

Utilización de la teledetección para el inventario de áreas con pasturas en Cuba

V. Torres*, E. Ferrer** y E. San Martín**

Introducción

En Cuba se hacen actualmente esfuerzos para sustituir la ganadería extensiva y poco productiva por una eficiente industria pecuaria (Funes et al., 1986). En este proceso, el inventario de las áreas ganaderas tiene gran importancia para la planificación de los recursos, siembras y rehabilitaciones de áreas degradadas y para mejorar la productividad de las pasturas en uso.

El uso de los sensores remotos en el inventario de los recursos naturales es una técnica reconocida. La información que se obtiene al utilizar los diferentes sistemas ópticos y de imágenes espectrales en portadores aéreos y espaciales permite conocer, en alto grado, el tamaño y la distribución espacial de las áreas, y los diferentes estados de los cultivos y su productividad.

Estas técnicas de teledetección son de alto rendimiento en el procesamiento de la información y dan respuestas adecuadas a muchos interrogantes de la economía agropecuaria.

En Cuba, el desarrollo técnico y material de equipamiento y métodos de teledetección, adquiridos en los últimos años, así como el alto nivel profesional existente, permiten una mejora sustancial en el tratamiento y el análisis de la información obtenida por estos sistemas.

En 1985, Ferrer et al. (1988) iniciaron en Cuba una serie de estudios para determinar las posibilidades de interpretación de las fotografías aéreas multizonales, realizar el procesamiento estadístico de las densidades ópticas de los

negativos y definir los canales más informativos de un sensor aéreo espectrométrico. En este artículo se presentan los resultados obtenidos en pasturas con estos estudios.

Materiales y métodos

El primero de abril de 1988, en un sector de 240 hectáreas del Instituto de Ciencia Animal, a 25 km al sureste de la provincia de La Habana, se realizó el levantamiento aéreo con una cámara multizonal MKS-4 del Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía y con un espectrómetro multizonal MKS-MS del Instituto de Investigaciones Cósmicas de la Academia de Ciencias (Alemania), en un avión laboratorio AN-30, a una velocidad de 340 km/hora y a 3200 m sobre la superficie del suelo.

En fotografías sintetizadas de falso color se hizo la interpretación visual y se midieron las densidades ópticas de los negativos de estas fotografías en las zonas del espectro verde (540 nm V), rojo (660 nm R) e infrarrojo cercano (840 nm IR).

El sensor espectrométrico abarca 18 zonas espectrales, seis en la atmósfera (AS) y 12 en la biosfera (BS). Estas últimas aparecen en el Cuadro 1.

Con este espectrómetro se midieron en total 3800 píxeles en la zona BS y se tomaron 23 fotos (diapositivas) aéreas para realizar el amarre fotográfico. Los índices vegetativos se obtuvieron con las densidades ópticas y las mediciones espectrométricas.

Para el procesamiento estadístico de la información se utilizaron la estadística descriptiva y el análisis de correlación.

* Instituto de Ciencia Animal, Carretera central km 47, Apartado 24, San José de Las Lajas, La Habana, Cuba.

** Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, Loma y 39, Nuevo Vedado, La Habana, Cuba.

Cuadro 1. Zonas espectrales y sus bandas respectivas.

Canal	Zona del espectro (nm)	Banda
7	416.5	Azul
8	450.6	Azul
9	485.5	—
10	520.7	—
11	570.5	Verde
12	619.5	—
13	681.5	Rojo
14	712.8	—
15	750.5	Infrarrojo
16	788.0	Infrarrojo
17	819.0	Infrarrojo
18	879.5	Infrarrojo

Características de la zona en estudio

El área de las pasturas estudiadas está localizada en un pequeño valle rodeado de elevaciones que pertenecen a las alturas de La Habana.

Predominan los suelos rojos de la familia Matanzas (Bennet and Allison, 1928) que se relacionan con los Latosoles (Anon., 1975). La precipitación en la zona es, en promedio, de 1500 mm.

Las gramíneas comunes en el área son: estrella jamaicano (*Cynodon nlemfuensis*), guinea cv. Likony (*Panicum maximum*), bermuda cruzada 67 (*Cynodon dactylon*), leucaena (*Leucaena leucocephala*) y *Glycine wightii* (*Neonotonia wightii*). Las pasturas se utilizan con diferentes categorías de ganado vacuno y para la producción de heno. La carga animal varía entre 0.75 y 3.75 animales/ha, con sistema de pastoreo rotacional.

Los muestreos sobre disponibilidad de materia verde (MV) y materia seca (MS) se hicieron en un número adecuado de áreas representativas, según la metodología propuesta por Haydock and Shaw (1975), y el contenido y densidad de clorofila se midieron por las técnicas de Barsch et al. (1984).

Resultados y discusión

Interpretación visual de las fotografías multizonales de falso color. Los colores rojo y amarillo señalaron un alto brillo espectral en el

canal infrarrojo y los colores azul y verde mostraron baja brillantez espectral en este mismo canal. Esta brillantez se relacionó con la disponibilidad de forraje al momento de las observaciones. Con base en esta interpretación, las áreas fotografiadas se clasificaron en tres categorías productivas:

Categoría 1: Con alta productividad y alta reflexión en el infrarrojo cercano, caracterizado por el amarillo-rojizo.

Categoría 2: Con nivel de productividad medio y medianos valores de reflexión en el infrarrojo cercano, caracterizado por tonalidades verde-amarillo.

Categoría 3: Con baja productividad y baja reflexión infrarroja, tonalidades verde-azul.

Fue posible observar que las áreas de la categoría 1 en la clasificación visual correspondieron a estrella jamaicano utilizada para pastoreo y para heno, y a *Glycine wightii*, especies que presentaron los mayores valores de disponibilidad de forraje. Este resultado coincidió, además, con el de las mediciones espectrométricas, ya que en la traza de este sensor los mayores valores de los índices vegetativos corresponden precisamente a estrella jamaicano.

La categorización de las áreas y la estimación correspondiente de forraje disponible aparecen en el Cuadro 2. Esta información es importante para la planificación del recurso forrajero como alimento animal.

Análisis de las densidades ópticas de las fotografías multizonales. Los promedios de los valores de densidad óptica en cada una de las zonas del espectro estudiadas (Cuadro 3), presentan características que marcan diferencias entre especies, siendo en el infrarrojo donde aparecen mayores diferencias de reflexión.

Los valores de los índices vegetativos muestran que las relaciones $(IR + R)/(IR - R)$ y $(V * IR)/R^2$ expresan mejor las diferencias entre especies. El aumento en las desviaciones de los índices sugieren que estos son más sensibles a las diferencias en los estados vegetativos de las pasturas cuando se someten a pastoreo.

Para corroborar el anterior criterio, se seleccionaron dos áreas de pastoreo manejadas con riego y fertilización; una de estrella

jamaicano con 12 cuarterones (potreros) (Figura 1), y la otra de guinea cv. Likony (Figura 2) con 10 potreros, y en ellas se calcularon los índices vegetativos, comprobándose nuevamente el hallazgo anterior: los índices $(IR + R)/(IR - R)$ y $(V \cdot IR)/R^2$ expresaron las diferencias existentes entre potreros en relación con la cantidad de forraje disponible como resultado del manejo, aunque en el segundo caso las diferencias fueron

más notables. Por el contrario, el índice $(IR - R)/(IR + R)$ no expresó las variaciones en disponibilidad de forraje existentes.

Análisis de los perfiles aéreos obtenidos con el espectrómetro MKS-MS. En la Figura 3 se observa el comportamiento espectrométrico de las cinco especies forrajeras en las 12 zonas del espectro medidas en la biosfera. En general,

Cuadro 2. Clasificación de las áreas (%) y disponibilidad estimada de forraje para cada especie, utilizando el sistema de teledetección. Instituto de Ciencia Animal, Cuba.

Pastura y manejo	Categoría (%)			Disponibilidad (MS, t/ha)
	1	2	3	
Estrella jamaicano (riego, fertilización, pastoreo)	74.4	16.4	9.2	7.3
Guinea cv. Likony (riego, fertilización, pastoreo)	55.0	29.5	15.5	6.8
Guinea cv. Likony (fertilización, pastoreo)	59.8	27.6	12.5	6.7
<i>Glycine</i> (pastoreo)	83.3	13.0	3.7	7.6
Bermuda cruzada (riego, fertilización, pastoreo)	45.3	41.0	13.7	6.5
Estrella jamaicano (riego, fertilización, heno)	68.4	24.9	6.7	7.2

Categoría: 1 = Productividad alta; 2 = Productividad media; 3 = Productividad baja.

Cuadro 3. Promedios y desviación estándar (DE) de la densidad óptica para las diferentes zonas del espectro e índices vegetativos de tres forrajeras. Instituto de Ciencia Animal, Cuba.

	Estrella jamaicano		Guinea cv. Likony		<i>G. wightii</i>	
	Promedio	DE	Promedio	DE	Promedio	DE
540 verde (V)	0.66	0.03	0.68	0.03	0.66	0.02
600 rojo (R)	0.42	0.05	0.47	0.02	0.42	0.01
840 infrarrojo (IR)	0.90	0.04	0.81	0.05	0.80	0.03
Índices vegetativos:						
$(IR - R)/(IR + R)$	0.36	0.06	0.26	0.05	0.31	0.02
$(IR + R)/(IR - R)$	2.85	0.64	3.95	0.88	3.20	0.18
$(V \cdot IR)/R^2$	3.46	0.73	2.52	0.49	3.03	0.17
Materia verde (t/ha)	7.2		4.2		6.0	

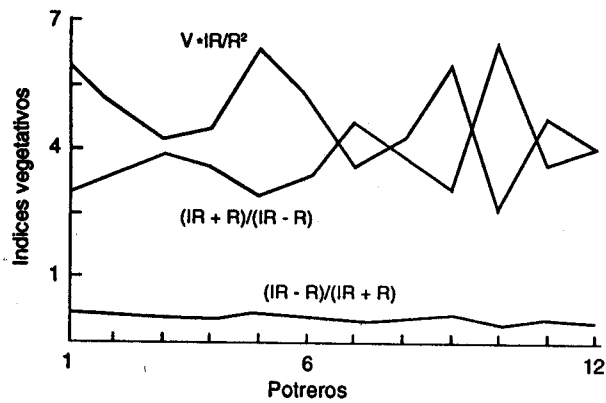


Figura 1. Densidad óptica en cuarterones o potreros de pasto estrella jamaicano. La Habana, Cuba.

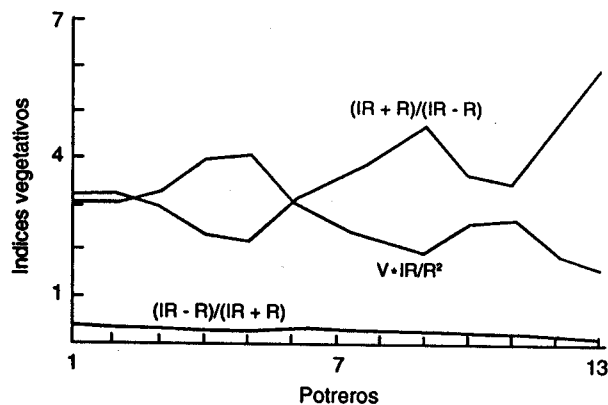


Figura 2. Densidad óptica en cuarterones o potreros de pasto guinea cv. Likony. La Habana, Cuba.

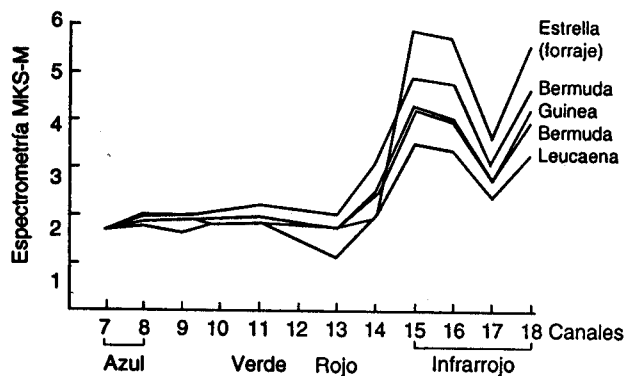


Figura 3. Espectrometría en las bandas visibles e infrarrojas en varias pasturas. La Habana, Cuba.

todas las especies alcanzan valores extremos de reflexión en 450 nm (azul), 570 nm (verde) y 681 nm (rojo) de la zona visible del espectro. No obstante, se consideran importantes los máximos

en el verde y los mínimos en el rojo, por expresar estos valores diferencias importantes entre especies.

Estos resultados permiten establecer que las longitudes roja y verde son las más efectivas para explicar el proceso fotobiológico de los pastos en Cuba. Vásquez y Torres (1984) encontraron, en pruebas de laboratorio, que la clorofila A presenta la máxima absorción de luz solar durante el proceso de fotosíntesis entre 429 y 560 nm, y la clorofila B entre 462 y 543 nm; sin embargo, estos rangos pueden variar de acuerdo con los diferentes cultivos.

Las diferencias entre los valores de reflexión máximos y mínimos encontrados en este estudio, no son grandes en la zona visible; sin embargo, el estrella jamaicano, utilizado para corte o pastoreo, presenta los valores extremos debido a que su disponibilidad y densidad se relacionan con el área foliar; así, a medida que estos últimos aumentan la fotosíntesis total, también aumenta debido al mayor número de hojas verdes que interceptan a la luz.

En relación con la respuesta en las zonas del infrarrojo, el espectro, de reflexión muestra valores máximos significativos y bien diferenciados entre especies. En esta zona no visible del espectro, la absorción es muy baja en casi todos los cultivos (Barsch et al., 1984), aunque su efecto en el proceso fotosintético ha sido señalado por Vásquez y Torres (1984).

El presente análisis indica que los índices vegetativos, obtenidos de las respuestas espectrales de los pastos en las bandas verde, rojo e infrarrojo, expresan las diferencias en su disponibilidad y, por ende, en su forma de crecimiento y en la densidad.

La Figura 4 muestra la traza del índice vegetativo ($V \cdot IR/R^2$) a través de una de las líneas de vuelo en el sector. Son claras las diferencias en las áreas ocupadas por las especies, debido a los distintos estados vegetativos en que se encuentran.

Conclusiones

Las fotografías multizonales de falso color a escala 1:25,000 permiten clasificar visualmente las áreas de pastoreo, según sus diferentes estados vegetativos y la disponibilidad de forraje. En Cuba, las zonas del espectro de absorción de

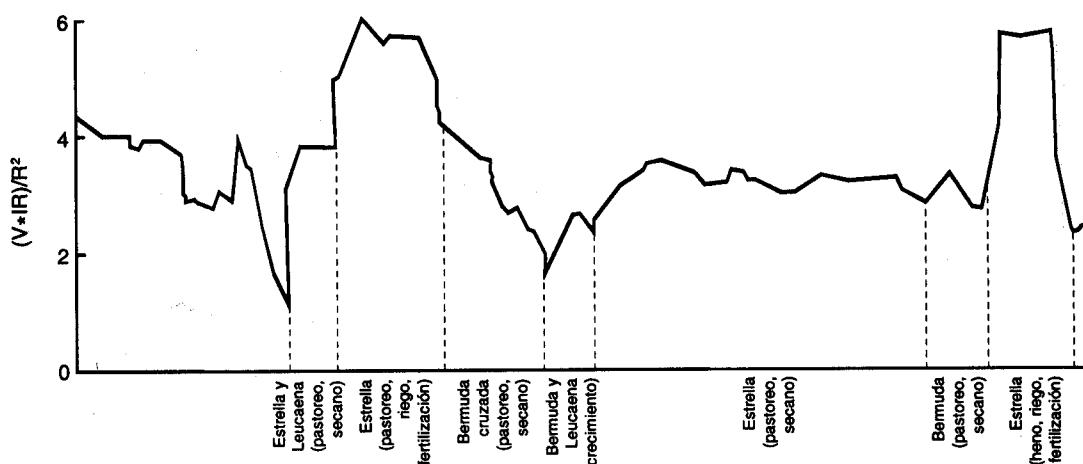


Figura 4. Trazas de índice vegetativo de varias especies forrajeras. La Habana, Cuba.

los pastos más importantes, aparentemente, son la verde alrededor de los 570 nm, la roja a 681 nm y la infrarroja próxima a 750 nm.

Los índices vegetativos $(V \cdot IR)/R^2$ y $(IR + R)/(IR - R)$, obtenidos por la vía espectrométrica o con las mediciones de densidad óptica de fotografías aéreas multizonales, brindan información muy confiable sobre el estado vegetativo de las diferentes especies de pastos.

Summary

An aerial survey was carried out with a multizonal MKS-4 camera and a multizonal MKS-MS spectrophotometer in a 240-ha area. Synthesized false color photographs for visual interpretation were obtained and the optical density of the negatives was measured in the areas of the green (540 nm), red (660 nm) and near infra-red (840 nm) spectrum with a spectrometric sensor comprising 18 spectral areas where 3800 pixels were measured. Vegetative indices were obtained with the optical densities and the spectrometric measurements. Red and yellow colors point to a bright spectrum in the infra-red channel and blue and green show a low spectrum brightness in the infra-red channel. Of the average values of the vegetative indices $(IR+R)/IR-R$, $(IR-R)/(IR+R)$ ($G \cdot IR/R^2$), the first and the third express better the differences of the mean value and the deviations of the species although in a reverse form. This seems to be related to the different vegetative states of the species in the different grazing areas. The results confirm that the vegetative indices obtained by the spectrum responses of pastures in the green, red

and infra-red bands are able to express the differences in their availability and therefore between species by their growth pattern and density.

Referencias

- Anon. 1975. Clasificación genética de los suelos de Cuba. Academia de Ciencias de Cuba. Serie no. 23.
- Barsch, H.; Billwitz, K.; y Scholz, E. 1984. Labor-methoden in deer physischen Geographie. VEB Hermann Haack. Geographisch-Kartographische. Anstalt Gotha.
- Bennet, H. and Allison, R. V. 1928. The soils of Cuba. Trop. Plant. Res. Found. Washington, D.C.
- Ferrer, E.; Torres, V.; y San Martín, E. 1988. Estudio preliminar sobre la aplicación de la teledetección en la identificación de los pastizales. Rev. Cub. Cienc. Agric. 22:219-224.
- Funes, F.; Febles, G.; y Pérez-Infante, F. 1986. Los pastos y el desarrollo ganadero en Cuba. Los Pastos en Cuba. Tomo 1. Producción EDICA, La Habana, Cuba.
- Haydock, H. P. and Shaw, N. H. 1975. The comparative yield methods for estimating dry matter yield of pasture. Tech. Paper. Div. Trop. Pasture. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), Australia.
- Torres, V.; Ferrer, E.; and San Martín, E. 1991. Remote sensing in grassland studies. 1. Photographic interpretation and optical processing. Cuban J. Agric. Sci. 25:1-6.
- Vásquez, E. y Torres, S. 1984. Fisiología vegetal. Editorial Pueblo y Educación, La Habana, Cuba.