

**USO DEL ANÁLISIS DE IMÁGENES EN EL DIAGNÓSTICO
DEL “VIRUS DE LA TRISTEZA DE LOS CÍTRICOS” EN
LIMONEROS, VALLE DE MALLARAUCO, CHILE¹**

**Use of image analysis in the diagnosis of “*Citrus tristeza virus*”
on lemon trees, Mallarauco Valley, Chile¹**

Rafael Novoa S.A.² y Guido Herrera M.²

A B S T R A C T

With the objective of evaluating the use of image analysis in the detection of “*Citrus tristeza virus*” on lemon trees (*Citrus limon* (L.) Burm.) and to calibrate a screening method for the disease, color aerial photographs of sectors with lemon orchards in the Mallarauco Valley; Chile, and samples of healthy plants and plants with virus symptoms were taken. Elisa tests for the virus and analysis of the spectral signatures of the sampled sites were performed. Simple visual inspection of the photographs was enough to discriminate between areas with healthy and sick plants. The reflectivity of the three bands—blue, green and red—was higher in sick plants than in healthy plants. Moreover, the discrimination between sectors of diseased plants was best on the red band. A significant correlation coefficient, 0.63, was found between sectors with ill plants and reflectance for the red band. On correlating the number of diseased plants with the area under curve of the spectral signatures a slightly superior correlation coefficient, 0.64 significant at 95%, was obtained. This implies that the technique not only can be used to discriminate between healthy and ill plants but also to evaluate the percentage of diseased plants in each sector of the orchard.

Key words: remote sensing, image analysis, *Citrus tristeza virus*, lemon trees, diseases.

R E S U M E N

Con el objetivo de evaluar el uso del análisis de imágenes en la prospección de la enfermedad “*Virus de la tristeza de los cítricos*” que afecta a limoneros (*Citrus limon* (L.) Burm.) y calibrar un método de prospección de la enfermedad, en huertos de limonero del Valle de Mallarauco, Chile, se tomaron muestras de sectores con plantas de limonero con síntomas de ataques de virus y otras sanas, y se tomaron fotografías aéreas en color. Se realizó el test de ELISA para detectar el virus en las plantas, y análisis de las firmas espectrales de los sectores muestreados. La simple inspección visual de una imagen de un huerto permitió establecer áreas enfermas con tristeza y discriminarlas de las áreas con plantas sanas. Se pudo ver que las reflectancias en las tres bandas, azul, verde y roja, fueron mayores en plantas enfermas que en sanas. Por otra parte, la discriminación entre sectores de plantas enfermas fue mejor en la banda roja. Se obtuvo un coeficiente de correlación de 0,63 significativo, entre sectores de plantas con diverso número de plantas enfermas y las reflectancias de la banda roja. Al correlacionar el número de plantas enfermas con las áreas bajo las curvas de reflectancias se obtuvo un coeficiente de correlación levemente superior, 0,64, significativo al 95%. Ello implica que la técnica no sólo permite diferenciar árboles enfermos de sanos, sino también da una idea del porcentaje de árboles enfermos en cada sector del huerto.

Palabras clave: percepción remota, análisis de imágenes, *Virus de la tristeza de los cítricos*, limoneros, enfermedades.

¹Recepción de originales: 27 de noviembre de 2000.

²Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La Platina, Casilla 439 Correo 3, Santiago, Chile. E-mail: novoa@platina.inia.cl *Autor para correspondencia.

INTRODUCCIÓN

Las técnicas tradicionales de prospección de enfermedades y de problemas nutricionales son tediosas, requieren mucho tiempo, son poco precisas, difíciles de actualizar, destructivas e invasivas. Sin embargo, el avance en el análisis de imágenes, la percepción remota y los sistemas de información geográfica (SIG) permiten superar las limitaciones de los métodos tradicionales y avanzar en nuevas aplicaciones.

Desde hace más de 20 años se han venido usando imágenes satelitales y fotografías aéreas para diversas aplicaciones (Nilsson, 1995; Valor y Caselles, 1996; Lenney *et al.*, 1996). Entre ellas, por ejemplo, se han empleado para estimar los niveles de biomasa de diferentes cultivos (Quarmby *et al.*, 1993; Akiyama e Inoue, 1996) y praderas (Pearson y Miller, 1972; Everitt *et al.*, 1992; Anderson *et al.*, 1993; Bonifacio *et al.*, 1993; Paruelo *et al.*, 1993; Paruelo y Golluscio, 1994), para estimar el crecimiento de bosques (Sader *et al.*, 1994), para la ubicación y estimación de áreas más susceptibles a incendios (Burgan *et al.*, 1996), en la obtención de estadísticas agrícolas (Benedetti y Rossini, 1993), para evaluar el manejo y crecimiento de maíz (*Zea mays* L.) y soja (*Glycine max*) (Thenkabail *et al.*, 1992; Daughtry *et al.*, 1992) o trigo (*Triticum aestivum* L.) (Wiegand *et al.*, 1992; Gupta, 1993a,b), situaciones de sequía (Liu *et al.*, 1994), incidencia de enfermedades (Andersson, 1993), determinar la fenología de bosques y cultivos (Reed *et al.*, 1994), estimar la humedad de la zona radicular (Rao *et al.*, 1993), evaluar la fotosíntesis y eficiencias estomáticas (Myneni y Ganapol, 1992), medir índice de área foliar y fracción de la radiación fotosintéticamente activa que es interceptada (Law y Waring, 1994), monitorear la evapotranspiración y la biomasa (Rosema, 1993), obtener relaciones entre el índice de diferencia normalizada (NDVI) y la banda térmica (Van de Griend y Owe, 1993).

De acuerdo a los trabajos citados es posible concluir que parece bien establecido que el uso del análisis de imágenes junto a los sistemas de información geográficas (SIG) conforman un poderoso conjunto de herramientas para abordar problemas que tienen connotación geográfica (Eastman, 1997).

Las aplicaciones de estas técnicas en el campo de la fitopatología (Nilsson, 1995) y en cítricos en particular, han sido exploradas desde hace algunos años (Shih *et al.*, 1986; Edwards *et al.*, 1986; Lee, 1989; Blazquez, 1989; Fletcher *et al.*, 2001) con resultados promisorios.

Por otra parte, siempre hay peligro de que nuevas enfermedades o plagas aparezcan en el campo. Por ello sería muy útil disponer de un método rápido que permita conocer, dimensionar y evaluar con precisión las áreas afectadas.

La "tristeza de los cítricos" es una enfermedad causada por un *Closterovirus* que es transmitido por áfidos y cuya presencia ha sido informada en el país (Weathers *et al.*, 1969; Sánchez y Weathers, 1971; Herrera *et al.*, 1995). Se estima que la enfermedad está atacando, desde hace 10 años a la fecha, a una gran proporción de las 2.000 ha de citrus plantados en Chile. Ello implica, en opinión de los autores, un daño potencial de aproximadamente 2.500 millones de pesos considerando las pérdidas de la inversión, manutención y producción de estos huertos.

Los objetivos de este trabajo fueron evaluar el uso del análisis de imágenes y la percepción remota en la prospección de la tristeza de los cítricos que afecta a limoneros, y calibrar un método de prospección de la tristeza de los cítricos basado en estas técnicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en el Valle de Mallarauco (33°36' lat. Sur y 71°10' long. Oeste), en la Provincia de Melipilla, Región Metropolitana, entre marzo y julio de 1997.

Toma de muestras de plantas con síntomas de virus

Se visitó la zona de Mallarauco y se tomaron muestras de cuatro huertos de limoneros (*Citrus limon* (L.) Burm.) var. Eureka en producción, de 8 años de edad, y con plantas sobre patrón *Citrus macrophylla*, conocido como susceptible a tristeza. En cada huerto se eligieron dos sitios de 25 plantas cada uno, cinco plantas en cinco hileras adyacentes: uno con plantas claramente enfermas, que mostraban plantas de poco crecimiento, hojas amarillas, concavidad en el xilema y gomosis en el patrón, típico del daño producido por el virus, y otro con plantas que no mostraban síntomas, aparentemente sanas (Herrera *et al.*, 1995). Se tomaron muestras de brotes de crecimiento, de los últimos 10 cm, de las 25 plantas de cada sitio para los análisis virológicos. El material muestreado se llevó desde el campo al laboratorio en un contenedor con hielo, que mantuvo una temperatura entre 15 y 18 °C durante el traslado. Las muestras se tomaron en la última semana del mes de marzo en los huertos 1 y 2, en sitios con árboles normales (sitios 1 y 3), y con árboles enfermos (sitios 2 y 4) y una semana más tarde, el 7 de abril, en los huertos 3 y 4 en sitios con árboles normales (sitios 6 y 7) y con árboles enfermos (sitios 5 y 8) (Cuadro 1).

Adquisición, toma y análisis de imágenes de terreno

El 27 de julio de 1997 se tomó fotografía aérea a color de los cuatro huertos estudiados y del Valle de Mallarauco, en escala aproximada 1:10.000. Las fotografías fueron tomadas por la empresa Profosur S.A., de Concepción, con una cámara Hasselblad de 70 mm. Se eligió un día sin nubosidad, muy despejado, situación bastante común en este valle. Se pudo apreciar bastante detalle de los huertos en las fotos 1:10.000, lo cual mejoró apreciablemente al ampliar las fotos a 1:5.000 y mejor aún 1:2.500. El grado de detalle posible de apreciar fue muy bueno en fotos 1:2.500, ya que el tamaño del pixel es

inferior a 1 m y cada árbol estaba representado por varios pixeles.

Análisis de muestras y de datos

Análisis virológicos

Los análisis se realizaron en tejido meristemático, limbo de hojas y pecíolos de las muestras colectadas. Se usó la prueba ELISA para la reacción de antisueros específicos para la detección del *Virus de la tristeza de los cítricos*. Los detalles del método fueron de acuerdo a lo descrito por Herrera *et al.* (1995).

Definición de patrones espectrales

Se escanearon las fotografías color 1:10.000 a 1200 x 600 dpi (dots per inch, puntos por pulgada) en un scanner (Microtek Scan Maker III). Posteriormente se georeferenciaron en coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator), de acuerdo a información del Instituto Geográfico Militar, escala 1:20.000. Este proceso se hizo usando la opción del programa SIG IDRISI, que aplica una función lineal y un remuestreo según el vecino más cercano. Luego se digitalizaron sitios de entrenamiento correspondientes a los sitios muestreados. La separación de las bandas azul, verde y roja y la determinación de los patrones espectrales en los sitios de entrenamiento se hizo con IDRISI. Por falta de información adecuada y por no disponer de métodos convincentes, no se hicieron correcciones de las imágenes por efectos del suelo, por diferencias de color debidas a los diferentes ángulos de toma de las fotos y por efectos de cambios de color debidos al revelado.

Análisis biométricos

Los datos recogidos de reflectancias y de número de plantas enfermas por sitio fueron analizados usando las técnicas de correlación y regresión disponibles en el programa Excel.

RESULTADOS

Fotografía aérea

El tipo de fotografía usada se muestra en la Figura 1, escala aproximada 1:10.000. En ella se separaron dos sectores de un huerto de limoneros del Valle de Mallarauco: un sector de árboles enfermos (cuadro amarillo) y otro de árboles sanos (cuadro celeste), que fueron usados como sitios de entrenamiento para generar las firmas espectrales de ese huerto (Figura 2).

Análisis virológicos

Los resultados de las muestras a antisueros específicos para la detección del *Virus de la tristeza de los cítricos* se presentan en el Cuadro 1; se puede apreciar que existieron sectores totalmente sanos (sitios 1 y 5) y otros hasta con 40% de plantas enfermas (sitios 4 y 8). También se puede apreciar que algunos de los sitios considerados normales en realidad no estaban libres de virus, ya que en dos casos, sitios 3 y 7, resultaron

con un 16% de plantas enfermas, probablemente plantas infectadas pero sin desarrollo de síntomas.

Inspección de las imágenes

La inspección de las imágenes permitió ver que los sectores afectados por la tristeza tenían copas menos frondosas, lo que permitió distinguir sectores del huerto afectado y otros sanos. Conociendo el tamaño de cada pixel (2,5 x 2,5 m, en este caso) y usando un programa de análisis de imágenes (ERDAS, IDRISI u otro) es posible contar el número de ellos, y estimar directamente la superficie enferma. Ello permite estimar las cantidades, costos y áreas de árboles enfermos a sustituir por sanos.

Patrones espectrales

Una herramienta más fina es establecer los patrones espectrales de los sectores enfermos y sanos. Para ello se ubicó en las fotos los sectores que fueron muestreados para virus, y en esos mismos sitios, llamados sitios de entrenamiento, se generaron los espectros de reflexión de la luz.



Figura 1. Sitios de muestreo en huerto de limonero, Valle de Mallarauco. Rectángulo amarillo plantas enfermas; rectángulo celeste plantas sanas.

Figure 1. Sampling sites in a lemon tree orchard, Mallarauco Valley. Yellow rectangle sick plants; blue rectangle healthy plants.

Los rectángulos de color amarillo y celeste fueron digitalizados y representan los sitios de entrenamiento usados en uno de los huertos para establecer los patrones espectrales.

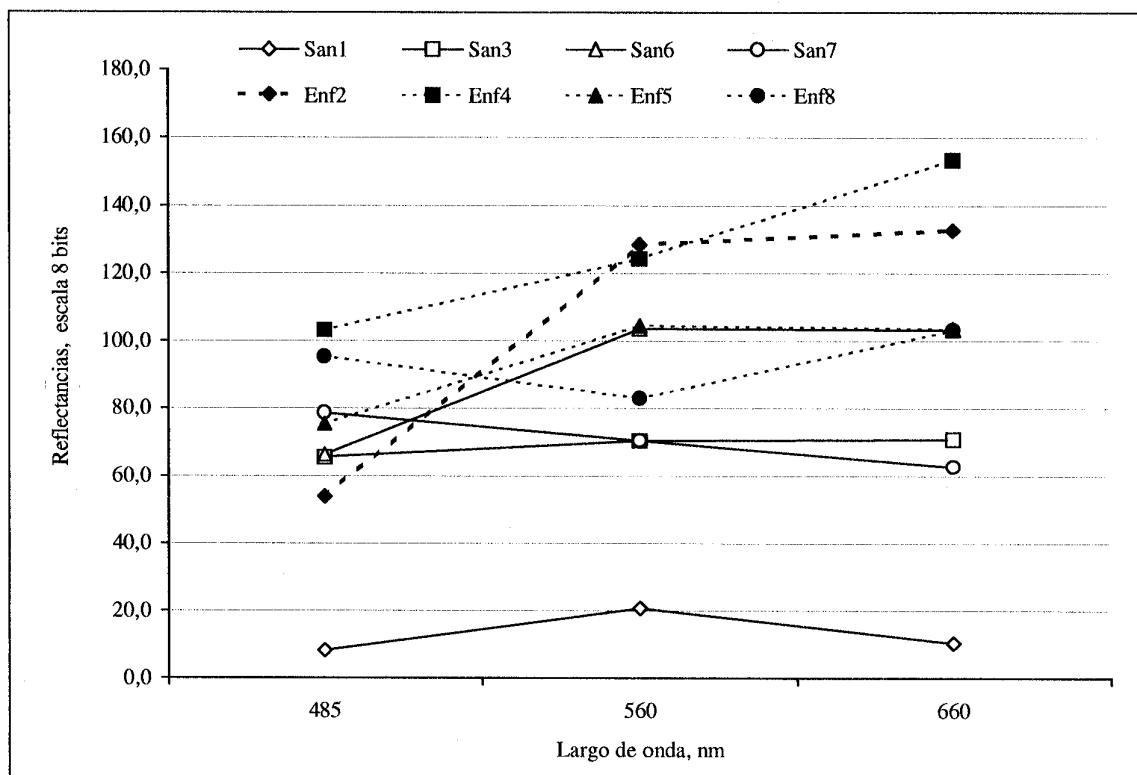


Figura 2. Reflectancias de plantas de limoneros sanas y afectadas por tristeza según largo de onda.
Figure 2. Spectral signatures of healthy and tristeza virus affected plants according to wave length.

San = plantas sanas. Enf = plantas enfermas.

Los patrones espectrales obtenidos se muestran en la Figura 2. En esta figura los valores de reflectancias son los dados por el sistema IDRISI en una escala entre 0 y 255 por tratarse de colores de 8 bits. Las reflectancias son una medida de la capacidad de una superficie para reflejar la energía incidente.

Se puede apreciar que los sectores con plantas enfermas muestran mayores reflectancias que aquellos con plantas sanas, lo que permite discriminar entre sectores enfermos y sanos. La mayor reflectancia se puede atribuir a dos causas: árboles menos frondosos y, por lo tanto, con mayor reflectancia aparente por efecto de la mayor reflexión de la luz desde el suelo, y árboles más amarillos por efecto de destrucción de la clorofila de las hojas en árboles enfermos.

Por otra parte, no cabe duda que estos patrones pueden mejorarse mucho agregando imágenes de la banda infrarroja, y haciendo correcciones de las imágenes. Entre éstas se debe considerar corregir el efecto del color del suelo, de la atmósfera, de los ángulos de visión y del sol. Por otra parte, la nueva generación de satélites que entregan imágenes multiespectrales con resoluciones de 0,5 a 2 m hará mucho más simple el uso de esta herramienta. Además, las nuevas técnicas subpixel pueden ser muy importantes para mejorar la precisión de una clasificación supervisada de las imágenes.

Para cuantificar las relaciones entre reflectancias y número de árboles enfermos se exploraron dos sistemas:

Cuadro 1. Reacción de muestras de limoneros a antisueros específicos para la detección del *Virus de la tristeza de los cítricos* mediante la prueba ELISA**Table 1. Response of lemon trees samples to specific ELISA test for the *Citrus tristeza virus***

N° muestra	Huerto 1		Huerto 2		Huerto 3		Huerto 4	
	Sitio							
	1 Normal	2 Afectado	3 Normal	4 Afectado	5 Normal	6 Afectado	7 Normal	8 Afectado
1.1	- ¹	+	+	-	-	-	-	-
1.2	-	-	-	+	-	-	-	-
1.3	-	-	-	-	-	-	-	+
1.4	-	-	-	+	-	-	-	+
1.5	-	-	-	-	-	-	-	+
2.1	-	-	-	+	-	+	+	-
2.2	-	+	-	+	-	+	-	-
2.3	-	-	-	+	-	-	-	-
2.4	-	-	-	+	-	+	-	-
2.5	-	-	+	-	-	-	-	+
3.1	-	-	-	-	-	+	-	-
3.2	-	+	-	+	-	-	-	-
3.3	-	+	-	-	-	-	+	-
3.4	-	-	-	-	-	+	-	-
3.5	-	-	-	-	-	+	-	-
4.1	-	-	-	+	-	+	-	-
4.2	-	-	-	-	-	-	-	-
4.3	-	-	-	-	-	+	-	+
4.4	-	-	-	-	-	-	-	-
4.5	-	-	+	-	-	-	-	+
5.1	-	-	+	+	-	-	-	+
5.2	-	-	-	-	-	-	+	+
5.3	-	+	-	-	-	-	+	-
5.4	-	-	-	-	-	+	-	-
5.5	-	-	-	+	-	-	-	+
% infectado	0,0	20,0	16,0	40,0	0,0	36,0	16,0	40,0

¹ -: muestra negativa; +: muestra positiva.

- a. Correlación entre número de limoneros enfermos y los valores de las reflectancias, entregadas por la banda roja, la más sensible según la Figura 2. Los cuarteles "sanos" presentaron un total de 8 plantas enfermas y una reflectancia promedio de 61; los cuarteles "enfermos" tuvieron un total de 34 plantas enfermas y una reflectancia promedio de 123. El coeficiente de correlación obtenido fue 0,63, significativo al 95%, la ecuación de regresión encontrada fue: Número de árboles enfermos = $-0,158 + 0,0585 \times$ valor de la reflectancia en la banda roja (Figura 3).
- b. Regresión entre número de limoneros enfermos y áreas bajo las curvas de reflectancias. El coeficiente de correlación mejoró levemente, 0,64, y fue significativo al 95%. La ecuación de regresión encontrada fue: Número de árboles enfermos = $-1,35 + 0,0936 \times$ área bajo la curva en cm^2 (Figura 4).

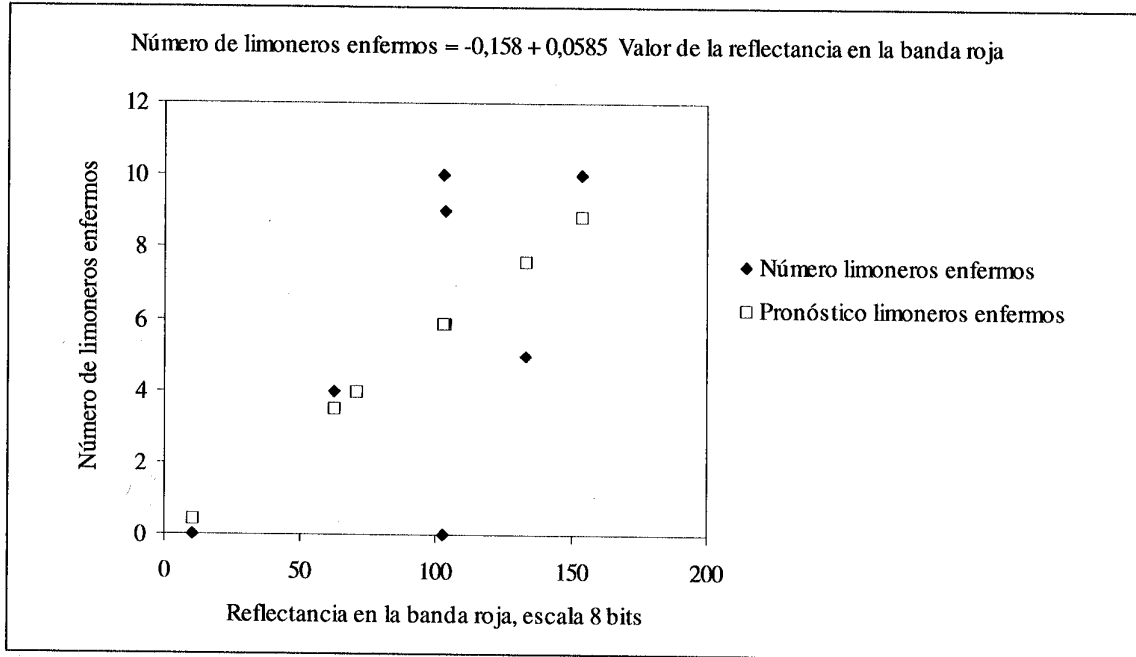


Figura 3. Número de limoneros enfermos en función del valor de la reflectancia de la banda roja.
 Figure 3. Number of diseased lemon trees as a function of the spectral signatures of the red band.

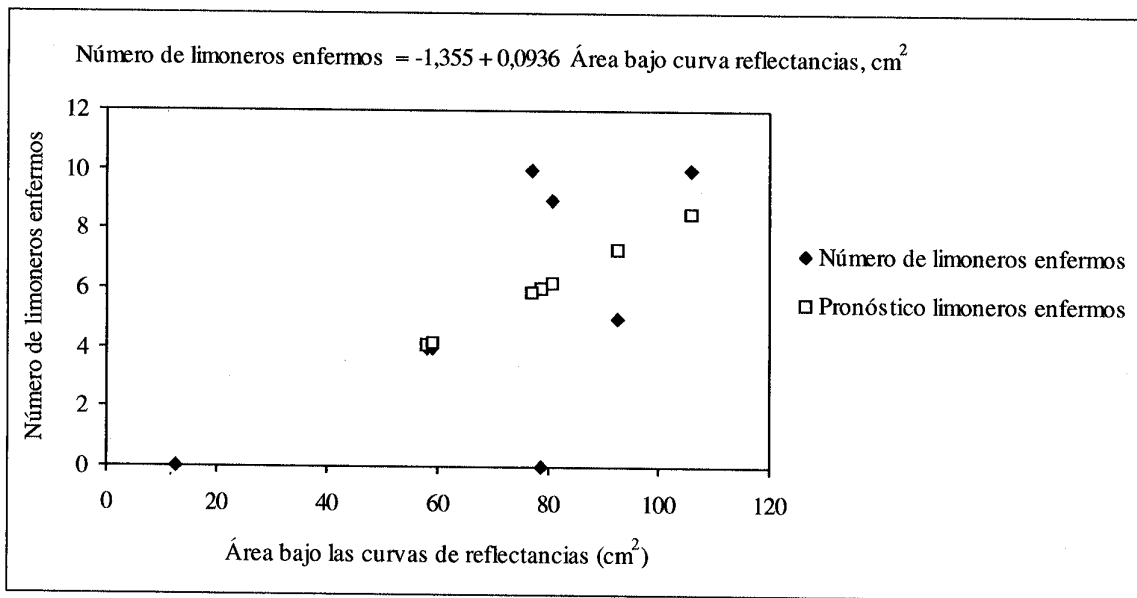


Figura 4. Número de limoneros afectados por el Virus de la tristeza de los cítricos, observados y pronosticados en función del área bajo la curva de reflectancia.
 Figure 4. Number of lemon trees affected by *Citrus tristeza virus*, observed and predicted as a function of the area below the reflectance curve.

El conocimiento adquirido hasta la fecha indica que con un análisis bastante simple se puede avanzar mucho en la detección de este problema en un huerto. No cabe duda que si se corrigen las imágenes con las nuevas técnicas de clasificación subpixel, que permiten reducir el efecto del tipo de suelo y de las malezas, será posible mejorar notablemente la definición de los patrones espectrales (Huguenin *et al.*, 1997). La técnica se muestra muy promisoriosa y fácilmente perfectible.

CONCLUSIONES

1. La simple inspección visual de una imagen de un huerto permite establecer áreas de plantas atacadas por la tristeza de los cítricos.
2. Las reflectancias en las tres bandas, azul, verde y roja, son mayores en plantas enfermas que en sanas.
3. La discriminación entre sectores de plantas enfermas es mejor en la banda roja. Se obtuvo un coeficiente de correlación de 0,63, significativo, entre sectores de plantas con diversos números de plantas enfermas y las reflectancias de la banda roja.
4. Si se correlaciona el número de plantas enfermas con las áreas bajo las curvas de reflectancias correspondientes se obtiene un coeficiente de correlación de 0,64, significativo y levemente superior al anterior. Ello implica que la técnica no sólo permite diferenciar árboles enfermos de sanos, sino también da una idea del porcentaje de árboles con tristeza en cada sector del huerto.

LITERATURA CITADA

-
- Akiyama, T., and Y. Inoue. 1996. Monitoring and predicting crop growth and analysing agricultural ecosystems by remote sensing. *Agric. Food Sci. in Finland* 5:367-376.
- Andersson, A. 1993. Spectral reflectance in agricultural crops. p. 243-250. 34th Swedish Crop Protection Conference, Uppsala, Sweden. 27-28 January. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.
- Anderson, G., J.D Hanson, and R.H. Haas. 1993. Evaluating Landsat thematic mapper derived vegetation indices for estimating above-ground biomass on semiarid rangelands. *Remote Sens. Environ.* 45:165-175.
- Benedetti, R., and P. Rossini. 1993. On the use of NDVI profiles as a tool for agricultural statistics: the case study of wheat yield estimate and forecast in Emilia Romagna. *Remote Sens. Environ.* 45:311-326.
- Blazquez, C.H. 1989. Comparison between densitometric measurements, image analysis and photo interpretation readings of aerial color infrared photographs of citrus trees. *Proc. Annu. Meet. Fla. State Hortic. Soc.* 101:66-69.
- Bonifacio, R., G. Dugdale, and J.R. Milford. 1993. Sahelian rangeland production in relation to rainfall estimates from Meteosat. *Int. J. Remote Sens.* 14:2695-2711.
- Burgan, R.E., R.A. Hartford, and J.C. Eidenshink. 1996. Using NDVI to assess departure from average greenness and its relation to fire business. 8 p. General Technical Report INT-333. Intermountain Research Station, U.S.D.A. Forest Service, Ogden, Utah, USA.
- Daughtry, C.S.T., K.P. Gallo, S.N. Goward, S.D. Prince, and W.P. Kustas. 1992. Spectral estimates of absorbed radiation and phytomass production in corn and soybean canopies. *Remote Sens. Environ.* 39:141-152.

- Eastman, R. 1997. IDRISI for Windows. User's Guide versión 2.0. Clark University, Worcester, Massachussets, USA.
- Edwards, G.J., C.H. Blazquez, and J. Miller. 1986. Preliminary experiments with remote sensing to detect citrus canker. Proc. Annu. Meet. Fla. State Hortic. Soc. 98:16-18.
- Everitt, J.H., D.E. Escobar, M.A. Alaniz, and M.R. Davis. 1992. Comparison of ground reflectance and aerial video data for estimating range phytomass and cover. p. 127-134. USDA-ARS Remote Sensing Research Unit, Weslaco, USA. Color aerial photography in plant sciences and related fields: Proceedings of the Thirteenth Biennial Workshop, Orlando, Florida. 6-9 May. American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, Maryland, USA.
- Fletcher, R.S., M. Skaria, D.E. Escobar, and J.H. Everitt. 2001. Field spectra and airborne digital imagery for detecting phytophthora foot rot infections in citrus trees. HortScience 36:94-97.
- Gupta, R.K. 1993a. Comparative study of AVHRR ratio vegetation index and normalized difference vegetation index in district level agricultural monitoring. Int. J. Remote Sens. 14:53-73.
- _____. 1993b. Scatterograms behaviour for AVHRR vegetation images of the crop growth cycle. Int. J. Remote Sens. 14:75-93.
- Herrera, M.G., V.M. Madariaga, y M. Santelices. 1995. Detección de la tristeza de los cítricos (Citrus tristeza virus). Agricultura Técnica (Chile) 55:167-169.
- Huguenin, R.L., M.A. Karaska, D. Van Blarincom, and J.R. Jensen. 1997. Subpixel classification of Bald Cypress and Tupelo Gum trees in thematic mapper imagery. Photogramm. Eng. Remote Sens. 63:717-725.
- Law, B.E., and R.H. Waring. 1994. Remote sensing of leaf area index and radiation intercepted by understory vegetation. Ecol. Applic. 4:272-279.
- Lee, Y.J. 1989. Aerial photography for the detection of soil borne disease. Can. J. Plant Pathol. 11:173-176.
- Lenney, M.P., C.E. Woodcock, J.B. Collins, and H. Hamdi. 1996. The status of agricultural lands in Egypt: the use of multitemporal NDVI features derived from Landsat TM. Remote Sens. Environ. 56:8-20.
- Liu, W.T.H., O. Massambani, and C.A. Nobre. 1994. Satellite recorded vegetation response to drought in Brazil. Int. J. of Climatology 14:343-354.
- Myneni, R.B., and B.D. Ganapol. 1992. Remote sensing of vegetation canopy photosynthetic and stomatal conductance efficiencies. Remote Sens. Environ. 42:217-238.
- Nilsson, H.E. 1995. Remote sensing and image analysis in plant pathology. Annu. Rev. Phytopathol. 33:489-527.
- Paruelo, J.M., M.R. Aguiar, R.A. Golluscio, R.J.C. Leon, and G. Pujol. 1993. Environmental controls of NDVI dynamics in Patagonia based on NOAA-AVHRR satellite data. J. of Vegetation Sci. 4:3, 425-428.
- Paruelo, J.M., and R.A. Golluscio. 1994. Range assessment using remote sensing in Northwest Patagonia (Argentina). J. of Range Manage. 47:498-502.
- Pearson, R.L., and L.D. Miller. 1972. Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the shortgrass prairie, Pawnee National Grasslands, Colorado. Proceedings of the Eighth International Symposium on Remote Sensing of Environment, October 2-6. Ann Arbor, Michigan, USA.
- Quarmby, N.A., M. Milnes, T.L. Hindle, and N. Silleos. 1993. The use of multi-temporal NDVI measurements from AVHRR data for crop yield estimation and prediction. Int. J. Remote Sens. 14:2, 199-210.
- Rao, P.V.N., L. Venkataratnam, P.V.K. Rao, and K.V. Ramana. 1993. Relation between root zone soil moisture and normalized difference vegetation index of vegetated fields. Int. J. Remote Sens. 14:441-449.

- Reed, B.C., J.F. Brown, D. Vanderzee, T.R. Loveland, J.W. Merchant, and D.O. Ohlen. 1994. Measuring phenological variability from satellite imagery. *J. of Vegetation Sci.* 5:703-714.
- Rosema, A. 1993. Using METEOSAT for operational evapotranspiration and biomass monitoring in the Sahel region. *Remote Sens. Environ.* 46:1, 27-44.
- Sader, S.A., T. Sever, J.C. Smoot, M. Richards, and C.A. Behrens. 1994. Forest change estimates for the Northern Peten region of Guatemala 1986-1990. Special issue: Recent advances in the regional analysis of indigenous land use and tropical deforestation. *Human Ecology (New York)* 22:317-332.
- SAG. 1971. Enfermedades de los cítricos. *Boletín Técnico N° 45.* p. 9-12. Servicio Agrícola y Ganadero, Santiago, Chile.
- Shih, S.F., D.L. Myhre, G.W. Schellentrager, V.W. Carslile, and J.A. Doolittle. 1986. Using radar to assess the soil characteristics related to citrus stress. *Proc. Soil Crop Sci. Soc. Fla.* 45:54-59.
- Thenkabail, P.S., A.D. Ward, J.G. Lyon, and P. Van De Venter. 1992. Landsat Thematic Mapper indices for evaluating management and growth characteristics of soybeans and corn. *Trans. ASAE* 35:1441-1448.
- Valor, E., and V. Caselles. 1996. Mapping land surface emissivity from NDVI: application to European, African, and South American areas. *Remote Sens. Environ.* 57:167-184.
- Van de Griend, A.A., and M. Owe. 1993. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. *Int. J. Remote Sens.* 14:1119-1131.
- Weathers, L., L. Sánchez, y G. Platt. 1969. Naturaleza y distribución de las enfermedades virosas de cítricos en Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 29:166-170.
- Wiegand, C.L., S.J. Maas, J.K. Aase, J.L. Hatfield, P.J. Jr., Pinter, R.D. Jackson, E.T. Kanemasu, and R.L. Lapitan. 1992. Multisite analyses of spectral-biophysical data for wheat. *Remote Sens. Environ.* 42:1-21.