

Evaluación del volumen de caña de una plantación, a partir de fotografías aéreas multiespectrales

GUILLERMO BELLO, ONEL ACOSTA, RICARDO BARANDELA,
y ARSENIO FRANCO

RESUMEN. Se informan los resultados obtenidos en la evaluación del volumen de caña de azúcar de una plantación, por medio de fotografías aéreas multiespectrales. Se utilizó un modelo lineal múltiple para relacionar la densidad óptica con el rendimiento agrícola. Los resultados, aunque tienen un carácter preliminar, son alentadores.

1. INTRODUCCIÓN

La eficiencia de una zafra azucarera depende en gran medida de una adecuada programación de la misma en cada uno de los centrales azucareros. La programación de la zafra se realiza fundamentalmente sobre la base de una evaluación del volumen de caña disponible. Cuando lo estimado no concuerda con la realidad y el error ha sido por defecto, la duración de la zafra se extiende más allá de lo previsto, lo cual motiva que se corte caña con un rendimiento industrial inferior al óptimo y, en ocasiones, bajo condiciones meteorológicas desfavorables por el advenimiento de las lluvias, o que quede caña sin cortar. Por otra parte, si lo estimado resulta superior al volumen realmente disponible, la duración de la zafra se acorta, pero la misma habrá quedado enmarcada en un período que puede no coincidir con el óptimo desde el punto de vista del contenido de azúcar en la caña. En ambas situaciones se produce una disminución de la eficiencia con la consiguiente afectación económica.

La evaluación del rendimiento agrícola de la caña de azúcar se realiza, en su versión más refinada, por medio de mediciones de la cantidad de tallos, y altura, y peso de los mismos, en una muestra que constituye

Manuscrito aprobado el 19 de febrero de 1980.

G. Bello, O. Acosta, R. Barandela, y A. Franco pertenecen al Instituto de Investigación Técnica Fundamental, de la Academia de Ciencias de Cuba.

una parte ínfima de la población. Pero este procedimiento resulta costoso en tiempo y fuerza de trabajo necesarios. El método usual en Cuba consiste en la simple observación de los campos de caña por campesinos y trabajadores agrícolas de gran experiencia, lo que no impide la inexactitud del mismo, motivado por lo difícil que resulta percibir y además evaluar las variaciones internas de cada campo, la desigual capacidad de los trabajadores, y la limitación intrínseca del método: su naturaleza subjetiva.

Estas razones nos indujeron a investigar la posibilidad de obtener la información sobre los rendimientos agrícolas a través de técnicas de teledetección. Como se sabe, los elementos que en las hojas de las plantas determinan la reflectancia (clorofila, pigmentos, carotenoides, aguas, etc.) son comunes a todas las plantas agrícolas y todo follaje exhibe el mismo patrón general de reflectancia. Sin embargo, los valores concretos de reflectancia cambian de una especie de planta a otra y dentro de una misma, en dependencia de su estado. La reflectancia está determinada por la densidad del follaje, la altura de la planta, el modo de crecimiento, el vigor, la madurez, etc. Las propiedades ópticas de las plantas también son afectadas por las variaciones de factores ambientales, tales como la salinidad y reserva de humedad de los suelos, la cantidad y calidad de los nutrientes, etc. De este modo, la detección de la luz reflejada ofrece un posible medio para determinar las especies de cultivos, la madurez, el vigor, las enfermedades, y la probable cosecha, así como la presencia de factores ambientales que afectan el normal desarrollo del cultivo.

En el presente trabajo se exponen los primeros resultados obtenidos en las investigaciones encaminadas a pronosticar el rendimiento agrícola de la caña de azúcar a partir de fotografías aéreas multiespectrales de una plantación cañera. Aunque los mismos deben ser considerados todavía de carácter preliminar, no obstante, son alentadores.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las investigaciones se llevaron a cabo sobre 45 campos de caña pertenecientes a la granja cañera "Pablo Noriega". Se realizó un levantamiento aéreo en diciembre de 1977, habiéndose empleado un avión IL-14F equipado con una cámara fotográfica multiespectral AFA-39 (modificada), que permitió medir simultáneamente la radiación reflejada por los campos de caña en cuatro zonas del espectro visible y una del infrarrojo cercano. La altura de vuelo escogida fue de 5 000 m, lo que proporcionó una escala en las fotos de 1:50 000.

A diferencia de la fotografía convencional, que registra en un solo cuadro toda la radiación reflejada por los objetos, la cámara multiespectral permite registrar en cuadros independientes y de forma simultánea la radiación reflejada en cada una de las zonas espectrales. De este modo, un cuadro fotográfico convencional resulta sustituido por cinco cuadros multiespectrales, que en lo sucesivo denominaremos canales.

El valor de la densidad óptica (D) de la imagen de un objeto dado en un canal es una magnitud proporcional al logaritmo de la exposición (H), la cual contiene la información de la energía reflejada.

Las mediciones de densidad óptica se realizaron con un microdensitómetro tipo GII de la Karl Zeiss, Jena, con una apertura de diafragma de $1 \times 2 \text{ mm}^2$, lo que corresponde a un área real en el terreno de $11,3 \text{ m}^2$. Para cada campo se realizaron mediciones en 50 puntos escogidos al azar, y se determinaron los valores medios de la densidad óptica de la imagen de los campos en cada canal. A los valores medios de densidad óptica les fue restado el valor medio del velo de la película fotográfica y, además, se utilizó el coeficiente de contraste (γ) de cada uno de los canales para llevar los valores de densidad óptica a un mismo sistema de referencia.

En este primer experimento se trató de probar la existencia de una correlación lineal entre los valores de densidad óptica en los diferentes canales y el rendimiento agrícola real obtenido en cada campo, con la finalidad de desarrollar un modelo que permitiera realizar el pronóstico de rendimiento agrícola a partir de la información obtenida en la fotografía multiespectral.

Con este propósito se utilizó el programa LM-19-A, "regresión múltiple selectiva" de la Biblioteca "Elliott", ejecutado en una computadora CID-201-B, mediante el simulador de Elliott en CID, desarrollado en el Instituto de Matemática Aplicada, Cibernética, y Computación (IMACC), de la Academia de Ciencias de Cuba.

Este programa, que admite hasta un máximo de 35 variables, utiliza el método de regresión descendente con 4 niveles de significación: 10; 5; 1; y 0,1 %; calcula las medias de cada variable y los coeficientes de la ecuación de regresión con sus correspondientes desviaciones estándar y estadígrafos "t". Además, calcula las sumas de cuadrados, debida a la regresión y residual, con sus correspondientes grados de libertad, con lo que se puede obtener el coeficiente de correlación múltiple y la razón F asociados a cada modelo.

El programa permite, con una misma cinta de datos, estimar la ecuación de regresión para todas las combinaciones de variables que se deseen.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El programa de regresión múltiple selectiva, antes mencionado, se utilizó en dos ocasiones: en la primera se tomaron como variables independientes los valores medios de densidad óptica de los cinco canales para cada uno de los campos de caña; en el segundo caso se añadió una variable independiente adicional que contenía la información sobre el tipo de cepa (C) del campo en cuestión. En ambos casos, como variable dependiente se tomó el rendimiento agrícola real de los campos de caña, expresado en arrobas por caballerías ($@/c$). De los 45 campos disponibles se extrajo, de forma aleatoria, una muestra de control formada por 14 campos.

Las cepas (primavera, frío, retoño, y soca) fueron ordenadas de forma ascendente de acuerdo al rendimiento agrícola promedio para cada una de ellas, observado en los 45 campos, y se les hizo corresponder valores del 1 al 4, respectivamente, a modo de codificación.

Los modelos para los cuales se obtuvo una razón F significativa ($P < 0,05$) se muestran en la Tabla 1.

Los modelos de la Tabla 1 fueron utilizados para estimar el volumen de caña de tres grupos de campos. El primer grupo estaba constituido por la muestra de los campos empleados para obtener los modelos. El segundo incluía, además del anterior, la muestra de control, mientras que el tercero estaba constituido sólo por la muestra de control.

En la Tabla 2 se evidencia que cualquiera de los modelos, que incluye información de teledetección, supera al método tradicional.

Es de destacar que, para todos los modelos, la variación del error relativo (e_r) guarda una estrecha correspondencia con la variación del valor medio del rendimiento agrícola real de los diferentes grupos. Esto sugiere la posibilidad de introducir correcciones a los resultados obtenidos en la aplicación de los modelos a poblaciones arbitrarias, siempre y cuando se disponga a priori de información sobre el comportamiento histórico del rendimiento agrícola promedio de la población.

Si bien el error relativo (e_r) constituye una medida del grado de exactitud de la evaluación global para toda la población, el error absoluto (e_a) da una idea de la exactitud de lo estimado para cada individuo (en promedio) de la población. Para cada modelo se observó (Tabla 2) una cierta estabilidad de e_a con independencia del grupo al cual se le aplicó. El hecho de que el Modelo 4 presenta los menores valores de e_a indica que la inclusión de variables que brindan información directa sobre el cultivo (como es en este caso el tipo de cepa), contribuyen a la optimización del modelo. Debe señalarse que la codificación empleada para el tipo de cepa fue un tanto arbitraria. Es posible una mejor codificación sobre la base de datos históricos.

El Modelo 5, cuya única variable independiente es el tipo de cepa, aunque da un e_r menor que el método tradicional, no supera a los modelos restantes. No obstante, se ha incluido en la Tabla porque da una

TABLA 1. Modelos para la evaluación del rendimiento agrícola de la caña de azúcar.

Modelo	Ecuación de regresión
1	$R_a = 401420D_1 + 135172,8D_2 - 360246,9D_3 - 39808,5D_4 - 538526,5D_5$ 90399,9
2	$R_a = 2313353,1D_1 - 360556D_5 + 87159,2$
3	$R_a = -367326,7D_5 + 198288,3$
4	$R_a = 236534,8D_1 + 1595,9C - 24610,8$
5	$R_a = 1609,2C + 87143$

TABLA 2. Errores relativo (e_r) y absoluto (e_a), en porcentaje (%), del método tradicional de evaluación y de los modelos obtenidos^a.

	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3	
	e_r	e_a	e_r	e_a	e_r	e_a
Método tradicional	-22	29	-27	32	-39	39
Modelo 1	-1	21	-6	21	-17	20
Modelo 2	5	22	1	21	-7	18
Modelo 3	-2	23	-7	22	-17	20
Modelo 4	1	18	-3	18	-12	17
Modelo 5	-17	28	-21	28	-29	29

^a Los modelos se aplicaron a tres grupos de campos: grupo 1, constituido por la muestra que dio origen a los modelos ($N = 31$); grupo 2, constituido por el grupo 1 y por la muestra de control ($N = 45$), y grupo 3 formado por la muestra de control ($N = 14$). Los promedios de rendimiento agrícola de los tres grupos de campos son, respectivamente, 108 445, 114 608, y 127 145 @/c. El signo negativo (—) en los errores relativos indica un error por defecto.

idea de la información aportada por la fotografía aérea multiespectral en el modelo 4.

Los resultados expuestos tienen un carácter preliminar por la incidencia de los siguientes factores: (1) el reducido número de campos empleados, (2) los modelos han sido elaborados sobre la base de una sola cosecha, (3) la fecha del levantamiento multiespectral (diciembre) fue determinada por circunstancias ajenas a este experimento, sin que exista alguna razón para pensar que es el momento idóneo para las mediciones multiespectrales, y (4) la carencia de un volumen adecuado de información de campo.

4. CONCLUSIONES

La validez de los resultados obtenidos está limitada por los factores mencionados en el epígrafe anterior. Sin embargo, dichos resultados son alentadores y justifican la continuación de esta línea de trabajo en el futuro. En este sentido, abundan también resultados publicados anteriormente, como los de THOMAS y OERTHER (1977) y los de BRUCE (1978), que utilizaron fotografías aéreas no sólo para pronosticar rendimiento, sino también para estudiar la influencia de diversos factores (drenaje, irrigación, fertilización, etc.) en este cultivo.

RECONOCIMIENTO

Queremos dejar constancia de nuestro agradecimiento al colega I. S. Garielik (Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de la URSS) por las útiles discusiones que sostuvo con nosotros en la fase final del trabajo. Agradecemos al Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras y a la Empresa Cañera "Pablo Noriega" las facilidades que nos dieron para obtener la información de campo necesaria, y a nuestro colaborador Emilio San Martín su meticulosa labor de recopilación y ordenamiento de esta información. Asimismo, reconocemos la esmerada asesoría brindada por el compañero Jesús Sánchez (Instituto de Matemática Aplicada, Cibernética, y Computación, ACC) en lo que se refiere al método estadístico empleado.

REFERENCIAS

THOMAS, J. R., y OERTHER, G. F., Jr. (1977): Aerial photography used for estimation of crop condition. *Sugar J.* 3:36-38.

BRUCE, R. C. (1978): A study on the application of infrared color aerial photography in determining drainage conditions in sugar cane fields. *Philippine Geogr. J.*, 22:83-93.

ABSTRACT. Results obtained by means of aerial multispectral photography in the evaluation of sugarcane yield in a plantation are presented. A multiple linear regression model was employed to relate the optical density with the sugarcane yield. Such preliminary results are promising.

CDU 528.77