



## Estimación de la cobertura vegetal en el Departamento de Lavalle, Mendoza.

**Darío Soria<sup>1</sup> (a), Mario Salomón (b)**  
**Elena Abraham (a), Ricardo Fernández (a), Cecilia Rubio (a)**

(a) Laboratorio de Desertificación y Ordenamiento Territorial  
Instituto Argentino de Zonas Áridas, Av. Ruíz Leal s/n Parque General San Martín.  
Mendoza - Argentina

(b) Asociación de Inspecciones de Cauce. 1° Zona Río Mendoza. Ricardo Videla 8325.  
Luján de Cuyo. Mendoza. Argentina

### RESUMEN

Se estimó la cobertura vegetal en el departamento de Lavalle, ubicado en el NE de Mendoza, ambiente árido e hiperárido de la región centro oeste de Argentina. Para la estimación se utilizó el Índice Verde Normalizado (NDVI) y el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI).

Se realizaron relevamientos de campo en sitios muestrales, cuantificándose la cobertura vegetal mediante la aplicación de métodos Point Quadrat y Braun Blanquet.

Para el procesamiento digital de imágenes (PDI) se utilizaron cuatro escenas completas del sensor LandSat TM5 de fecha contemporánea a las observaciones en el terreno, coincidente con el ciclo vegetativo de la flora natural y que corresponden a la temporada estival 2005-2006.

Se calibraron los resultados de dichos índices y los datos de observación de campo sobre la cubierta vegetal mediante análisis estadístico.

El ajuste estadístico, siguiendo el modelo recíproco de Y [ $Y=1/(a+b*X)$ ], entre las observaciones de campo y los índices aplicados dio como resultado un coeficiente de correlación del  $r = -0,861$  con una bondad de ajuste del  $r^2 = 74.2\%$ .

Esta evaluación realizada en un área de 1.000.000 ha, permite contar con información base de tierras sometidas a procesos de desertificación. De esta manera se logró un documento de consulta para grupos interdisciplinarios del Instituto Argentino de Zona Áridas y organismos vinculados a la temática.

Palabras claves: desertificación, sensores remotos, fisonomía vegetal.

### ABSTRACT

Our group estimated the vegetal cover at the Department of Lavalle, located at the NE of Mendoza, in the arid and hyper-arid environment of the central west region of Argentina. The estimation was done with the Normalized Green Index (NGI) and with the Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI).

The group carried out field surveys in sampling sites, quantifying the green cover applying the Point Quadrat and Braun Blanquet methods.

<sup>1</sup> Contacto autor: Te: + 54-261 5244102 Fax: 54-261 5244101  
Correo electrónico: [ndsoria@lab.cicyt.edu.ar](mailto:ndsoria@lab.cicyt.edu.ar)



For the digital image processing (DIP) we used four complete scenes of the TM5 Landsat sensor from a date contemporaneous to the field observations, coinciding with the vegetative cycle of the natural flora and corresponding to the 2005-2006 summer season.

We calibrated the results from said indexes and the field observation data on the vegetal cover through statistical analysis.

The statistic adjustment, as per the reciprocal model of Y [ $Y=1/(a+b*X)$ ], among field observations and applied indexes resulted in a correlation coefficient of  $r = -0.861$  with  $r^2= 74.2\%$  goodness of defeat.

The evaluation, done in a 1,000,000 hectares area, renders base information from lands submitted to desertification processes. The work has resulted in a consulting document for interdisciplinary groups at the Instituto Argentino de Zonas Áridas and for institutions dealing with the subject.

Keywords: desertification, remote sensing, vegetal physiognomy.

## Introducción

Se estimó la cobertura vegetal en el departamento de Lavalle, ubicado en el NE de Mendoza, ambiente árido e hiperárido de la región centro oeste de Argentina. Para la estimación se utilizó el Índice Verde Normalizado (NDVI) y el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI).

La cubierta vegetal se midió mediante relevamiento de campo y con la aplicación de los métodos Point Quadrat y Braun Blanquet.

Para el procesamiento digital de imágenes (PDI) se utilizaron cuatro escenas completas del sensor LandSat TM5 de fecha contemporánea a las observaciones en el terreno, coincidente con el ciclo vegetativo de la flora natural y que corresponden a la temporada estival 2005-2006.

Se calibraron los resultados de dichos índices y los datos de observación de campo sobre la cubierta vegetal mediante análisis estadístico.

El ajuste estadístico, siguiendo el modelo recíproco de X [ $Y = a + b/X$ ], entre las observaciones de campo y los índices aplicados dio como resultado un coeficiente de correlación del  $r= -0,8653$  con una bondad de ajuste del  $r^2= 74.8857\%$ .

Esta evaluación, realizada en un área de 1.000.000 ha aproximadamente, permite contar con información base de tierras sometidas a procesos de desertificación. De esta manera se logró un documento de consulta para grupos interdisciplinarios del Instituto Argentino de Zonas Áridas y organismos vinculados a la temática.

## Material y mapa de referencia del sitio de trabajo

Para el cálculo de los índices, se utilizaron escenas satelitales completas del sensor LandSat TM5 (febrero 2005) con fechas contemporáneas a las observaciones realizadas en el terreno. A partir de la tarea ejecutada sobre corrección geométrica y



concatenación de las escenas satelitales, se realizó el montaje del mosaico digital del sector de trabajo por cada banda espectral (Soria, 2005)

### Métodos de evaluación de la cubierta vegetal

Para realizar el inventario de la vegetación en los sitios muestrales, se utilizaron dos métodos de relevamiento y análisis: Point Quadrat y Braun Blanquet, que permiten la determinación de la fisonomía, florística y ecología de los sitios seleccionados en el área de estudio.

Para la selección de los sitios donde se realizó el relevamiento integral del paisaje, siendo este el más adecuado para identificar unidades con una distribución espacial representativa para un área extensa de 10.000 km<sup>2</sup> (Figura 1)

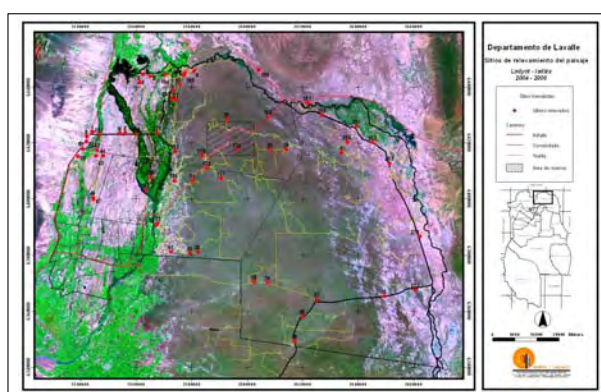


Figura 1 . Distribución de sitios de relevamiento integral del paisaje

### Calculo de NDVI - SAVI

Se efectuó procesamiento digital de imágenes (PDI) y se calculó el Índice Verde Diferenciado Normalizado (NDVI) y el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) para el sector de trabajo. Ambos índices resultan del cociente normalizado entre bandas y que permite discriminar dos cubiertas con diferente comportamiento como suelo y vegetación (Chuvieco, E. 2000). Para diferenciar masas vegetales a partir de estos índices, se utiliza la característica de la signatura espectral de la vegetación sana al mostrar un claro contraste entre las bandas visibles (0.6 a 0.7 μm) y el infrarrojo cercano (0.7 a 1.1 μm). “Por esta razón, se produce un notable contraste espectral entre la baja reflectividad de la banda roja del espectro y la del infrarrojo cercano, lo que permite separar, con relativa claridad, la vegetación sana de otra cubierta” (Chuvieco, ídem).

Este índice de vegetación diferenciado normalizado (NDVI), se obtiene a partir de las bandas 4 y 3 del sensor Landsat TM, siguiendo la expresión (1.0) :

$$1.0 \quad NDVI_i = \frac{\rho_{i,IRC} - \rho_{i,R}}{\rho_{i,IRC} + \rho_{i,R}}$$

donde:  $\rho_{i,IRC}$  corresponde al valor de reflectividad del píxel de la banda 4 TM y  $\rho_{i,R}$  el valor de reflectividad del píxel de la banda 3 TM



Para el cálculo del NDVI, considerando solo los datos de los niveles digitales (ND), se realizó una corrección que permitió la equivalencia del cómputo con valores de reflectividad ( $\rho$ ) (Guot y Gu, 1994, en Chuvieco, ídem) (2.0)

$$2.0 \quad NDVI_{TM,p} = \frac{ND_{IRC} - 0.801 ND_R}{ND_{IRC} + 0.801 ND_R}$$

Varios autores han puesto de relieve el efecto de factores externos en el valor del NDVI (Matsumoto, M. H. y Bittencourt, M. D. 2001) Especialmente en el trabajo en zonas semiáridas, donde la contribución del suelo es muy importante y se ha comprobado que el NDVI no resulta una medida muy consistente de las condiciones de la vegetación. En consecuencia, se propone corregir la fórmula anterior incorporando un parámetro (L) relacionado con la reflectividad del suelo (Huete, 1987, en Chuvieco, E. ídem). De esta forma, se calculó el índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI) (3.0).

$$3.0 \quad SAVI_{i,j} = \frac{\rho_{i,j,IRC} - \rho_{i,j,R}}{\rho_{i,j,IRC} + \rho_{i,j,R} + L} (1 + L)$$

donde L, indica una constante para ajustar la línea de vegetación - suelo al origen. Se indica un posible valor en torno de 0.5 (Huete et al., 1994, en Chuvieco, E. ídem).

Tomando en cuenta las consideraciones realizadas, se utilizó la siguiente expresión basada en el cálculo del índice SAVI, para el análisis de la cobertura vegetal en el área de estudio. (4.0)

$$4.0 \quad SAVI_{i,j} = \frac{ND_{IRC} - ND_R * 0.801}{ND_{IRC} + (NC_R * 0.801) + L} (1 + L)$$

Finalmente, y con el objeto de manejar valores del SAVI enteros, se realizó un escalado de los datos con extremos entre el mínimo y el máximo aplicando una función lineal, obteniendo una imagen resultante con valores entre un rango de 0 a 255. La ecuación utilizada fue la siguiente (5.0).

$$5.0 \quad C'_{i,j} = \frac{SAVI_{ij} - C_{mín}}{C_{máx} - C_{mín}}$$

### Relación de datos: sitios de observación en el terreno y valores SAVI.

Realizado el relevamiento integral del paisaje y de la vegetación y el cálculo del SAVI, se relacionaron espacialmente los puntos de observación en el terreno con los valores del índice obtenidos desde el procesamiento digital de la imagen

### Análisis Estadístico Univariado

El análisis estadístico consistió en realizar un resumen estadístico por serie de datos y se compone del cálculo de varios estadísticos y gráficos que ponen de manifiesto el comportamiento de los datos.



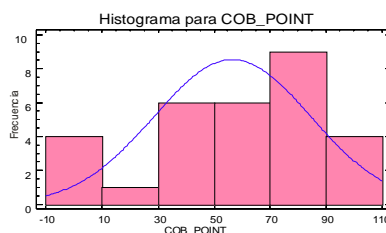
### Prueba de Normalidad de la distribución

Para este análisis de ajuste de la distribución a la normal, se realizaron pruebas del Chi cuadrado, tabla 1; la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov D; como también se graficó la distribución de frecuencia con el ajuste de la curva normal para la variable analizada, figura 2.

**Tabla 1.** Chi-Square Test

#### Test de bondad de ajuste para COB POINT

Límite inferior	límite superior	Frec. Obs.	Frec. Esp.	Chi-Sqr
menor a	29.441	5	5	0.00
29.441	44.490	3	5	0.80
44.490	56.567	5	5	0.00
56.567	68.644	4	5	0.20
68.644	83.692	9	5	3.20
83.692		4	5	0.20



**Figura 2.** Distribución de frecuencia y ajuste.

La prueba del chi-cuadrado divide la gama de COB POINT en intervalos separados y compara el número de observaciones en cada clase al número esperado basado en la distribución. La prueba de Kolmogorov-Smirnov computa la distancia máxima entre la distribución acumulativa de COB POINT y del CDF (Función de Densidad Acumulada) de la distribución normal. En este caso, la distancia máxima es 0,129974. La otra estadística de FED (Función de Densidad de Probabilidad) compara la función de distribución empírica al CDF de diversas maneras. Puesto que el valor de probabilidad P-valor más pequeño entre las pruebas realizadas es mayor que o igual a 0,10, no podemos rechazar la idea que COB POINT viene de una distribución normal con el 90% o de una confianza más alta. Por lo que se afirma que COB POINT se ajusta adecuadamente a una curva normal.

### Resumen Estadístico para SAVI

Variable: **SAVI**, corresponde al valor del cociente normalizado ajustado al suelo, entre bandas y que permite discriminar dos cubiertas con comportamiento muy diferentes como suelo y vegetación. El valor del índice fue escalado a número entero y en el rango entre 0 y 255.

El total de observaciones realizadas fue de 50 (cincuenta), con un rango de valores observados entre 94 y 152



### Análisis estadístico

Para medir la relación existente entre las variables estudiadas, se utilizó el análisis de regresión, que es una herramienta matemática que cuantifica la relación entre una variable dependiente y una o más variables independientes.

Se probaron diferentes tipos de modelo de ajuste, verificando que el Recíproco  $-X$ , presenta el mayor valor de correlación y el que mejor explica el ajuste de los datos a la recta de regresión. Finalmente, se estimaron los parámetros para el modelo optimizado y se probaron las predicciones que resultan con de aplicar el modelo antes señalado. En tabla 3 se pueden comparar ambos modelos alternativos.

Modelos	Correlación R	R2
Reciprocal-X	-0,8653	74,88%
Logarithmic-X	0,8584	73,69%
Square_root-X	0,8536	72,87%
Linear	0,8480	71,92%
Square_root-Y	0,7952	63,23%
Reciprocal-Y	<no_fit>	-
Double_reciprocal	<no_fit>	-
Exponential	<no_fit>	-
Multiplicative	<no_fit>	-
S-curve	<no_fit>	-
Logistic	<no_fit>	-
Log_probit	<no_fit>	-

**Tabla 3.** Ajustes realizados.

### Análisis de regresión simple.

Para el análisis se considero como variable dependiente el valor de COB POINT, mientras que el valor de SAVI como independiente y se calcularon los parámetros según la siguiente expresión

Modelo recíproco de X (6.0):

$$6.0 \quad Y = a + b/X$$

El resultado del análisis de correlación se observan en la tabla siguiente (tabla 4)

**Tabla 4**

Estadístafos	Valor
Coefficiente de Correlación	-0,865308
R <sup>2</sup>	74,8757%
R <sup>-2</sup> (ajustado según grados de libertad)	74,3295 %
Error Standard de estimación.	15,0296



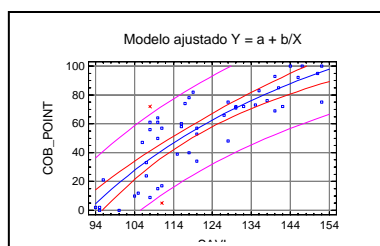


Error de media absoluta	11,9072
Estadístico de Durbin-Watson	1,93416 (P=0,3920)
Autocorrelación. Ronda 1 residual	0,0109577
Número de filas excluidas	2

los resultados de este análisis muestran el ajuste al modelo recíprocal-X y que describe la relación entre COB POINT y SAVI. La ecuación final para el ajuste del modelo es:

$$\text{COB\_POINT} = 244.3 - 22529.0 / (\text{SAVI})$$

Se calculó el valor de probabilidad (P-value) para la prueba de bondad de ajuste del ANOVA I, este valor es menor para el valor crítico de de alfa = 0.01, lo que comprueba una relación estadísticamente significativa entre SAVI y COB POINT para un nivel de confianza del 99%.



**Fig.3.** Ajuste de modelo de regresión.

La estadística del R<sup>2</sup> indica un buen ajuste al modelo curvilíneo de los datos. Este modelo explica el 74,8757% de la variabilidad de SAVI luego de transformar los datos a una escala recíproca para linearizar el modelo. Figura3.

En último lugar, el coeficiente de correlación R es igual a -0,865308, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

### Representación espacial de los resultados

El modelo de análisis desarrollado, permitió mantener la relación espacial con una alta resolución espacial. Esto posibilitó sintetizar los resultados en un documento cartográfico que expresa la distribución de la cobertura de la vegetación en el área de trabajo. En la figura 4, se observa la representación de la distribución de la cobertura vegetal.

El nivel de desagregación de los datos ha permitido tabular la cobertura vegetal expresadas en valores porcentuales, figura 5. Este gráfico muestra la estimación areal, expresada en porcentaje para cada clase de cobertura vegetal durante el período estival 2005/2006. Se estableció este resultado como estado base de la distribución de este variable en relación con las tierras sometidas a procesos de desertificación.

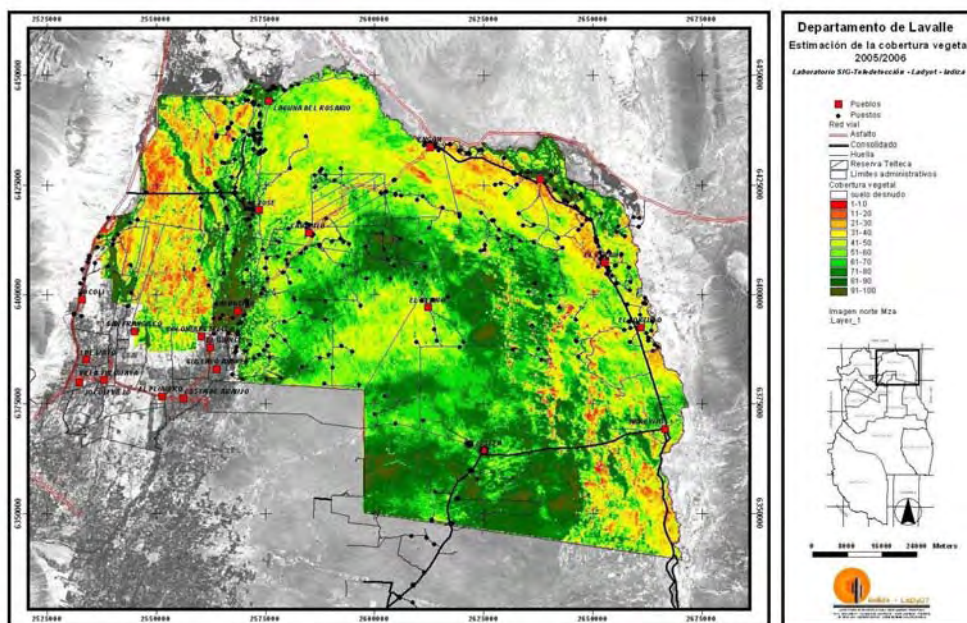


Figura 4. Distribución de la cobertura vegetal.

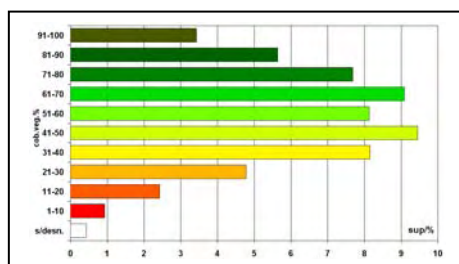


Figura 5. Cobertura vegetal por rango.

### Conclusiones

Se logra establecer un procedimiento objetivo de evaluación de tierras para el secano de Lavalle.

Se verifica que existe una fuerte relación de la cobertura vegetal y el índice de vegetación ajustado al suelo en el secano de Lavalle.

Se logra establecer el modelo matemático que explica esta relación calculando objetivamente sus factores.

Se establece un modelo válido de evaluación de la cobertura de la vegetación como sistema de monitoreo.

Se obtiene información base de tierras sometidas a procesos de desertificación para el área de trabajo de 1.000.000 de hectáreas, aproximadamente.





Se logra un documento cartográfico, de alta resolución y datos tabulados, de consulta para grupos interdisciplinarios del Instituto Argentino de Zonas Áridas y organismos vinculados a la temática.

## Referencias

Alianza Jatun Sacha - Cdc Ecuador. Departamento de información Ambiental. Cobertura vegetal y uso actual del suelo. En:  
[http://uazuay.edu.ec/promsa/metadatos/c-uso\\_de\\_suelo.doc](http://uazuay.edu.ec/promsa/metadatos/c-uso_de_suelo.doc)

Bosque Sendra, J. 1992, Sistemas de información geográfica. Madrid, Rialp.

Brunk H.D. 1975. An Introduction to Mathematical Statistics. Third Edition. John Wiley & Sons. New York.

Chuvieco, E. 2000. Fundamentos de Teledetección Espacial. Ediciones Rialp, S.A. Madrid.

Cicero, A. 2005. Evaluación Agrometeorológica de Indicadores de esquía en la provincia de Mendoza. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Escuela de Graduados. Córdoba.

Del Valle, H., Elizalde N.;Gagliardini D. y Milovich, J. 1996. Distribución y cartografía de la desertificación en la región patagónica. Lab. de Teledetección y SIG. INTA EEA Chubut. 1997. Centro Regional Patagonia Sur: 19 pp. En: RIA. v. 28, no. 1. p. 1-24

Gamir Orueta, A., Ruiz Pérez, M. Y J. Seguí Pons. 1994. Prácticas de análisis espacial. Barcelona, oikos-tau.

García-Haro et al. 1999. Validación de una estrategia basada en el análisis de mezclas espectrales a partir de datos ATM. En: Revista de Teledetección.

HUNT, D. 1996. Sistemas de Gestión medioambiental. Principios y prácticas. Series Mc Gran Hill de Management, Madrid.

Información Climática. Provincia de Mendoza. Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV). Instituto de Ciencias Humanas, Sociales y Ambientales. INCIHUSA – CONICET. Indicadores espectrales. En:  
<http://www.fao.org/ag/agl/agll/lada/arg/Archivos/07%20-%20Degradacion/Indicadores/Indicador10.htm>

Matsumoto, M. H. y Bittencourt, M. D. 2001. Correlação Entre Algumas Fisionomias de Cerrado, no Vale do Paraíba, e Classes de Índices de Vegetação Obtidos Espectralmente

Anais X SBSR, Foz do Iguaçu, 21-26 abril 2001, INPE, p. 1665-1672, Sessão Poster - Iniciação Científica.  
<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2001/09.24.10.23/doc/1665.1672.284.pdf>



Maccagno, P., Abraham, E. y Navone, S. Principales Indicadores por Proyecto. En: <http://www.fao.org/ag/aql/agll/lada/arg/Archivos/07%20-%20Degradacion/Indicadusasos.htm>

Mao, C., Perdomo, R., Palacios, E. y Nieto, D. 1997. Ciencia y tecnología para analizar el espacio. SIG y GPS. Contribuciones Científicas GAEA, 58 Semana de Geografía, Corrientes, Sociedad Argentina de Estudios Geográficos, pp.177-190.

Minkoski. 1970. Citado en: DACEY, M.F. Linguistic aspects of maps and geographic information. Ontario Geography.