollo del proyecto se pudo demostrar que es posible la utilización de estas tecnologías en nuestro medio y más específicamente dentro de la comunidad científica, mediante el intercambio de recursos tanto físicos como de conocimiento.

Un aspecto que vale la pena resaltar es el hecho de utilizar la tecnología de servicios Grid, que ha sido poco explotada. Se puede observar que la mayoría de proyectos Grid, se limitan de alguna forma en este sentido, ya que ponen a disposición recursos de hardware y software para ser utilizadas en forma remota, pero no bajo el concepto de servicio Grid.

El carácter de servicio Grid de la implementación realizada, está dado por el hecho que el servicio es capaz de retener información acerca de invocaciones anteriores, en este caso de conservar diversos conjuntos de clasificadores generados en la etapa de entrenamiento, para ser usados en invocaciones posteriores para la clasificación de imágenes. Otro aspecto importante es la utilización que se hace de la infraestructura Grid. Servicios como GridFTP y RFT son utilizados para trasladar los archivos que contienen las imágenes de una a otra máquina dentro de la Grid, el servicio GRAM es usado para el envío y monitoreo de trabajos de clasificación, los certificados Proxy necesarios en todos los procesos son validados por una Autoridad Certificadora, etc.

El carácter de servicio inteligente está dado por la capacidad que tiene el algoritmo de deducir un conjunto de reglas de clasificación. En este proceso de deducción de reglas lo que hace el algoritmo es detectar la relación existente entre los valores digitales del mismo píxel en dos de las bandas que componen la imagen original y su correspondiente en la imagen clasificada por el experto. En el proceso de clasificación el algoritmo es aplicado en forma independiente a cada píxel, característica que es importante resaltar, ya que la mayoría de las otras técnicas de clasificación toma en cuenta también el valor de los píxeles vecinos.

En el caso de los servicios Grid de clasificación de imágenes se requiere trabajar en la adecuación de los estándares de la OGC referentes al tema, a un ambiente Grid, ya que estos han sido pensados para servicios Web. En el mismo sentido y siguiendo los lineamientos de documento OGC 05-017 se debe pensar en incorporar a un servicio Grid como el presentado en este trabajo, otras técnicas de clasificación, de forma que el usuario que tiene acceso al servicio pueda elegir entre diferentes alternativas a la hora de definir la técnica de clasificación a utilizar.

Este proyecto contribuye en primer término a la consolidación del Laboratorio de Computación Grid del grupo de investigación GICOGE, pero se espera que contribuya también a la consolidación de otros trabajos en el tema de computación Grid que se vienen adelantando al interior de varias universidades colombianas. GICS-GA podrá ser utilizado por la comunidad académica a través de RENATA, incentivando y de alguna forma orientando nuevos trabajos sobre temáticas relacionadas.

REFERENCIAS

- [1] BUTZ, M.V. y WILSON, S.W., (2000). An Algorithmic Description of XCS. En: *IlligAL report 2000017*.
- [2] COHEN, J., (1960). A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. En: *Educational and Psychological Measurement Vol. 20*. pp 37-46. Citado en QUIRIN, A. et al. (2004). Learning Classifier Systems for Hyperspectral Images Processing. IlligAL Report NO. 2004023. Illinois Genetic Algorithms Laboratory. University of Illinois at Urbana-Champaign
- [3] DE ROURE, D., et al., (2003). The evolution of the Grid. En: *Grid Computing - Making the Global Infrastructure a Reality*. pp 65-100.
- [4] GOLDBERG, D.E., (2005). Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Boston. Addison-Wesley, 412 p.
- [5] HOLLAND, J.H., et al., (2000). What Is a Learning Classifier System? En: *Learning Classifier Systems, From Foundations to Applications*.
- [6] HOYOS PINEDA, J.G. y PERÉZ CASTILLO, J.N., (2007). Aplicación de Algoritmos Genéticos a la Clasificación de Imágenes de Satélite en el marco de los Servicios Grid Inteligentes - Estado del Arte. En: *Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Vol. 17-2*. pp 95-109.
- [7] QUIRIN, A., et al., (2004). Learning Classifier Systems for Hyperspectral Images Processing. IlligAL Report NO. 2004023. Illinois Genetic Algorithms Laboratory. University of Illinois at Urbana-Champaign, 23 p.
- [8] SHEIKHOLESAMI, G., et al., (1975). Geographical Image Classification and Retrieval. En: *Proceedings of the 5th International Workshop on Advances in Geographic Information Systems*. pp 58-61.
- [9] SOTOMAYOR, B. y CHILDERS, L., (2006). Globus Toolkit 4 Programming Java Services. San Francisco, USA. Elsevier, 506 p.
- [10] WHITESIDE, A., (2005). OpenGIS® Web Services Common Specification. OGC Implementation Specification. OGC Document Number: 05-008. Open Geospatial Consortium Inc., 106 p.

- [11] WILSON, S., (1998). Generalization in the XCS classifier system. En: *Proceedings of the Third Annual Genetic Programming Conference*. pp 665-674.
- [12] YANG, W. y WHITESIDE, A., (2005). Web Image Classification Service (WICS). OGC Implementation Specification. OGC Document Number: 05-017. Open Geospatial Consortium Inc., 45 p.