

Comportamiento estacional de las coberturas de suelo en ambientes áridos

Graciela Salinas de Salmuni¹

Inés Velasco²

¹Universidad Nacional de San Juan – UNSJ
Laprida 1130 E – C.P. 5400 - San Juan, Argentina

gsalmuni@unsj.edu.ar

²Departamento Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, FCEyN-UBA
Ciudad Universitaria, 1428 Buenos Aires-Argentina

velasco@at.fcen.uba.ar

Abstract. The objective of this work is to know the spectral behaviour of the land cover occurring in the zone under study in the province of San Juan, Argentina, through the application of change detection methods using images digital processing techniques with data from satellite imagery. Seasonal variations of land covers of bare soil, natural vegetation and cultivated areas are analyzed in the study. It is shown that natural vegetation does not exhibit significant seasonal variations. However, the crops (grapes (vine), onions and fruit trees) define a complex agricultural system, and the analyses of satellite data from one date do not allow the precise discrimination of the different crops. Therefore, a multitemporal images file was developed, where the election of dates was accomplished taking into account the phenological cycle of those crops of interest. For the images of each date, geometric and radiometric corrections were applied, seeking to minimize the atmospheric effect. To enhance the covers of crops, NDVI index was applied, and a combination of RGB was used for change detection. Thus, by means of the integrated use of field data and satellite information, the surface covered by crops could be estimated by multispectral classification. Then confusion matrices were calculated and analyzed. Finally, an agriculture map with very acceptable results was obtained.

Palabras claves: Change detection, multitemporal images, multispectral classification, vegetation index -NDVI, arid environment, natural vegetation.

1 Introducción

Los trabajos de aplicación de SR en zonas húmedas, en general, se caracterizan por gran homogeneidad en el comportamiento espectral de los elementos del paisaje causada por la presencia de cobertura vegetal más uniforme. En zonas áridas y semiáridas se observan comportamientos espectrales complejos por la presencia combinada de los tres componentes principales: vegetación, suelo y sombra. En este trabajo se muestran las variaciones estacionales en el área de estudio. Por tratarse de un sistema con características complejas, el análisis de datos obtenidos por sensores remotos en una sola fecha, no permite la discriminación precisa de las áreas ocupadas con los cultivos, en particular vid, olivos y aleáceas, por lo que se seleccionaron tres fechas representativas del ciclo fenológico de los cultivos presentes.

El objetivo de este trabajo fue desarrollar una metodología que permita diferenciar, visual y analíticamente, las principales coberturas de suelo en la zona de estudio, representativa de los valles ubicados al este de la cordillera en el centro-oeste de Argentina, utilizando información satelital y datos de campo.

2. Zona de estudio

El área de estudio se caracteriza por su condición de aridez, la presencia de una capa freática salina fluctuante a poca profundidad y un intenso proceso de acumulación de sales en el perfil del suelo, sin embargo, en ella hay cultivos permanentes y anuales bajo riego artificial. El área está ubicada en la llanura o planicie aluvial, en el departamento de 25 de

Mayo, en el Valle de Tulum, en la Provincia de San Juan en el centro-oeste de Argentina, **Figura 1.** La zona se caracteriza por ser una zona plana sub-horizontal, Lizana et al.(2004), rellena principalmente por arenas, limos y arcillas con gravas depositadas por el río San Juan. Por el régimen de lluvias, se encuentra comprendida dentro de las zonas de aridez tipo desértica y por lo tanto, las necesidades de agua para los cultivos son totalmente provistas por el riego artificial provenientes del río San Juan.

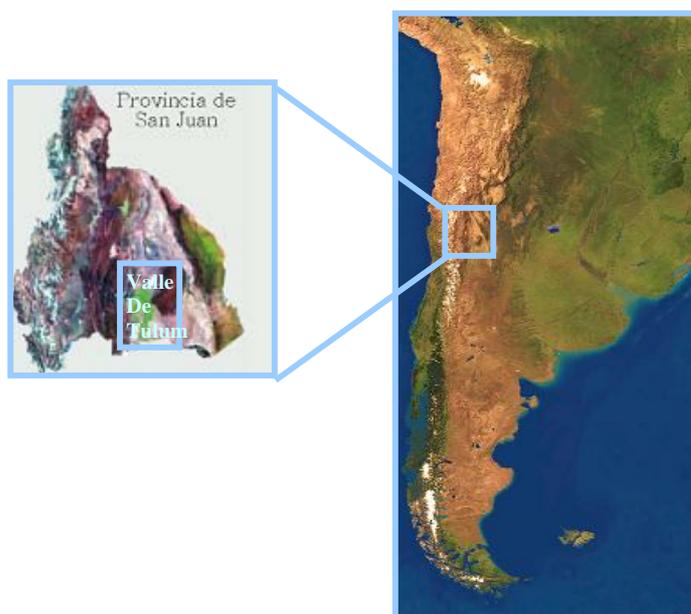


Figura 1: Área de estudio

3 Materiales y métodos

Materiales

Imágenes

Se utilizaron imágenes Landsat 5 TM que se listan en la **Tabla 1** y datos de campo de dos ciclos fenológicos consecutivos: 1998-1999 y 1999-2000.

Tabla 1: Detalle de las imágenes utilizadas

Imagen	Path / row	Fecha
Landsat TM 5	232/82	18-8-1998
Landsat TM 5	232/82	22 -11-1998
Landsat TM 5	232/82	5-1-1999
Landsat TM 5	232/82	3-8-1999
Landsat TM 5	232/82	15-10-1999
Landsat TM 5	232/82	04-01-2000

Muestras de terreno

Las muestras fueron tomadas durante las campañas de los veranos de 1998-1999 y 1999-2000. En la **Figura 2** se pueden observar los polígonos que representan, a modo de ejemplo, muestras de parcelas con cultivos en diferentes estados, marcados sobre una imagen Landsat

TM 5, y dos fotografías representativas de esas muestras. La de la izquierda corresponde a vid en producción y la de la derecha a nuevos cultivos de vid.

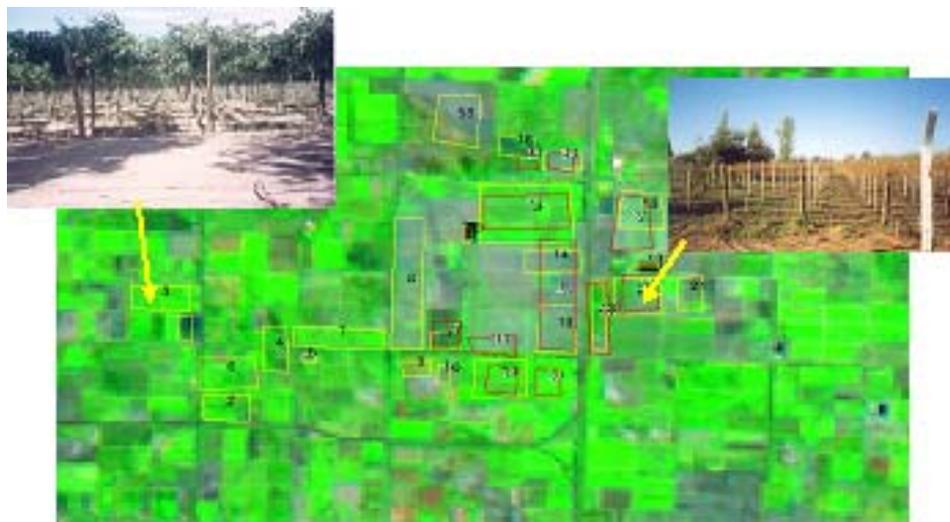


Figura 2: Polígonos de las muestras colectadas en enero de 1999 en color amarillo y en rojo las de enero de 2000.

Para la elección y toma de las muestras se tuvieron en cuenta: 1. Los datos históricos proporcionados por las estadísticas de los informes, censos agropecuarios y estadísticas agrícolas, 2. La imagen satelital que permitió definir el marco muestral (trazado del límite de la zona con uso agrícola del departamento), 3. La homogeneidad de paisaje (tipos de suelos, tipos y estados de los cultivos y presencia de procesos de degradación de suelos y 4. La relación costo-beneficio.

Métodos

Meta	Actividades	Tareas
Seguimiento de la dinámica de la zona de estudio representativo de valles áridos y semiáridos con actividad agrícola intensiva bajo riego artificial	Trabajo de laboratorio	1- Selección de las fechas de las imágenes 2- Generación de una base de datos con las muestras 3- Calibración radiométrica, 4- Corrección atmosférica, 5- Corrección geométrica 6- Análisis espectral de las coberturas presentes. 7- Uso de realces espectrales 8- Análisis de las variaciones
	Trabajo de campo	Toma de muestras 60 Enero 1999 40 Enero 2000

Figura 3. Esquema de la metodología aplicada

4. Análisis de curvas espectrales de las coberturas

En estudios anteriores realizados en la zona se observó diferencias muy significativas entre el comportamiento espectral de las distintas coberturas de suelo, Salinas de Salmuni, G. et al. (1997). En este estudio se realizó un análisis de las curvas espectrales de tres coberturas presente en la zona de estudio en imágenes de dos épocas diferentes: agosto y noviembre, **Figura 4**. Los gráficos presentan las curvas de las imágenes de agosto (arriba) y noviembre (abajo). En ellas se observa una respuesta de suelo (marrón) y vegetación xerófila (verde) igualmente alta en todas las bandas, tanto en el rango del espectro electromagnético correspondiente al visible (VIS), bandas 1, 2 y 3 de Landsat 5 TM, como al rango del infrarrojo cercano (NIR), banda 4. En cambio, la curva de los cultivos (roja) presenta un comportamiento marcadamente diferente en las dos fechas, en la curva elaborada con las muestras de noviembre se observa aumento significativo en los valores en las bandas del NIR.

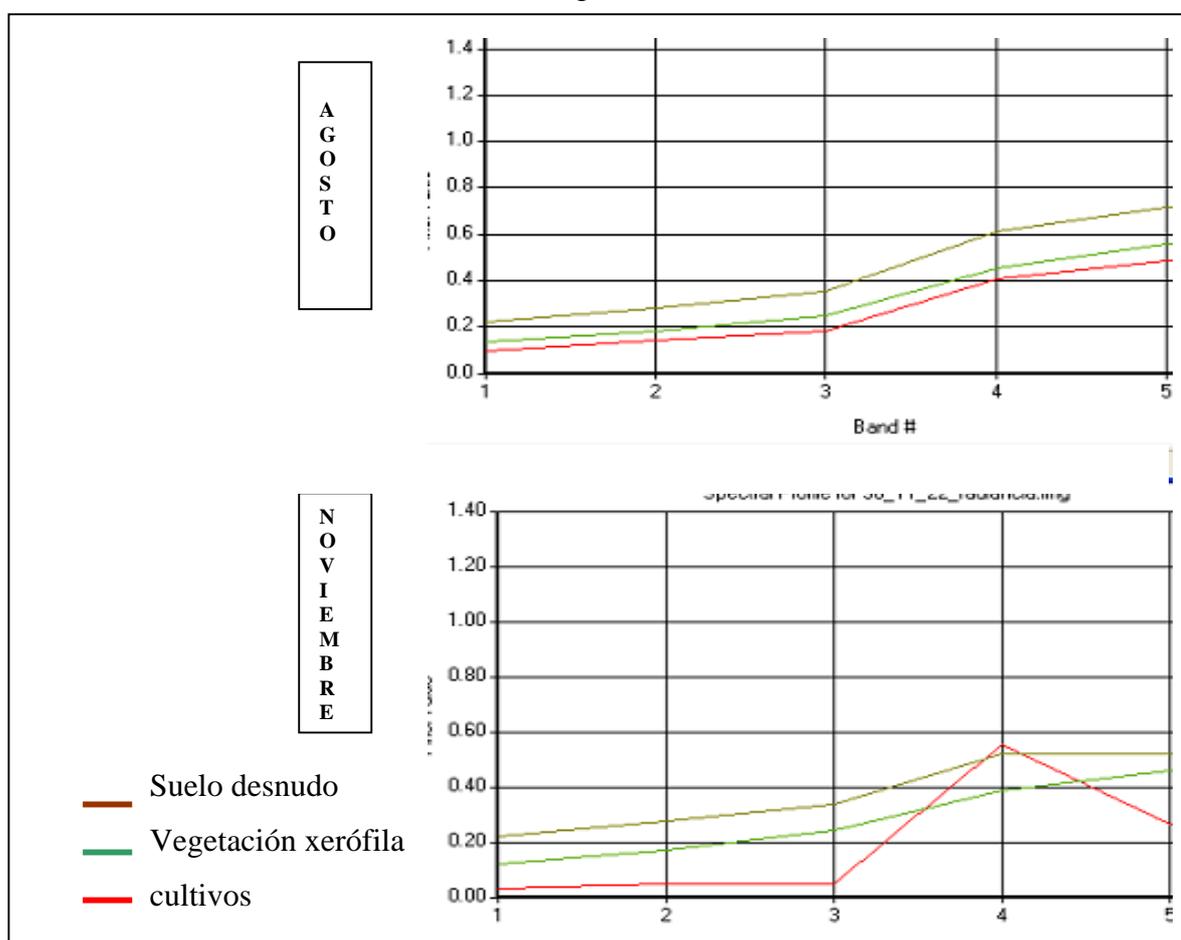


Figura 4. Curvas espectrales de tres coberturas de suelo diferentes.

5. Análisis estacional del NDVI en coberturas con vegetación natural

La vegetación natural de la zona de estudio se caracteriza por estepas arbustivas donde predominan las especies xerófitas y halófitas. El carácter predominantemente arbustivo de la vegetación propia de la provincia del Monte representa la región fitogeográfica más árida del país, Cabrera (1994). La vegetación natural, típica de zonas áridas, de carácter xerófila y en menor grado halófito. Estos tipos de vegetación poseen adaptaciones locales que afectan el comportamiento espectral, como ser gran cantidad de ramas y pocas hojas, con contenidos de

ceras, resinas y cristales que disminuyen la reflectividad en el infrarrojo cercano. Además, el componente suelo influye en forma significativa en la reflectividad total que registra el sensor del satélite, ya que el suelo se presenta en proporciones relativamente altas y variables, ya que prevalece el estrato arbustivo, Maldonado et al (1997).

Para realzar las coberturas vegetales de los cultivos se aplicó el índice de vegetación normalizado NDVI, Richards et al.(1998), a las imágenes de tres fechas del ciclo fenológico 1998-1999 y a las tres del ciclo 1999-2000. Se realizó la combinación RGB con las tres fechas de cada ciclo y se observó que las variaciones estacionales en los valores de NDVI de las coberturas que contienen la vegetación xerófila son casi nulas en las tres épocas del año (agosto, noviembre y enero). La **Figura 5** muestra la curva de NDVI en las tres fechas (agosto noviembre y enero). La curva se mantiene con valores bajos de NDVI (mas de 20 y menos de 40) es casi una línea recta denotando la baja variabilidad estacional de este tipo de vegetación natural.

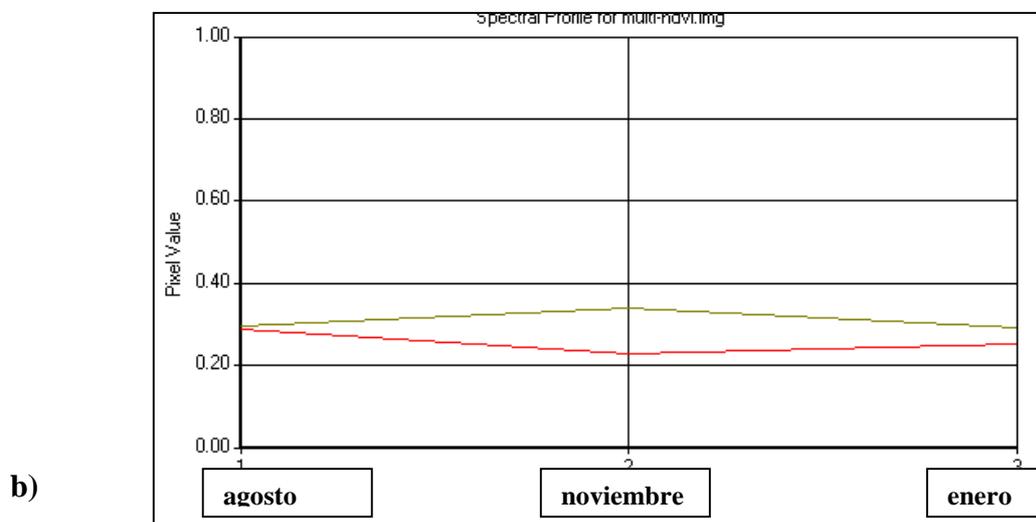


Figura 5. Curva de NDVI de la vegetación natural en tres estaciones del año

6. Análisis estacional del NDVI en coberturas con cultivos

Del análisis de la Tabla 2 se observa que los valores mínimos comienzan en 0.30 y los máximos alcanzan 0.90. Estos valores de mínimo y máximo son marcadamente superiores a los que provienen de la imagen sin corregir por atmósfera, generan una imagen realzada que favorece la diferenciación de los cultivos.

Tabla 2. Valores extremos del NDVI para los tres cultivos, en las tres épocas.

Ciclo fenológico	Vid	Olivo	Cultivos de invierno
98-99	0.35 - 0.40 (agosto) 0.80 - 0.85 (nov.) 0.80 - 0.90 (enero)	0.80 - 0.90 (agosto), 0.70 - 0.80 (nov.) 0.75 - 0.85 (enero)	0.30 - 0.45 (agosto), 0.30 - 0.45 (nov.) 0.75 - 0.85 (enero)
99-00	0.28 - 0.38 (agosto), 0.60 - 0.85 (octubre) 0.75 - 0.85 (enero)	0.65 - 0.85 (agosto), 0.70 - 0.80 (octubre) 0.75 - 0.85 (enero)	0.25 - 0.35 (agosto), 0.35 - 0.45 (octubre) 0.75 - 0.85 (enero)

Para analizar el comportamiento del NDVI en las coberturas con cultivos se obtuvieron las curvas que se observan en la **Figura 6** correspondientes a tres cultivos: vid, olivos y cultivos de verano (tomates y frutales), para las tres fechas consideradas (invierno, primavera y verano), en **Figura 6 a)** para la imagen del ciclo fenológico 1998-1999 y en **Figura 6 b)** para la imagen del ciclo fenológico 1999-2000.

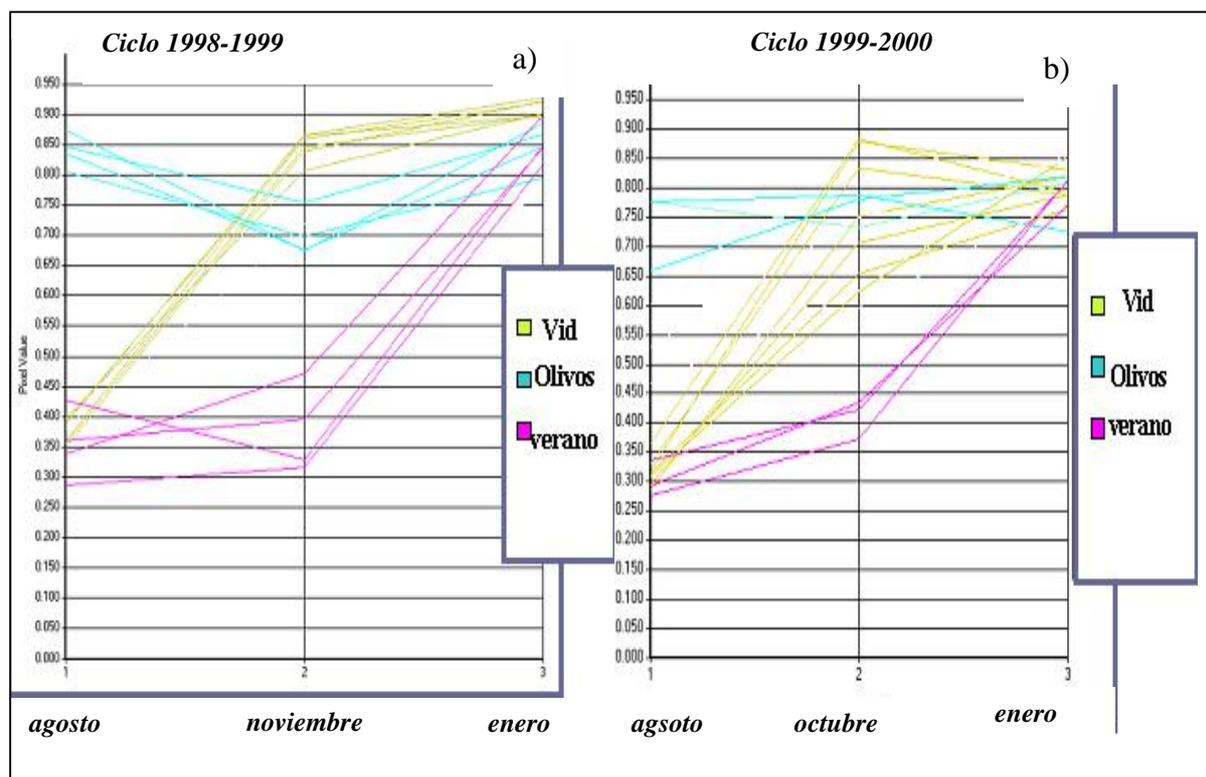


Figura 6: Curvas espectrales de los valores de NDVI

El análisis de la figura se desprende que el ciclo fenológico 99-00 presenta valores mínimos de 0.25 y máximos alcanzan 0.85. Si comparamos estos valores con los del ciclo fenológico 98-99, se observa que los valores mínimos y máximos son en general levemente menores. Un aspecto que puede haber intervenido es que la imagen multitemporal en este caso, se formó con una imagen de octubre, ya que la de noviembre no era utilizable por presencia de nubes. Los cambios más importantes se observan en la vid, debido a que la gran mayoría de las especies desarrollan su cobertura vegetal recién a principios de noviembre. Este efecto puede traducirse en una mayor dificultad en el proceso de clasificación, ya que la respuesta mínima del NDVI de la vid en octubre es muy baja y puede confundirse con la respuesta de otras coberturas.

En este estudio, se puso especial énfasis en la vid (representa más del 70% del total de los cultivos). Se graficaron también olivos y cultivos de verano, aunque éstos últimos no se consideraron en el cálculo de superficie cultivadas por su escasa representación. Las curvas de los cultivos de la Figura 6 diferencian los cultivos por sus valores de NDVI en las tres fechas y se corresponden con ciertos colores por tratarse de una combinación RGB.

7. Resultados

Identificación de cultivos

Inicialmente se realizó el análisis de los valores de NDVI de las tres fechas para identificar bien los principales cultivos de la zona. Los valores altos de NDVI en las tres imágenes (de 3 fechas diferentes) identifican el olivo. Los valores bajos en invierno y altos en primavera y verano permiten identificar la vid. Los altos NDVI en verano y bajos en invierno y primavera identifican a los cultivos de verano. Luego se aplicó clasificación multispectral supervisada y no supervisada a la imagen multitemporal conformada con las tres fechas mencionadas precedentemente.

Precisión de la Estimación

Con los resultados de la clasificación se realizaron los procesos de pos-clasificación o sea los cálculos de estimación de la precisión de la clasificación y del mapa temático mediante el análisis de la matriz de confusión. Para su elaboración se utilizaron no sólo las muestras de verificación obtenidas en los trabajos de campo de enero de 1999 y 2000, sino también algunas observaciones realizadas con fotos aéreas.

En las Tablas 3 y 4 se muestran las matrices de confusión de los dos ciclos considerados. En ellas se listan 3 clases: 1 - vid, 2 - olivo y 3 - sin interés. Esta última comprende las coberturas sin cambio (vegetación natural, suelo desnudo, suelo salinizado y nuevos cultivos) y los cultivos de verano e invierno que abarcan muy poca superficie. El único cultivo para el que se calculó la precisión es la vid, ya que no es posible obtener un número suficiente de muestras de olivo ni de cultivos de verano e invierno, porque ambos cubren una superficie poco significativa del área de estudio.

Tabla 3. Matriz de confusión correspondiente al ciclo fenológico 1998-1999.

Clase	1 vid	2 olivo	sin interés	Clasific. total	Precisión Usuario
1 vid	36			36	100%
2 olivo	3	3	2	8	---
3 sin interés	1	1	28	30	93.33%
Total referencia	40	4	30	74	
Precisión Método	90,00%		93.33%		---

Del análisis de la Tabla 3 se desprende que de las 40 muestras de vid tomadas en el campo, 35 fueron clasificadas como vid por el clasificador Isodata, 3 fueron clasificadas como olivos y una como clase sin interés. Esto da como resultado que la precisión del clasificador es del 90.00 %. Si en cambio consideramos la precisión del mapa temático, la precisión asciende a 100%, debido a que ninguna muestra de las otras clases se confundió con vid. Es decir que el usuario encontrará que todo lo que figura como vid en el mapa temático efectivamente lo es.

Tabla 4. Matriz de confusión correspondiente al ciclo fenológico 1999-2000

Clase	1 vid	2 olivo	3 sin interés	Clasific. total	Precisión usuario
1 vid	37	2	2	41	90,24%
2 olivo	2	2	1	5	40,00%
3 sin interés	2		17	19	89,45%
Total referencia	41	4	20	65	--
Precisión Método	90,24%	--	85,00%		

Del análisis de la Tabla 4 se desprende que de las 41 muestras de vid tomadas en el campo, 37 fueron clasificadas como vid por el clasificador Isodata, 2 fueron clasificadas como

olivo y 2 como clase sin interés. Esto da como resultado una precisión del clasificador de 90.24%, que en este caso coincide con el del usuario.

De la comparación de las Tablas 3 y 4 se desprende que para los dos ciclos estudiados los resultados son parecidos: en ambos casos la precisión de la vid es superior al 90%, o sea muy buena. En ambos casos, también la principal confusión se produce entre el olivo y la vid. En el caso del ciclo fenológico 1999/2000, los valores de confiabilidad bajaron levemente, muy probablemente influidos por la imagen de primavera usada en este ciclo que corresponde a octubre y no a noviembre, como fuera elegida inicialmente

La dificultad encontrada para clasificar el olivo y los cultivos de invierno en la zona de estudio se debe fundamentalmente a su escasa presencia. Cabe mencionar que en otras zonas del valle se observó que cuando el cultivo olivo y los cultivos de invierno están en buen estado, este es el caso en el departamento de Pocito, éstos se pueden diferenciar bien.

8. Conclusiones

- La discriminación de cultivos fue posible sólo utilizando imágenes multitemporales: La *vid* se identifica por la baja cobertura vegetal en invierno y alta en primavera y verano. El *olivo* se logra diferenciar bien por los valores uniformemente altos de los *índices de vegetación* en las tres imágenes: invierno, primavera y verano.
- La *precisión de la estimación* de vid por clasificación no supervisada resultó del 90.00 %. Sin embargo, si consideramos la *precisión del mapa temático*, la precisión asciende al 100%. Esto es debido a que ninguna muestra de las otras clases se confundió con vid. Es decir, que un potencial usuario encontrará que todo lo que figura como vid en el mapa temático efectivamente lo es.
- El *olivo* y los *cultivos de invierno* en otras zonas del valle, como en el departamento de Pocito, se observó que cuando el cultivo *olivo* y los *cultivos de invierno* están en buen estado, éstos se pueden diferenciar bien.
- Las fechas de las imágenes siempre se deben elegir cuidadosamente según el ciclo fenológico de los cultivos presentes en la zona. En el caso del *ciclo fenológico 1999/2000*, los valores de confiabilidad bajaron levemente, influidos por la imagen de primavera usada en este ciclo que corresponde a octubre y no a noviembre que es la adecuada.

Bibliografía

- Cabrera, A.L. **Regiones Fitogeográficas Argentinas. Enciclopedia de Agricultura y Jardinería.** Tomo II. Fascículo 1. Editorial Acme. 1994, 156p.
- Lizana, C., Marquez, E., Martinez, M. **Atlas Socioeconómico Digital del Valle de Tulúm y Ullúm-Zonda.** San Juan: CEFOCCA – UNSJ, 2004 [CD – ROM].
- Maldonado F., Salinas de Salmuni G., Maraz J. y C. Puigdengolas. **Aplicación de Imágenes ERS-1 al estudio de la Degradación de Tierras en el Gran Bajo Oriental de Valle Fértil San Juan Argentina.** In: The Use and application of ERS in America Latina. Netherlands: ESA publication division, p.77-82, 1997.
- Salinas de Salmuni, G., Maldonado, F., Ibañez G. y Kulichevski L. **Discriminación de cultivos de vid y estimación de áreas mediante Procesamiento Digital de Imágenes Satelitarias.** En VII Simposio de Especialistas Latinoamericanos de Percepción Remota y S.I.G., SELPER". Mérida, Venezuela. 1997. Actas p. 35-46.CD-ROM.
- Richards, J.A.; Jia, X. 1998. **Remote sensing digital image analysis.** 3ª ed. Germany: Springer-Verlag. 363p.