

Clasificación de cultivos a partir de imágenes satelitales LANDSAT EM

Luis Pantaleone, Marcelo Tosini
Grupo Intia/Inca
Facultad de Ciencias Exactas
Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires
Tandil (7000), Buenos Aires Argentina,
{lpanta, mtosini}@exa.unicen.edu.ar

Resumen. En el presente trabajo se analiza la clasificación cultivos en imágenes satelitales Landsat. Específicamente, se utilizan firmas espectrales multibanda para detectar, mediante un clasificador, zonas con determinado tipo de cultivos. Las pruebas se realizan sobre imágenes satelitales de zonas determinadas contrastándose con bases de datos de cultivos en los lotes de dicha zona de estudio.

Palabras clave: Landsat 5, Clasificación, Detección de cultivos.

1 Introducción

La detección de patrones de forma y espectro a escala de imágenes satelitales es clave para determinar áreas con similares características forrajeras (disponibilidad, composición botánica, accesibilidad). En los últimos años se ha generalizado el uso de imágenes satelitales para detectar áreas homogéneas en campos tanto ganaderos como de siembra. Sin embargo, en muchos casos se carece de estimaciones sobre el nivel de correspondencia entre áreas generadas mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes satelitales y tipos de sembrados determinados mediante técnicas de muestreo en terreno. Se presenta en el presente trabajo una experiencia en clasificación de cultivos mediante el uso de un clasificador basado en redes de base radial aplicado a imágenes de satélite Landsat sobre todas sus bandas.

La aplicación de este tipo de estudios es variada. Por un lado, es posible, mediante análisis de las imágenes de satélite de una región, establecer los tipos de cultivos realizados en esa zona con fines estadísticos o para determinación (en primera instancia) de tasas impositivas. En otro aspecto, el análisis de las bandas satelitales y la combinación adecuada de sus datos, permite determinar (con alto grado de acierto) problemas asociados a los cultivos, como presencia de hongos, infecciones por parásitos, enfermedades, y otros. La plataforma Landsat TM proporciona información en las regiones térmicas, visibles e infrarrojas del espectro electromagnético utilizadas en múltiples aplicaciones agrícolas como programación de riegos, predicción de cosechas, detección de plagas y enfermedades, y más recientemente en contaminación y fertilidad de suelos y auditoría de cosechas [1].

En la sección 2 se caracterizan las imágenes del satélite Landsat 5 usado para las experiencias de este trabajo. La sección 3 se presenta un breve comentario de las características espectrales de los cultivos analizados. La sección 4 analiza el algoritmo utilizado para el análisis multiespectral de las imágenes mediante firmas características de cultivos. Por último, en la sección 5 se discuten los resultados obtenidos y se compara los mismos con datos reales.

2 Características Landsat 5

Una imagen LANDSAT 5 [2][6] está compuesta por 7 bandas espectrales en un rango total que cubre desde los 0.45 hasta los 2.35 micrómetros. La información de dichas bandas puede ser combinada de distintas formas para obtener diversas alternativas de color u opciones de procesamiento. Cada una de las bandas contiene una imagen de 8616 líneas con 9516 píxel por línea, con una cobertura de 30x30 metros de terreno por cada píxel, a excepción de la banda 6 que posee una resolución de 120x120 metros. Esta cobertura se denomina IFOV (campo de vista instantáneo). Algunas características de las bandas se comentan a continuación:

Banda 1: Frecuencia azul desde 0.45 a 0.52 micrones. Útil para detección de cuerpos de agua, mapeo de costas, contraste entre suelo y vegetación y para clasificar distintas coberturas boscosas, por ejemplo conífero y foliadas.

Banda 2: Frecuencia verde desde 0.52 a 0.60 micrones. Útil para evaluar la “salud” de la vegetación, a través de sus valores de reflectancia (o radiancia) verde. También es útil para diferenciar tipos de rocas y, al igual que la banda 1, para detectar la presencia de limonita.

Banda 3: Frecuencia azul desde 0.63 a 0.69 micrones. Banda de absorción de clorofila, Apta para la clasificación de la cubierta vegetal. También sirve en la diferenciación de las distintas rocas.

Banda 4: Frecuencia del infrarrojo cercano desde 0.76 a 0.90 micrones. Apta para analizar niveles de biomasa, delimitación de cuerpos de agua y clasificación de rocas.

Banda 5: Frecuencia del infrarrojo medio desde 1.55 a 1.75 micrones. Generalmente usada para medir el contenido de humedad en vegetación y suelo. También es útil para diferenciar entre nieve y nubes.

Banda 6: Frecuencia del infrarrojo termal desde 10.40 a 12.50 micrones. Útil en el análisis de stress de vegetación, análisis de humedad del suelo y mapeo térmico.

Banda 7: Frecuencia de infrarrojo medio desde 2.08 a 2.35 micrones. Especialmente seleccionada por su potencial para la discriminación de rocas y para el mapeo hidrotermal. Mide la cantidad de hidróxilos (OH) y la absorción de agua.

3 Firmas Espectrales

En el contexto de este trabajo se entiende por firma espectral a la medida cuantitativa o característica espectral de un objeto en una longitud de onda (monobanda) o en un conjunto de longitudes de onda (multibanda) determinadas. Esta medida depende del día del año en el cual se realizó la toma y la zona sobre la cual fue efectuada. Otros factores que impactan son las condiciones meteorológicas. Para poder realizar comparaciones con independencia temporal y geográfica se somete a las imágenes a una corrección mediante el uso de un factor de radiancia. Si, por el contrario, sólo se realizará un estudio localizado sin influencia de la época de año, entonces se utilizaría el llamado ND o número digital, que es sencillamente el valor del pixel para una banda y coordenada determinada, tal como provee en la imagen utilizada. Para el caso de este estudio se usó este último valor.

Para la obtención de firmas se utilizó la herramienta ENVI versión 4.7 [7]. Para ello se utilizaron las mismas imágenes satelitales, y se recogieron las firmas espectrales de los puntos de cada uno de los lotes bajo análisis.

Para la determinación de la firma espectral representativa de cada cultivo, se seleccionaron todos los lotes correspondientes, y se extrajo el valor medio y la diferencia entre el valor medio respecto del máximo y del mínimo, así como las desviaciones estándares correspondientes a fin de evaluar la pertinencia de los errores obtenidos al momento de analizar los pixeles de la imagen a clasificar. El error obtenido representa la distancia entre el vector que define el pixel analizado y la correspondiente firma espectral (sus siete bandas). El procedimiento se realizó con las siete bandas de la imagen de manera independiente con la herramienta QtiPlot, utilizada usualmente para análisis estadístico.

Un valor de error grande en las firmas, hace que estas se vuelvan más permisivas, en caso contrario se vuelven más restrictivas. La permisividad permite que determinados puntos que no pertenecen a un cultivo sean seleccionados. En el caso contrario, no todos los puntos de un cultivo se seleccionan.

En función del tipo de cultivo a detectar se debe analizar el grado de permisividad de la firma debido a ciertas características propias del mismo cultivo que se manifiestan en variaciones de respuesta espectral sobre todo en las bandas medias. Por lo general en la imagen los puntos agrupados con mucha densidad, corresponden a lotes del mismo cultivo, mientras que puntos aislados no pertenecen a un cultivo. A fin de obtener una buena clasificación deben tomarse en cuenta aquellos que se hallen concentrados.

4 Algoritmo Clasificador

La detección de los diferentes cultivos se realizó con una aproximación a una función de clasificación de base radial [3][4] del tipo

$$dist_j = \sum_{b=1}^7 (imagen_{x,y,b} - firma_{j,b})^2 \quad (1)$$

Siendo $firma_{j,b}$ cada uno de los 7 componentes de banda de la firma j-esima; $imagen_{x,y,b}$ el pixel de coordenadas [x,y] de la banda b y $dist_j$ la distancia de dicho pixel a la firma j-esima. En caso que un punto pertenezca a más de una firma, se escoge aquella firma con distancia menor y en caso de equidistancia a más de una firma, se asocia el punto a la firma a la que pertenecen la mayoría de sus vecinos. Si un punto de la imagen pertenece a una firma dicho punto es marcado con el ID de esa firma. La condición necesaria de pertenencia a una firma debe validar la condición de pertenencia de todos los valores de sus bandas, los cuales deben hallarse dentro del rango de cada banda de la firma. La ecuación se define a continuación:

$$pertenece_j = \prod_{b=1}^7 (\|imagen_{x,y,b} - firma_{j,b}\| < FirmaError_{j,b}) \quad (2)$$

A fin de evaluar todas las firmas espectrales el clasificador itera sobre toda la imagen satelital (las siete bandas), incluyendo los bordes negros producidos por la rotación que usualmente presenta la imagen satelital como resultado del pre-procesamiento de origen.

Con el fin de eliminar posibles falsos pixeles clasificados se realiza un post-procesamiento a la imagen clasificada. Dicho post-procesamiento consiste en recorrer la imagen con un kernel de 5x5. Este tamaño de kernel representa una superficie de aproximadamente 2,25 hectáreas. Para cada pixel se realiza la sumatoria de frecuencia de las firmas de los vecinos. Si la frecuencia de la firma del punto en particular es mayor a un umbral definido, entonces esta firma es definitiva. En caso contrario se elige la firma de los vecinos con mayor recurrencia siempre y cuando sea mayor al umbral. Si no existiera ninguna firma, en tal caso, se desclasifica el pixel. En la ecuación (3) se describe este algoritmo. Para umbrales grandes, el post procesamiento será muy restrictivo, mientras que para valores chicos será permisible. En base a varias pruebas se determinó que un umbral de 14 es apropiado.

$$dist_j = \sum_{x,y}^{\in kernel} incrementa(firmas_{clasificada_{x,y}})$$

si ($firmas_{clasificada(x,y)} \geq umbral$)
 $pertenece_{x,y} = clasificada_{x,y}$ (3)
sino si ($firmas_f$ es máximo y $firmas_f \geq umbral$)
 $pertenece_{x,y} = f$
sino $pertenece_{x,y} = no\ tiene\ clasificación$

A fin de acelerar el proceso de clasificación se implementó un esquema de procesamiento en paralelo distribuyendo la verificación de diferentes firmas en distintos hilos ejecutados en distintos núcleos del procesador si están disponibles.

Para el desarrollo realizado pueden escogerse para la ejecución dos, cuatro u ocho hilos. Dependiendo de la arquitectura del procesador puede ser más conveniente una u otra opción. La imagen satelital es dividida en forma simétrica según la cantidad de hilos de clasificación. Esto se puede realizar ya que no existen dependencias de datos entre los distintos puntos de la imagen.

5 Resultados Obtenidos

Se seleccionó el campo “El rincón de Fincati”, en la zona de “Centinela del Mar”, zona costera del atlántico al norte de Necochea. Se trabajó con imágenes Landsat 5, correspondientes al Path 224 y Row 87, de épocas del año coherentes con las cosechas bajo estudio (en particular, mediados de enero de 2004, 05 y 06) [5][10].

De algunos campos de esta zona se obtuvo el loteado y la información sobre los cultivos correspondientes a las fechas de las imágenes.

Los tipos de cultivos analizados fueron maíz, soja de primera y papa. Sus firmas espectrales se presentan en la figura 1, a continuación, y surgen de los datos mostrados en la tabla 1. En dicha tabla, el valor del ND de la banda es el promedio de los ND de los lotes tomados como referencia de clasificación para cada cultivo estudiado y el error se calcula como la desviación estándar de los mismos.

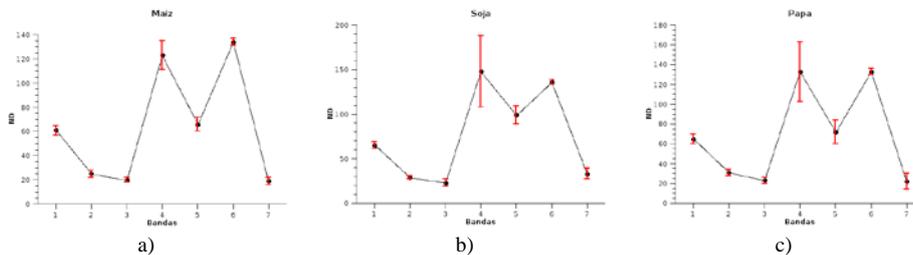


Fig. 1. Firmas espectrales de a) maíz, b) soja y c) papa.

Tabla 1. Conjunto de valores y sus errores correspondientes para las firmas espectrales de maíz, soja y papa. En cada celda, el par de valores N/e representan el valor de ND promedio y la desviación de dicha banda respectivamente

Cultivo	Bandas						
	1	2	3	4	5	6	7
Maiz	61 / 4	21 / 3	20 / 2	123 / 12	66 / 6	134 / 3	19 / 3
Soja	65 / 4	29 / 2	23 / 4	148 / 40	99 / 10	136 / 3	33 / 6
Papa	65 / 5	31 / 3	23 / 3	133 / 30	72 / 12	133 / 3	22 / 8

En la Figura 2 se muestran las firmas superpuestas de los tres cultivos. Se observa que las bandas visibles (1, 2 y 3) presentan valores muy próximos para los tres casos, al igual que la banda 6 con desviaciones del orden del 10% (tabla 1). En cambio las

bandas infrarrojas (4 y 5) se diferencian más, aunque también sus desviaciones son mayores en algunos casos, lo que deja en evidencia la variabilidad de la clasificación a partir de estas dos bandas. La figura 3 muestra, a modo de ejemplo, la distribución de valores ND en las 7 bandas para una firma espectral obtenida de campos de maíz [8].

Los histogramas de las firmas sirven para observar y comprobar los valores medios y error en cada banda. En aquellas bandas cuyas campanas poseen poca dispersión de valores, el error resultará en un valor bajo, mientras que en aquellas que posean gran dispersión el error será alto. Analizando el histograma del maíz (figura 3), se observa que las bandas 1, 2, 3, 6, 7, los valores hallan agrupados resultando en un error bajo, caso contrario sucede con las bandas 4 y 5 que presentan dispersión, y en consecuencia un alto error.

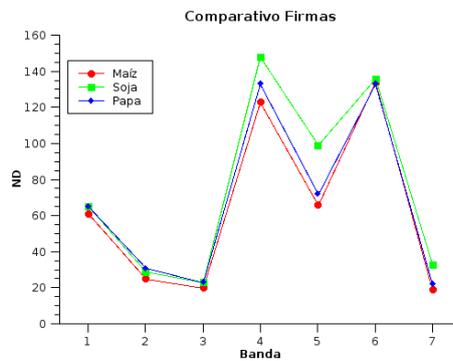


Fig 2. Comparativo de firmas.

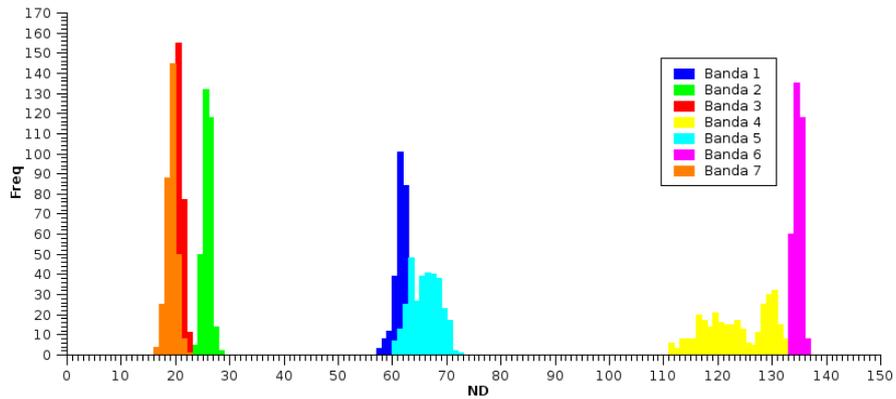


Fig. 3. Histograma de las siete bandas para lotes de maíz

6 Conclusiones

El proceso de clasificación aplicado sobre distintas imágenes satelitales permitió evaluar el método de detección de sembrados a partir de firmas de los mismos. Un caso de estudio se muestra en la figura 4. La figura 4-a es resultante de una clasificación pura, mientras que la figura 4-b posee un etapa de procesamiento adicional (post-procesamiento). Este procesamiento consta de un filtro que actúa erosionando los bordes externos de un lote, y dilatando los bordes internos, trabaja con un umbral de 14 [9]. Se puede observar en la imagen con postprocesado la desaparición de puntos de detección aislados, y la inclusión de puntos no clasificados dentro de una región de un cultivo. Determinadas regiones que resultan en un falso positivo no se han podido eliminar debido al umbral seleccionado.

Los lotes marcados en rojo corresponden a cultivos de maíz, en verde soja, y en azul lotes sembrados con papa. Recordar que aquellos puntos aislados en la imagen no corresponden a ese cultivo. Deben tenerse en cuenta aquellos lotes con alta densidad de puntos del mismo tipo de cultivo. Esto se debe a que las firmas poseen un rango de error permisivo.

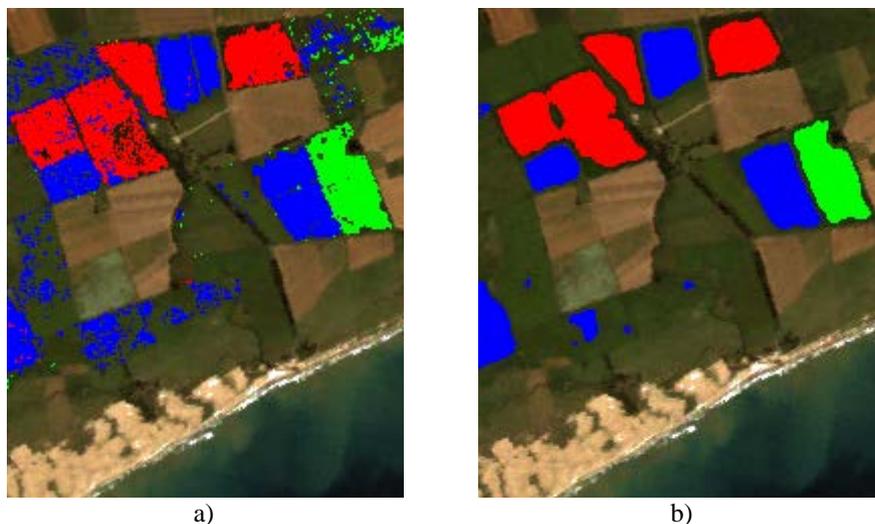


Fig. 4. Vista parcial de la zona de lotes con sembrados de maíz (rojo), soja (verde) y papa (azul).

Los lotes de referencia fueron clasificados según su cultivo. Otros lotes de otros campos no se han podido verificar.

Se ha observado que diversos puntos dispersos han sido clasificados como cultivos de papa, resultando en falsos positivos, debido a un amplio margen de error en la firma en ese caso. La tabla 2 muestra las distribuciones porcentuales respecto de cada cultivo. La detección para soja y maíz tuvo tasas de acierto superiores a 80% con menos de 15% de casos de falsos positivos (píxeles clasificados como uno de los tres cultivos pero que no son ninguno de ellos), representados en la tabla 2 como *no clasificados* (NC).

Respecto de las falsas clasificaciones intercultivos, se puede apreciar que no hay fallos entre maíz y soja, lo que evidencia una buena distancia espectral de las respectivas firmas. No ocurre lo mismo en el caso de la papa, que presenta cierta tasa de fallos respecto de los otros dos cultivos, aunque con porcentajes bajos (del orden del 1%) a excepción del falso positivo maíz-papa que se acerca al 5%.

Los resultados en un orden general fueron satisfactorios dado el alto grado de acierto en las clasificaciones abordadas para los casos de soja y maíz, aunque no es suficientemente aceptable para el caso de cultivos de papa. Aún así, se observa que las clasificaciones cruzadas entre cultivos tienen porcentajes inferiores al 5%, siendo justamente este caso el de clasificación errónea de cultivos de maíz como cultivos de papa –debido a su proximidad espectral-. Se prevé continuar el trabajo con reconocimiento de los cultivos en fases más tempranas de su ciclo de crecimiento, así como durante épocas de cosechas, caso este último con fines de auditoría.

Tabla 2. Distribución de los aciertos y fallos de clasificación para cada cultivo.

		Cultivo original		
		Maíz	Soja	Papa
Clasificado como	NC	12.83	13.53	29.32
	Maíz	82.53	0	1.18
	Soja	0	86.36	0.05
	Papa	4.64	0.11	69.45

Referencias

1. Manjarrez-Dominguez, C., Pinedo-Álvarez, C., Vélez-Sánchez Verín, C.E., Pinedo-Álvarez, A.: Separabilidad espectral de cultivos agrícolas con Imágenes Landsat TM. *Tecnociencia Chihuahue*. Vol 1, No 2 (2007)
2. Barsi, J.A., Hook, S.J., Schott, J.R., Raqueno, N.G., Markham, B.L.: Landsat-5 Thematic Mapper Thermal Band Calibration Update. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. Vol. 4, No. 4 (2007)
3. Yee, P V., Haykin, S.: *Regularized Radial Basis Function Networks: Theory and Applications*. John Wiley. ISBN 0-471-35349-3 (2001)
4. Buhmann, M.D.: *Radial Basis Functions: Theory and Implementations*. Cambridge University. ISBN 0-521-63338-9 (2003)
5. Catálogo de imágenes del landsat 5 de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales, Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto, República Argentina, <http://catalogos.conae.gov.ar/landsat5/default3.asp>
6. The Landsat Program, National Aeronautics and Space Administration – NASA. <http://landsat.gsfc.nasa.gov/>
7. ENVI 4.7, ITT Visual Information Solutions, <http://www.itvis.com>
8. Castro R., R.: Taller de Fundamentos de Percepción Remota. Documento Docente: Visualización de Imágenes Satelitales. Comité Satelital – Minagri (2009)
9. ILWIS User's Guide, Capítulo 6: Procesamiento de imágenes. [http://www.itc.nl/external/unesco-rapca/Casos de estudios SIG/02 Sensores remotos/sensores remotos.pdf](http://www.itc.nl/external/unesco-rapca/Casos%20de%20estudios%20SIG/02%20Sensores%20remotos/sensores%20remotos.pdf)
10. Carrasco P., P., Camargo Arce, E., Rudorff, B., Moreira, J.: Aplicaciones agrícolas y forestales de las bandas 3 y 4 del sensor CCD en combinación con la banda 2 del sensor IR-MSS del satélite CBERS. *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiânia, Brasil, INPE, p. 857-864 (2005)