

Cartografía de la cobertura de la tierra en el municipio de Puerto López, Colombia, utilizando imágenes de RADARSAT-1 y de JERS-1

Proyecto Colombia- 8 GlobeSAR-2

Nathalie Beaulieu, Patrick Hill, Grégoire Leclerc, Germán Escobar

CIAT, AA 6713 Cali, Colombia. Tel: 572-445-0000 ext 3675, Correo-e: n.beaulieu@cgiar.org

Memorias del Simposio final GlobeSAR 2, "Aplicaciones de RADARSAT en América Latina", Buenos Aires, 17-20 de mayo 1999

ABSTRACT

Este artículo presenta los resultados del uso imágenes de RADARSAT-1 y de JERS-1 para desarrollar un mapa de clases generales de vegetación en un municipio de los llanos orientales de Colombia. El mapa resultante presenta 5 clases que son agua, sabanas nativas manejadas por quema, pastos introducidos o cultivos, vegetación arbustiva y bosques. Esta clasificación fue obtenida a partir las imágenes usando umbrales del coeficiente de retrodispersión, y luego filtrando los grupos de píxeles aislados. Las imágenes JERS-1 en banda L fueron usadas para identificar áreas de vegetación arbustiva y de bosques, que se confundían en las imágenes RADARSAT. Por otro lado, las imágenes de RADARSAT permitieron separar los cuerpos de agua de los pastizales, lo que es muy difícil usando las imágenes JERS-1 solas. Las imágenes de RADARSAT permitieron, hasta un cierto nivel, discriminar entre los pastos nativos y los introducidos, exceptuando en las zonas muy disectadas afectadas por el relieve y la pedregosidad de los suelos. La clasificación hecha con radar subestima la cobertura de sabanas nativas en terreno disectado, pero aún así se obtuvo una calidad de clasificación del 79% considerando las parcelas de entrenamiento que se habían definido para la clasificación de una imagen Landsat TM de 1996. La clase de los pastos introducidos se confunde a veces con la vegetación arbustiva y la sabana nativa.

1-Introducción

El presente estudio tiene por objetivo evaluar la utilidad de imágenes de RADARSAT-1 para la cartografía de la utilización de los suelos en los llanos orientales de Colombia. Está motivado por una aplicación concreta que es de producir un mapa del uso actual de la tierra en el municipio de Puerto López, para apoyar el Plan de Ordenamiento Territorial que la alcaldía está preparando en este momento. La necesidad de utilizar imágenes de radar surgió con los esfuerzos de cartografía de cambios del uso de la tierra en los últimos años, por el hecho que es muy difícil conseguir imágenes ópticas claras, por las nubes que afectan las épocas húmedas y el humo que afecta las épocas secas. Los más importantes cambios recientes de uso de la tierra en este municipio consisten en la conversión de las sabanas, dominadas por gramíneas nativas y manejadas con quemas, en áreas cultivadas con pastos introducidos, principalmente especies del género *Brachiaria*, originarias de Africa. Dado que la siembra y el mantenimiento de pastos introducidos a gran escala requiere de una mecanización, y que gran parte del municipio presenta riesgos elevados de degradación de suelos bajo mecanización, es importante identificar las zonas de conflicto de uso para planificar los programas de extensión agrícola.

Sin embargo, usando imágenes ópticas, existe un cierto grado de confusión entre los pastos introducidos y nativos por los diferentes grados de degradación de los primeros y los grados de rebrote de los segundos después de las quemas (Girard et Rippstein, 1994). Eventualmente, las imágenes de radar podrían complementar las imágenes Landsat TM, dando información en las áreas cubiertas por nubes y ayudando a resolver ambigüedades entre pastos nativos y zonas cultivadas. En el caso de no tener acceso a imágenes ópticas recientes, queremos saber cual grado de precisión podríamos esperar de un mapa de uso de la tierra hecho en base a imágenes de radar. Para mejorar la discriminación entre el bosque y otros tipos de cobertura, hemos utilizado las imágenes de RADARSAT conjuntamente con imágenes del satélite japonés JERS-1.

2-Antecedentes

El estudio de las imágenes de RADARSAT-1 fue posible gracias al programa GlobeSAR-2 que nos proporcionó las imágenes y programas para procesarlas. Los resultados preliminares del presente estudio fueron presentados por Beaulieu *et al.* (1998). Estos resultados, basados en la medición de características

de parcelas de pastos nativos y pastos introducidos en las épocas de la adquisición de imágenes de RADARSAT, mostraron que la mayoría de las parcelas de sabanas nativas tenían un coeficiente de retrodispersión promedio inferior a los -12.5 dB, casi independientemente de su grado de cobertura vegetal o de su fitomasa. Por otro lado, la mayoría de las parcelas de pastos introducidos tenía coeficientes de retrodispersión por encima de este valor, aunque algunas mostraban coeficientes inferiores. Este resultado fue atribuido, por una parte, a la rugosidad mayor de las parcelas de pastos introducidos que requieren de una labranza para su establecimiento y de prácticas de manejo mecanizadas, y por otra parte a la arquitectura de las plantas. Se mostró también que un evento de lluvia puede disminuir significativamente los contrastes entre los diferentes tipos de uso de la tierra, aumentando la retrodispersión de las parcelas de sabanas nativas y de suelos desnudos. Sin embargo, se obtuvo la mejor distinción entre sabanas nativas y pastos introducidos en una imagen del 2 de mayo de 1997, en la cual la estación de lluvia había empezado pero no había llovido en los últimos dos días.

Gracias al programa GRFM (Global RainForest Monitoring) coordinado por la NASDA, la NASA/JPL y el JRC de la Comunidad Europea, la NASDA nos proporcionó una serie de imágenes del satélite JERS-1 para cubrir nuestro sitio de estudio. Se utilizaron estas imágenes para corregir una clasificación del uso de la tierra hecha en base a una imagen Landsat TM de 1996 con nubes, para restituir la cobertura de bosques y de vegetación arbustiva bajo estas nubes. Hemos también realizado la clasificación de una imagen Landsat TM de 1988 para poder establecer los cambios en el uso de la tierra entre 1998 y 1996. Debemos mencionar que para el ordenamiento territorial y la recomendación de restricciones de usos de la tierra, las imágenes mostraron una gran utilidad para la cartografía de unidades de paisajes. Este trabajo está siendo presentado por Rubiano y Beaulieu (1999).

3-Imágenes utilizadas y procesamiento digital

Las imágenes utilizadas en este estudio se presentan en la tabla 1:

| Satelite/sensor | Modo | Fecha de adquisición | Resolución(m) | | intervalo entre pixeles (m) | Angulo de incidencia (°) | banda, polariz. | Número de apariencias (looks) |
|-----------------|-----------------|----------------------|---------------|-------|-----------------------------|--------------------------|-----------------|-------------------------------|
| | | | rango | azim. | | | | |
| RADARSAT | Standard 6 asc. | 2-05-1997 | 22.1 | 27 | 12.5 | 41-46 | C-HH | 4 |
| RADARSAT | Standard 6 asc. | 26-05-1997 | 22.1 | 27 | 12.5 | 41-46 | C-HH | 4 |
| RADARSAT | Standard 6 asc. | 4-12-1997 | 22.1 | 27 | 12.5 | 41-46 | C-HH | 4 |
| RADARSAT | Standard 6 asc. | 10-03-1998 | 22.1 | 27 | 12.5 | 41-46 | C-HH | 4 |
| JERS-1 SAR | | 21-03-1996 | 23 | 20 | 12.5 | 34-42 | L-HH | 3 |
| Landsat TM | Multiespectral | 09-01-1996 | -- | -- | 28.5 | - | 7-V,IR | - |

Tabla 1: características de las imágenes utilizadas

A partir de los parámetros de órbita y los de las tablas de valores aplicadas a la imagen durante su preprocesamiento, se calcularon las imágenes del coeficiente de retrodispersión en unidades de cociente de potencia según lo descrito por Shepherd (1997). Se definieron puntos de control en las imágenes de RADARSAT de plena resolución, en base a coberturas digitales de ríos digitalizados a partir de mapas topográficos a escala 1:25000. Se realizó un modelo digital de elevación (MDE) a partir de curvas de nivel, puntos altitudinales y ríos digitalizados en estos mismos mapas. En base a los puntos de control, los parámetros de órbita y el modelo digital de elevación, se orthorectificó una primera imagen que se usó para tomar puntos de control adicionales en las demás imágenes. Luego, para disminuir el efecto del moteado y tener un producto con un intervalo de pixel más similar al que se obtiene con las imágenes Landsat TM, se hizo una reducción de la imagen mediante el promedio de bloques de 2x2 pixeles. Se modificaron también los archivos de puntos de control, dividiendo por dos las coordenadas X y Y correspondientes a la imagen sin corregir. Luego se procedió a la orthorectificación de las imágenes del coeficiente de retrodispersión promediado. Queremos mencionar que también hicimos una georeferenciación de estas imágenes con una ecuación polinomial de grado 1, con los mismos puntos de control, y que mostró diferencias insignificantes con las orthorectificada, por las denivelaciones muy leves que se encuentran en el sitio. Intentamos también realizar una corrección radiométrica de los efectos de la pendiente para corregir el efecto del relieve en los sectores disectados. Sin embargo, esta corrección no dio resultados satisfactorios en este caso por que el relieve causa modulaciones radiométricas con una frecuencia espacial demasiado grande para la resolución del radar, y que produce un efecto de "macrorugosidad" en lugar de una serie bien definida iluminaciones más fuertes y sombras. Decidimos entonces proceder a nuestra aplicación sin realizar correcciones radiométricas del efecto del relieve, tomando en cuenta también el hecho que queríamos desarrollar una aplicación que se podría repetir en otras zonas de la región, donde no hay disponibilidad de MDE precisos. Se georeferenciaron también las

imágenes JERS-1 en unidades del cociente de potencia, también reducidas con el promedio por bloques de 2x2, que formaron un mosaico sobre la zona de estudio.

4-Elaboración de un mapa de vegetación en base a imágenes de radar

Para tener una primera evaluación de la utilidad de las imágenes de radar, decidimos hacer un mapa de cobertura vegetal basado únicamente en umbrales del coeficiente de retrodispersión de una imagen RADARSAT y del mosaico de imágenes JERS-1. Son los resultados de este primer esfuerzo que se presentan en este artículo, con la intención de luego investigar como se podría mejorar este mapa mediante el uso de filtrajes, parámetros texturales y técnicas más complejas de clasificación. Entre las cuatro imágenes RADARSAT adquiridas, se escogió la del 2-05-97, que permitía la mejor discriminación entre pastos nativos e introducidos.

Para la determinación de los umbrales del coeficiente de retrodispersión, disponemos de tres conjuntos de datos de campo:

- (1) Muestras puntuales del uso de la tierra levantadas con GPS por el CIAT en 1996 (Crawford, 1996) que usamos luego para establecer áreas más extensas de entrenamiento para la clasificación de la imagen Landsat TM.
- (2) Caracterización detallada de 84 parcelas de pastos introducidos y sabanas nativas de diferentes especies, con diferentes niveles de degradación, enmalezamiento o arbolización. En estas parcelas delimitadas con la ayuda de un GPS, se tomaron fotografías y se realizó la medición de la fitomasa en 5 cuadros de 1m² para los periodos correspondientes a las adquisiciones del 26-05-97, 4-12-97 y 10-03-98.
- (3) Caracterización del uso de la tierra y de especies dominantes en marzo del 1998, en 89 parcelas adicionales de pastos introducidos y sabanas.

Las gráficas del coeficiente de retrodispersión promedio en función de la fitomasa para las parcelas mencionadas en (2) están presentadas en Beaulieu *et al.*, (1998). A partir de ellas, se estableció un umbral de -12.5 dB para separar las parcelas de pastos introducidos de las sabanas nativas. Dado que ni en (2) ni en (3) se habían levantado áreas de bosque o de agua, se determinaron los demás umbrales a partir del estudio del promedio y de la desviación estándar del coeficiente de retrodispersión por categoría en base a los sitios de entrenamiento mencionados en (1). Los umbrales que fueron definidos para su elaboración se presentan en la tabla 2, y, en el caso de las imágenes JERS-1 son consistentes con los utilizados por Luckman and Baker (1997).

| Tipo de cobertura | Rango de valores en RADARSAT | Rango de valores en JERS-1 |
|----------------------|---|--|
| Agua | $\sigma^{\circ} < -21$ dB en RADARSAT | |
| Sabana nativa | -21 dB $\leq \sigma^{\circ} < -12.5$ dB | |
| Pastos introducidos | $\sigma^{\circ} \geq -12.5$ dB | $\sigma^{\circ} < -11$ dB |
| Vegetación arbustiva | | -11 dB $\leq \sigma^{\circ} < -8$ dB |
| Bosque | | $\sigma^{\circ} \geq -8$ dB en JERS-1 |

Tabla 2: Rangos de valores del coeficiente de retrodispersión σ° para la elaboración del mapa de tipos de cobertura.

La imagen fue entonces “clasificada”, atribuyendo cada pixel a una clase en función del rango de σ° al cual correspondía. Luego, la imagen de clases fue generalizada, removiendo todo grupo aislado de 5 pixeles o menos, considerando que, para no ser aislado, un pixel debe estar conectado a otro horizontal o verticalmente, no diagonalmente. El mapa resultante está presentado en la figura 1a) y se compara con la clasificación de la imagen Landsat TM mostrada en la figura 1b). Se nota desde la primera mirada que en la zona de serranía, al sur de la imagen, la clasificación con radar subestima la cobertura de sabanas nativas al provecho de los pastos introducidos. Esto se debe al hecho que la rugosidad del suelo pedregoso y del mismo paisaje aumenta el σ° de las imágenes de radar. Hemos también intentado clasificaciones usando umbrales más altos de σ° para la discriminación entre estas dos clases, pero así se disminuía la calidad de la clasificación evaluada en base a nuestras parcelas de referencia. Para las próximas etapas de nuestro estudio, estamos considerando variar el valor de este umbral en función de las unidades de paisaje definidas en Rubiano y Beaulieu (1999) para esta misma zona.

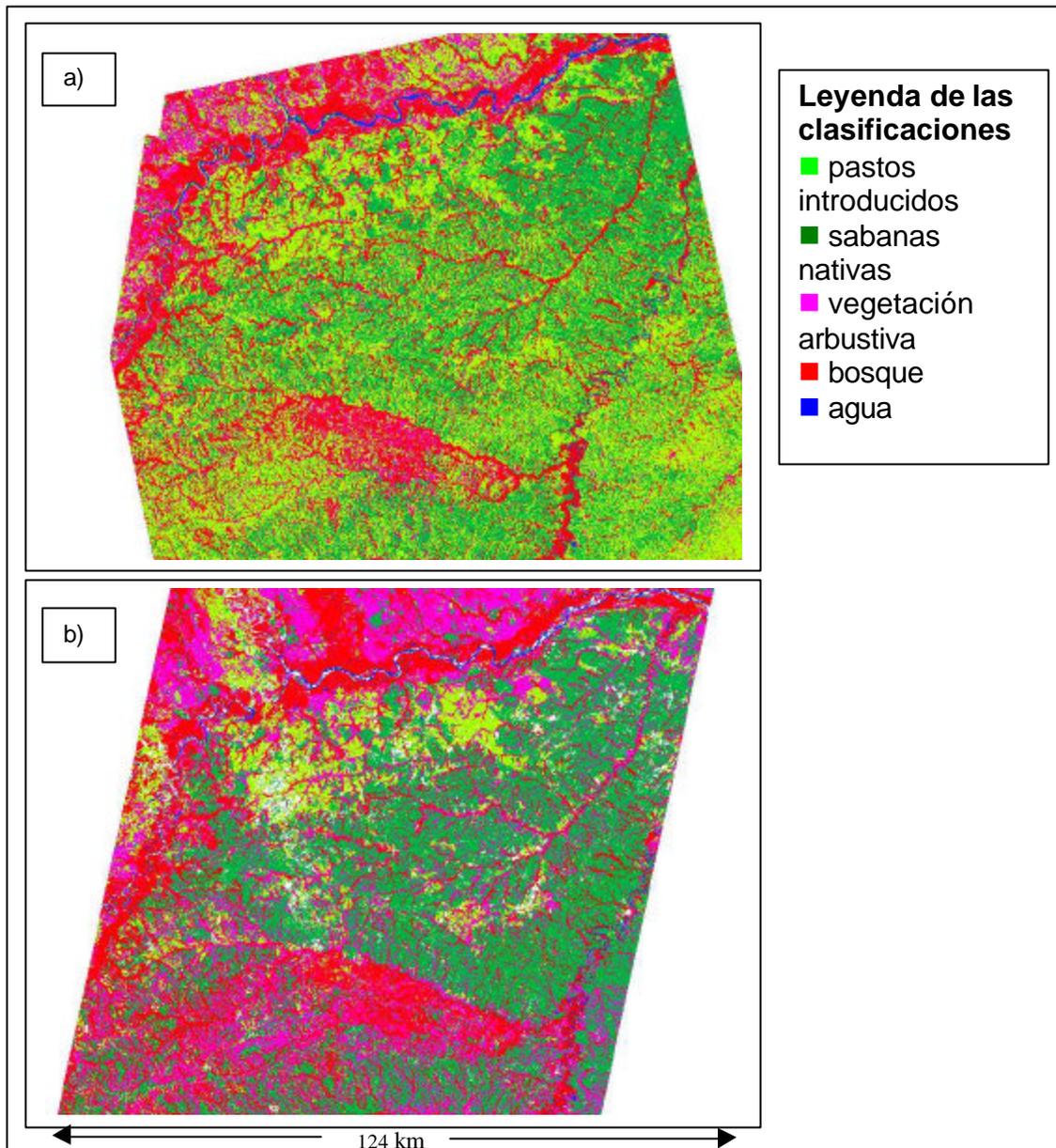


Figura 1: mapas de uso de la tierra realizados con a) imágenes de RADARSAT y JERS-1, según los umbrales de la tabla 2, y b) una clasificación de una imagen Landsat TM de enero de 1988.

5-Evaluación de la calidad del mapa realizado con imágenes de radar

Para evaluar la calidad del mapa realizado con radar, se han utilizado los tres conjuntos de datos de campo mencionados en la sección precedente, pero juntando las parcelas mencionadas en (2) y en (3) en un solo conjunto. No hemos evaluado la calidad de la clasificación hecha con la imagen Landsat TM por que los datos mencionados en (1) sirvieron como parcelas de entrenamiento y los en (2) y (3) fueron adquiridos de uno a mas de dos años después, y es posible que se hayan tenido cambios del uso de la tierra en este período. Las matrices de confusión referentes al mapa realizado con imágenes de radar se presentan en las tablas 3 y 4. Estas tablas presentan el número de pixeles, en las parcelas de referencia, de los cuales se sabe que forman parte de la clase indicada en la columna de la tabla y que figuran, en el mapa, como la clase correspondiente a la línea. Se nota que, utilizando las parcelas que fueron delimitadas sobre la imagen Landsat TM en 1996, la calidad general de la clasificación con imágenes de radar fue de 79.4% cuando se dejaron por fuera las parcelas identificadas como suelo desnudo, clase que existe en el mapa realizado con Landsat TM pero no en el mapa realizado con las imágenes de radar. Usando nuestros datos de campo (conjuntos mencionados en (2) y en (3)), se obtiene una calidad general de 79.4%. La figura 2 muestra un acercamiento a los mapas de cobertura de la tierra en terreno casi plano, en un área en el cual hemos caracterizado varias parcelas.

| | | Clases de las parcelas de referencia | | | | Calidad (usuario) (%) |
|-----------------|---------------------------------|--------------------------------------|---------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| | | Pastos introducidos | Sabana Nativa | Vegetación arbustiva | Total línea | |
| Clases del mapa | Pastos introducidos | 27327 | 3713 | 2705 | 33745 | 81.0 |
| | Sabana nativa | 4875 | 25439 | 1764 | 32078 | 79.3 |
| | Vegetación arbustiva. | 3265 | 824 | 1718 | 5807 | 29.6 |
| | bosque | 589 | 121 | 435 | 1145 | - |
| | agua | 0 | 0 | 0 | 0 | - |
| | Total col. | 36056 | 30097 | 6622 | Gran total=72775 | |
| | Calidad (ejecutante) (%) | 75.8 | 84.5 | 25.9 | Calid. general=74.9% | |

Tabla 3: Matriz de confusión para el mapa de cobertura de tierra realizado con imágenes de RADARSAT y JERS-1, en base a las parcelas levantadas en 1997 y 1998

| | | Clases de las parcelas de referencia | | | | | | Calidad (Usuario) (%) |
|-----------------|---------------------------------|--------------------------------------|---------------|----------------------|-------------|-------------|----------------------|-----------------------|
| | | Pastos introducidos | Sabana Nativa | Vegetación Arbustiva | bosque | agua | Total línea | |
| Clases del mapa | Pastos introducidos | 9144 | 2618 | 361 | 222 | 25 | 12370 | 73.9 |
| | Sabana Nativa | 4861 | 17940 | 211 | 186 | 62 | 23260 | 77.1 |
| | Vegetación arbustiva. | 373 | 93 | 348 | 539 | 19 | 1372 | 25.4 |
| | bosque | 0 | 88 | 327 | 9788 | 34 | 10237 | 95.6 |
| | agua | 0 | | | 3 | 1482 | 1485 | 99.8 |
| | Total columna | 14378 | 20739 | 1247 | 10738 | 1622 | Gran total: 48724 | |
| | Calidad (ejecutante) (%) | 63.6 | 86.5 | 27.9 | 91.2 | 91.4 | calid. general=79.4% | |

Tabla 4: Matriz de confusión realizada en base a las parcelas de entrenamiento usadas para clasificar la imagen Landsat TM

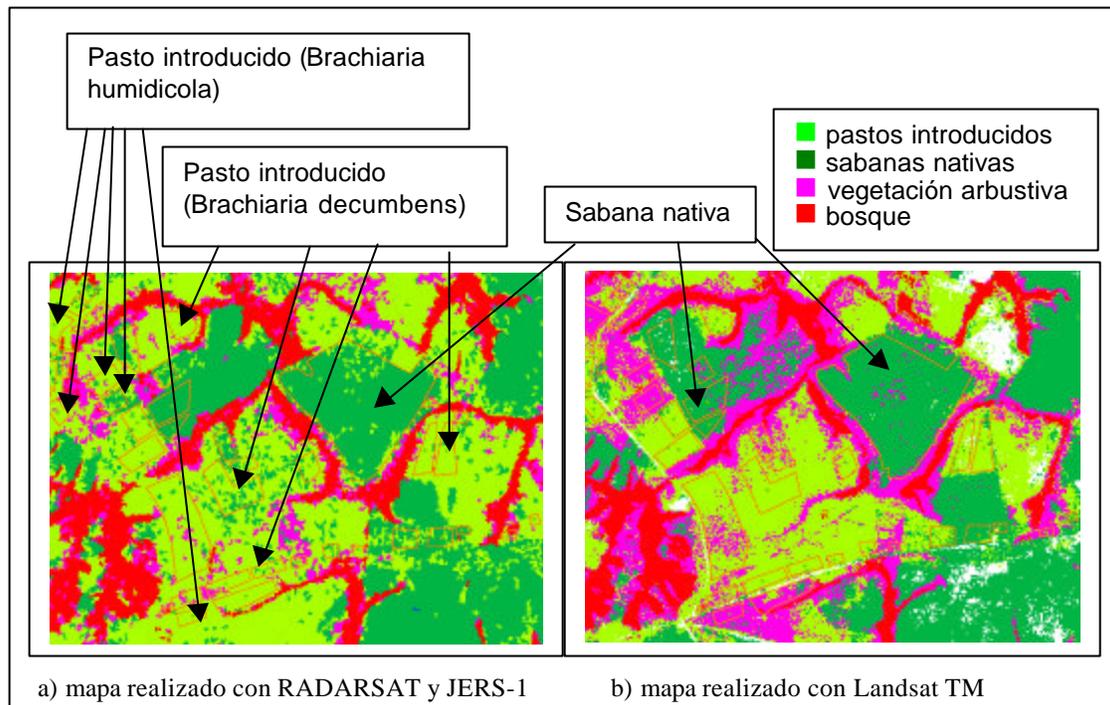


Figura 2: Acercamiento a los dos mapas de uso de la tierra, en una zona de relieve casi plano, con el perímetro de algunas de las parcelas levantadas en 1997 y 1998 indicado en anaranjado.

En la figura 2, se puede apreciar que la distribución de las clases es muy similar en los dos casos. Hemos podido verificar que algunas de las áreas asignadas a pastos introducidos con radar y sabana nativa con Landsat TM corresponden, de hecho, a un cambio reciente de uso. Hemos podido ver que la clasificación hecha con la imagen Landsat TM ha clasificado varias parcelas de *Brachiaria humidicola* como vegetación arbustiva.

6-Y se podría distinguir el bosque de los pastos sin JERS-1?

Se utilizaron también los sitios de entrenamiento mencionados en (1) para calificar la capacidad de las diferentes imágenes para discriminar entre las clases, mediante el cálculo de la Divergencia Transformada (TD, una medida de “separabilidad” entre dos clases) para cada par de clases estudiadas. Se calculó los componentes principales de la serie de imágenes de RADARSAT de diferentes fechas, excluyendo la imagen del 26-05-96 en la cual llovió, para determinar si ellas pueden ayudar en la discriminación entre el bosque y los pastizales. Se obtuvo un valor de TD de 0.92 entre el bosque y las parcelas de pastos introducidos para la imagen RADARSAT del 2-05-97, de 1.59 para el primer componente principal de las imágenes RADARSAT y de 2.00 para la imagen de JERS-1 y de Landsat-TM. El valor del TD muy superior al obtenido con la imagen RADARSAT sola, (aunque bien inferior al obtenido con la imagen JERS-1) sugiere que, dada la imposibilidad actual de obtener imágenes JERS-1 desde la disfunción de este satélite en octubre del 1998, el cálculo de los componentes principales de una serie multitemporal de imágenes de RADARSAT sería de gran utilidad para la cartografía del bosque de galería en ambientes de sabanas.

7-Discusión

Schadt *et al.* (1993) pudieron identificar más fácilmente las praderas en su sitio de estudio en Alemania y distinguirlos de las zonas cultivadas con una serie de imágenes ERS-1 que con una imagen de Landsat TM, por su baja retrodispersión que se mantenía independiente de los cortes aplicados, mientras estas mismas praderas mostraban mucha heterogeneidad en la imagen Landsat TM. Es muy posible que la baja retrodispersión de las praderas estudiadas por Kellndorfer y de nuestras sabanas nativas sea debido, en gran parte, a la rugosidad menor de los suelos, con respecto a los cultivos o a los pastos introducidos que necesitan labranza. Panario y Gutiérrez (1998) están realizando un estudio sobre los cultivos de arroz en Uruguay. Encontraron que las parcelas de arroz que habían sido abandonadas y fueron de nuevo colonizadas por las gramíneas de las praderas aledañas se podían delinear en las imágenes RADARSAT por su mayor brillantez con respecto a la de las praderas. Brisco (1998, comunicación personal) opina que este efecto se debe principalmente al la rugosidad mayor de los suelos. Por otro lado, las praderas estudiadas por Schadt *et al.* (1993) no son necesariamente sobre suelos que no han sido trabajado, pero tierras en descanso. Es posible que el colchón de materia vegetal muerta resultante del hecho que en Alemania, para recibir subsidios del gobierno los agricultores tienen que dejar la hierba cortada sobre los terrenos, absorba mucho la radiación del radar y juega un papel importante en reducir la retrodispersión. En el programa GlobeSAR-2, otros estudios sobre praderas están en curso, de los cuales las primeras etapas están presentadas en Sano *et al.* (1998) y Pattillo *et al.* (1998). Los resultados finales de estos estudios contribuirán al conocimiento básico necesario para el uso operacional de las imágenes de RADARSAT en los ambientes de praderas.

8-Conclusiones

Las imágenes de RADARSAT y JERS-1, por las bandas espectrales que utilizan, pueden complementarse para la cartografía de la cobertura de la tierra en regiones afectadas por las nubes. Las imágenes JERS-1 permiten discriminar los bosques de los pastos mientras que las imágenes RADARSAT permiten discriminar el agua de las sabanas nativas. En base a nuestros resultados, podríamos estimar que la confianza con la cual se podría separar los pastos introducidos de las sabanas nativas en zonas planas es encima del 75%. Estimamos que la confianza con la cual podríamos establecer un mapa general de cobertura de la tierra con solamente agua, vegetación corta y bosque sería superior al 90%.

Sin embargo, la posibilidad de discriminar entre los pastos naturales e introducidos con imágenes RADARSAT-1 es variable en el tiempo, como lo pudimos ver al estudiar cuatro imágenes RADARSAT adquiridas en diferentes momentos del año. Obtuvimos los mejores resultados durante la estación lluviosa, en un momento en el cual no había llovido en los días anteriores a la toma. Las condiciones demasiado secas parecen reducir los efectos de la rugosidad del suelo y de la arquitectura de las plantas

sobre los contrastes entre estos dos tipos de pastos. Por otro lado, los efectos de un evento de lluvia fueron muy perjudiciales a la distinción entre pastos nativos e introducidos.

9-Agradecimientos

Queremos agradecer el Centro Canadiense de Teledetección y la Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional (ACDI), por el apoyo técnico, las imágenes, los programas y la capacitación que nos brindaron a través del programa GlobeSAR 2. Queremos también agradecer a la agencia japonesa de desarrollo espacial (NASDA) quien nos proporcionó las imágenes del satélite JERS-1 usadas en este estudio, como parte del programa GRFM. El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia financió esta investigación bajo el proyecto “Exploración de Opciones de Uso de la Tierra y Resarrollo Rural en la Orinoquia Colombiana” de su convenio con CIAT. Ahmed Allam de ICARDA nos colaboró mucho con el procesamiento de la imagen Landsat TM durante su estadía de capacitación en CIAT.

10-Bibliografía

- Beaulieu, N., P. Hill, P., Escobar, y Romero, T (1998). Identificación de “sabanas nativas” en los llanos Colombianos mediante imágenes RADARSAT multi-estacionales: resultados preliminares. Memorias del Primer Simposio GlobeSAR 2: “Las aplicaciones de RADARSAT en América Latina”, Cartagena, 20-24 de abril, 1998, pp. 97-105.
- Brisco, Brian, (1998). Comunicación personal. Centro Canadiense de teledetección.
- Crawford, E. (1996). Landuse dynamics in the Colombian Llanos (1996). Internal technical report, CIAT PE-4 project, 12 p.
- Girard, C.M., Rippstein, G. (1994). Utilisation de données SPOT HRV pour la cartographie de savanes et pâturages dans les Llanos de Colombie. Bulletin de la Société Française de télédétection No. 133 (1994-1), p. 11-19.
- Luckman, A. and Baker, J. (1997). A simple model for the estimation of biomass density of regeneration tropical forest using JERS-1 SAR and its application to Amazon region Image mosaics. Proceedings of IGARSS'97, 03-08 August, Singapore. IEEE, pp. 1796-1798.
- Pattillo, C., Pezoa, M.E. y Cardenas, M.I. (1998). Aplicaciones de imágenes RADARSAT en la evaluación de praderas en la región de Magallanes-Chile. Memorias del Primer Simposio GlobeSAR 2: “Las aplicaciones de RADARSAT en América Latina”, Cartagena, 20-24 de abril, 1998, pp. 286-293.
- Sano, E.E., Assad, E.D., Bezerra, H.S., Feitosa, L. (1998). Relationship between RADARSAT backscattering coefficients and biophysical properties of three types of pastures from the Brazilian Cerrados regions. Memorias del Primer Simposio GlobeSAR 2: “Las aplicaciones de RADARSAT en América Latina”, Cartagena, 20-24 de abril, 1998, pp. 282-285.
- Schadt, R., Kelldorfer, J. and Mauser, W. (1993). Comparison of ERS-1 SLC and Landsat Thematic Mapper data for monitoring grassland and detecting changes in agricultural use. Proceedings of the Second ERS-1 Symposium-Space at the service of our Environment, Hamburg, Germany, 11-14 October 1993. ESA SP-361, pp.75-78.
- Shepherd, N. (1997). Extraction of Beta Nought and Sigma Nought from RADARSAT CDPF products. Report No. AS97-5001, Altrix Systems, Ottawa, Canada, 9p.
- Rubiano, Y y Beaulieu, N. (1999). Uso de las imágenes RADARSAT en la cartografía de unidades de paisaje en la Orinoquia colombiana: estudio de caso en el municipio de Puerto López, Meta. Memorias del Simposio final GlobeSAR 2, “Aplicaciones de RADARSAT en América Latina”, Buenos Aires, 17-20 de mayo 1999.