

En español

Aportes desde la hidroinformática a la gestión de ecosistemas acuáticos amazónicos

Bell Manrique-Losada¹, Jaime Alberto Echeverri-Arias², Marlon Peláez-Rodríguez³

RESUMEN

En los últimos años se han logrado importantes avances en la aplicación de tecnologías de información en la gestión de recursos hídricos, desde un campo multidisciplinar llamado *hidroinformática*, cambiando así el enfoque en la valoración del impacto medioambiental y en la toma de decisiones con respecto a diversos recursos ambientales. Este artículo presenta un sistema de recuperación de imágenes utilizando como base la colección digital de varios tipos de ecosistemas de piedemonte y llanura amazónica, del Grupo de Investigación en Calidad y Preservación de Ecosistemas Acuáticos, de la Universidad de la Amazonia. Este sistema propone la clasificación automática de imágenes a partir de tres atributos: *color del agua, márgenes y tipo de flujo* del recurso acuático, de acuerdo al esquema de clasificación de Dinnertein, adaptado en el 2001 por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) y la Universidad Nacional de Colombia.

Palabras clave: hidroinformática, gestión de recursos hídricos, recuperación de imágenes, ecosistemas acuáticos amazónicos.

Recibido: diciembre 20 de 2009

Aceptado: febrero 7 de 2011

Introducción

Colectivos de investigación en ciencias y tecnologías relacionadas con los recursos hídricos requieren contar con información precisa y actualizada acerca de recursos particulares, su distribución en el territorio nacional, sus usos y sus condiciones geográficas actualizadas, de manera que permitan precisarlos, caracterizarlos y ordenarlos para adelantar acciones de planificación y regulación de su uso; de esta forma, la gestión, principalmente en cuencas hidrográficas, tiene un gran impacto. Avances en este ámbito cambian el enfoque en la valoración del impacto medioambiental y en la toma de decisiones respecto a los recursos ecológicos, con el apoyo de tecnologías informáticas. Estos aportes se han logrado desde la hidroinformática, disciplina multidisciplinar recientemente establecida que aplica tecnologías de la información (TIC) avanzadas a la gestión de recursos hídricos.

¹Ingeniera de Sistemas y M.Sc. en Ingeniería de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Profesora-Investigadora Facultad de Ingeniería, Ingeniería de Sistemas, Universidad de Medellín. bmanrique@udem.edu.co

²Ingeniero Mecánico y M.Sc. en Ingeniería de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Profesor-Investigador, Facultad de Ingeniería, Ingeniería de Sistemas, Universidad de Medellín. jaecheverri@udem.edu.co

³Biólogo, M.Sc. y Ph.D. en Ingeniería Ambiental, Universidad de Sao Paulo. Profesor-Investigador Facultad de Ciencias Básicas, Biología, Universidad de la Amazonia, Colombia. mpelaez@uniamazonia.edu.co

In English

Hydroinformatics' contribution to Amazonian water resources and ecosystem management

Bell Manrique-Losada⁴, Jaime Alberto Echeverri-Arias⁵, Marlon Peláez-Rodríguez⁶

ABSTRACT

Significant progress has been made during recent years in applying information technology to water resource management from a multidisciplinary field called hydroinformatics; this can change the focus of environmental impact assessment and decision-making according to available environmental resources. This article presents an image retrieval system which uses the Universidad de la Amazonia's (Colombia) Aquatic Ecosystem Quality and Preservation Research Group's (CAPREA) digital image collection. Automatic picture classification (having attributes relative to water colour, edges and flow type) is proposed which has been based on Dinnertein's classification, adapted by the Universidad Nacional de Colombia's Hydrology and Meteorology Institute and Environment Studies in 2001.

Keywords: hydroinformatics, aquatic resource management, image retrieval, Amazonian aquatic ecosystem.

Received: December 20th 2009

Accepted: February 7th 2011

Introduction

Water science and technology research teams require precise, up-dated information about particular resources, their distribution, use and geographical conditions to specify, characterise and sort them so as to advance action aimed at planning and regulating their use.

Watershed management thus has a broad impact. Progress in this area has altered the focus of environmental impact assessment and decision-making regarding ecological resources, supported by information technologies. The recently established branch called hydroinformatics forms part of a multidisciplinary approach applying advanced information technologies to water resource management.

⁴System Engineer and M.Sc. in System Engineering, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Research-professor, Faculty of Engineering, System Engineering, Universidad de Medellín. bmanrique@udem.edu.co

⁵Mecanic Engineering and M.Sc. in System Engineering, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Research-professor, Faculty of Engineering, System Engineering, Universidad de Medellín. jaecheverri@udem.edu.co

⁶Biologist, M.Sc. and Ph.D. in Environmental Engineering, Universidad de Sao Paulo. Research-professor, Faculty of Basic Science, Biology, Universidad de la Amazonia, Colombia. mpelaez@uniamazonia.edu.co

En español

En este trabajo se presentan los aportes logrados a partir del diseño e implementación de un prototipo de sistema de recuperación y clasificación automático de imágenes (SRI) de recursos acuáticos. El SRI utiliza como base la colección digital de imágenes del Grupo de Investigación en Calidad y Preservación de Ecosistemas Acuáticos (Caprea) de la Universidad de la Amazonia (Florencia, Caquetá). Dicho prototipo permite, a partir de la carga inicial de una imagen (fotografía digital), su clasificación automática en un tipo principal de ecosistema del piedemonte y llanura amazónica, según el esquema de clasificación adaptado por el Ideam y la Universidad Nacional de Colombia (Márquez, 2003), y soportado en la aplicación de ciertos algoritmos de inteligencia artificial orientados a la medición de tres parámetros o atributos: color del agua, tipo de flujo y márgenes asociadas. El SRI almacena la imagen con sus respectivos atributos generados de forma automática por los algoritmos (Rui *et al.*, 1999), permitiendo que un usuario final los recupere a partir de un sistema de consultas: geográfica (por coordenadas o distribución física), palabras claves (elementos descriptivos de la imagen) o información del contenido (pixelaje, color y características de captura de las imágenes).

El artículo se organiza de la siguiente manera: la primera sección muestra los antecedentes y marco de referencia teórico y conceptual acerca de sistemas de clasificación de ecosistemas acuáticos en Colombia, hidroinformática y recuperación de información; la segunda sección revela los resultados alcanzados en cada una de las fases del análisis y el diseño del SRI, procesamiento y clasificación de las imágenes, e implementación del prototipo; finalmente, se ofrecen las conclusiones logradas y el trabajo futuro.

Marco de referencia y antecedentes

Sistemas de clasificación de ecosistemas y hábitats acuáticos en Colombia

La clasificación de ecosistemas acuáticos que se utilizan como referente para el sistema de clasificación automático se toma del "Sistema para clasificación de tipos principales de ecosistemas y hábitats acuáticos no marinos de Colombia", adaptado por Márquez (2003), con base en Dinnerstein *et al.* (1995), Welcomme (1979), y Márquez y Guillot (2001). Estos autores proponen un sistema de clasificación y zonificación de los tipos principales de ecosistemas (TPE), divididos en tipos principales de hábitat (TPH), adaptados a ecosistemas acuáticos para el caso de los ecosistemas de la Amazonia colombiana. La clasificación diferencia cuatro TPE: ecosistemas lóticos, ecosistemas lénticos, humedales y embalses.

Sistemas lóticos (ríos y otros sistemas de aguas corrientes)

Tipo principal de ecosistemas acuáticos conformado por arroyos, quebradas y ríos, que se caracterizan por el continuo y rápido flujo de sus aguas; su estructura longitudinal y altitudinal, lo cual determina diferencias entre las partes altas y bajas de un mismo cuerpo de agua (varía a medida que desciende); más complejo y maduro en las partes bajas que en las altas. Una clasificación posible de los TPE de aguas corrientes, según sus tipos principales de hábitat (TPH), es la de: *ríos y otras corrientes de montaña*; *ríos negros y otras corrientes de las planicies basales*; y *ríos claros y blancos de las planicies basales*.

In English

This article presents a design for and implementation of a prototype water resources image retrieval and automatic classification system (IRS). The IRS used the Universidad de la Amazonia's (Colombia) Aquatic Ecosystem Quality and Preservation Research Group's (CAPREA) digital image collection.

This system led to automatic classification of a main type of Amazonian foothills and plains ecosystem, according to the classification scheme adapted by the Colombian Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies (IDEAM) and the Universidad Nacional de Colombia (Márquez, 2003).

It consisted of the initial loading of an image (digital photo) and the IRS then being supported by computational algorithms for measuring three water parameters/attributes: colour, edges and flow type.

Background and framework

Classifying aquatic ecosystems and water habitat in Colombia

The automatic classification system used the water ecosystem classification taken from Classification System for the Main Types of Non-Marine Amazonian Aquatic Ecosystem and Habitats in Colombia, adapted by Márquez (2003) from Dinnerstein *et al.*, (1995), Welcomme (1979) and Márquez and Guillot (2001). Such proposed classification and zoning scheme for the Main Ecosystem Types (MET) has been divided into Main Habitat Types (MHT) for Colombian Amazonian aquatic ecosystems. This classification defines four MHT: lotic ecosystems, lentic ecosystems, wetlands and reservoirs.

Lotic system (rivers and other running-water systems).

This MET consist of streams, creeks and rivers characterised by constant, fast-flowing water; their longitudinal and altitudinal structure determines differences between high and low parts of the same water-body (varying as it descends). These ecosystems become more complex and more mature in lower areas than in the higher ones. A possible classification of common water bodies' MET, based on their MHT, would be: rivers and mountain streams; black rivers and other streams on plains and white and clear plains' rivers.

Sistemas lénticos (lagos y otros sistemas de aguas lentas)

Los conforman TPE que agrupan aguas con poco movimiento, en contraste con los ríos, de aguas corrientes. Sus principales representantes son los lagos y lagunas, y se caracterizan por ser cuerpos de agua relativamente profundos, con bajas tasas de renovación y que en general tienen un flujo unidireccional, mediante una o varias corrientes afluentes, y otras que son efluentes. Se pueden diferenciar los siguientes TPH: *lagos y la-gunas de montaña y ciénagas*.

Humedales

Variedad de ecosistemas que tienen como característica común la estar sometidos durante gran parte del tiempo a niveles altos de saturación de agua e incluso inundación, sin ser por completo ecosistemas acuáticos. Éstos incluyen ciénagas y pantanos en planos de inundación de grandes ríos, pero también zonas intermareales y otras que, por una u otra razón, tienen anegación periódica o parcial.

Embalses

Son cuerpos de agua artificiales formados por el represamiento de ríos, y se consideran TPE diferentes pues representan ecosistemas intermedios entre aguas corrientes (ríos) y lentas (lagos), ya que el agua se mueve y renueva mucho más lentamente que en los primeros, pero mucho más rápido que en los últimos. Se pueden diferenciar dos TPH: *embalses fríos y templados de montaña y embalses cálidos basales*.

Hidroinformática y ciberinfraestructura

La hidroinformática es un campo de estudio transdisciplinar que combina intereses tecnológicos, sociológicos, humanos y ambientales (Obregón y Fragala, 2003), incluyendo una perspectiva ética. Esta disciplina cubre la aplicación de las TIC, en su sentido más amplio, a problemas de gestión de ambientes acuáticos y recursos de agua (GRH, 2010). Su objetivo es el de dotar a profesionales del área, practicantes, ingenieros y administradores, en la toma de decisiones sobre el medio ambiente, con la información y tecnología disponible que permita enfrentar los retos cada vez mayores y garanticen un ordenamiento sostenible de los ecosistemas y recursos acuáticos para las próximas generaciones. La hidroinformática utiliza modelos de simulación y TIC para resolver problemas de hidráulica, hidrología e ingeniería ambiental, con el fin de obtener un mejor manejo de sistemas basados en recursos hídricos. Las principales áreas de aplicación son: la administración de cuencas de ríos, las inundaciones y los sistemas hídricos urbanos y costeros.

El término ciberinfraestructura describe un nuevo ambiente de investigación que apoya la adquisición, almacenamiento, gestión, integración, minería y visualización avanzada de datos, así como otros servicios de procesamiento en Internet (Bement, 2007). En el contexto científico, ciberinfraestructura es una solución tecnológica al problema de conexión eficiente de datos, computadores y personas con el objetivo de generar nuevas teorías y conocimiento científico. Jump to: [navigation](#), [search](#)

Sistemas de recuperación de imágenes (SRIV)

Los SRIV están relacionados con el almacenamiento y recupera-

Lentic system (lakes and other standing-water systems)

This MET involves slow-flowing water resources as opposed to running-water rivers. It mainly represents lakes and lagoons (natural ponds) described as being relatively deepwater bodies; they have low renovation rates and usually a unidirectional flow through one or several affluent and effluent streams and other tributaries. Lakes and mountain lagoons (ponds), as well as swamps, may be amongst the MHT for these ecosystems.

Wetland

Wetlands include a varied group of ecosystems having a common feature: much of the time they are exposed to high-water saturation levels and even flooding. This kind of water body is not completely classified as a water ecosystem. They include swamps and marshes on large rivers' flood plains and also intertidal and other areas some how presenting regular or partial flooding.

Reservoir

These are artificial water bodies formed by river dams. They are considered different MET because they consist of intermediate ecosystems between running-water (rivers) and lentic water (lakes). Their water flows renew much more slowly than the former but much faster than the latter. Two MHT can be distinguished: cold and temperate mountain reservoirs and warm reservoirs.

Hydroinformatics and cyberinfrastructure

Hydroinformatics is a transdisciplinary field of study combining technological, sociological, human and environmental interests (Obregón and Fragala, 2003) and includes an ethical perspective. It also includes information and communication technologies (ICT) applied to aquatic environment and water resource management issues (GRH, 2010). It aims at providing engineers and administrators in the field with decision-making tools via available ICT so that they can face the increasingly great challenges and thereby guarantee sustainable aquatic ecosystem and water resource management for coming generations. Hydroinformatics uses simulation models and ICT to solve problems in hydraulics, hydrology and environmental engineering to ensure better use of aquatic resource-based systems. River basin management, flooding and urban and littoral aquatic systems represent the main application areas.

The term cyberinfrastructure describes a new research environment supporting data acquisition, storage, management, integration, mining and advanced visualisation as well as other Internet processing services (Bement, 2007). Cyberinfrastructure is a technological solution for efficiently connecting data, computers and people for providing new theories and scientific knowledge.

Image retrieval systems (IRS)

IRS are related to efficient storage and register retrieval. They are

ción eficiente de registros. En general, son útiles si pueden recuperar coincidencias aceptables de ciertas características en tiempo real. Adicional a las palabras claves asignadas por un ser humano, los SRI pueden usar el contenido visual de las imágenes, como índices (color, textura y forma). Una técnica que permite cubrir la brecha entre las descripciones textuales y pictóricas para explorar información de los documentos, es tomada de la recuperación de información llamada análisis semántico "latente" (Obeid *et al.*, 2001). Primero se forma un *corpus* de documentos/imágenes; luego, por descomposición de valores singulares, el diccionario se correlaciona con las características derivadas de las imágenes. El sistema propuesto usa características intermedias (semánticas —de bajo nivel— y de la imagen —de alto nivel—), para clasificar cada imagen de la colección.

Existen diversos SRI basados en contenido que incluyen, para hacer la búsqueda, características como color, textura y formas de objetos en la imagen. La mayoría son sistemas de propósito general, y hay pocos estudios en los que éstos se usen en aplicaciones prácticas. Algunos de los más interesantes son QBIC (Ashley *et al.*, 1995) y MARS (Hirata y Kato, 1992). Un resumen de las técnicas y de estos sistemas se puede encontrar en (Rui *et al.*, 1999).

Cuando se agrupan o concentran recursos digitales de información se obtienen colecciones digitales. Cuando éstas se organizan con un sistema descriptivo por medio de algún tipo de catalogación y se les asocian facilidades para la búsqueda y uso de la información, se obtienen los sistemas de recuperación y las bibliotecas digitales (Borgman, 1999). Los avances recientes en este tipo de tecnologías demandan potentes herramientas de procesamiento. Diferentes técnicas que trabajan con sistemas tradicionales han sido adecuadas para involucrar registros alfanuméricos, pues éstos pueden ser ordenados, indexados y buscados por coincidencia de patrones; sin embargo, en aplicaciones científicas el contenido de información en las imágenes no es explícito, y esto no es adecuado para su directa indexación, clasificación y recuperación. En otras áreas como comercio, gobierno, academia y medicina, se están creando grandes colecciones de imágenes. Siguen existiendo necesidades de este tipo de aplicaciones en las áreas biológica, geológica y ecológica, así como en los ecosistemas acuáticos, donde la única forma de búsqueda es por medio de palabras claves, indexación, o simplemente por búsqueda manual; sin embargo, en las bases de datos, bibliotecas digitales o sistemas de recuperación de imágenes (SRI), es muy útil la búsqueda basada en el contenido.

Antecedentes en gestión de recursos acuáticos

En la revisión de literatura se reconocen propuestas que apoyan la gestión y planificación de los recursos hídricos, desde diversos ámbitos de trabajo. En la ingeniería civil, uno de los primeros aportes fue el de la computación integrada para el diseño, operación y mantenimiento de sistemas de ingeniería complejos como STRUDL, COGO, Project, en macroproyectos como MAC (*man and computer*) y el ICES (*Integrated Civil Engineering Systems*) (Roos, 1965). Otros aportes se han dirigido al campo de la "infraestructura", con avances en *hardware*, *software* y tecnologías de comunicación, donde se aplican modelamiento computacional, sistemas de sensoramiento, hardware para litografía, entre otros (O'Kane y Martin, 2000).

Tecnologías Internet, Intranet, Extranet y WAP (O'Kane y Martin, 2000) están logrando rápidos avances e implicaciones para el

useful if they can retrieve acceptable coincidences regarding some real-time characteristics. Apart from key words assigned by humans, IRS can use images' visual content, such as indices (colour, texture and shape). A technique for filling the gap between textual and pictorial descriptions for exploring information in documents is taken from information retrieval called 'latent' semantic analysis (Obeid *et al.*, 2001). First, a document-picture-based corpus is formed; then, the dictionary is correlated with the features derived from the images, through singular value decomposition. The system uses intermediate characteristics (semantic – low level- and pictorial – high level) to sort each image in the collection.

Several content-based IRS include a search for features such as image object colour, texture and shape. Most are general purpose systems and are used in practical applications in just a few studies. Some of the most interesting are QBIC (Ashley *et al.*, 1995) and MARS (Hirata and Kato, 1992). A summary of such system techniques can be found in Rui *et al.*, (1999).

Digital collections are obtained when digital information resources are grouped or gathered; when these collections are organised into a descriptive system by means of any type of cataloguing and are associated with search easiness and use of information, then information retrieval and digital libraries are obtained (Borgman, 1999). The latest advances in this type of technology demand powerful processing tools. Different techniques working with traditional systems have involved alphanumeric registers since they can be ordered, indexed and found by pattern matches. However, in scientific applications, image information content is not explicit, therefore not being suitable for its direct indexation, classification and retrieval. Large collections of images are being created in other areas such as trade, government, the academic world and medicine. However, there are still marked needs in areas like biology, geology, ecology and the aquatic ecosystem area in which the use of key words, indexation or just manual search are the only means of search. However, content-based search is rather useful in databases, digital libraries and IRS.

Water resource management background

Various proposals supporting aquatic resource management and planning from different areas of work can be found in the pertinent literature. Integrated computer systems made one of the first contributions in civil engineering in designing, operating and maintaining complex engineering systems, such as STRUDL, COGO, PROJECT, and in macro-projects as man and computer (MAC) and integrated civil engineering systems (ICES) (Roos, 1965). Other contributions have been made in the field of 'infrastructure' with advances in hardware, software and communication technologies applying computational modelling, sensing systems and hardware for lithography (O'Kane and Martin, 2000).

Internet technologies, Intranet, Extranet and WAP (O'Kane and Martin, 2000), are making fast advances and have implications in

mundo del agua y por ende para la sociedad. Algunos de ellos se relacionan con: modelación hidrodinámica y control de flujo para cuencas de ríos; sistemas de soporte para la toma de decisiones por ocurrencia de inundaciones; optimización del control de embalses para cuencas hidrográficas; utilización del Sistema de Información Geográfica (SIG) y tecnologías de Internet para resolver problemas de manejo de recursos hídricos; modelos hidrodinámicos de mares; modelación de redes de abastecimiento de aguas, entre otros. La gestión y planificación ambiental y del agua, requiere la creación de sistemas que sean accesibles desde la *web* por los administradores de recursos hídricos, planificadores, ingenieros, usuarios y público en general, que permitan conformar una red y crear políticas de gestión y acciones de intervención sanas, prácticas y contextualizadas con las condiciones y necesidades reales del entorno. Consecuentemente, la dimensión sociocultural de tales herramientas hidroinformáticas es un área fuerte de investigación (Abbott y Vojinovic, 2009).

El objetivo final del presente trabajo es contar con un sistema en la *web* que, además de ofrecer información sobre los diferentes ecosistemas acuáticos, su ubicación y caracterización, facilite la conformación de una red alrededor de los actores que trabajan en el área, y la implementación de políticas de gestión, intervención, difusión y sana utilización de estos recursos.

Resultados

Análisis y diseño del SRI

Se diseñó el prototipo de SRI para el Grupo Caprea de la Universidad de la Amazonia, a partir de su colección digital de imágenes sobre el piedemonte y la llanura amazónica. El SRI permite el almacenamiento, la clasificación y recuperación de imágenes de este tipo de recursos. La colección digital inicialmente fue consolidada por medio de un proceso de digitalización de algunas fotografías análogas, diagramas, planos e impresiones, así como la captura de nuevas imágenes del norte de la Amazonia de Brasil y Perú. A continuación se muestran las fases en el desarrollo del SRI ejecutadas según la metodología propuesta, a partir del modelo de planificación de consultas con control de calidad propuesto por Manrique (2006) y los tipos de consulta definidos.

El análisis y diseño de un sistema permite entender y simplificar el problema del procesamiento de información en un contexto específico, y expresarse mediante patrones de diseño que reflejen la estructura conceptual y dinámica del dominio. Para lograr esto, se diseñaron modelos que definen la estructura, dinámica y arquitectura de la información acerca de recursos acuáticos amazónicos en un SRI y sus funcionalidades asociadas, y se llevó a cabo teniendo en cuenta los pasos propuestos por la metodología del desarrollo de sistemas o productos software RUP, apoyado con el lenguaje de modelamiento unificado (UML) (OMG, 2008). Las figuras 1 y 2 muestran el comportamiento del SRI desarrollado, plasmados en un diagrama de casos de uso y otro de secuencia.

La figura 3 muestra el modelo estructural (diagrama de clases) del SRI propuesto, donde se detalla estructural y estáticamente cómo se relacionan los diferentes objetos y componentes. De esta forma se identificaron y representaron los objetos ambientales de este dominio y se definió un estilo arquitectónico que

the world of water and therefore in society. Some of them have been related to hydrodynamic modelling and controlling river basin flow, supporting decision-making systems for when floods occur, optimising reservoir control for hydrographic watersheds, using geographical information systems (GIS) and Internet technologies for resolving aquatic resource management problems, hydrodynamic models of seas and modelling water-supply networks. Environmental and water management and planning need the creation of systems which are accessible on the Web by water resource administrators, planners, engineers, users and the public in general; this leads to setting up a network, management policies and intervention which are healthy, practical and contextualised within the actual needs of the environment. Such hydroinformatics' tools' social and cultural dimension thus become a strong research area (Abbott and Vojinovic, 2009).

This work's final objective was to count on a web system which, apart from offering information on aquatic ecosystems, their location and characterisation, would lead to constructing a network around actors working in this area and creating management, intervention, diffusion and healthy resource use policies.

Results

Analysing and designing IRS

The IRS prototype was designed by CAPREA at the Universidad de la Amazonia (Caquetá, Colombia) using the digital image collection for both foothills and plain in the Amazonian region. The IRS allows storage, classification and retrieval of water images. The digital collection was built by digitalising analogue photos, diagrams and plans and new images were captured from the Northern Amazonian areas of Brazil and Peru.

The steps involved in IRS development are presented; the query planning model was taken from the methodology proposed by Manrique (2006) and query types defined.

Software system analysis and design allows a stakeholder to understand and simplify information processing within a specific context and is expressed by means of design patterns. These patterns represent the domain's conceptual and dynamic structure.

A set of models was designed defining aspects regarding the structure, process and architecture for information about Amazonian water resources for final IRS construction. The IRS was developed using the rational unified process software development methodology, supported in Unified Modeling Language (OMG, 2008). Figures 1 and 2 show IRS pattern, as in use case model and sequence model.

Figure 3 shows the structural model (class diagram) for the proposed IRS, structurally and statically specifying how objects and components are related. The model shows identified domain

En español

podiera ser usado como esqueleto del Sistema de recuperación de recursos acuáticos. El modelamiento completo del SRI se puede encontrar en el volumen 11 de la revista *Ingenierías*, de la Universidad de Medellín (Manrique et al., 2008).

In English

objects and defines an architectural style used as the water IRS skeleton. IRS modelling can be found in the 11th Volume of the Universidad de Medellín's Engineering Journal (Manrique et al., 2008).

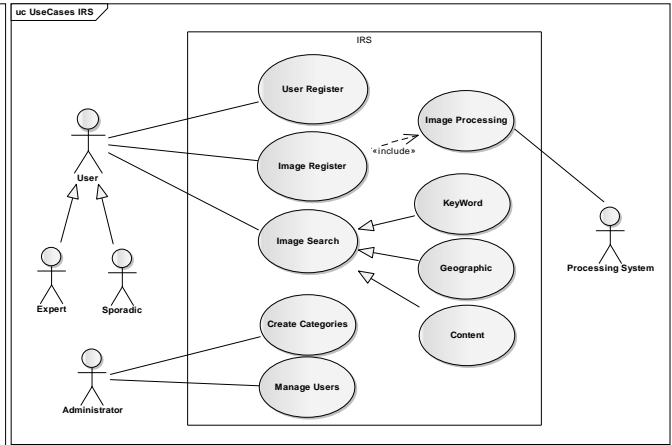
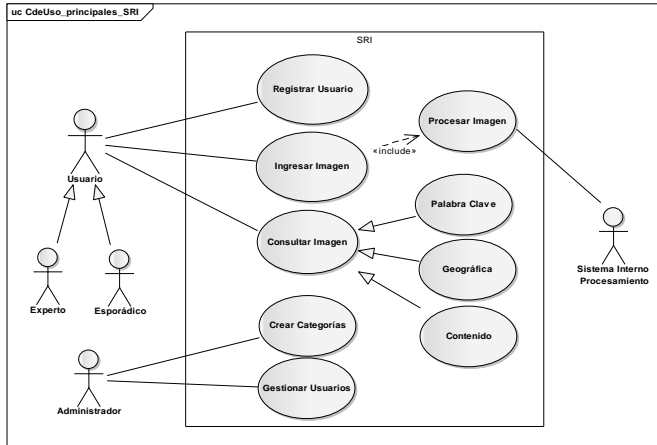


Figura 1. Modelo dinámico (diagrama de casos de uso del sistema).

Figure 1. Dynamic model (use case model)

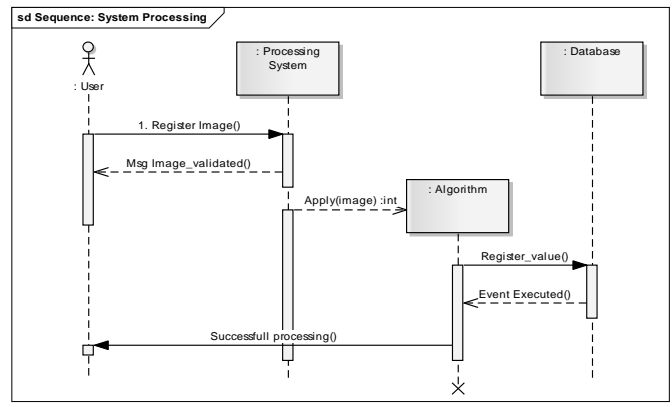
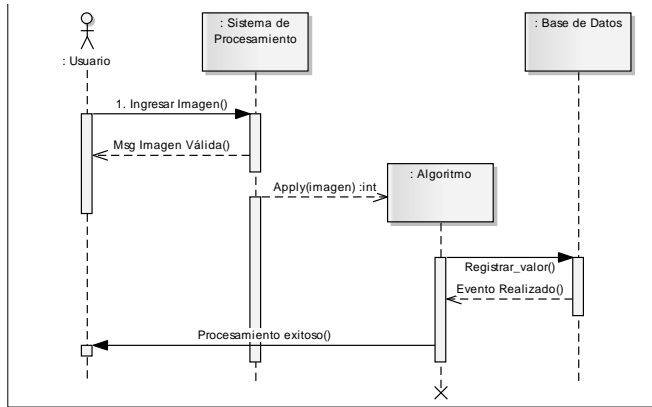


Figura 2. Modelo dinámico (diagrama de secuencia del sistema de procesamiento).

Figure 2. Dynamic model (processing system sequence diagram)

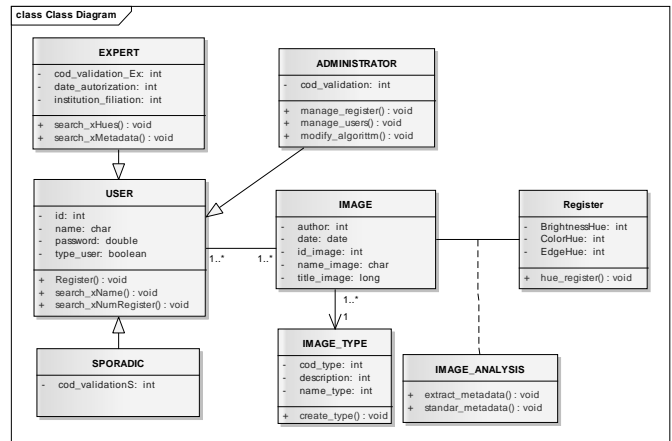
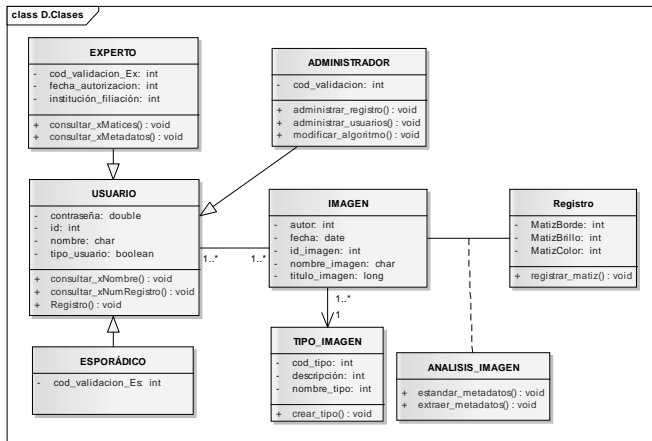


Figura 3. Modelo estructural (diagrama de clases del sistema).

Figure 3. Structural model (class diagram)

Análisis, procesamiento y clasificación de las imágenes

Image analysis, processing and classification

En diversas ciencias se están implementando herramientas computacionales llamadas “sistemas inteligentes” (Olarte et al., 2003)

Some sciences are implementing computational tools called ‘intelligent systems’ (Olarte et al., 2003), algorithms for classified

En español

In English

de la cual hacen parte los algoritmos que se utilizan en este trabajo para la clasificación de las imágenes, y se aplicaron algoritmos con la finalidad de obtener las características asociadas a cada una de ellas, como por ejemplo:

-Binarización: algoritmo que genera una imagen binaria. Primero pasa la imagen a escala de grises, fija un valor umbral (que puede cambiar), convierte todos los valores de la imagen superiores a este umbral a 255 y los menores a 0, facilitando la búsqueda de contornos, y a partir de éstos se determinan el tipo de lecho y la clasificación del agua.

-Detección de bordes (Oram *et al.*, 2008): con base en este algoritmo se puede extraer información como formas y tamaño de los objetos. El algoritmo facilita la detección de rocas o elementos granulares en la imagen. En el prototipo detecta el tipo de borde del recurso acuático (tipo de margen) y genera una estimación del tipo de flujo.

-Algoritmos de mejora: por medio de la aplicación de filtros, suaviza, afila, detecta bordes y extrae otras características que bien pueden ser almacenadas o quedar implícitas en las imágenes y por medio de la aplicación de otros algoritmos (Echeverri *et al.*, 2008) se hacen explícitas para ser procesadas; por medio de este proceso se calcula el valor de un determinado punto o pixel a partir del valor de sus vecinos. Con esta base, el sistema facilita las tareas de clasificación del color del agua, la inversión de colores, la generación de imágenes en escala de grises y la extracción del histograma asociado, las que se convierten finalmente en criterios adicionales de búsqueda para el usuario.

El sistema permite realizar otro tipo de clasificaciones, no relacionadas con la aplicación de algoritmos; entre ellas la de clasificación por coordenadas geográficas: a partir de las coordenadas geográficas es posible ubicar un lugar (recurso acuático) y poder identificar las características del agua; clasificación por región (departamento/municipio) y por características asociadas a la imagen: autor, formato, tamaño, fecha. Como se registra en la figura 4, con la aplicación del conjunto de algoritmos a cada una de las imágenes se obtienen las características asociadas a éstas, las cuales a su vez generan un registro que luego es almacenado en la base de datos.

images being one of them. Different algorithms were applied in this work to obtain associated characteristics; for example:

-Binarisation: binarising an image consists of extracting lightness (brightness, density) as a feature from the image. The first step consists of converting the image to grey scale, fixing a value (threshold), converting all higher values to white pixels and the other values to black pixels. This method facilitates searching the surroundings and consequently determines the type of waterbed and classification.

-Edge detection: (Oramet *et al.*, 2008). This algorithm enables information to be extracted, such as an object's form and size. This method allows ROCs or granular elements to be detected in the image. The prototype detects the type of water resource edge and then generates the stream type.

-Improvement algorithms: These are filters for smoothing, sharpening and detecting edges and removing other features which may be stored or implied in the images by implementing other algorithms (Echeverri *et al.*, 2008). Through calculates the value for a given point or pixel from the value of its neighbours. The system thus facilitates the task of classifying water colour, colour inversion, grey scale images and histogram extraction. They form user's search features.

The system allows other types of classification, but does not relate to algorithm application. For example: classifying geographic coordinates. Geographic coordinates lead to finding a place (within the water resource) and classifying it by its region (department/municipality) and features associated with the image: author, format, size, date (as appear in Picture 4). The algorithms for each image provide associated characteristics for creating a register which is stored in the database.

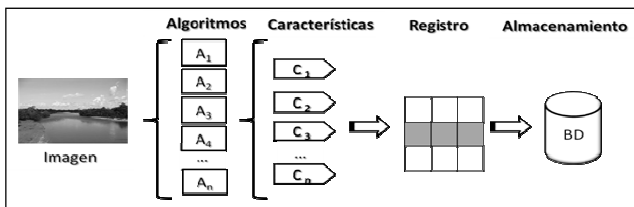


Figura 4. Obtención, procesamiento, clasificación y almacenamiento de la imagen

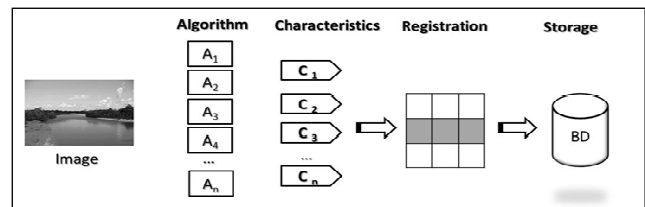


Figure 4. Image collection, processing, classification and storage

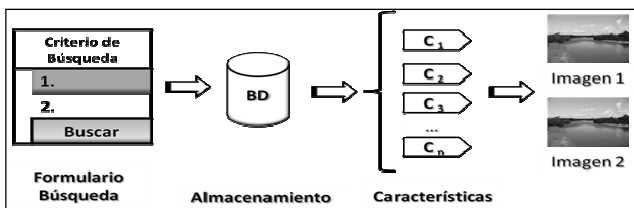


Figura 5. Proceso de consulta y recuperación en el sistema.

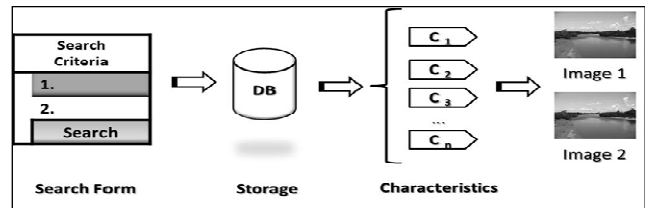


Figure 5. Data query and retrieval in the system

Implementación del SRI

El SRI se implementó en el lenguaje de programación C# (Sharp), en un ambiente de desarrollo orientado a la web (ASP.NET). La base de datos se creó utilizando el sistema manejador de bases de datos SQL Server. Con el propósito de obtener resultados de forma rápida y especialmente relevante al momento de ejecutar búsquedas en el sistema de gestión, cada una de las imágenes se indexó según los criterios generados por la clasificación automática o ingresada manualmente por el usuario. Se pueden hacer búsquedas por título (facilitándose la ubicación de imágenes por características propias de ella, descritas de acuerdo al título asignado al momento de almacenar la toma) y por dispositivo o fecha de la captura de la imagen.

Conclusiones y trabajo futuro

Esta propuesta es fruto del trabajo interdisciplinario de un grupo de investigadores y constituye una referencia para comenzar a comprender la dinámica e importancia de los ecosistemas acuáticos amazónicos; sus condiciones, riqueza, fragilidad, y la necesidad urgente de conservar sus procesos ecológicos esenciales, pues su gran productividad natural, poco valorada y conocida, enfrenta diversas amenazas, relacionadas principalmente con actividades antrópicas inadecuadas.

La base de conocimiento pictórico acerca de estos recursos de vida es uno de los aportes de esta investigación, que permitirá además la generación de procesos educativos, académicos, y la concertación con comunidades locales, de nuevas estrategias de trabajo y aportes tecnológicos en estas áreas de trabajo/investigación.

El prototipo de SRI se está montando en un servidor de libre acceso para permitir de forma práctica y económica la edición, consulta y distribución de imágenes de este tipo de recursos; propiciar la preservación de su información pictórica y de aspectos importantes para la conservación de los ecosistemas; facilitar el conocimiento y difusión de aquellos materiales considerados básicos para investigadores (biólogos, ecólogos, ambientalistas, zoólogos, etc.); y determinar el estado ecológico de los ecosistemas acuáticos amazónicos.

A partir de este trabajo se han emprendido acciones investigativas respecto de la caracterización de ecosistemas (amenazas, causas de la situación actual, consecuencias de actividades antrópicas, variedad de animales y plantas que los habitan, inventarios hidrobiológicos). Asimismo, se están probando algoritmos para la generación automática de atributos adicionales.

Referencias

- Abbott, M., Vojinovic, Z., Applications of numerical modelling in hydroinformatics., *Journal of Hydroinformatics*, Vol. 11, No. 3, 2009, pp. 308-319.
- Ashley J., Flickner M., Hafner J., Lee D., Niblack W., Petkovic D., The Query By Image Content (QBIC) System., *ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, San José, 1995, pp. 475.
- Bement, A., *Cyberinfrastructure: The Second Revolution.*, *Chronicle of Higher Education*, Vol. 53, Issue 18, 2007, pp. 5.

Implementing IRS

The IRS was implemented in C# programming language (Sharp) in a web application framework (ASP.NET). SQL server (database management system) was used for creating the database. Each image was indexed, supported by the parameters generated by automatic classification or manually registered by the user to obtain relevant results quickly when processing the searches.

Conclusions and future work

This proposal resulted from a research team's interdisciplinary work and constitutes a reference point for starting to understand the dynamics and importance of Amazonian aquatic ecosystems their conditions, fragility and the urgent need to preserve their essential ecology since their great natural (undervalued and little known) productivity faces threats, mainly related to inadequate anthropic activities.

The basis of pictorial knowledge about such living resources consists of the contribution made by this investigation, additionally producing educational and academic processes and consensus with local communities for new working strategies and technological contributions in these research areas.

The IRS prototype has been set up in a double-access server to permit edition, consultation and distribution of images regarding this type of resource in a practical and economic way. It facilitates the preservation of pictorial information and other important aspects of ecosystem conservation and knowledge and diffusion of materials considered essential for researchers (biologists, ecologists, environmentalists and zoologists) and determines Amazonian aquatic ecosystems' ecological condition.

This work has led to research into ecosystem characterisation (threats, current state causes, anthropic activity consequences, animal and plant varieties, hydro-biological inventories). Algorithms are also being tested for automatically generating additional attributes.

- Borgman, C. L., What are digital libraries. *Competing visions.*, *Information Processing and Management* 35, 1999, pp. 227-243.
- Dinnerstein, E., Olson, D. M., Graham, D. J., Webster, A. L., Primm, S. A., Bookbinder, M. P., Ledec, G., Una evaluación del estado de conservación de las ecorregiones terrestres de América Latina y el Caribe., *Fondo Mundial para la conservación de la naturaleza y Banco Mundial* (ed.), Washington, 1995, pp. 133-135.
- Echeverri, J. A., Bravo, A., Manrique, B., Eliminación de ruido impulsivo por medio de la utilización de funciones de base

- radial., Memorias del XIII Simposio de Tratamiento de Señales, Imágenes y Visión Artificial, STSIVA 2008, Bucaramanga, 2008, pp. 147-150.
- GRH., Potenciación del Laboratorio de Hidroinformática para Afrontar los Retos Europeos., Grupo de I+D Gestión de Recursos Hídricos, Universidad Politécnica de Cartagena, 2010, Disponible en: <http://www.upct.es/~agua/laboratorio.html> [Acceso Mayo 2010].
- Hirata, K., Kato, T., Query by Visual Example., Proceedings of the 3rd International Conference on Extending Database Technology: Advances in Database Technology., 1992, pp. 56-71.
- Manrique, B., Modelo de Planificación de Consultas con Manejo de Calidad de la Información en Sistemas de Integración de Información., tesis presentada a la Universidad Nacional de Colombia - Medellín, Colombia, para optar al título de M.Sc. en Ingeniería, 2006.
- Manrique, B., Echeverri, J. A., Moreno, F. J., Modelamiento de un sistema de recuperación de imágenes de recursos acuáticos, basado en contenido y calidad de la información., Revista de Ingenierías, Vol. 7, No. 13, 2008, pp. 97-109.
- Márquez, G., Ecosistemas de Colombia., Lección Virtual Unal., Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2003.
- Márquez, G., Guillot, G., Ecología y efecto ambiental de embalajes: aproximación con casos colombianos., Vol. 1, IDEA – Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2001, pp. 39-50.
- Obeid, M., Jedynek, B., Daoudi, M., Image Indexing & Retrieval Using Intermediate Features., Proceedings of the ninth ACM international conference on Multimedia, Ottawa, 2001, 531-533.
- Obregón, N., Fragala, F., Sistemas Inteligentes, Ingeniería e Hidroinformática., Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Vol. 1, No. 13, 2003, pp. 71-82.
- O’Kane, J. P., Martin, J., The Blue City of the Future Hydroinformatic. Tools for the Management of its Waters., Journal of Hydroinformatics, National University of Ireland, Cork, 2000, pp. 71-77.
- Olarte, R., Obregón, N., Rengifo, P., Algoritmos Evolutivos e Hidroinformática., Memorias Seminario Internacional La hidroinformática en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, Cali, 2003, Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/agua2003/algo.pdf> [Acceso: Mayo 2008]
- OMG., UML 2.0 Superstructure Specification., Disponible en: <http://www.omg.org/uml/> [ultimo acceso: May 2008].
- Oram, J., McWilliams, J., Stolzenbach, K., Gradient-based edge detection and feature classification of seasurface images of the southern California Bight., Remote Sensing of Environment., International Council for the Exploration of the Sea, Vol 112, Issue 5, 2008, pp. 2397-2415.
- Roos, D., An integrated computer system for engineering problem solving., Proceedings AFIPS Joint Computer Conferences, 1965, pp. 423-433.
- Rui, Y., Huang, T. S., Chang, S., Image Retrieval: Current Techniques, Promising Directions, and Open Issues., Journal of Visual Communications and Image Representation 10, 1999, pp. 39-62.
- Welcomme, R. L., Fisheries Ecology of Flood Plain Rivers. Longman (ed.), New York., 1979, pp. 280-284.