

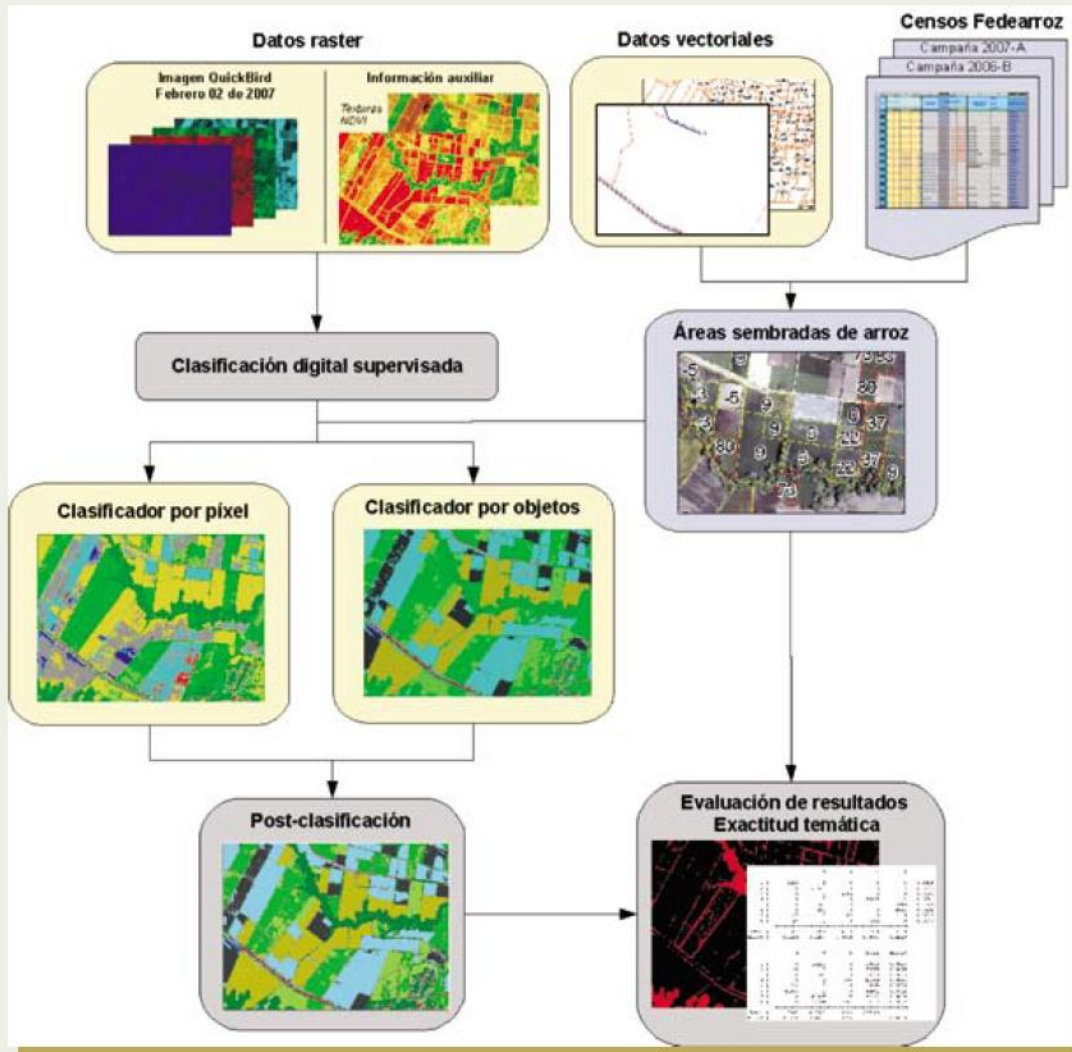
# Tecnología satelital: el futuro en clasificación de cultivos de arroz

Samuel Fernando Mesa Giraldo<sup>1</sup> • José Levis Barón Valbuena<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero Catastral y Geodesta. Especialista en Sistemas de Información Geográfica, Consultor FEDEARROZ, samuelmeas@gmail.com  
<sup>2</sup>Ingeniero Forestal. Especialista en Evaluación Socioeconómica de Proyectos, Fondo Nacional del Arroz, investigaciones@fedearroz.com.co

*Usando imágenes satelitales de alta resolución espacial, Fedearroz lleva a cabo la clasificación digital de las áreas sembradas en Colombia*

Figura 1. Metodología de clasificación digital para la identificación de áreas sembradas de arroz



## RESUMEN

**A**ctualmente el avance de las tecnologías geoespaciales ofrece un gran rango de posibilidades para la adquisición, gestión, procesamiento y análisis de información georreferenciada. Una de estas tecnologías y métodos comprende la extracción digital de información a partir de imágenes de sensores remotos. En agricultura se ha venido probado con éxito estas herramientas principalmente para el inventario y monitoreo de cultivos, ofreciendo grandes ventajas en la interpretación y análisis de coberturas vegetales de manera eficiente y precisa.

**Palabras clave:** procesamiento digital de imágenes, clasificación digital de áreas sembradas de arroz, imágenes de satélite, QuickBird, IKONOS, redes neuronales artificiales, máquinas de vectores de Soporte, segmentación de imágenes.

## INTRODUCCIÓN

Desde hace 10 años, Fedearroz-Fondo Nacional del Arroz, empezó a investigar para la zona de los Llanos Orientales de Colombia con sensores remotos con el fin de identificar los patrones del arroz en las diferentes etapas vegetativas del cultivo. La primera experiencia se realizó utilizando imágenes LANDSAT 7, en este análisis se pudo concluir que los patrones de arroz especialmente en las primeras etapas del cultivo son muy similares a los patrones de pastos.

Actualmente el avance de las tecnologías geoespaciales ofrece un gran rango de posibilidades para la adquisición, gestión, procesamiento y análisis de la información georreferenciada. Las ventajas y los desarrollos de estos sistemas, sensores, dispositivos y métodos son implementados con éxito en diferentes actividades como el ordenamiento territorial, aplicaciones ambientales, meteorología, gestión del riesgo, agricultura, constituyéndose como técnicas y herramientas eficientes para el inventario, monitoreo y seguimiento de fenómenos y recursos en la superficie terrestre. Áreas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), teledetección y sistemas de posicionamiento satelital, son algunas de las técnicas que cada vez toman

## Digital classification of rice crops using high-spatial resolution satellite images

## ABSTRACT

Today the advancement of geospatial technologies offers a wide range of possibilities for the acquisition, management, processing and analysis of georeferenced data. One of these technologies and methods includes the extraction of digital information from remote sensing images. In agriculture has been successfully verified these tools mainly for inventory and monitoring of crops, offering great advantages for interpretation and analysis of vegetation cover of manner efficient and accurate.

**Keywords:** Digital image processing, digital classification of rice crops, satellite images, QuickBird, Ikonos, artificial neural networks, support vector machine, images segmentation.

mayor importancia y conocimiento a través de servicios de internet y dispositivos móviles.

A través de Fedearroz-Fondo Nacional del Arroz se vienen implementado varias de estas técnicas y herramientas de la información geográfica, tales como los levantamientos y georreferenciación a través de sistemas de navegación satelital como GPS, y su integración a un SIG, que permita apoyar las diferentes labores de gestión e investigación de técnicas en el inventario y mapeo cartográfico de precisión de las áreas sembradas de arroz a nivel nacional.

Otra de las tecnologías de interés y objeto de investigación en aplicaciones en FEDEARROZ-Fondo Nacional del Arroz, lo constituyen los sensores remotos, también denominada como percepción remota o teledetección, considerada en parte ciencia, técnica y arte para obtener información de la superficie terrestre a distancia. Las tecnologías que hacen parte de la Percepción Remota son la adquisición de datos a partir de plataformas aerotransportadas o satelitales, en el primer ejemplo se encuentra la tradicional fotogrametría y el segundo las plataformas de satélite de observación terrestre, junto al desarrollo continuo de metodologías, técnicas y

aplicaciones enfocadas a tomar decisiones con base en la información geográfica.

La tecnología de sensores remotos y sus técnicas de procesamiento digital evolucionan con el objeto de suplir necesidades de adquisición de información de forma continua, rápida y eficiente. Actualmente se disponen de sensores con mayores resoluciones, integración de datos y desarrollo de herramientas con avanzados algoritmos. Generalmente, los métodos tradicionales para la generación de información implican la realización levantamientos directamente en campo, lo que a su vez incurre en mayores costos y tiempo en obtener resultados. La alternativa para obtener resultados rápidos, aceptables y flexibles lo constituye la tecnología de la percepción remota, la cual se viene implementado con éxito en diferentes áreas como aplicaciones ambientales, predicciones meteorológicas, gestión del riesgo, seguridad y defensa militar, manejo de recursos naturales, planeación y ordenamiento del territorio.

En agricultura, los sensores remotos así como la integración de los sistemas de información geográfica y sistemas de navegación satelital, han facilitado la formulación e implementación de planes de manejo y desarrollo de manera efectiva, que inicialmente eran dispendiosos de realizar, tales como gestión de riegos, evaluación o predicción de áreas de cultivos y productividad y, en la toma de decisiones como soporte al manejo sostenible ambiental y económico. Desde el lanzamiento del primer satélite de observación de la tierra LANDSAT-1 en 1972 por la NASA, esta tecnología ha sido usada ampliamente en sistemas agrícolas de varios países del mundo (Van Niel y McVicar, 2001).

De acuerdo con Van Niel y McVicar (2001) el uso de sensores remotos en agricultura se puede resumir en: identificación de cultivos, estimación del área cultivada, predicción de productividad, monitoreo del desarrollo de los cultivos, gestión de sistemas de riego y evaluación de daños en los cultivos.

El inventario y monitoreo de cultivos es una de las mayores aplicaciones de sensores remotos en la agricultura. Una de las técnicas más empleada, consiste en la interpretación visual de fotografías aéreas para identificar coberturas de arroz, apoyándose principalmente en las variables de tono, textura y asociación. Sin embargo, la falta de cobertura, esperas en la toma, la experiencia y el tiempo del proceso de fotointerpretación, no permiten muchas veces tener un monitoreo constante de la evo-

lución e identificación de los cultivos. Una alternativa, consiste en usar imágenes de alta resolución espacial para obtener datos con escalas similares a las capturadas por cámaras fotogramétricas, estos sensores alcanzan resoluciones que van desde 1 m (IKONOS, OrbView) hasta 60 cm (QuickBird, Geo-Eye), cubrimientos desde los 180 km<sup>2</sup>, resoluciones temporales que alcanzan hasta los 3 días y para efectos de interpretación y análisis digital, una resolución espectral que comprende desde las 3 bandas del visible e infrarrojo cercano, hasta las 200 bandas como las obtenidas por el sensor OrbView-4.

## FUNDAMENTOS DE PERCEPCIÓN REMOTA Y PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

Con el desarrollo de la tecnología de adquisición de datos en forma digital, así como el avance y reducción de costos de los sistemas de computación, nace como un área de la teledetección el procesamiento digital de imágenes que consiste de un conjunto de operaciones enfocadas a mejorar, corregir, transformar y clasificar los datos de sensores remotos en información útil. El procesamiento digital involucra también un avance importante en algoritmos computacionales, integrando conceptos y desarrollos en diferentes áreas como las matemáticas, estadísticas, inteligencia artificial, visión por computador, reconocimiento de patrones, entre otros. Algunos de estos algoritmos comprenden el cálculo de resúmenes estadísticos como base para las mejoras visuales de contraste, el cálculo de análisis de componentes principales para la reducción de dimensionalidad de datos, los algoritmos que se basan en las características de contexto como el cálculo de filtros espaciales, textura o aquellos que se basan en las características espectrales como el cálculo de índices, ejemplo los índices de vegetación, la clasificación digital de coberturas terrestres, que a su vez comprenden algoritmos como mínima distancia, paralelepípedo, máxima verosimilitud, redes neuronales artificiales, máquinas de vectores de soporte, árboles de decisión, lógica difusa, sistemas de expertos o clasificadores basados en segmentación de imágenes.

El principio de los sensores remotos se basa en el comportamiento de la energía electromagnética que interactúa con la superficie terrestre y la atmósfera. Esta radiación puede provenir de diferentes fuentes, la principal lo constituye la energía solar, emisión térmica, o también puede ser producida por sensores como el radar

o el LiDAR, que es independiente de la iluminación e incluso permite operar en diferentes condiciones atmosféricas, lo que limita muchas veces a los satélites ópticos. El ojo humano, se constituye como un sensor especial que permite capturar la energía electromagnética en el rango de la luz del visible azul, verde y rojo, comprendidas en las longitudes de onda que van desde 0.4 micrómetros a 0.7 micrómetros. De esta manera, los sensores remotos satelitales o aerotransportados permiten ampliar las limitadas capacidades humanas, resaltando como principales, la captura de información en un rango más amplio del espectro electromagnético y un campo de visión más amplio de la superficie terrestre.

La base del procesamiento digital de imágenes en muchas aplicaciones lo constituye el comportamiento de los diferentes materiales o coberturas de la superficie terrestre con la energía electromagnética capturada. Esta reflectancia de energía a través del espectro electromagnético de una cobertura en particular, permite analizar y construir las firmas espectrales, son curvas típicas que ayudan a la extracción de información a partir de las diferencias de respuesta de la energía electromagnética recibida.

Las firmas espectrales para una cobertura terrestre no son únicas, estas pueden variar por diferentes condiciones, provocadas por alteraciones de la radiación, principalmente por efectos atmosféricos, iluminación del sol, efectos del relieve. Para el análisis de clasificación digital de cultivos a partir de datos de sensores remotos, es importante conocer la variación del comportamiento espectral por tres factores, contenido de clorofila, contenido de humedad y estructura de la hoja.

A partir de este comportamiento espectral, así como de la inclusión de otras propiedades como las contextuales, principalmente las medidas de textura, es posible realizar la extracción de información de coberturas terrestres de manera digital, permitiendo conocer y diferenciar los tipos de cultivos, condiciones de humedad y monitoreo del desarrollo fisiológico, todos ellos como elementos de importancia en la toma de decisiones de planes de riego, predicción de productividad y evaluación de daños en los cultivos. Ese fue el objeto de evaluación en el estudio desarrollado por Fedearroz-Fondo Nacional del arroz en el Distrito de Riego de USOSALDAÑA, con imágenes de alta resolución espacial.

## METODOLOGÍA DE CLASIFICACIÓN DIGITAL DE ÁREAS SEMBRADAS DE ARROZ USANDO IMÁGENES SATELITALES DE ALTA RESOLUCIÓN ESPACIAL

El objetivo final de la clasificación digital es categorizar de forma semi-automática todos los píxeles de una imagen en temas o clases particulares de cobertura terrestre y, en agricultura son útiles para cartografiar los diferentes tipos de cultivos. La base de la clasificación digital, como se enunció anteriormente, es el comportamiento espectral que tienen las coberturas en las diferentes longitudes de onda de los espectros electromagnéticos registrados en cada banda de la imagen, para una escala particular, en una zona y tiempo específico. Generalmente, la información espacial y temporal juega un papel secundario. Sin embargo, varios autores demuestran que pueden ayudar considerablemente en los resultados del proceso de clasificación. Para el caso del proyecto se siguió la metodología que se muestra en la [figura 1](#).

Adicional a la metodología de clasificación digital planteado en la [figura 1](#), también se realizó el procesamiento digital en sus etapas de pre-procesamiento y correcciones geométricas. Entre algunas de las operaciones realizadas se enuncian la importación, mosaico de imágenes, apilar bandas, ajuste de contrastes, georreferenciación, recorte y compresión de imágenes y también se realizó la transformación de coordenadas al *datum* oficial de Colombia MAGNA-SIRGAS de los datos espaciales tanto vectoriales como *raster* que sirvieron de apoyo al proceso de clasificación.

**El inventario y monitoreo de cultivos es una de las mayores aplicaciones de sensores remotos en la agricultura. Una de las técnicas más empleada, consiste en la interpretación visual de fotografías aéreas para identificar coberturas de arroz, apoyándose principalmente en las variables de tono, textura y asociación.**

### Área de estudio

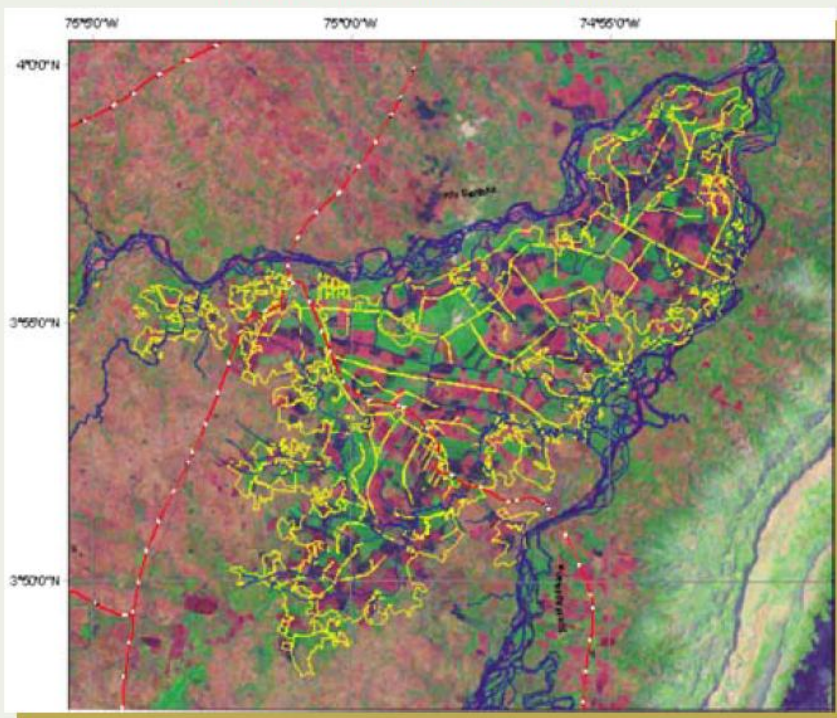
El Distrito de Riego del río Saldaña se ubica al sur del departamento del Tolima, y comprende los municipios de Saldaña, Coyaima y Purificación, zona que es regada por los ríos Saldaña y Magdalena. La extensión de la zona de estudio se localiza entre las coordenadas planas de MAGNA-SIRGAS 879.500 a 914.400 metros Este y desde 909.500 a 935.400 metros Norte. Y las coordenadas geográficas corresponden desde longitudes 75°09'45.193"W a 74°50'53.18"W y desde latitudes 3°46'38.809"N a 4°00'40.641"N (figura 2).

### Datos, métodos y herramientas

Para el análisis de interpretación por clasificación digital, se utilizó una zona piloto de la imagen QuickBird, una imagen con dimensión de 2939 x 2171 y con una extensión total de 2.30 km<sup>2</sup> (figura 3). Esta zona se seleccionó con objeto de realizar la evaluación de la clasificación de áreas sembradas de arroz y otras coberturas terrestres, de acuerdo al desarrollo fisiológico del cultivo, cuya información es obtenida en días de crecimiento como la diferencia entre la fecha de captura de la imagen y fecha de siembra reportado en los censos o campañas 2006-B y 2007-A.

La clasificación digital de imágenes, es en cierta medida, similar a la fotointerpretación, ya que requiere inicialmente de la identificación de las categorías de cobertura terrestre presentes en la zona de estudio, de acuerdo con las variables visuales de tono, textura, forma, contexto, tamaño, patrón, etc., luego se prosigue a la asignación de las clases

**Figura 2. Zona de estudio de USOSALDAÑA**



**Figura 3. Zona de estudio vista desde la imagen QuickBird RGB-321**



seleccionadas en toda la imagen, y por último se realiza una validación de los resultados obtenidos. De esta manera los pasos generales seguidos en la clasificación digital comprende: la definición digital de categorías (fase de entrenamiento), agrupación de los píxeles de toda la imagen en una de las categorías previamente definidas (fase de asignación) y la comprobación o verificación de resultados (Gómez y Sotos, 2008).

En la fase de entrenamiento se definieron muestras de las coberturas identificadas en la zona de estudio. Básicamente se definieron ocho (8) clases de cobertura: cuerpos de agua, vías y construcciones, bosques y arbustos, terreno en preparación 1, terreno en preparación 2, cultivo de arroz de 1 a 30 días de edad, cultivo de arroz entre 31 a 60 días edad y cultivo de arroz con más de 60 días de edad.

El esquema utilizado en la clasificación digital fue principalmente por métodos supervisados, aunque se apoyó el análisis del comportamiento de las formas espectrales y selección de áreas de entrenamiento a partir de esquemas no supervisados. La implementación de la clasificación digital incluye también la selección de un algoritmo computacional que permita asignar las coberturas terrestres definidas. Como el objetivo del proyecto consistía en evaluar métodos de clasificación digital, se implementaron varias herramientas y algoritmos tales como la asignación basada en píxel de redes neuronales artificiales en IDRISI Andes y la asignación basada en regiones y objetos de máquinas de vectores de soporte en la herramienta de ENVI v4.5.

Los algoritmos de clasificación de redes neuronales artificiales, son

modelos matemáticos simplificados que simulan la forma como el cerebro procesa la información, basado en la interrelación (sinapsis) de cientos de unidades de cómputo denominadas neuronas. El clasificador implementado diferencia los conceptos de arquitectura de la red neuronal con respecto al algoritmo de entrenamiento utilizado.

La clasificación digital basada en objetos, recientemente tiene una gran aceptación y desarrollo de algoritmos, aplicaciones y herramientas de procesamiento digital de imágenes satelitales como eCognition y ENVI FX (Feature Extraction). A diferencia de la clasificación digital basada en el comportamiento espectral por píxel, el proceso incluye adicionalmente la generación de objetos por medio de la segmentación de imágenes, que básicamente busca agrupar píxeles en regiones, que contiene una serie de atributos asociados, principalmente espectrales, espaciales y textura. Por último se prosigue con las fases enunciadas de entrenamiento y asignación, con la diferencia que se trabajan con algunos objetos y no con cientos de píxeles para realizar la clasificación de coberturas (Navulur, 2007).

## RESULTADOS OBTENIDOS

La aplicación de la metodología permite obtener varios resultados para la identificación de cultivos de arroz a partir del uso de imágenes de satélite a través de algoritmos de clasificación digital. Primero resaltar la importancia de incluir la información contextual, en este caso se evaluó la textura basada en la matriz de co-ocurrencia de niveles de grises (GLCM), para el caso del clasificador basado en píxel. Para la clasificación basada en objetos se han incluido

por defecto estas variables, adicional al comportamiento espectral de las coberturas terrestres seleccionadas. Los resultados del proceso de clasificación digital para la identificación de cultivos de arroz, a través de las diferentes herramientas y algoritmos se observa en la figura 4.

Como se puede observar en la figura 4, se entregan los resultados del proceso de clasificación digital. Las figuras 4a y 4c, corresponden a la clasificación digital basado en píxel y en objetos, respectivamente, y las figuras 4b y 4d, son el resultado de la post-clasificación, que básicamente consistió en la aplicación de filtros de mayoría y por último, la asignación a nivel predial, de la clase de cobertura con mayor extensión. La última etapa de la metodología, consiste realizar la evaluación y análisis de la exactitud temática, a través de métodos y reportes estadísticos.

La evaluación de exactitud temática de la clasificación se realizó con el software de Map Comparison Kit v3.0.6 - MCK, que permite comparar múltiples mapas temáticos y obtener el resultado de exactitud temática en toda la imagen. El mapa temático de referencia se obtuvo a partir de la información de censos de Fedearroz e interpretación visual. Para realizar el análisis de evaluación de exactitud temática se deben exportar los datos a formatos *raster*.

El estadístico y algoritmo empleado fue el índice Kappa que realiza la comparación celda por celda de la imagen de referencia en la imagen clasificada y verifica las coincidencias de las clases de cobertura. La salida estadística de este algoritmo incluye la matriz de confusión, para analizar los errores de omisión, errores de comisión y estadístico Kappa (figura 5).

Figura 4. Resultados de la clasificación digital por los algoritmos basados en píxel (a y b) y objetos (c y d)

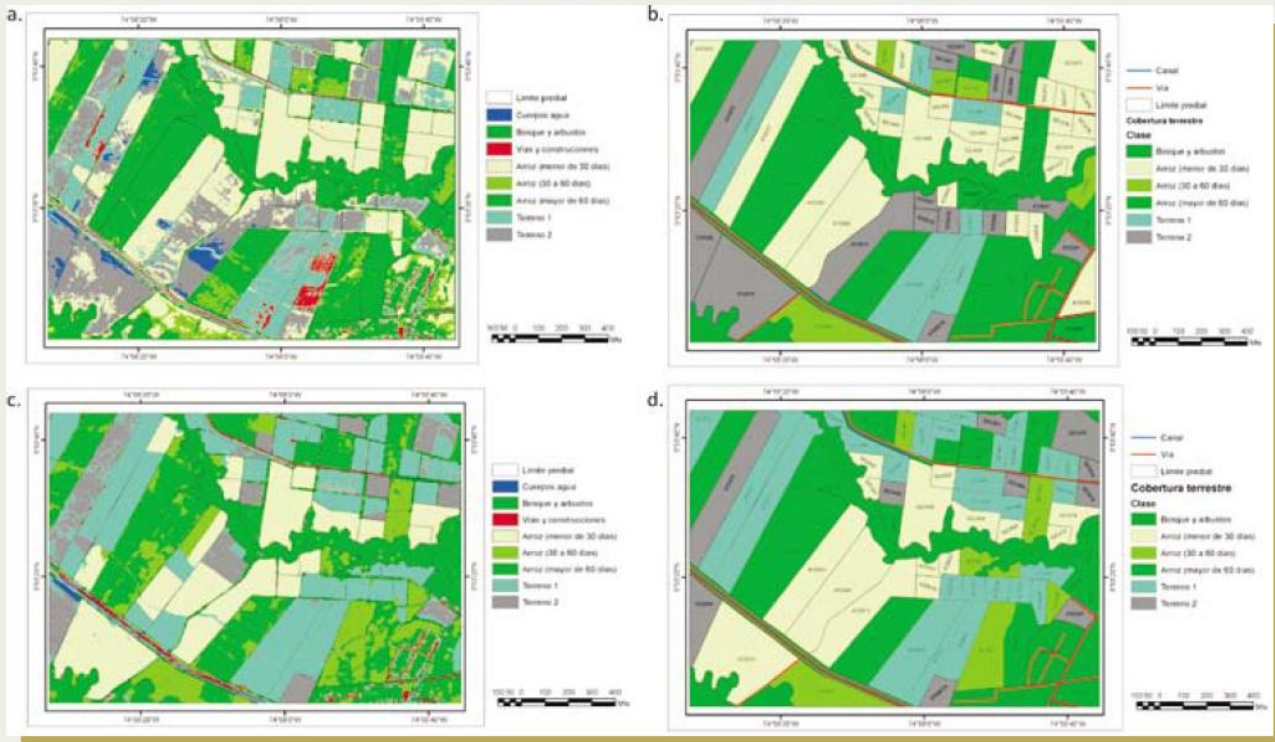


Figura 5. Evaluación de exactitud temática de la clasificación digital a) clasificador basado en píxel y b) clasificador basado en objetos



El resultado de la evaluación de exactitud temática para el mapa de coberturas obtenido con el clasificador basado en píxel con el algoritmo de redes neuronales artificiales, logró una fracción correcta del 72.8% y un Kappa del 66.0%.

Estos errores de omisión y comisión entre clases, se debe principalmente a que la fase inicial o de crecimiento del arroz por su baja densidad en la vegetación se presenta suelos desnudos. Igualmente entre las otras dos fases de crecimiento se presenta una similitud cuando las coberturas tienen edades muy cercanas.

### CONCLUSIONES

De forma general se puede concluir, que las exactitudes alcanzadas en el estudio, se fundamentan en el uso de datos contextuales en los clasificadores basados en objetos. Y de mayor importancia, es la definición adecuada y cuidadosa de las áreas de entrenamiento, sea por verificación en campo o con registros de censos de Fedearroz, ya que en gran medida la exactitud de un

algoritmo depende de una adecuada selección de las muestras. De manera similar diferentes estudios han corroborado que incluyendo datos texturales conjuntamente con los espectrales se mejora la precisión de la clasificación, algunos de ellos incluye imágenes de media resolución, como Landsat y SPOT, imágenes de sensores activos como el radar, también la combinación entre datos de imágenes ópticas y de radar, hasta imágenes de alta resolución espacial (Presutti, 2004).

Es importante recomendar en futuros trabajos, tener en cuenta la experiencia de algunos estudios revisados, al utilizar datos multitemporales siguiendo las fases de desarrollo de los cultivos de arroz, para lograr su correcta identificación frente a otros tipos de vegetación, principalmente los pastizales. Además del desarrollo de aplicaciones en agricultura, específicamente con cultivos de arroz y datos de sensores ópticos, también se reportan avances con otras tecnologías como el RADAR, cuya principal ventaja es que trabaja en diferentes condiciones atmosféricas y la iluminación solar, adicional de contar con información adicional de los cultivos.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLASCHKE, Thomas; LANG, Stefan y HAY, Geoffrey. Object-Based Image Analysis: Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications. Cap. 7.4, Support Vector Machine Classification for Object-Based Image Analysis, pag 663 – 677. Springer, 2008. ISBN: 978-540-77057-2.
- D'ARCO, Enzo; SEDA, Brummer; RIZZI, Rodrigo; FRIEDRICH, Bernardo; ALVES, Mauricio y ADAMI, Marcos. Geotecnologias na estimativa da área plantada com arroz irrigado. Brasil: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2006.
- GÓMEZ, Álvaro y SOTOS, Álvaro. Clasificación digital de imágenes por satélite. Sistemas de teledeteción, 2008.
- NAVULUR, Kumar. Multispectral Image Analysis Using the Object-Oriented Paradigm. Estados Unidos: Taylor & Francis Group, CRC Press, 2007. ISBN-13: 978-1-4200-4306-8.
- PRESSUTI, Miriam. La matriz de co-ocurrencia en la clasificación multiespectral: tutorial para la enseñanza de medidas texturales en cursos universitarios. Argentina: Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de la Plata, 2004.
- SORYANI, M.; GHADERI, R. y HASHEMI KAMANGAR, M. Rice fields identification using multi-temporal satellite images. IRAN: Universidad de Mazandaran, 2005. Disponible en: Geomatics Map India.
- TSENG, Y.H; HSU, P.H. y CHEN, I.H. Automatic recognition of rice from multitemporal satellite images. Taiwn (China): National Cheng Kung University, 2007.
- VAN NIEL, Tom y McVICAR, Tim. Remote Sensing of rice-based irrigated agriculture: a review. Rice CRS: Cooperative Research Centre for Sustainable Rice Production, 2001.