

ZONIFICACION AGROECOLOGICA PARA EL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum spp.*) EN COSTA RICA¹ /

OSCAR E ROJAS*
MICHEL ELDIN**

Summary

This paper establishes agro-ecological zones for sugar cane crop in Costa Rica. Definitions of zoning units are based on the combination of three indexes: potential yield, climatic conditions needed for saccharose accumulation, and soil class. Potential yield was calculated by means of a production function which correlates the most important climatic variables (solar radiation and air temperature) to the biological processes which determine net biomass production (photosynthesis and respiration). A frequential analysis of rainfall was also used; it expresses water availability for the crop in terms of probability of occurrence of a certain amount of rainfall related to potential evapotranspiration (ETP) for the period under consideration. A period of ten days was selected for the analysis, as this is consistent with the water reserve in average soils.

The discussion of climatic conditions necessary for saccharose accumulation in the crop is based on rainfall probabilities and the analysis of the variation between maximum and minimum temperature prior to harvest. st.

Units are classified and placed in decreasing order of probability of good yields, to facilitate interpretation for users of the resulting agro-ecological zoning map.

Introducción

Todo programa de desarrollo agrícola para su efectiva planeación y ejecución deberá integrar dos etapas que son indispensables en la definición de políticas agrícolas. La primera etapa, es la evaluación del potencial agroecológico de la micro o macro región que se desee desarrollar. Esta etapa relaciona el clima y el suelo de la región, con los cultivos alternativos de posible fomento. Como resultado se determina cuáles de estos cultivos son, desde un punto de vista agroecológico, los más adecuados para in-

centivar. Con ello se podrá realizar una explotación racional, acorde con la capacidad productiva de los recursos naturales, procurando a la vez, el equilibrio y conservación de los ecosistemas.

La segunda etapa se refiere a la evaluación del potencial socioeconómico de la región. En ella se analizarán las variables socioeconómicas más importantes para el desarrollo de los diferentes cultivos, que se hayan determinado en la primera etapa como ecológicamente factibles de explotar. Dichas variables podrían ser, por ejemplo: la disponibilidad de capital en la zona, disponibilidad de mano de obra, infraestructura, costos de oportunidad, demanda por el producto y otros. Las zonificaciones agroecológicas son los instrumentos más adecuados para alcanzar con éxito los objetivos de la primera etapa; ellas resumen en forma bastante clara para los economistas y planificadores agrícolas, el potencial agroecológico de la región bajo estudio.

El propósito del presente estudio, es dar continuidad a las ideas expuestas en un artículo anterior (13), referidas al caso específico de la zonificación agroecológica del cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica.

¹ Recibido para publicación el 6 de mayo de 1983. El presente artículo es parte de una investigación realizada en forma conjunta por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y por la Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar de Costa Rica (LAICA).

* Ingeniero Agrónomo, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

** Director de Investigaciones del Instituto Francés de Investigaciones Científicas y Técnicas de Ultra Mar (ORSTOM).

A la vez, se espera que éstas sirvan como una contribución a la metodología de la zonificación agroecológica de cultivos. No se pretende entrar en el campo de la segunda etapa, pero se considera que éste deberá ser el paso inmediato a darse.

Materiales y métodos

Se tomó la división de Costa Rica en regiones físico-geográficas realizada por el Instituto Meteorológico Nacional, para hacer el análisis y las estimaciones de tipo agroclimático por región homogénea. Además se empleó una base de tiempo de diez días para estudiar cada variable climática.

Como guía general se modificó y utilizó el esquema metodológico desarrollado en la década de los años setenta por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) (5, 9).

Las etapas que comprende dicho esquema se presentan a continuación:

- a. Primera Etapa: Definición de los requerimientos agroecológicos del cultivo.
- b. Segunda Etapa: Constitución de un banco de datos meteorológicos y estimación de los elementos climáticos deficitarios para el área en estudio.

En esta etapa se emplearon los datos de 101 estaciones meteorológicas, de las cuales 72 tienen registros diarios de la precipitación, 54 registran las temperaturas máxima y mínima diarias y 22 el brillo solar. Es importante señalar que todas las estaciones que registran la precipitación fueron seleccionadas por presentar más de 20 años de registro y por una adecuada ubicación en el territorio nacional.

- c. Tercera Etapa: Utilización de análisis frecuencial de lluvias para la determinación del periodo de cultivo.

Esta técnica propuesta por Eldin (2, 3) y utilizada en varios trabajos (12, 13, 14) emplea probabilidades, en lugar de promedios, las que tienen un mayor significado e interés en la producción agrícola. El análisis frecuencial expresa la disponibilidad de agua para el cultivo en términos de probabilidades de ocurrencia de una cantidad de lluvia relacionada con la evapotranspiración potencial (ETP) del periodo considerado. El periodo seleccionado de análisis fue de diez días (denominado década) por guardar relación con la reserva hídrica del suelo. Para el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP) se utilizó la fórmula propuesta por Priestley y Taylor (11).

- d. Cuarta Etapa: Definición de los índices de potencialidades de producción y su expresión cartográfica.

Para el caso específico del cultivo de la caña de azúcar se emplearon dos índices agroclimáticos para evaluar el potencial azucarero de cada región.

Uno analiza la influencia del clima con respecto al tonelaje de caña de azúcar por hectárea o su equivalente en materia seca, y el otro la influencia del mismo sobre la acumulación de sacarosa en la planta. Estos dos índices se describen con mayor grado de detalle en un artículo anterior (13). Los mapas resultantes fueron trazados a la escala 1:500.000.

- e. Quinta Etapa: Análisis de las variables fisioedáficas.

A partir del conocimiento de los requerimientos edáficos y de las prácticas culturales más aconsejables (riego, mecanización, etc.) para el cultivo determinadas en la primera etapa, se analiza la información disponible sobre aspectos topográficos y edáficos del territorio a zonificar.

En este caso se reclasificaron las unidades del mapa de Asociación de Sub-grupos de Suelos de Costa Rica (10), según su aptitud para el cultivo de caña de azúcar.

- f. Sexta Etapa: Síntesis cartográfica sucesiva.

La síntesis cartográfica consiste en la sobreposición y síntesis sucesiva de los mapas elaborados en las etapas anteriores. Esto es, se discriminan aquellas áreas del territorio que no son contempladas por los mapas de índices agroclimáticos o por el mapa de las variables fisioedáficas.

- g. Séptima Etapa: Presentación de los resultados finales.

El seguimiento de las siete etapas anteriores darán como resultado la zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar, tal como se representa en la Figura 1.

Resultados y discusión

Definición de los requerimientos agroecológicos del cultivo (Primera Etapa)

La caña de azúcar para su cultivo está limitada fundamentalmente por dos componentes ecológicos, el clima y el suelo, comportándose el primero en forma regular en todas las áreas cañeras del mundo, mientras que el tipo de suelo puede ser variable.

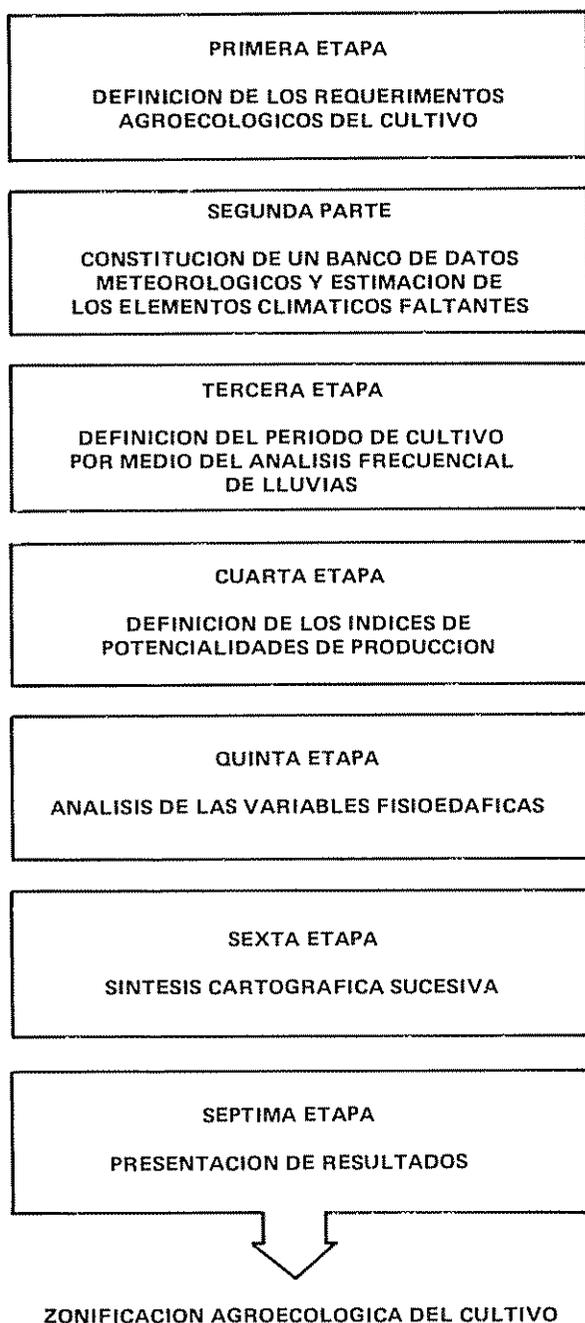


Fig. 1 Etapas del esquema metodológico necesarias para la zonificación agroecológica de cultivos

El clima para la caña de azúcar se presenta como el factor determinante en cuanto a rendimiento se refiere. Al respecto varios autores (1, 6, 7) han definido que la temperatura, la luz y la humedad son los principales factores de éste que controlan el desarrollo de la caña.

Se cita, que para que exista una buena germinación, amacollamiento y sobre todo un buen crecimiento, deben predominar temperaturas superiores a los 20°C, encontrándose el óptimo térmico para estos procesos entre 25°C y 33°C. Además se ha comprobado que la asimilación clorofílica aumenta de los 23°C a los 32°C aproximadamente para decrecer luego, mientras que la respiración máxima se sitúa entre los 36 y 38°C. Según esto resulta que por encima de 33°C la producción de materia seca decrece para quedar anulada completamente a cierta temperatura.

Por otro lado, se insiste especialmente en la diferencia térmica que ha de ser importante entre el día y la noche (es decir de las temperaturas máximas y mínimas) en el proceso de acumulación de sacarosa (7, 8).

La caña es por excelencia una "planta de sol". La intensidad luminosa afecta todo el complejo del crecimiento de este cultivo e influye sobre la formación de los azúcares y en especial sobre el contenido de sacarosa y pureza de los jugos (4).

Este cultivo requiere de una buena disponibilidad de humedad en el suelo durante el período de crecimiento. El agua juega un papel importante en la turgencia y la traslocación pero, durante el período de maduración, su contenido debe reducirse, con el objeto de restringir el crecimiento y dar comienzo a la acumulación de la sacarosa.

Cuadro 1. Índices fisioedáficos determinados para la clasificación de los suelos cañeros y no cañeros¹.

Variable	Optima	Marginal	Ambito
Pendiente (%)	0-20	20-50	-
Profundidad (cm)	> 50	10-50	-
Clase de drenaje ² /	MD-BD	-	PD-ID
Textura ³ /	FL-A	-	AA-AM
Fertilidad	-	moderado	-
pH (1:2.5)	5.5-8.2	-	4.5-8.5

1 Fuente: FAO. Agroecological zones project. Vol. I. Methodology and results for Africa. World Soil Resources Report. Rome. 1980.

2 ID = Imperfectamente drenado
MD = Moderadamente drenado
PD = Pobremente drenado
BD = Bien drenado

3 FL = Francolimoso
A = Arenoso
AA = Arcillo arenoso
AM = Arcillas montmorilloníticas

Si durante la zafra se presenta precipitación pluvial de cierta magnitud, puede que en el momento no se reduzcan los rendimientos, pero pasados unos días se notará el efecto perjudicial (4, 6, 16).

En resumen, la caña de azúcar es una planta para la cual la luz es esencial y que exige calor y humedad para su crecimiento; además también necesita los fríos nocturnos y exige ser privada de agua poco a poco.

En cuanto al suelo, la mayoría de los autores coinciden en indicar que la caña de azúcar es una planta que tolera muy bien las condiciones diversas del suelo. De una forma general, se cultiva con éxito tanto en terreno arcilloso muy pesado, como en terrenos extremadamente arenosos (4).

En el Cuadro 1 se presenta los índices fisioedáficos que se utilizaron para la clasificación de los suelos en Costa Rica.

Constitución de un banco de datos meteorológicos y estimación de los elementos climáticos, deficitarios para el área en estudio (Segunda Etapa)

a. Constitución de un banco de datos meteorológicos.

Para Costa Rica se creó un banco de datos meteorológicos en cinta magnética, el cual contiene la información diaria de la precipitación, de las temperaturas máximas y mínima y del brillo solar. Esta información ha sido publicada en colaboración con el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), el Instituto Francés de Investigaciones Científicas y Técnicas de Ultramar (ORSTOM) y el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) (15).

b. Estimación de los elementos meteorológicos deficitarios para el área en estudio.

Se hizo necesaria la estimación de las temperaturas diurna (θ) y diaria (t) que se obtienen a partir de las temperaturas máxima (t_x) y mínima (t_n), para cada década del año, ya que estas se emplean en el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP), así como en el cálculo de los índices de producción agrícola. Para este propósito se empleó las siguientes fórmulas:

$$\theta = \frac{2 t_x + t_n}{3} \quad t = \frac{t_x + t_n}{2}$$

Para el análisis se agrupan las estaciones meteorológicas con la información en regiones climáticas homogéneas: Pacífico Norte, Pacífico Sur, Valle Central, Sub-vertiente Norte y Atlántica. Se utilizó una ecuación lineal, entre la temperatura y la altura sobre el nivel del mar, denominada ecuación altotérmica o gradiente media. Se obtuvieron 37 ecuaciones por parámetro estimado y por región climática, las cuales suman en total 370 ecuaciones altotérmicas. El 84% de los R^2 fueron superiores a 0.90.

El brillo solar tuvo que estimarse debido a la escasez de estaciones que registran este parámetro ya que es un elemento importante para calcular la Radiación Global. El análisis se hizo por región climática. Cuando se contó con suficientes datos como para obtener una ecuación por región y además se calculó una ecuación general con todos los datos existentes. Se probaron diversos modelos con varias variables (promedio temperatura diurna, promedio temperatura diaria, promedio precipitación, altitud, latitud, longitud, etc.). Como resultado se obtuvo una correlación alta entre el promedio interanual por década del brillo solar y el promedio interanual por década de la precipitación. Una década constituye una observación, por lo que por cada estación se cuenta con 37 observaciones. El modelo de mejor ajuste fue de tipo cuadrático. En el Cuadro 2 se presentan las ecuaciones calculadas y sus respectivos coeficientes de correlación (R).

Utilización de análisis frecuencial de lluvias para la determinación del período de cultivo (Tercera Etapa)

Para cada una de las estaciones meteorológicas con datos de precipitación se realizó el Análisis Frecuencial de Lluvias, siendo posible definir por medio de él, el período de cultivo donde se integrará el Índice de Producción Potencial. A la vez éste da una idea clara de la distribución de las precipitaciones en el transcurso del año en las diferentes zonas analizadas. Como resultado de lo último se puede encontrar diferencias en aptitud en las zonas con respecto al cultivo de la caña de azúcar. Esto se aprecia en la Figura 2, donde se comparan a manera de ejemplo, las curvas del análisis frecuencial para tres regiones diferentes de Costa Rica: el Pacífico Norte, representado por la estación Filadelfia; el Valle Central, por la estación Juan Santamaría y el Atlántico por la estación Limón.

Evaluando sólo este aspecto, se puede concluir que la mejor distribución de lluvias según aptitud para el cultivo de la caña de azúcar, se presenta en la estación Juan Santamaría. Debido a que esta región cuenta con un período de buen abastecimiento hídrico (200 días), necesario para el crecimiento y formación de

Cuadro 2. Relación entre el promedio interanual por década del brillo solar y el promedio interanual por década de la precipitación por región climática.

Región	Ecuación	R
Valle Central	$BS = 8\ 4799 - 0.07797 P + 0.00039392 P^2$	0.85
Pacífico Norte	$BS = 8\ 9524 - 0.06846 P \pm 0.00027891 P^2$	0.88
Pacífico Sur	$BS = 9.1104 - 0.05636 P + 0.00016309 P^2$	0.84
Costa Rica	$BS = 8\ 6388 - 0.06344 P + 0.00022611 P^2$	0.84

BS = Promedio interanual por década del brillo solar.

P = Promedio interanual por década de la precipitación

materia seca y un período de sequía relativa favorable para la acumulación de la sacarosa. Para la estación de Filadelfia se puede observar una división del período de cultivo, al disminuir las probabilidades de incidencia de lluvias mayores o iguales a la mitad de la Evapotranspiración Potencial (ETP/2) del 30 de junio al 18 de agosto. Esto significa que en esta región es necesario contar con riego suplementario para completar la etapa de crecimiento y formación de materia seca. Por último para la estación Limón, se ve en forma clara que no es apta para el cultivo de la caña de azúcar, ya que no se presenta una época de sequía relativa, la cual es indispensable para la acumulación de sacarosa en la caña.

Definición de los índices de potencialidades de producción y su expresión cartográfica (Cuarta Etapa)

Para la elaboración de los mapas agroclimáticos se calculó el Índice de Producción Potencial (IPP) y el Índice Climático de Madurez (ICM), para las 72 estaciones con datos de precipitación. Aunque el índice de producción potencial se expresa en toneladas de materia seca por hectárea por período de cultivo y representa aproximadamente la producción anual que podría lograrse si se cumplen sus supuestos, es preciso recordar que tanto este índice como el índice climático de madurez tienen sobre todo un valor relativo y su propósito principal es permitir la definición y com-

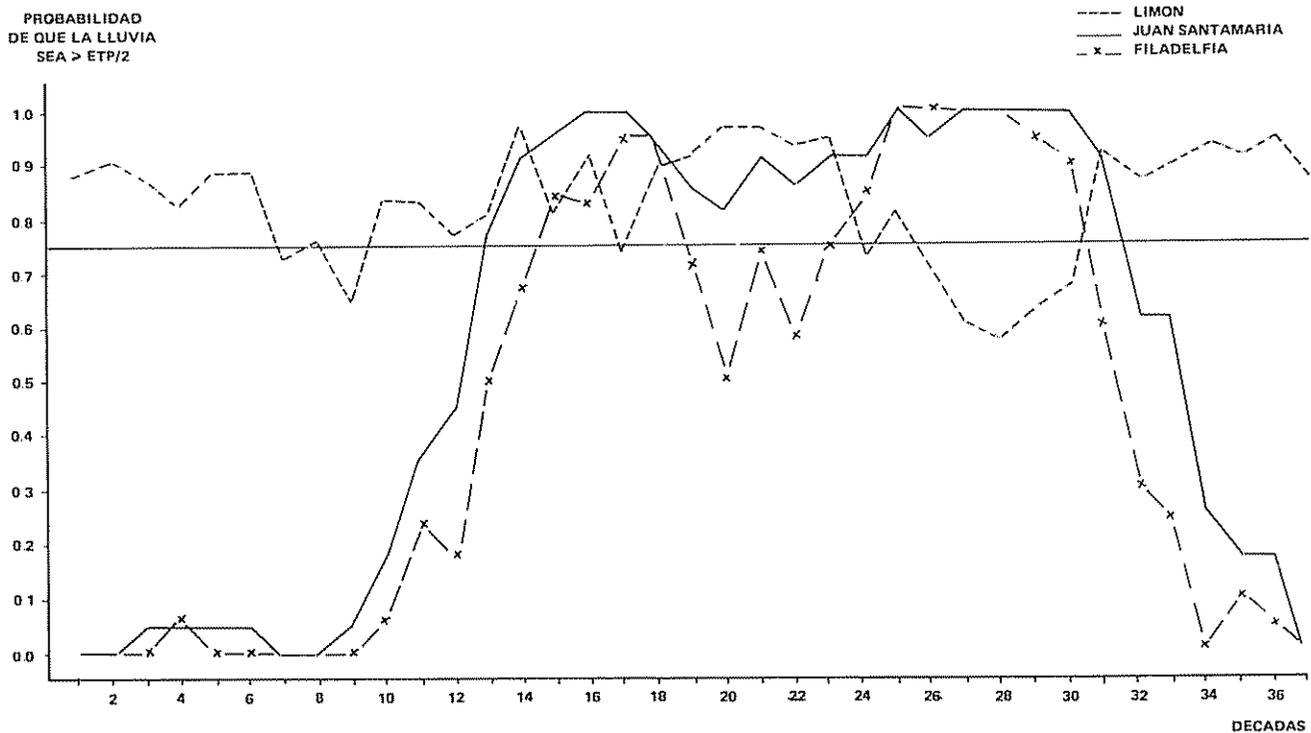


Fig 2. Análisis frecuencial de lluvias para las estaciones Limón, Juan Santamaría y Filadelfia.

Cuadro 3. Relación del Índice de Producción Potencial (IPP) e Índice Climático de Madurez (ICM) con la latitud, longitud y altitud por región climática.

Región	Ecuación	(R)
Valle Central	IPP = -140521131-6.48*ALI+16846.75*LAI+3342608*LOI-19896.6*(LOI) ² ICM = -11904.7+0.9721*ALI-159.835*LAI+159.91*LOI-0.0000299*(ALI) ²	0.90 0.89
Pacífico Norte	IPP = -105144+30.66*ALI-12681.7*LAI+3016.78*LOI-0.01817*(ALI) ² ICM = -4872.45-0.3367*ALI+67.07*LAI+50.53*LOI+0.000191*(ALI) ²	0.67 0.50
Pacífico Sur	IPP = -286079+2.73*ALI+73844.93*LAI-36.76*LOI-4247.42*(LAI) ² ICM = -785.15+0.0131*ALI-5.65*LAI+10.088*LOI-0.00001*(ALI) ²	0.79 0.87
Atlántico	IPP = -274499-13.0*ALI-26.7356*LAI+3791.09*LOI ICM = -471.537+0.000745*ALI-11.522*LAI+7.066*LOI	0.97 0.69
Subvertiente Norte	IPP = -675764+9.291*ALI+1994.82*LAI-7867.26*LOI-0.0092*(ALI) ² ICM = -479.33-0.0114*ALI+3.92*LAI+5.259*LOI+0.0000125*(LAI) ²	0.96 0.96

IPP = Índice de Producción Potencial

ICM = Índice Climático de Madurez para una duración probable de zafra de 3 meses

ALI = Altitud

LAI = Latitud

LOI = Longitud

paración de zonas geográficas diferentes desde el punto de vista de su potencial climático de producción agrícola.

Para ayudar al trazado de las isolíneas de estos dos mapas, se calculó una ecuación por región climática a partir de la técnica de regresiones múltiples. Las ecuaciones calculadas y sus respectivos coeficientes de correlación (R) aparecen en el Cuadro 3. Por medio de estas ecuaciones se calcularon algunos puntos de apoyo para el trazado de las isolíneas de los índices agroclimáticos; sin embargo en las regiones donde el coeficiente de correlación resultó bajo no se hicieron estimaciones y se trazaron las isolíneas empleando solamente los valores reales.

A la vez para facilitar la interpretación de estos mapas a los usuarios de la zonificación, se clasificaron los índices en tres categorías: bueno, regular y malo. Para el IPP la clasificación se hizo tomando en cuenta el promedio nacional de tonelaje de caña por hectárea (72 TM/ha) y un rendimiento mínimo rentable (40 TM/ha). Para el ICM se relacionó su valor con el rendimiento en azúcar por región. Como resultado de lo anterior se obtuvo la clasificación que se presenta en el Cuadro 4.

Análisis de las variables fisioedáficas (Quinta Etapa)

De acuerdo con los requisitos preestablecidos se reclasificó las unidades del mapa de Asociación de Subgrupos de Suelos de Costa Rica según su aptitud

para el cultivo de caña de azúcar. Se obtuvieron tres categorías: muy buena, buena y regular. Además como información adicional, se señaló el tipo de restricción de cada unidad. Se indicaron las siguientes restricciones: (a) acidez, (p) pendiente, (t) textura, (d) drenaje, (f) fertilidad, (o) profundidad, (i) inundaciones y (r) fragmentos rocosos.

Síntesis cartográfica y presentación de los resultados finales (Sexta y Séptima Etapas)

La zonificación agroecológica del cultivo de caña de azúcar se obtuvo mediante la sobreposición de los tres mapas anteriormente descritos (Escala 1:500 000). Su interpretación se facilitó por el uso de

Cuadro 4. Clasificación de los índices de potencialidades de producción de caña de azúcar.

Categoría	Índice de producción potencial* en TM de materia seca/ha	Índice climático de madurez
Bueno	> 26	> 20
Regular	20 - 26	5 - 20
Malo	< 20	< 5

* Si se considera en forma general que existen 2.5 partes de agua por parte de materia seca, el tonelaje de caña por hectárea correspondiente a 25 y 20 TM de Materia Seca por hectárea sería 65 TM/ha y 50 TM/ha respectivamente.

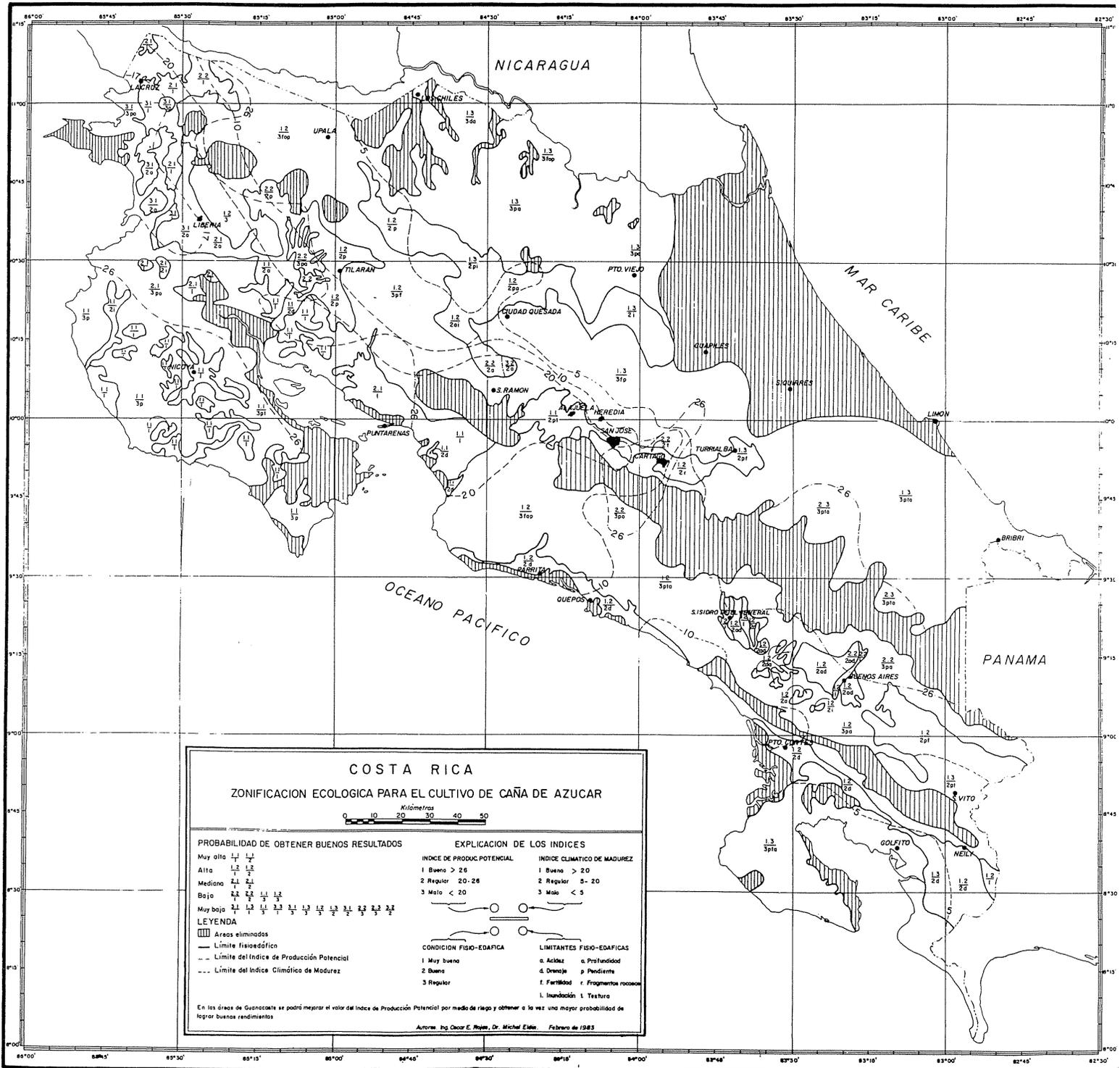


Fig. 3. Zonificación ecológica para el cultivo de la caña de azúcar.

un índice de número fraccionario (a/b) empleado en las zonificaciones anteriormente realizadas por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) (5, 9). En este caso tiene la siguiente interpretación: En el numerador aparecen dos números, el primer número representa la clasificación del Índice de Producción Potencial o sea que se señala si es posible esperar un buen rendimiento en tonelaje de caña por hectárea. El segundo número representa la categoría del Índice Climático de Madurez e indica cómo son las condiciones del clima con respecto a la acumulación de sacarosa en la caña. Por otro lado, en el denominador aparece un número acompañado por una letra; el número representa la categoría fisiológica y la letra las posibles limitantes que deben ser tomadas en cuenta para el manejo eficiente del suelo.

En la Figura 3 se presenta la zonificación agroecológica del cultivo de caña de azúcar para Costa Rica.

Conclusiones

Con base en esta zonificación agroecológica, los organismos relacionados con el sector agro-industrial de la caña de azúcar podrían definir políticas con mejores elementos de juicio. Por ejemplo, en el caso de querer extender el área de siembra del cultivo, se puede determinar en cuales regiones del país se deberán invertir recursos para realizar proyectos de factibilidad económica. No se estudiarán aquellas zonas que se hayan definido como marginales para el cultivo desde el punto de vista agroecológico.

Además, si se sobrepone el mapa final de zonificación a un mapa de uso actual de la tierra, es posible ver en las áreas definidas como potenciales, el grado de competencia de la caña de azúcar con respecto a otros cultivos; con esta base se harían los estudios pertinentes para determinar el mejor uso. Lo anterior es solamente un ejemplo de la utilización que se le puede dar a este instrumento de planificación. Los organismos con poder de decisión son los responsables de sacar el máximo provecho a este tipo de investigaciones.

Resumen

En el presente trabajo se realiza una zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica. Las unidades de zonificación se definen mediante la combinación de tres índices: rendimiento potencial, condiciones climáticas necesarias para la acumulación de la sacarosa y clases de suelos. El rendimiento potencial se calcula por medio de una función de producción que relaciona las variables más importantes de clima (radiación solar y la temperatura del aire) con los procesos biológicos determinantes

en la producción neta de biomasa (la fotosíntesis y la respiración) y por medio del análisis frecuencial de lluvias que expresa la disponibilidad de agua para el cultivo, en términos de probabilidades de ocurrencia de una cantidad de lluvia relacionada con la evapotranspiración potencial (ETP) del período considerado. El período de análisis seleccionado es de diez días por guardar relación con la reserva hídrica de un suelo con características promedio.

Las condiciones climáticas necesarias para la acumulación de la sacarosa en la caña se fundamentan en el conocimiento de las probabilidades de ocurrencia de la precipitación y del análisis de la variación entre la temperatura máxima y mínima antes del comienzo de la zafra.

Las unidades son clasificadas y jerarquizadas de mayor a menor probabilidad de obtener buenos rendimientos, con el afán de facilitar su interpretación a los usuarios del mapa de zonificación agroecológica obtenido.

Literatura citada

1. DILLEWIIN CORNELIS, V. Botany of sugar cane, USA. Waltham, Mass. 1952. 371 p.
2. ELDIN, M. A system of agroclimatic zoning to evaluate climatic potential for crop production. In Cusack, D.F. (Ed.) Agroclimatic information for development. Reviving the Green Revolution. Boulder, Colorado, Westview Press. 1983. 83-91 pp.
3. ELDIN, M. Sugerencias para una zonificación agroclimática de escala continental. IICA, Costa Rica. 1981. 14 p.
4. FAUCONNIER, R. y BASSEREAU, D. La caña de azúcar. Barcelona: Editorial Oriente. 1979. 227 p.
5. GARCIA B. J. Una contribución a la metodología de la zonificación ecológica de cultivos anuales. Tesis, CATIE. Turrialba, Costa Rica. 1972. 155 p.
6. GOMEZ A., F. Caña de azúcar. Caracas: Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 1875. 669 p.
7. HUMBER, R. P. El cultivo de la caña de azúcar. México: Compañía Editorial Continental. 1974. 719 p.

8. MALAVOLTA, E. Cultura e adubaçãõ de caña de açucar. Brasil: Instituto Brasileiro de Potassa. 1964. 367 p.
9. MONTOYA, J. M., *et al.* Informe sobre el proyecto zonificación ecológica de cultivos de consumo básico y tradicionales de exportación para los países del Mercado Común Centroamericano. Turrialba, Costa Rica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 1971. 59 p. (100 mapas 1:500 000).
10. OPSA. Manual descriptivo del mapa de asociaciones de sub-grupos de suelos de Costa Rica. 1979. 236 p.
11. PRIESTLEY, C. y TAYLOR, P. A. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. *Monthly Weather Review* 100. 81-92.
12. ROJAS M. O. Una contribución a la metodología de la zonificación ecológica de cultivos: Estudio agroclimático de la caña de azúcar en Costa Rica, UCR. Tesis. 1982. 130 p.
13. ROJAS, O. y ELDIN, M. Determinación del potencial agroclimático para la producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en Costa Rica. *Turrialba* 33(1):1-10. 1983.
14. ROJAS, O. y ELDIN, M. Zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en Costa Rica. San José. LAICA-IICA. 1983. 120 p.
15. ROJAS, O. ELDIN, M. y LHOMME, J. P. Información del banco de datos agroclimáticos de Costa Rica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Instituto Francés de Investigaciones Científicas y Técnicas de Ultramar (ORSTOM) e Instituto Meteorológico Nacional (IMN). Costa Rica. 1982. 7 Vols.
16. VARA, F., *et al.* Agrotecnia de la caña. Cubal Empresa Editorial Oriente. 1979. 227 p.

Reseña de libros

FEDKE, C *Biochemistry and physiology of herbicide action*. Springer Verlag 1982. 202 p.

Este libro es el más reciente sobre el tema, desde la publicación del texto de Ashton y Crafts en 1977. Debido a su índole técnica, el lector debe tener un conocimiento razonable de la bioquímica. Como se indica en el prólogo, los propósitos principales del autor son: 1) poner al lector al corriente sobre las investigaciones más recientes, y 2) promover, en el futuro, el uso de herbicidas como un instrumento valioso en la fisiología de plantas. Se saca en claro después de la última frase que uno de los herbicidas, llamado Diurón o DCMU ha demostrado ser muy útil en las aclaraciones de las complejidades de la fotosíntesis en sí, probablemente, la tarea más importante y práctica del fisiólogo de plantas hoy día.

Para entender el porqué y cómo una planta susceptible es dañada por un herbicida, idealmente se debe saber el primer acontecimiento, el sitio de la interacción molecular, los caminos metabólicos afectados, y la(s) reacción(es) que causan directamente el daño. El primer capítulo presenta un informe claro de los varios enfoques que se pueden utilizar para atacar estos problemas. Como se indica, el modo de acción de muchos herbicidas es todavía conocido sólo parcialmente.

Casi medio libro se dedica a la acción de herbicidas que afectan directamente la fotosíntesis. Aunque éste es el interés especial del autor, el énfasis se justifica en que más del 50% de los herbicidas, conocido hasta el presente, provocan sus efectos por medio de una interferencia de procesos fotosintéticos. Afortunadamente el autor entra en detalles considerables sobre los caminos fotosintéticos, que son relevantes, antes de discutir los efectos de los herbicidas, con el resultado de que el lector no familiarizado con estos detalles pueda entender su razonamiento. En el resto del libro se discuten los efectos de varios herbicidas sobre otros caminos metabólicos como la síntesis de ácidos nucleicos, proteínas y aceites así como sus efectos sobre orgánulos celulares (microtúbulos) que son necesarios para los procesos de crecimiento normal.

Es un factor interesante que para cada herbicida haya diferencias en susceptibilidad entre o dentro de las especies; las razones bioquímicas responsables de este fenómeno también se discuten. Este aspecto es de una importancia obvia y práctica ya que se conoce el desarrollo de razas de malas hierbas resistentes a herbicidas. Prácticamente algunas malezas nocivas se han inmunizado a los herbicidas utilizados para controlarlas, una situación semejante a la ocurrida con la aplicación de insecticidas.

El libro es un compendio excelente de conocimiento, pero no es de fácil lectura. Esto se debe principalmente a la complejidad del sujeto, y la confusión inevitable que ocurre en distinguir los efectos primarios y secundarios de los herbicidas. Aparte de esto, el lenguaje del autor, aunque sea correcto es a veces torpe, revelando que el inglés no es su idioma natural.

M. J. BRISTOW
CATIE, TURRIALBA
COSTA RICA