SERIE PUBLICACIONES MISCELANEAS No. 398
ISSN-0534-5391

ZONIFICACION AGROECOLOGICA PARA EL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum*) EN COSTA RICA

Oscar E. Rojas
Michel Eldin

IICA

LAICA

SERIE PUBLICACIONES MISCELANEAS N° 398
ISSN-0534-5391

ZONIFICACION AGROECOLOGICA PARA EL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR (Saccharum officinarum) EN COSTA RICA

OSCAR E. ROJAS
Ingeniero Agrónomo
Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)

MICHEL ELDIN
Especialista en Agroclimatología
Director de Investigaciones del ORSTOM asignado al
Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)

INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA
IICA
LIGA AGRICOLA INDUSTRIAL DE LA CAÑA DE AZUCAR (LAICA)
-SAN JOSE, COSTA RICA - 1983

© Oscar E. Rojas y Michel Eldin

© para esta edición, IICA, LAICA, 1983

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra, sin permiso del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura

IICA
PM-398 Rojas, Oscar E.
Zonificación agroecológica para el cultivo de caña de azúcar (Saccharum officinarum) en Costa Rica / [Por] Oscar E. Rojas [y] Michel Eldin. -- San José, Costa Rica: IICA ; LAICA, 1983.
112 p. -- (IICA : Serie publicaciones misceláneas ; no. 398)

ISSN 0534-5391

1. ZONIFICACION AGROECOLOGICA - COSTA RICA. 2. CAÑA DE AZUCAR - COSTA RICA. I. Eldin, Michel, coaut. II. Título. III. Serie.

AGRIS F40 DEWEY 633.61

SERIE PUBLICACIONES MISCELANEAS N° 398

La Serie de Publicaciones Misceláneas tiene como objetivo proporcionar información sobre temas relacionados con las acciones hemisféricas del IICA.

San José, Costa Rica, 1983

PRESENTACION

El presente estudio "Zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar (Saccharum officinarum) en Costa Rica", es el resultado de una acción conjunta del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y de la Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar de Costa Rica (LAICA), por medio de su Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA).

La presente investigación fue motivada por la necesidad de disponer de un instrumento de planificación y de programación para el cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica.

Desde el punto de vista de la planificación nacional, la presente zonificación permite la identificación de las áreas geográficas del territorio nacional con condiciones agroecológicas óptimas para la expansión de este cultivo. Así mismo, permite la localización de espacios geográficos que actualmente se encuentran cultivados de caña de azúcar pero cuya productividad potencial es mediocre y que frente al aumento de costos de producción y del descenso de precios de mercado, su cultivo debe ser en esas áreas desincentivado.

En relación a la programación del cultivo, esta zonificación ofrece para las áreas con potencial cañero, indicaciones sobre la mejor fecha para el inicio de la zafra, así como la duración de la misma; indicaciones sobre áreas con aptitud cañera pero que requieren riego complementario para garantizar buen rendimiento y ofrece información para la escogencia de variedades en función de características agroecológicas de los territorios zonificados.

Las dos instituciones patrocinadoras del estudio esperan que éste sirva como un elemento fundamental para aumentar y consolidar la producción azucarera nacional.

Carlos Enrique Fernández
Director Oficina del IICA
en Costa Rica

Adolfo Shadid
Secretario Ejecutivo LAICA

AGRADECIMIENTOS

Dejamos constancia de nuestro agradecimiento a:

La Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA) y a la Federación de Cámaras de Productores de Caña, por todo el apoyo financiero brindado a la presente investigación.

Al Ing. Antonio Ruiz, Subdirector de la Dirección de Investigación y Extensión de Caña de Azúcar (DIECA) de LAICA, por su espontánea y franca colaboración.

Al Instituto Meteorológico Nacional (IMN) por suministrarnos la información básica.

Al personal del Centro de Cómputo del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

Al Dr. J. Michel Montoya, Director del Programa de Manejo y Conservación de Recursos Naturales Renovables del IICA, quien se preocupó en todo momento por el buen desarrollo de este trabajo.

CONTENIDO

	Página
Introducción	1
CAPITULO I - ANTECEDENTES	
1. Justificación de la zonificación ecológica de cultivos	4
2. Problemática del cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica	6
2.1 Situación de la caña de azúcar	6
2.1.1 Importancia socioeconómica de la caña	6
2.1.2 Descripción de las zonas tradicionales de cultivo	10
2.1.3 Rendimientos de caña según zonas principales	13
2.1.4 Rendimientos de caña / azúcar para las diferentes zonas	17
2.2 Perspectivas y situación del azúcar	19
CAPITULO II - MATERIALES Y METODOS	
1. Etapas que comprende el Esquema Metodológico	23
1.1 Primera Etapa: Definición de los requerimientos agroecológicos de los cultivos	23
1.2 Segunda Etapa: Estimación de los elementos meteorológicos para el área en estudio	24
1.3 Tercera Etapa: Utilización del Análisis Frecuencial de Lluvias para la determinación de los períodos de cultivo	25
1.4 Cuarta Etapa: Definición del Indice Potencial de Producción y del Indice Climático de Madurez	28
1.5 Quinta Etapa: Análisis de las Variables Fisioedáficas	31
1.6 Sexta Etapa: Síntesis cartográfica	32
1.7 Séptima Etapa: Presentación de Resultados	32
2. Regiones y estaciones meteorológicas bajo análisis	32
CAPITULO III - RESULTADOS Y ANALISIS	
1. Definición de los requerimientos agroecológicos del cultivo. Primera Etapa	39
1.1 Clasificación de la caña de azúcar	39
1.2 Descripción de las principales especies	39
1.3 Influencia de los factores climáticos en el desarrollo del cultivo de la caña de azúcar	41
1.4 Etapas en el desarrollo de la caña	43
1.5 Respuestas edáficas	46

2. Estimación de los elementos meteorológicos necesarios para el análisis agroclimático. Segunda Etapa 49

2.1 Estimaciones térmicas 49

2.2 Estimación del brillo solar 51

3. Utilización del análisis frecuencial de lluvias para la determinación de los períodos de cultivo. Tercera Etapa 52

3.1 Región 1 - Valle Central 53

3.2 Región 2 - Pacífico Norte 53

3.3 Región 3 - Pacífico Sur 60

3.4 Región 4 - Atlántico 60

3.5 Región 5 - Subvertiente Norte 66

3.6 Comparación de las curvas del análisis frecuencial en zonas diferentes 66

4. Utilización del Indice de Producción Potencial y del Indice Climático de Madurez. Cuarta Etapa 69

4.1 Región 1 - Valle Central 69

4.2 Región 2 - Pacífico Norte 69

4.3 Región 3 - Pacífico Sur 72

4.4 Región 4 - Atlántico 74

4.5 Región 5 - Subvertiente Norte 75

4.6 Estudio de la zafra: duración y fechas óptimas 75

5. Análisis de las variables fisioedáficas. Quinta Etapa 78

6. Síntesis cartográfica. Sexta Etapa 88

7. Resultados Finales. Séptima Etapa 89

CAPITULO IV - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Conclusiones 93

2. Recomendaciones 94

LITERATURA CONSULTADA 95

ANEXOS 98

LISTA DE CUADROS

		Página
1.	Distribución geográfica del cultivo de caña en el período 1950 - 1979 por zonas principales	16
2.	Rendimientos caña/azúcar para los ingenios en las zonas tradicionales	18
3.	Proyecciones de producción, demanda y rendimientos de azúcar, según tendencias	20
4.	Estaciones meteorológicas empleadas en el Estudio Agroclimático	35
5.	Fechas correspondientes a cada una de las décadas del año	38
6.	Etapas en el desarrollo de la caña, sus requerimientos climáticos y algunas características de tipo general	44
7.	Indices fisioedáficos determinados para la clasificación de los suelos en cañeros y no cañeros	48
8.	Relación entre la altitud y las temperaturas diurna y diaria por década para la Región 1 - Valle Central	50
9.	Relación entre el promedio interanual por década de la precipitación y el promedio interanual por década del brillo solar por región climática	52
10.	Indice de Producción Potencial e Indice Climático de Madurez para la Región 1 - Valle Central	70
11.	Indice de Producción Potencial e Indice Climático de Madurez para la Región 2 - Pacífico Norte	71
12.	Indice de Producción Potencial e Indice Climático de Madurez para la Región 3 - Pacífico Sur	73
13.	Indice de Producción Potencial e Indice Climático de Madurez para la Región 4 - Atlántico	76
14.	Indice de Producción Potencial e Indice Climático de Madurez para la Región 5 - Subvertiente Norte	77
15.	Fecha óptima para la zafra según duración de la misma, para la Región 1 - Valle Central	80
16.	Fecha óptima para la zafra según duración de la misma, para la Región 2 - Pacífico Norte	82
17.	Fecha óptima para la zafra según duración de la misma, para la Región 3 - Pacífico Sur	83
18.	Fecha óptima para la zafra según duración de la misma, para la Región 4 - Atlántico	84
19.	Fecha óptima para la zafra según duración de la misma, para la Región 5 - Subvertiente Norte	85
20.	Relación del IPP e ICM con la latitud, longitud y altitud por región climática	88
21.	Clasificación de los Indices de Potencialidades de Producción de caña de azúcar	89

LISTA DE FIGURAS

		Página
1.	Análisis frecuencial de lluvias para la Estación San José	54
2.	Análisis frecuencial de lluvias para la Estación Fabio Baudrit	54
3.	Análisis frecuencial de lluvias para la Estación La Argentina	55
4.	Análisis frecuencial de lluvias para la Estación Puntarenas	55
5.	Análisis frecuencial de lluvias para la Estación Barranca	56
6.	Análisis frecuencial de lluvias para la Estación Tilarán	56
7.	Análisis frecuencial de lluvias para la Estación Nicoya	58
8.	Análisis frecuencial de lluvias para la Estación Santa Cruz	58
9.	Análisis frecuencial de lluvias para la Estación Filadelfia	59
10.	Análisis frecuencial de lluvias para la Estación Liberia	59
11.	Análisis frecuencial de lluvias para la Estación Finca Palo Seco	61
12.	Análisis frecuencial de lluvias para la Estación Palmar Sur	61
13.	Análisis frecuencial de lluvias para la Estación Volcán Angel	62
14.	Análisis frecuencial de lluvias para la Estación Golfito	62
15.	Análisis frecuencial de lluvias para la Estación Limón	63
16.	Análisis frecuencial de lluvias para la Estación La Lola	63
17.	Análisis frecuencial de lluvias para la Estación Barra de Colorado	65
18.	Análisis frecuencial de lluvias para la Estación Turrialba	65
19.	Análisis frecuencial de lluvias para la Estación La Marina	67
20.	Análisis frecuencial de lluvias para la Estación Upala	67
21.	Análisis frecuencial de lluvias para la Estación Zarcero	68
22.	Análisis frecuencial de lluvias para las Estaciones Limón, Juan Santamaría y Filadelfia	68

LISTA DE MAPAS

		Página
1.	Zonas cañeras de Costa Rica	14
2.	Regiones físico-geográficas de Costa Rica	34
3.	Isófanas de la fecha óptima de comienzo para una zafra de tres meses de duración	79
4.	Suelos de Costa Rica según aptitud para el cultivo de caña de azúcar	87
5.	Isolíneas del Indice de Producción Potencial	90
6.	Isolíneas del Indice Climático de Madurez	91
7.	Zonificación Ecológica para el cultivo de caña de azúcar	Anexo D

LISTA DE ANEXOS

		Página
A.	Análisis frecuencial de lluvias: Tercera Etapa	98
B.	Indice de Producción Potencial	100
C.	Indice Climático de Madurez. Método de pronóstico	111
D.	Zonificación ecológica para el cultivo de caña de azúcar	113

INTRODUCCION

La incertidumbre y el riesgo siguen siendo en la actividad agrícola dos limitantes constantes que desestimulan la inversión e impiden el desarrollo de este sector productivo. A la vez dificultan las decisiones a tomar dentro de las empresas agropecuarias, en los aspectos económicos de qué producir y cómo producir. Las respuestas a estas dos preguntas dependerán definitivamente de los recursos naturales y humanos con que se cuente. Trabajos tales como la caracterización agroecológica de áreas y la zonificación de cultivos tienen como objetivo disminuir la incertidumbre y cuantificar el riesgo; además suministran información ecológica suficiente para un mejor aprovechamiento u optimización de los recursos naturales existentes (suelo, agua, condiciones climáticas, etc.).

Existen delimitaciones agrícolas que surgen de la distribución tradicional que los agricultores han establecido basados en el éxito obtenido con este o el otro cultivo. Sin embargo, esto no garantiza que dentro de las zonas elegidas no existan áreas marginales, ni tampoco que se hayan evaluado todas las zonas potenciales para el cultivo.

Por esta razón el objetivo principal del presente trabajo es obtener una zonificación agroclimática de la caña de azúcar para Costa Rica. En forma más explícita , determinar las zonas del territorio nacional, que por sus condiciones meteorológicas (temperatura, radiación solar, precipitación, etc.) y fisioedáficas, son aptas para el buen desarrollo del cultivo de la caña de azúcar.

Se tratará este cultivo debido a su contribución socio-económica y además porque en el ámbito nacional se ha sentido la necesidad de contar con una zonificación, como lo sugieren varias investigaciones e instituciones entre las que podemos citar:

El "Programa de Mejoramiento de la Producción e Industrialización de la Caña de Azúcar", elaborado por la Secretaría Ejecutiva de Planificación del Sector Agropecuario (SEPSA) (31), "La Producción de Alcohol Carburante en Costa Rica: Evaluación y Perspectivas" (34),"Una Contribución a la Metodología de la Zonificación Ecológica de Cultivos: Estudio Agroclimático de la Caña de Azúcar en Costa Rica" (30), el Ministerio de Agricultura y Ganadería, entre otras.

Los objetivos específicos son:

I. De tipo técnico

a. Clasificar las zonas cañeras de Costa Rica, por sus condiciones climáticas y edáficas, en buenas, regulares y marginales.

b. Inferir acerca de la influencia de determinados factores climáticos sobre los rendimientos obtenidos de la caña. Además definir potencialidades ecológicas de producción.

c. Determinar para cada zona cañera:

i) los meses más apropiados para la zafra

ii) duración del ciclo, y

iii) un criterio científico para la elección de variedades

II. De tipo económico

a. Dando a conocer, por medio de la zonificación, las condiciones ecológicas existentes en el país y su relación con los rendimientos en azúcar será posible definir en forma más acertada las políticas de tipo azucarero en Costa Rica.

b. Ofrecer un instrumento de ayuda para la otorgación del crédito, referido a la actividad cañera del país. Ya que los bancos podrán distribuir sus avíos de acuerdo con las potencialidades agroclimáticas de las diferentes zonas del territorio nacional.

c. Obtener la información que facilite el manejo de la caña por región y por variedad; y por ende que se refleje en los rendimientos nacionales.

La estructura del trabajo es la siguiente:

En el primer capítulo se presenta: La justificación de la zonificación ecológica de los cultivos, la problemática del cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica, en sus aspectos más sobresalientes: importancia socioeconómica, descripción de las zonas tradicionales, los rendimientos en caña y en azúcar para estas zonas, y se finaliza con las perspectivas y situación del azúcar en el país.

La descripción de los materiales y métodos empleados constituye el segundo capítulo. Los resultados y su análisis, el tercero; y por último, el cuarto capítulo incluye las conclusiones y recomendaciones del caso.

CAPITULO I - ANTECEDENTES

1. Justificación de la Zonificación Ecológica de Cultivos.

Para los Economistas Agrícolas, y planificadores en general, la zonificación ecológica de cultivos constituye un instrumento básico a la hora de formular planes y programas de carácter agronómico. Ya que toda programación y planificación del desarrollo agropecuario que se considere eficiente debe fundamentarse en el conocimiento de un marco de referencia biofísico en los aspectos agroecológicos: clima-suelo-cultivo. Generalmente los planes de desarrollo trazados solamente sobre una base macroeconómica no pueden dar resultados tan satisfactorios como aquellos que integren ese marco de referencia biofísico, establecedor de los potenciales productivos de las áreas o regiones sobre las cuales va a recaer el planeamiento. (14)

A raíz de un diagnóstico los economistas pueden establecer cuáles son los productos agropecuarios que se encuentran deficitarios para el consumo local o regional; además con base en el análisis de los mercados internacionales cuáles son los productos que tienen buenas perspectivas de exportación. Por lo que se pueden elaborar listas de productos que tienen posibilidad económica para una expansión. Sin embargo, no basta el establecimiento de esta lista de cultivos para hacer planes de fomento; la primera interrogante que se plantearán los planificadores será sobre la localización de las áreas en el territorio en el que están trabajando, que tengan condiciones ecológicas adecuadas para estos cultivos; así se podrán formular las directivas necesarias para alcanzar las metas de expansión con un máximo de seguridad y, por lo tanto, garantizando un retorno de las inversiones a realizarse.

"Un segundo caso se refiere a planes de desarrollo en áreas específicas, en los cuales, si bien se conoce que el objetivo general es el desarrollo, las metas específicas están por definirse. Para alcanzar dichas metas es necesario determinar cuáles son los cultivos que tienen las mejores perspectivas ecológicas, en función de los recursos biofísicos disponibles en el área. De esta forma la zonificación ecológica de cultivos dará como resultado a los planificadores, la lista de los cultivos ecológicamente factibles, así como la localización de los espacios geográficos con recursos ecológicos adecuados para cada uno de ellos. Posteriormente estudios referentes a mercados de los productos señalados, así como el análisis de los costos de producción, darán al planificador los criterios necesarios para la toma definitiva de decisiones relativas a qué cultivos fomentar.

Es necesario señalar que las decisiones relativas al fomento de un cultivo, ya sea en los niveles de área, nación o región, implican una serie de acciones coordinadas, como son las de investigación, extensión y crédito. Estas acciones, para alcanzar éxito, también deberán ser establecidas en función de las áreas que tengan aptitudes ecológicas para el desarrollo de un cultivo, y cuya factibilidad económica haya sido establecida." (24)

Resumiendo los párrafos anteriores, la zonificación ecológica de cultivos ofrecerá al planificador tres tipos de información de importancia primordial para el establecimiento de planes y proyectos de fomento; éstas son las siguientes:

- Localización en el territorio de trabajo de las diversas áreas alternativas para cada cultivo considerado,

- La lista de cultivos alternativos para cada área que se desee considerar, e
- Información ecológica suficiente para un mejor aprovechamiento u optimización de los recursos naturales existentes (suelo, agua, condiciones climáticas, etc), ya que se podrán utilizar las técnicas de cultivo (siembra, riego, fertilización,...) más apropiadas a éstos.

La necesidad de disponer la localización de unidades de territorio aptas para cada cultivo, así como los diversos cultivos que pueden establecerse con éxito en un área determinada, es lo que ha motivado la presente investigación; que si bien es acerca de un solo cultivo -caña de azúcar- constituye uno de los pilares básicos para desarrollar con acierto una política agrícola racional.

2. Problemática del cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica

2.1 Situación de la Caña de Azúcar

2.1.1 Importancia socioeconómica de la caña

Desde el punto de vista socioeconómico, el cultivo e industralización de la caña de azúcar en Costa Rica es sumamente importante, ya que contribuye en aspectos fundamentales como son la alimentación de los costarricenses, generación de divisas, empleo, y constituye uno de los insumos básicos para el desarrollo del Sector Agroindustrial.

Observando el aspecto social, se puede afirmar que esta actividad, vista como fuente productora de trabajo, es quizás la primera en importancia en el país. Esto porque, en la Meseta Central, Turrialba y San Carlos, genera ocupación a la gente que trabaja estacionalmente en el café. (32) Esta combinación, caña-café, en estos lugares es lo que ha permitido fundamentalmente que la agricultura del café, que tradicionalmente ha sido la principal generadora de divisas, se mantenga; lo cual es relevante para la Economía Nacional.

Por otra parte, la Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (SEPSA), ha estimado que la actividad genera empleo aproximadamente a unos 20,000 trabajadores en forma permanente, que representan un 2.6 por ciento de la población económicamente activa del país, sin incluir la gran cantidad de mano de obra que es requerida para el período de zafra. (31).

Sin embargo, al considerar la futura expansión del cultivo, es vital, que se tome en cuenta la oferta de mano de obra, ya que en algunas regiones este factor se ha tornado limitante para el desarrollo de la actividad cañera.

Además vale la pena señalar, que la misma, cuenta con unos 18,000 productores de caña independientes de los ingenios, lo que la hace, a la par del café, otro gran factor

de distribución de riqueza, que es esencial para que el tradicional régimen democrático e institucional de Costa Rica, se mantenga. (32).

Su contribución al valor agregado de la producción agropecuaria ha sido fluctuante y presenta un 4.6 por ciento en 1973, un 8.1 por ciento en el año 1975 cuando alcanzó un valor máximo de 277.2 millones de colones un 4.3 por ciento en 1978, equivalente a un monto de 253.8* millones; esta última cifra refleja una marcada disminución en el ritmo de crecimiento del valor agregado dentro del Sector Agropecuario. (31)

Tal comportamiento no debe atribuirse a la caña en particular, sino que ha sido experimentado por los cultivos agrícolas mayores.

Respecto a la exportación de azúcar se ha efectuado mayoritariamente hacia el mercado preferencial de los Estados Unidos por medio de cuotas asignadas a nuestro país. Actualmente las cuotas de exportación son fijadas de acuerdo al Convenio Internacional del Azúcar; y la correspondiente a 1980 ascendía a un total de 105,000 toneladas métricas.

---

*Precios corrientes

El azúcar constituye uno de los principales productos de exportación en Costa Rica, y ha ocupado tradicionalmente el puesto número tres o cuatro entre los productos agropecuarios de exportación, superado por el café en primer lugar, el banano en segundo y algunas veces por la carne en tercer lugar. (31, 1)

En los últimos nueve años (1970-1978) según SEPSA, ingresaron a la Economía Nacional 195.2 millones de dólares, como resultado de una exportación de 697,735 toneladas métricas de azúcar. Sin embargo, señala esta misma entidad, su participación porcentual en las exportaciones ha disminuido por efecto de una demanda interna cada vez más creciente, motivada por incrementos en el consumo industrial y percápita que sitúa a Costa Rica entre los países con más alto consumo en el mundo. En el lapso 1970-1976 el consumo interno mostró una tasa de crecimiento promedio del 7.2 por ciento, pero a partir de la zafra 1976-1977 hasta la 1978-1979 se nota una disminución en el crecimiento de la demanda, por factores de saturación en esos años, principalmente de las industrias.

Otro aspecto relevante de la actividad cañera es la alternativa que ofrece actualmente para la producción de alcohol como sustituto de la gasolina, lo que significa un ahorro de divisas.

Existe también la posibilidad de producir "etano de caña" para la elaboración de productos como el PVC y plásticos en general.

Con la obtención de estos productos, se verá mejorada la balanza comercial, y además el país logrará una menor dependencia externa para el abastecimiento de productos energéticos.

2.1.2 Descripción de las zonas tradicionales de cultivo

Es importante tener una idea clara de las características más sobresalientes de las actuales zonas productoras de caña en el país. Esto permitirá inferir acerca de la influencia de determinados factores -climáticos, edáficos y socioeconómicos- en la producción. A la vez, servirán de base para la formulación de hipótesis, sobre los rendimientos esperados en las zonas que se determinen como potenciales.

La presente descripción es tomada del estudio realizado por el Ing. Carlos A. Ramírez (29), jefe del Departamento de Agronomía del Ministerio de Agricultura y Ganadería. Ello por ser una fuente calificada y sumamente reciente.

Las principales áreas productoras son cinco. En el Mapa 1 aparecen las áreas en que se incluyen las 14 zonas tradicionales.

1 Areas Tropicales Secas, Mecanizables. (Mapa 1, zonas 1, 2, 3, 4)

Son especialmente las áreas de Guanacaste y Puntarenas, de suelos aluviales recientes, planos, de poca pendiente, donde las diferentes labores del cultivo y cosecha son factibles de mecanizarse en un 100%, y poseen capacidad de dar altos rendimientos en más de un 70% de su superficie. El 30% restante del área puede explotarse intensivamente, si las condiciones de drenaje mejoran. Estas zonas deben proveerse de las facilidades de riego, mediante el suministro de agua de pozos profundos, represas y la construcción de tanques de almacenamiento (embalses). Tienen una época definida de cosecha.

En estas áreas, mediante la aplicación del riego, es posible completar el ciclo de desarrollo de la planta y alcanzar la madurez óptima. Su período de zafra debe ser de cuatro meses. Los medios de transporte permiten el máximo empleo de las unidades de acarreo hacia fábricas bien situadas. Su ubicación en las proximidades de los puertos de embarque constituye otra ventaja de éstas, por cuanto se evita incurrir en costos excesivos de transporte.

2. Areas Subtropicales, Secas, Semimecanizadas. (Mapa 1, zonas 5 y 6).

Son las áreas de Alajuela y San Ramón, con capacidad de dar en más de un 60% de su superficie, altos rendimientos por unidad. El 40% restante tiene como factores limitantes la topografía y la condición económica del minifundio.

Estas áreas cuentan con adecuadas vías de comunicación, pero tienen poca centralización para la elaboración del producto. La zona dispone de una cantidad limitada de agua para riego, especialmente por factores de topografía, falta de diseño en el sistema de riego y demanda de agua para otros usos (principalmente electrificación).

Por la condición favorable de su clima, el área cuenta con una época de zafra más larga (seis meses). El "tiempo muerto" de la actividad comercial se reduce al mínimo, por la explotación cafetalera que se presenta como una actividad complementaria.

Por su ubicación, cercana a los grandes centros de población, tiene, en la actualidad, que competir con las fábricas por la mano de obra.

Areas Subtropicales, Húmedas, Semimecanizables.

3. Juan Viñas-Turrialba. (Mapa 1, zonas 9 y 10).

Areas de condiciones similares a las anteriores en cuanto a los aspectos socioeconómicos. Difieren porque en estas predominan condiciones ambientales características de clima lluvioso. Un 40% de la superficie de estas áreas tiene capacidad de dar altos rendimientos.

4. Llanuras de San Carlos. (Mapa 1, zonas 7 y 8)

Son áreas que poseen suelos de características variables, solo permiten obtener en más de un 75% de su superficie moderados rendimientos de azúcar por unidad de explotación, ya que carecen de épocas definidas de sequía que

le permitan al cultivo alcanzar su grado óptimo de madurez comercial. Por las condiciones ambientales tan severas (lluvias anuales con más de 3,000 mm), los suelos presentan serias limitaciones para las explotaciones intensivas.

Los factores limitantes de drenaje y la topografía ondulada, impiden la mecanización en un 100% de las diferentes actividades del cultivo.

Por la naturaleza de esta actividad no ha sido posible la centralización. La falta de vías adecuadas de comunicación constituyen un serio factor que limita el transporte de las cosechas y las exportaciones.

5. Areas Tropicales Húmedas, Planas, Subtropicales de Lomaje y Semimecanizables.

Pacífico Sur Húmedo. (Mapa 1, zonas 11, 12, 13, 14)

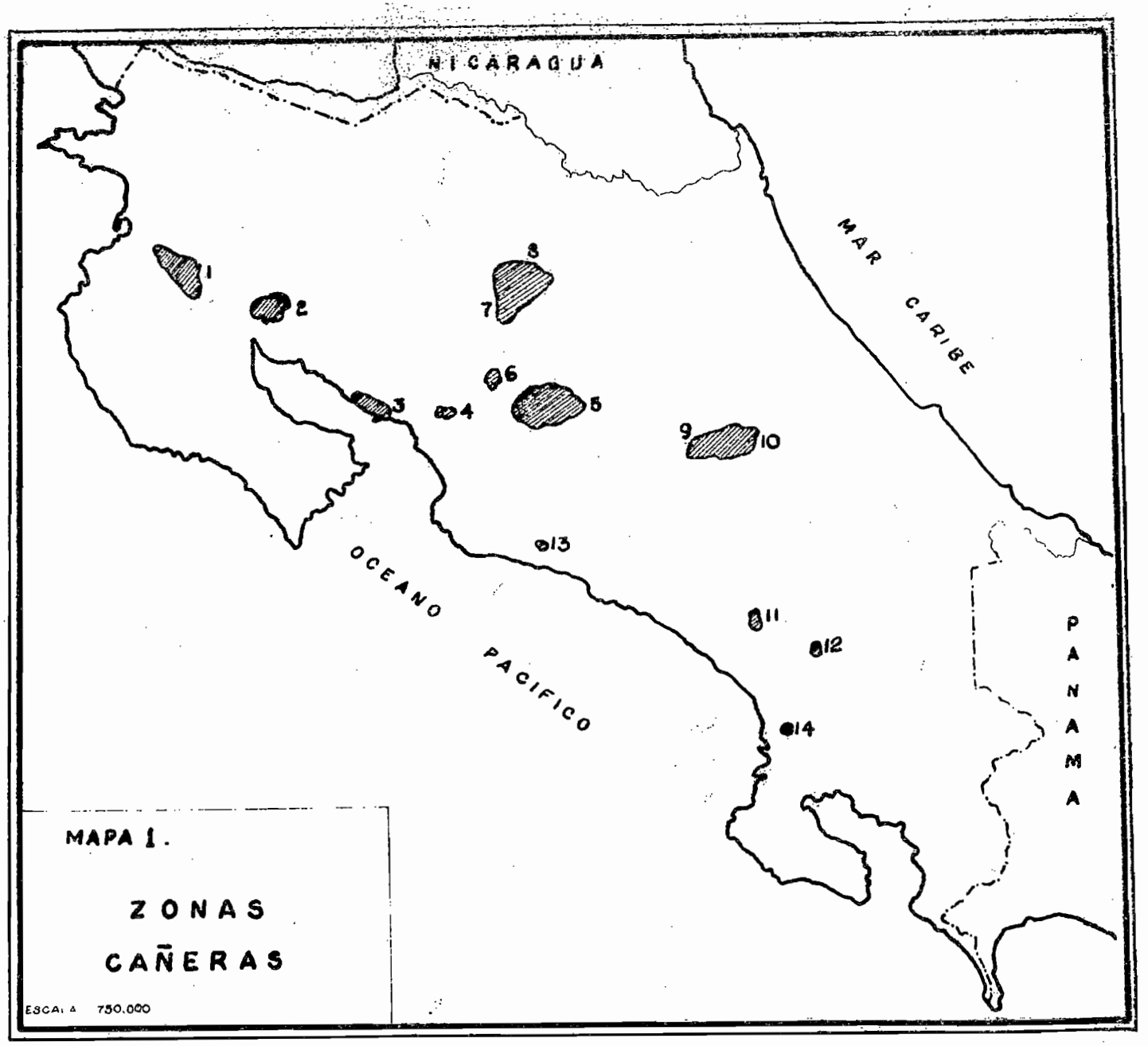
En estas zonas tenemos en Parrita el Ingenio San Gerardo, cuyas características de clima presentan una estación seca corta.

En Pérez Zeledón, el Ingenio de El General, con áreas semimecanizables.

El área de mayor potencial de esta región se localiza en Palmar Sur.

2.1.3 Rendimientos de caña según zonas principales

Un análisis de cómo han evolucionado los rendimientos en caña de azúcar por unidad de área permite observar a



Fuente: MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA

nivel nacional una duplicación de estos, al pasar de 36 TM/Ha[1/] en 1950 a 72 TM/Ha en 1977/78, lográndose los incrementos mayores en la última década del período. (3)

A nivel de zonas, siempre el Valle Central Oriental (zona 5) ha mostrado la mayor productividad alcanzando unas 83 TM/Ha como promedio para el último año. (zafra 1977/78).

La zona más dinámica, en cuanto a mejorar los rendimientos se refiere, es la del Pacífico Norte con una tasa de incremento anual de 3.7% (la nacional es de 2.6%) lo que le permitió obtener en 1977/78 una productividad promedio de 68 TM/Ha.

La zona 1 es otra que junto con la zona 5 tienen rendimientos superiores al promedio nacional, aunque solo ligeramente más elevados.

En cuadro 1 pueden observarse los comportamientos descritos.

La zona 4, Atlántico Norte es la de las zonas restantes la que más destaca, también ha exhibido rendimientos superiores al nacional en algunos de los años considerados.

Debe tomarse en cuenta sin embargo que los rendimientos apuntados corresponden al peso de caña obtenido por hectárea, que deben plantearse y asociarse por otro lado con

---

1/ Toda vez que se utilice las unidades TM/Ha dentro del presente trabajo, se refiere a toneladas métricas de materia verde con aproximadamente 67% a 75% de agua.

CUADRO 1

DISTRIBUCION GEOGRAFICA DEL CULTIVO DE CAÑA EN EL PERIODO 1950-1977. POR ZONAS PRINCIPALES

	1950		1955		1963		1973		77/78	
	AREA (MILES Ha)	RENDIMIENTO (T.M./ Ha)	AREA (Ha) (MILES Ha)	RENDIMIENTO (T.M./ Ha)	AREA (Ha)	RENDIMIENTO (T.M./ Ha)	AREA (Ha)	RENDIMIENTO (T.M./ Ha)	AREA (Ha)	REND MIEN (T.M Ha.
Costa Rica	19.9	35.6	19.3	38.2	35.0	46.5	38.8	66.3	n.d.	72.
Total de Zonas consideradas	16.8	39.7	17.7	42.2	30.3	44.7	36.8	66.9	40.7	71.
1. Valle Central Occidental	8.1	31.7	8.8	38.6	11.1	38.5	12.5	67.7	14.2	73.
2. Pacífico Norte	1.2	25.6	1.5	23.3	5.1	34.1	6.4	62.3	12.0	67.
3. Pacífico Sur	0.7	35.6	0.7	27.0	1.6	21.6	1.8	47.6	1.8	51.
4. Subvertiente Norte	0.7	42.7	0.7	31.6	3.5	53.9	5.7	64.0	4.4	70.
5. Valle Central Oriental	4.2	55.3	4.1	58.5	7.1	60.2	9.0	77.0	7.0	83.

FUENTE: CONICIT (3)

los rendimientos de azúcar o sea los kilogramos de azúcar que se obtienen por tonelada de caña. De esta forma las consideraciones del comportamiento de cada zona pueden alterarse como consecuencia de diferente calidad de caña de una zona a otra.

2.1.4 Rendimientos de caña/azúcar para las diferentes zonas.

En forma independiente del rendimiento de cultivo, o sea del volumen de caña de azúcar obtenido por unidad de área; se da además el rendimiento en el ingenio que corresponde al azúcar obtenido por volumen de caña de azúcar, este se ve afectado principalmente por: la época de cosecha de la caña (en cuanto a condiciones climáticas), edad de la planta, variedad de que se trate y por la eficacia del equipo de molienda y procesamiento.

Para 1949 se dio una primera reforma a la legislación de 1940, que establecía con carácter de obligatorio un rendimiento mínimo de azúcar por tonelada de caña, este fue de nuevo variado en octubre de 1958 estableciéndose para la región del Pacífico un rendimiento mínimo de 92 kilogramos de azúcar y para el Atlántico de 87.25 Kg.; más 25 Kg. de melaza en ambos casos (desde la zafra 1966/67 se elevó la cantidad de melaza a 30 Kg. por tonelada de caña).

En el cuadro 2 se plantean para algunos años los rendimientos de azúcar obtenidos por zonas productoras. Resaltan dos aspectos: primero, a través de todo el período y a escala nacional hay un decrecimiento de los rendimientos

CUADRO 2

COSTA RICA. RENDIMIENTOS CAÑA/AZUCAR PARA LOS INGENIOS EN LAS ZONAS PRODUCTORAS (EN KILOGRAMOS DE AZUCAR/T.M. CAÑA)

	1956/57	1962/63	1965/66	1968/69	1971/72	1974/75	1977/78	1979/79	TASA INCREMENTO ANUAL
RENDIMIENTO PROMEDIO GENERAL	94.9	94.9	92.0	90.9	94.9	91.7	84.8	83.5	-0.6%
1. Valle Central Occidental	99.7	103.2	101.2	96.1	101.7	97.0	90.4	91.2	-0.4%
2. Pacífico Norte	88.5	79.7	74.0	78.2	87.6	81.6	78.4	83.5	-0.3%
3. Pacífico Sur	--	--	--	--	--	63.8	68.7	79.9	+2.6%
4. Atlántico Norte	68.8	77.1	74.7	82.2	90.0	89.4	74.5	73.2	+0.6%
5. Valle Cental Oriental	88.6	99.1	94.6	96.6	94.4	94.0	89.9	89.0	+0.3%

FUENTE: CONICIT (3)

de casi 10 Kg. en los años extremos. A nivel de las diferentes zonas el comportamiento es variable, sin embargo, es claro que durante los años sesenta en promedio se obtuvieron los rendimientos más altos, los que luego disminuyen. Segundo, el carácter de obligatorio para los rendimientos, establecido con criterio técnico, no ha significado la obtención de mayor eficiencia en la extracción de azúcar, al menos para la última década.

Un análisis puntual por ingenios permite observar que algunos superan los rendimientos establecidos, sin embargo, al analizar la situación por zonas más detalladas que la consideración de región Pacífica o Atlántica, se observa que en ninguna se cumplen los rendimientos apuntados anteriormente, excepto el Valle Central Oriental que aún cuando ofrece rendimientos cada vez menores desde la zafra 1962/63, siempre están sobre el mínimo. (3)

2.2 Perspectivas y situación del azúcar

Tal y como se indicó anteriormente, la actividad cañera ha venido disminuyendo su ritmo de desarrollo y se ha deteriorado en forma apreciable en los últimos años, lo que se refleja en la producción y rendimientos de azúcar.

Es interesante en este punto presentar uno de los cuadros elaborados por SEPSA, en el cual se aprecia un análisis de las tendencias tanto de la producción, como de los rendimientos y demanda de azúcar, incluyendo además la superficie cosechada. (Ver cuadro 3).

CUADRO 3

COSTA RICA: PROYECCIONES DE PRODUCCION, DEMANDA Y RENDIMIENTOS DE AZUCAR, SEGUN TENDENCIAS

"ERIODO 1/	DEMANDA EN MILES DE T.M. DE AZUCAR			PRODUCCION T.M. AZUCAR (MILES)	DEFICIT T.M. AZUCAR (MILES)	RENDIMIENTO T.M. CAÑA POR Ha.	RENDIMIENTO T.M. AZUCAR POR Ha.	AREA COSECHADA EN MILES DE HECTAREAS		
	CONSUMO INTERNO	EXPORTACION	DEMANDA TOTAL					PROYECTADA	REQUERIDA	ADICIO
974-75	190.2	69.3	178.5	178.5	-	67.49	6.20	30.0	-	-
975-76	97.5	75.3	172.8	172.8	-	68.09	6.09	30.5	-	-
976-77	126.9	67.8	194.7	194.7	-	68.70	5.99	31.1	-	-
977-78	120.8	70.5	191.3	191.3	-	69.31	5.88	31.7	-	-
978-79	126.2	68.4	194.6	194.6	-	69.93	5.78	32.3	-	-
979-80	130.8	105.0	235.8	192.5	43.3	70.59	5.68	32.8	40.3	7.5
980-81	137.2	107.7	244.9	194.0	50.9	71.22	6.40	33.2	41.1	7.9
981-82	143.9	110.5	254.4	195.5	58.9	71.86	6.46	33.8	42.9	9.1
982-83	150.9	113.4	264.3	197.1	67.2	72.50	6.52	34.3	44.6	10.3
983-84	158.3	116.3	274.6	198.7	75.9	73.15	6.58	34.9	46.4	11.5
1984-85	166.1	119.1	285.4	200.3	85.1	73.80	6.64	35.5	48.3	12.8
1985-86	174.2	122.4	296.4	201.9	94.7	74.46	6.70	36.0	50.1	14.1
1989-90	210.9	135.6	346.5	208.4	138.1	77.16	6.94	38.4	58.2	19.8

1/ Hasta el año 1979 cifras de la Liga Agrícola e Industrial de la Caña. Proyección según tendencias del año 1980 a 1990.

FUENTE: SEPSA. Grupo de Trabajo (31)

Se muestra que la producción de azúcar ha venido reduciendo su ritmo de crecimiento. Así en el período 1972-1980, mantuvo una tasa anual de solo 0.8 por ciento. De continuar esta tendencia la producción en 1986 sería de solo 201.9 y en 1990 de 208.4 miles de toneladas métricas. Para el mismo período, se ha estimado que la tasa de crecimiento de la superficie ha sido de 1.6 por ciento anual, lo que puede calificarse de baja.

Los rendimientos de caña han mostrado en los últimos años un crecimiento limitado, que se estimó en 0.9 por ciento anual, lo cual no guarda relación con el crecimiento de la demanda interna y externa y las expectativas de ampliación de cuotas en el mercado mundial.

Los rendimientos de azúcar han manifestado un decrecimiento de 1.8 por ciento anual. No obstante, a partir del año 1981 con el recibo de caña por contenido de sacarosa, se espera que los mismos sean de 200 o más libras de azúcar por tonelada de caña. (31)

Respecto al consumo interno de azúcar éste venía creciendo significativamente, en el período 1964-1972 registró una tasa de 7.0 por ciento, no obstante, en el período 1975-1980 disminuyó situándose en 3.6 por ciento.

Las exportaciones crecieron en forma sustancial, alcanzando en el año 1972 la cifra máxima de 97.7 miles de toneladas equivalentes a un 54 por ciento de la producción nacional. A partir de ese año, en el período 1972-1980, se inició una notoria y progresiva reducción que alcanzó un 5.6 por ciento anual con un estimado de exportación para 1980 de sólo 61.6 miles de toneladas equivalentes

al 32 por ciento de la producción, en tanto que los requerimientos o cuota fijada a Costa Rica por el Convenio Internacional del Azúcar fue de 105.0 miles de toneladas métricas.

Todo lo expuesto anteriormente demuestra la necesidad de incrementar la producción de caña de azúcar. Ya sea por medio de un mejoramiento en los rendimientos o por una ampliación del área de siembra. Estos dos objetivos pueden ser alcanzados conociendo, en forma precisa, los factores agroclimáticos existentes en el país; con lo que se podrá seleccionar para cada región la variedad y/o técnicas que mejor se adapten a éstos, obteniéndose una mejora en los rendimientos. También será necesario detectar aquellas áreas con potencial ecológico para el cultivo de caña que no están siendo explotadas en la actualidad, para realizar una expansión racional de la actividad.

CAPITULO II - MATERIALES Y METODOS

Por su ya comprobada aplicación (5, 12, 13, 19, 22), se tomó como base para la zonificación de la caña de azúcar en Costa Rica, el esquema metodológico desarrollado y utilizado por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Sin embargo con el afán de mejorar dicha metodología se introdujeron técnicas nuevas que describan en forma más acertada el comportamiento de las plantas en relación con el medio ambiente que las rodea: Ejemplo de estas técnicas lo constituye el concepto de "función de producción", introducido recientemente por algunos autores (8, 9, 11), en las zonificaciones de tipo agroclimático y el "análisis frecuencial de lluvias".

1 Etapas que comprende el Esquema Metodológico

1.1 Primera Etapa: Definición de los requerimientos agroecológicos de los cultivos.

En esta etapa se determina para el cultivo en estudio sus requerimientos ecológicos; éstos pueden ser definidos en diversas formas según la disponibilidad de información. En el caso ideal se determinan, en primera instancia, los índices agroclimáticos, para lo cual se podrán seguir las siguientes vías:

a) Determinación del tipo bioclimático del cultivo.

b) Evaluación agroclimática de la región de origen de la especie.

c) Evaluación agroclimática de las regiones del mundo de difusión de la especie.

d) Evaluación del agroclima de las regiones en donde la experiencia ha demostrado el fracaso del cultivo.

e) Evaluación de índices agroclimáticos derivados de trabajos experimentales sobre los requerimientos agroclimáticos de la especie.

Mediante la aplicación de las normas anteriores, se puede determinar el agroclima de una especie cultivada, y si la amplitud comprendida entre los valores extremos de los índices se dividen en jerarquías sistemáticas, se obtienen los tipos agroclimáticos que facilitan la clasificación y permiten establecer diferencias y analogías.

Paralelamente a la determinación de los índices agroclimáticos habría que proceder en forma similar para la determinación de los requerimientos fisio-edáficos del cultivo en función de sus exigencias biológicas y de los requerimientos de la tecnología para su producción.

1.2 Segunda Etapa: Estimación de elementos meteorológicos para el área en estudio.

Una situación real que se presenta por lo general en los países tropicales de nuestro continente y del mundo, es la deficiente información meteorológica disponible. Por lo general la red de estaciones es de poca densidad y de deficiente distribución. Otra razón por la cual se incluye esta etapa de estimación de elementos meteorológicos es que generalmente un alto porcentaje de las estaciones de registro son de cuarto orden, o sea que hacen mediciones solamente de precipitaciones.

Por medio de diversas técnicas se deberán estimar, para las localidades de registros parciales, los otros elementos meteorológicos necesarios para el análisis agroclimático.

1.3 Tercera Etapa: Utilización del Análisis Frecuencial de Lluvias para la Determinación de los Períodos de Cultivo

Este método -propuesto por el Especialista en Agroclimatología del IICA, Michel Eldin (8,9)- sustituye la técnica tradicionalmente utilizada de balance mensual de agua en el suelo, por ser considerada más apropiada para esta clase de estudios; ya que en lugar de utilizar promedios, como el balance, el análisis frecuencial de lluvias utiliza probabilidades que tienen un mayor significado e interés en la producción agrícola.

Por ser este una modificación a la metodología anteriormente empleada por el IICA y por la importancia que tiene dentro del estudio se hace necesario entrar en un mayor grado de detalle.

El Análisis Frecuencial de Lluvias 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 es variable y depende principalmente de las condiciones del suelo y de la necesidad de agua del cultivo, sin embargo se considera que un período de diez días se ajusta al presente estudio.

La elección de una base de tiempo de diez días para analizar el balance hídrico deriva de la aptitud de un suelo con características hídricas promedio para conservar el agua de las precipitaciones y tenerla a disposición del cultivo para cumplir con

un abastecimiento satisfactorio. Prácticamente esto significa que en el caso de que todas las precipitaciones de un período de diez días se presentasen en el inicio de éste, la cantidad de agua retenida por el suelo aseguraría un buen abastecimiento hídrico del cultivo a lo largo de este período y eventualmente durante una parte del siguiente.

Además esta base de diez días es a la vez una ventaja más del análisis frecuencial frente al balance mensual de agua en el suelo, ya que este último utiliza el mes como período de análisis que es demasiado largo para guardar relación con la reserva hídrica del suelo.

Por otro lado, la evapotranspiración potencial (ETP) -que es calculada por medio de fórmulas climáticas- expresa, con una buena aproximación, los requisitos máximos de agua de cualquier cultivo. Por lo tanto, a partir de este máximo se puede definir un requisito mínimo de agua necesario para que el crecimiento y desarrollo del cultivo considerado continúen normalmente, utilizando para el análisis frecuencial una fracción de ETP que denominamos con la letra "Q". Es importante recalcar este aspecto: ETP es un índice netamente climático y aplicable a cualquier cultivo; mientras que Q es fijado de acuerdo a las necesidades mínimas propias de cada cultivo. Por lo tanto Q puede variar según las etapas de desarrollo de la planta en estudio.

Después de encontrar la probabilidad para cada década (se denomina así a los períodos de diez días), de que la precipitación sea mayor o igual a una fracción de ETP, ($P \geq Q$), se obtendrá un

gráfico con todas las décadas del año y sus respectivas probabilidades[1/]. A la vez se establecerá una probabilidad que represente para el agricultor un riesgo razonable, por ejemplo una probabilidad mayor o igual a 0.6 (6 años sobre 10). Esto se definirá para la caña más adelante.

Por medio del análisis frecuencial es posible detectar la(s) época(s) con mayor probabilidad de ocurrencia de precipitación o sea con un buen abastecimiento hídrico, esta(s) época(s) constituye(n) el o los períodos de integración del Indice de Producción Potencial; haciendo que el modelo cumpla con el supuesto de buen abastecimiento de agua. También determina el o los períodos de sequía relativa.

Esto último es de gran ayuda para programar la siembra del cultivo. La fecha de siembra se debe determinar haciendo coincidir las necesidades hídricas de cada etapa de desarrollo del cultivo, según sea el caso, con las épocas de alta o baja probabilidad de abastecimiento hídrico.

Para el caso específico de la caña de azúcar "Q" es definido como la mitad de la evapotranspiración potencial (ETP/2), sin embargo es importante señalar que este requisito mínimo no fue posible de justificar en forma amplia, como sería lo ideal, debido a que la literatura consultada al respecto no es concluyente en cuanto a este punto; más bien establece el requerimiento óptimo en función de la ETP, en el mejor de los casos, y en los menos calificados se obtiene dividiendo la precipitación anual por el número de días en el año, estableciéndose un requisito diario bastante

1/ Las probabilidades son estimadas por el método de frecuencias.

dudoso. Además se definió como un riesgo aceptable para el agricultor la probabilidad de 0.75 (3 años sobre 4).

Aceptamos que tanto el requisito mínimo como la probabilidad de riesgo son criterios bastante arbitrarios, pero esto en realidad no importa mucho, porque existe una relación casi proporcional a la hora de definir los períodos de cultivo o de integración, o sea que se puede obtener un mismo período de cultivo utilizando 2/3 ETP o ETP/2, si se asumen respectivamente las probabilidades de 0.67 ó 0.75. Existe una compensación de los efectos provocados por el requisito y la probabilidad utilizados. Además, lo que realmente importa es el poder contar con uno o varios criterios comparables. Razón por la cual se establece ETP/2*, que podría resultar un requisito en agua bajo pero se compensa con la utilización de una probabilidad alta. (0.75) (Ver anexo A)

1.4 Cuarta Etapa: Definición del Indice Potencial de Producción y del Indice Climático de Madurez.

Como sugieren los resultados de la primera etapa, las condiciones climáticas necesarias para la producción vegetal o toneladas de caña por hectárea son diferentes a las requeridas para la maduración o acumulación de sacarosa en la planta. Por estas razones es que utilizamos dos índices para definir el potencial azucarero de cada región analizada.

El primer índice o "función de producción", que denominamos Indice de Producción Potencial (IPP) ha sido elaborado por de Wit

---

* La ETP es calculada con la fórmula de Priestley y Taylor.
$ETP = 1.3 \times ET_o$. ET_o = Evapotranspiración estándard.

y utilizado en un excelente trabajo realizado por la Organización para la Agricultura y la Alimentación, FAO (10) Esta técnica modifica la cuarta etapa, según su concepción preliminar donde se elaboraban los mapas de componentes. Además contribuye a hacer el criterio de zonificación menos arbitrario; a la vez que introduce las leyes de la física en los procesos biológicos que rigen la producción vegetal: fotosíntesis, respiración, evapotranspiración, crecimiento, etc. De esta manera se tendrá más oportunidad de lograr una zonificación válida para zonas ecológicas bien diferentes.

Esta función básicamente relaciona las variables del clima más importantes (radiación solar y la temperatura del aire) con los procesos biológicos determinantes en la producción neta de biomasa (la fotosíntesis y la respiración) bajo el supuesto de buen abastecimiento de agua y nutrientes.

La función empleada es la siguiente:

$$PN = \frac{0.36 \times bgm}{1/N + 0.25 \times c_t}$$

con: PN: producción neta de materia seca total del cultivo durante los N días del ciclo del mismo y expresada en toneladas por hectárea

bgm: tasa máxima de producción bruta de biomasa del cultivo

N : ciclo del cultivo expresado en días.

c_t : coeficiente de respiración del cultivo

c_t depende de la temperatura promedio y el valor de bgm depende de la tasa máxima de fotosíntesis de las hojas del cultivo en condiciones de saturación por la luz.

Para una mejor comprensión del modelo, ver anexo B y consultar el trabajo anteriormente citado de la F.A.O.

Puede considerarse, para el segundo índice, según los resultados de la primera etapa, que durante la época de zafra la precipitación y la temperatura son de los elementos del clima, las causas principales que ocasionan variaciones en el contenido de sacarosa de la caña. Cuando llueve durante la época de zafra se estimula el crecimiento vegetativo de la caña, aumenta la humedad en los tallos y el por ciento de azúcares reductores, disminuye el por ciento de azúcar recuperable. Por otra parte, cuando se presentan grandes variaciones entre las temperaturas máximas y mínimas, en el curso de un mes anterior a la cosecha, se estimula la síntesis de sacarosa.

En un intento por tratar de explicar las causas de los bajos rendimientos en la fábrica del Ingenio de Xicoténcatl, Tamps., Martínez Garza (23), ha demostrado que los factores del clima manifiestan su influencia de una manera notable. Se comprobó que la variación diurna entre las temperaturas máximas y mínima (media mensual), un mes antes de la cosecha de la caña, produce un efecto positivo sobre los rendimientos de fábrica; en tanto que las lluvias registradas en el lapso de dos meses, previo a la cosecha, tienden a reducir los rendimientos. Los resultados anteriores le sugirieron un método para el pronóstico de la mejor época de zafra,

que ha sido modificado y adaptado a las condiciones del presente estudio. Quedando, el índice climático de madurez, definido por la siguiente relación:

$$I_i = \frac{P_i}{A_i}$$

donde:

I_i = Indice Climático de Madurez cuyo número de orden se representa por la letra i.

P_i = Es la suma de 6 probabilidades, para las cuales la precipitación durante la década sea mayor o igual a la mitad de la evapotranspiración potencial, cuyo número de orden se representa por la letra i.

A_i = Es el promedio para tres décadas consecutivas de sus respectivas amplitudes de temperaturas.

Para una mejor comprensión del modo de cálculo del Indice Climático de Madurez ver Anexo C.

1.5 Quinta Etapa: Análisis de Variables Fisioedáficas.

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

En condiciones óptimas, el tipo de documentos cartográficos más empleados, son los mapas de capacidad de uso de la tierra o de uso potencial.

Con la finalidad de simplificar la interpretación de las variables fisioedáficas por los utilizadores de los mapas de zonificación, se recomienda hacer una jerarquización de las unidades cartográficas de suelo en función de su aptitud para el cultivo considerado. Las tres categorías que se emplean con más frecuencia son las siguientes: (1) muy buena, (2) buena y (3) regular.

1.6 Sexta Etapa: Síntesis Cartográfica

La síntesis cartográfica como su nombre lo indica, es la superposición y síntesis sucesiva de los mapas elaborados en la etapa anterior. Siendo discriminadas aquellas áreas del territorio a zonificar que no sean contempladas por el índice potencial de producción y/o por el mapa de variables fisioedáficas.

1.7 Séptima Etapa: Presentación de Resultados

Esta etapa consiste en la elaboración final de los mapas e interpretaciones respectivas. Para la confección de los mapas finales se hará el diseño correspondiente para la organización del material cartográfico, textos y leyendas que acompañan al documento.

Por medio del Estudio Agroclimático de la caña de azúcar se pretende evaluar en forma general las aptitudes agroclimáticas de las diferentes regiones del país en relación con el cultivo de caña.

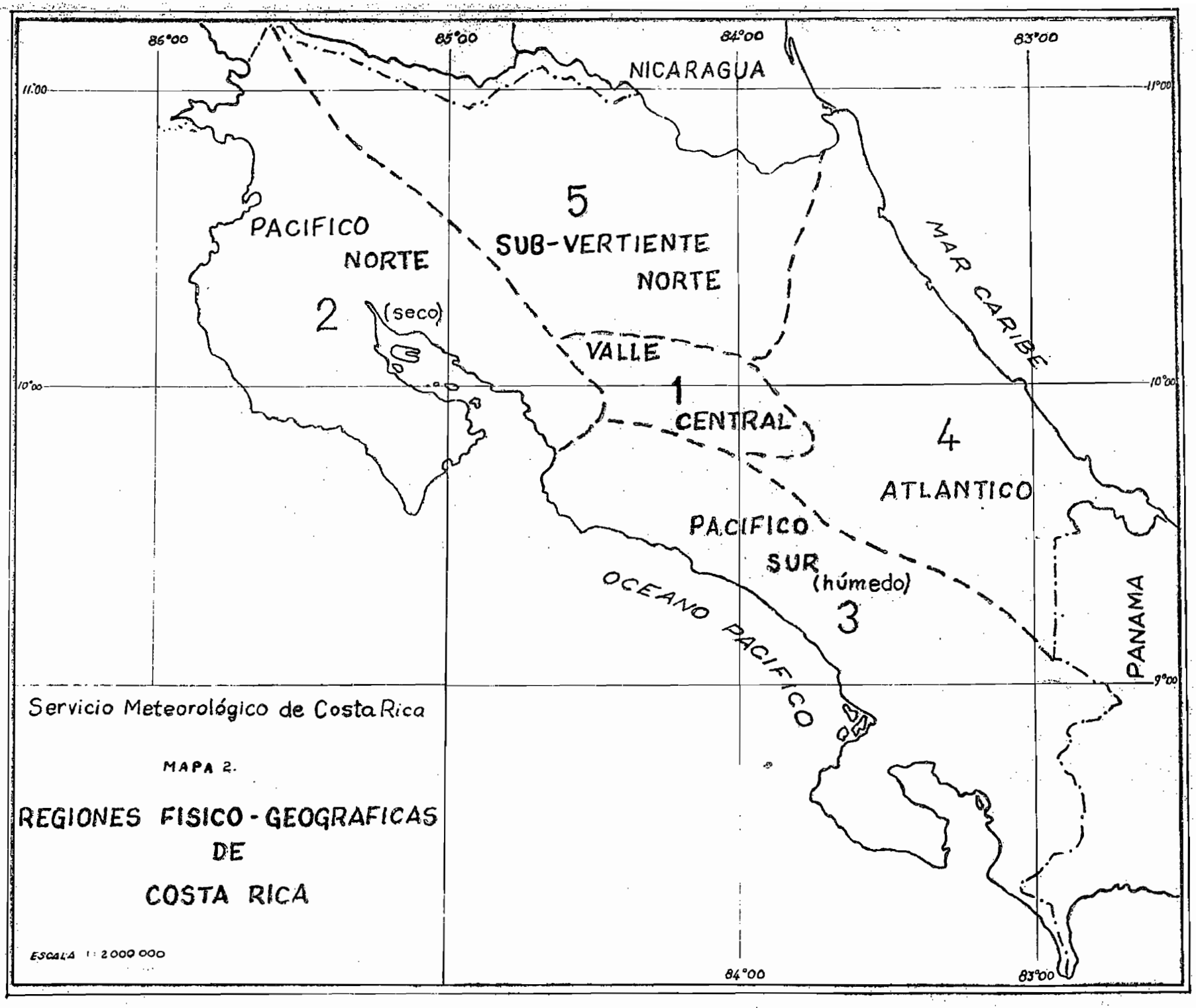
2. Regiones y estaciones meteorológicas bajo análisis

Se tomó la división del país en regiones físico-geográficas realizada por el Instituto Meteorológico Nacional.

Las estaciones meteorológicas empleadas en el Estudio Agroclimático se presentan en el cuadro 4, y en el mapa 2 aparecen las regiones físico-geográficas de Costa Rica.

Debido a que no todas las estaciones meteorológicas cuentan con los datos necesarios para su análisis, se recurrió a estimar los elementos meteorológicos faltantes para el estudio.

Por otro lado, en el cuadro 5 aparecen las fechas correspondientes a cada una de las décadas del año.



Servicio Meteorológico de Costa Rica

MAPA 2.

REGIONES FISICO-GEOGRAFICAS DE COSTA RICA

ESCALA 1:2.000.000

CUADRO N°4 ESTACIONES METEOROLOGICAS EMPLEADAS EN EL ESTUDIO AGROCLIMATICO

CODIGO	NOMBRE DE LA ESTACION	UBICACION LAT NORTE	LON OESTE	ELEVACION	TIPO
69503	Puerto Viejo, Sarapiquí	10 28	84 01	37	6
69506	San Miguel, Sarapiquí	10 19	84 11	500	1
69508	Chilamate	10 27	84 04	60	5
69510	Ciudad Quesada	10 20	84 26	650	1
69511	Los Ensayos	10 18	84 29	1 090	1
69512	Zarcero	10 11	84 24	1 736	1
69513	Los Llanos	10 28	84 21	100	1
69514	Arenal	10 28	84 51	520	5
69515	Quebrada Azul	10 24	84 28	83	5
69528	Palmira	10 13	84 23	2 010	3
69530	La Marina, S.C.	10 22	84 23	380	1
69531	Hacienda Orosí	10 57	85 33	350	1
69533	Barra del Colorado	10 46	83 35	5	1
69535	C. Rural Metodista	10 21	84 24	600	4
69538	Upala	10 54	85 01	50	1
69551	Guatuso	10 41	84 49	50	5
72101	Nicoya	10 05	85 27	120	0
72105	Colonia Carmona	10 00	85 15	100	1
72106	Santa Rosa	10 50	85 37	315	3
72107	Lepanto, Naranjo	9 58	85 02	50	1
72114	Playa Panamá	10 35	85 40	3	5
73009	El Cairo, Siquirres	10 07	83 32	60	1
73010	Turrialba	9 53	83 38	602	0
73011	Sanatorio Durán	9 56	83 53	2 337	1
73013	Los Diamantes	10 13	83 46	249	0
73015	La Maruja	9 47	83 51	1 100	1
73018	El Guarco	9 50	83 58	1 400	2
73022	Pacayas	9 55	83 49	1 735	6
73024	Paraíso, Cartago	9 50	83 52	1 380	1
73033	Villa Mills	9 34	83 43	3 000	6
73046	Cachí	9 49	83 48	1 018	5
73078	Coliblanco	9 57	83 48	2 200	3
73080	Repetidora, C. Muerte	9 33	83 44	3 365	5
73081	Irazú	9 59	83 51	3 400	0
73082	Cobal	10 15	83 40	55	3
73091	Hacienda el Carmen	10 12	83 29	15	3
74002	Filadelfia	10 26	83 35	17	1
74003	Santa Cruz	10 16	85 35	54	2
74004	Quebrada Grande	10 51	85 30	366	1
74006	La Guinea	10 25	85 28	40	4
74020	Liberia	10 36	85 32	85	0
76002	Tilarán	10 28	84 58	562	2
76005	Cañas, Pacífica	10 25	85 05	95	0
76008	Taboga	10 21	85 09	40	0
76011	Hacienda Guayabo	10 42	85 14	550	1
76034	Fortuna	10 41	85 12	430	5
77002	La Lola	10 06	83 23	40	0
78001	Las Juntas, Abangares	10 17	84 58	140	5
78002	Monteverde	10 20	84 50	1 380	6

/...

CUADRO N°4 Continuación

CODIGO	NOMBRE DE LA ESTACION	UBICACION		ELEVACION	TIPO
		LAT NORTE	LON OESTE		
78003	Puntarenas	9 58	84 50	3	0
79005	Moravia, Chirripó	9 50	83 26	1 200	1
80002	San Miguel, Barranca	10 00	84 42	140	2
81003	Limón	10 00	83 03	5	0
82002	Tivives	9 52	84 42	25	5
84001	San José	9 56	84 05	1 172	0
84003	La Argentina	10 02	84 21	760	1
84004	Atenas	9 59	84 23	696	1
84005	Avances, Tres Ríos	9 56	83 58	1 870	1
84006	Hacienda Concepción	9 55	84 00	1 320	1
84007	Coronado	9 59	84 00	1 382	1
84011	Lornessa, Santa Ana	9 56	84 11	909	1
84012	Turrucares	9 58	84 19	639	6
84014	Palmares	10 03	84 26	1 017	1
84015	San Joaquín Flores	10 00	84 09	1 050	1
84016	B. Pilas Naranjo	10 06	84 23	1 042	1
84017	Los Andes, Orotina	9 55	84 31	224	1
84018	Rancho Redondo	9 58	83 57	1 480	1
84021	Juan Santamaría	10 00	84 12	932	0
84023	Fabio Baudrit	10 01	84 16	840	0
84024	S. Rafael Ojo de Agua	9 56	84 13	850	1
84034	La Garita	9 57	84 21	460	5
84040	Alto Ochomogo	9 54	83 57	1 546	1
84046	San Josecito, Heredia	10 02	84 02	1 450	4
84074	Pavas Aeropuerto	9 58	84 08	1 132	3
84075	Coop. Café, Naranjo	10 07	84 23	1 100	4
85001	Pandora	9 45	82 57	17	5
85004	Finca 16	9 42	82 59	30	6
86001	Herradura	9 40	84 38	3	1
88001	Puriscal	9 51	84 19	1 102	0
88004	Finca Palo Seco	9 32	84 18	15	1
88005	San Ignacio Acosta	9 48	84 10	1 095	1
88015	Playón	9 38	84 18	65	5
90001	Pocares	9 31	84 15	6	1
90003	Quepos	9 26	84 09	5	1
90005	Cerros	9 30	84 09	5	1
92001	Bartolo	9 26	84 06	10	1
92002	Llorona	9 24	84 05	10	1
98002	Palmar Sur	8 57	83 28	16	0
98004	San Isidro General	9 22	83 42	703	1
98007	San Vito de Java	8 50	82 59	890	1
98010	Cedral	9 22	83 33	1 450	6
98011	Bolivia	9 11	83 38	950	5
98012	Potrero Grande	9 01	83 11	183	5
98013	Río Negro	8 53	82 52	955	5
98022	La Piñera	9 11	83 20	350	3

/...

CUADRO N°4 Continuación

CODIGO	NOMBRE DE LA ESTACION	UBICACION		ELEVACION	TIPO
		LAT NORTE	LON OESTE		
98028	Volcán Angel	9 14	83 27	450	6
100008	Finca 8	8 55	83 30	8	1
100034	Golfito	8 39	83 11	15	6
100035	Coto 47	8 36	82 59	8	1
100078	Caucho	8 27	82 56	25	1

TIPO 0 = Estaciones con registros diarios de precipitación, temperaturas y brillo solar.

TIPO 1 = Estaciones con registros diarios de la precipitación.

TIPO 2 = Estaciones con registros diarios de la precipitación y las temperaturas.

TIPO 3 = Estaciones con registros diarios de las temperaturas y el brillo solar.

TIPO 4 = Estaciones con registros diarios de las temperaturas

TIPO 5 = Estaciones con registros mensuales de las temperaturas.

TIPO 6 = Estaciones con registros diarios de la precipitación y registros mensuales de las temperaturas.

CUADRO 5

FECHAS CORRESPONDIENTES A CADA UNA
DE LAS DECADAS DEL AÑO

DECADA	FECHA	DECADA	FECHA
1	1 E - 10 E	20	10 J - 19 J
2	11 E - 20 E	21	20 J - 29 J
3	21 E - 30 E	22	30 J - 8 A
4	31 E - 9 F	23	9 A - 18 A
5	10 F - 19 F	24	19 A - 28 A
6	20 F - 1 M	25	29 A - 7 S
7	2 M - 11 M	26	8 S - 17 S
8	12 M - 21 M	27	18 S - 27 S
9	22 M - 31 M	28	28 S - 7 O
10	1 A - 10 A	29	8 O - 17 O
11	11 A - 20 A	30	18 O - 27 O
12	21 A - 30 A	31	28 O - 6 N
13	1 M - 10 M	32	7 N - 16 N
14	11 M - 20 M	33	17 N - 26 N
15	21 M - 30 M	34	27 N - 6 D
16	31 M - 9 J	35	7 D - 16 D
17	10 J - 19 J	36	17 D - 26 D
18	20 J - 29 J	37	27 D - 5 E
19	30 J - 19 J		

CAPITULO III - RESULTADOS Y ANALISIS

1. Definición de los requerimientos agroecológicos del cultivo. Primera Etapa

1.1 Clasificación de la caña de azúcar

División:	Espermatofitas o Fanerogamas
Subdivisión:	Angiospermas
Clase:	Monocotiledóneas
Orden:	Zacates o Glumifloras
Familia:	Gramineae
Subfamilia:	Panieoideae
Tribu:	Andropogoneae
Subtribu:	Sacarineas
Género:	Saccharum
Especies:	S. spontaneum L. (India)
	S. sinense Roxb. Jeswiet (China)
	S. barberi Jeswiet (India)
	S. robustum Brandes y Jeswiet (Nueva Guinea
	S. officinarum L.

El género Saccharum comprende especies silvestres y cultivadas Es originario de las regiones tropicales de la Melanesia.

Desde 1925, Jeswiet había descrito tipos botánicos precisos dentro del género Saccharum entre los que se cuentan las cinco especies indicadas anteriormente.

1.2 Descripción de las principales especies

Saccharum officinarum

Originaria de la Melanesia, Nueva Guinea y Nueva Caledonia, esta especie es por excelencia la caña de azúcar. Tiene hojas muy anchas,

curvadas hacia abajo por su peso, que se separan fácilmente del tallo. Ahijamiento débil, de 8 a 10 tallos muy gruesos, de 6 a 8 cm. Tallos de 4 a 5 m. de longitud, vivamente coloreados con franjas bicolores longitudinales. Blancos, amarillos, verdes, púrpura; ricos en azúcar. Contenido de fibra del 10 al 13% del peso del tallo. Resistente solamente al carbón.

Saccharum sinensis (cañas Chinas):

Son cañas muy finas y fibrosas con sistema radicular muy bien desarrollado, de ahijamiento abundante pero heterogéneo; las hojas son fuertes envainadoras, difíciles de despajar. El nudo es más grueso que el entrenudo.

Saccharum barberi (caña del norte de la India):

Cañas tolerantes al frío, que no ofrecen interés agrícola para nosotros. Son resistentes al mosaico y se le ha utilizado en trabajos de hibridación con Saccharum officinarum.

Saccharum spontaneum (cañas silvestres o salvajes):

Las cañas de este grupo no contienen sacarosa. Tienen el aspecto de hierbas altas y vigorosas, que normalmente se propagan por sus semillas botánicas y se desarrollan espontáneamente en el sudoeste de Asia. Es inmune al mosaico, cualidad que transmite a sus híbridos.

Saccharum robustum (caña pajúa):

Esta especie fue encontrada en Nueva Guinea y otras islas del Pacífico, en forma silvestre, y se ha sugerido como el ancestro sexual de más cercano parentesco con la Saccharum officinarum; los híbridos

de esta especie y los obtenidos con los cruzamientos de otras especies, han permitido mejorar las características deseables de las variedades comerciales.

1.3. Influencia de los factores climáticos en el desarrollo del cultivo de la caña de azúcar

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 el segundo, o sea el tipo de suelo, puede ser variable.

El clima para la caña de azúcar se presenta como el factor determinante en cuanto a rendimiento se refiere. Esto se comprende fácilmente si se estudia la influencia que sobre el crecimiento y desarrollo de la misma ejerce cada uno de los agentes climáticos.

Al respecto varios autores (6, 16, 18) 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 existe 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 adquisición de materia seca decrece para quedar anulada completamente a cierta temperatura.

Por otro lado, existe una relación muy estrecha entre las bajas temperaturas y la riqueza de la caña de azúcar. Los productos de la protosíntesis son utilizados para la formación de sacarosa cuando el crecimiento es retardado. 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. (5, 8).

La caña es por excelencia una "planta de sol". La intensidad luminosa afecta todo el complejo del crecimiento de la caña. A plena luz del sol los tallos son más gruesos, pero más cortos. Las hojas son más largas y más verdes y el amacollamiento es más abundante. Además la luz influye sobre la formación de los azúcares y en especial en el contenido de sacarosa y pureza de los jugos. (16, 18).

Este cultivo requiere de una buena disponibilidad de humedad en el suelo durante el período de crecimiento, pues el agua juega un gran papel en la turgencia, la traslocación y en la presión de crecimiento; pero durante el período de maduración se debe reducir la presencia de agua, con el objeto de restringir el crecimiento y dar comienzo a la acumulación de la sacarosa. 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. (11, 16, 36).

En resumen, diremos que la caña de azúcar es una planta para la cual la luz es esencial, que exige calor y humedad para su crecimiento, pero que también necesita los fríos nocturnos y que, como última condición para dar óptimos frutos, exige ser privada de agua poco a poco.

1.4. Etapas en el desarrollo de la caña

Se ha determinado (26) que el ciclo vegetativo de la caña comprende tres etapas, con duración cada una de 5 a 6 meses en ciclos de plantillas y de 4 a 5 meses en socas. Sin embargo, estas etapas no son necesariamente de la misma duración, pues están influenciadas por la fecha de siembra en las plantillas o de corte en las socas, por las prácticas culturales, y por otras circunstancias.

La primera etapa corresponde al desarrollo de las cepas. Abarca desde la germinación hasta que el campo cierra (entre 5 y 6 meses de edad), y es cuando hay que mantener la humedad en la planta arriba del 85% a fin de lograr una abundante población de cepas vigorosas.

La segunda etapa se refiere a la formación de materia seca y sacarosa. Desde que el campo cierra hasta que se inicia la maduración, es cuando hay que bajar la humedad en la planta procurando mantenerla alrededor del 78% al 80% para promover un buen desarrollo vegetativo e iniciar la acumulación de sacarosa en las plantas.

La tercera etapa es propiamente la maduración. Se inicia tres meses antes del corte con la caña ya "sazona", bajando paulatinamente la humedad hasta el 73-75% al llegar al corte, a fin de suspender el crecimiento y promover la conversión de azúcares reductores a sacarosa.

En el cuadro 6 se presentan, en forma más detallada, las principales características de cada etapa.

CUADRO 6

ETAPAS EN EL DESARROLLO DE LA CAÑA, SUS REQUERIMIENTOS CLIMATICOS Y ALGUNAS CARACTERISTICAS DE TIPO GENERAL

PRIMERA ETAPA	SEGUNDA ETAPA	TERCERA ETAPA
Va desde la formación de la cepa hasta la primera fase del período de Gran Crecimiento	Formación de Sacarosa y Materia Seca	Sazonamiento y Madurez. Almacenamiento de la Sacarosa.
Dura de 5 a 6 meses (ciclo de 12 meses)	Dura de 5 a 6 semanas (ciclo de 12)	Dura de 5 a 6 meses (ciclo de 12 meses)
6 a 7 meses (ciclo de 14-18 meses)	8 a 6 semanas (ciclo de 14-18)	6 a 8 meses (ciclo de 14-18 meses)
9 meses (ciclo de 24 meses)	5 meses (ciclo de 24 meses)	10 meses (ciclo de 24 meses)
Fotoperíodo Largo	Fotoperíodo Largo	Fotoperíodo Largo
Alta Luminosidad	Alta Luminosidad	Alta Luminosidad
Alta Temperatura Constante 30-32°C	Alta Temperatura Constante 30-32°C	Temperaturas Bajas (Gran diferencia entre la máxima y la mínima)
Alto contenido de humedad. En la planta del 85 al 87% En el suelo de 75% agua disponible	Contenido Medio de Humedad En la planta del 78 al 80% En el suelo 66% del agua disponible	Sequía Relativa H. en la planta 73-75% En el suelo máximo 33% agua disponible
Copa con 14 a 16 hojas	---	Copa con 6 a 10 hojas
Contenido de N en la planta 0.4/0.5%	---	Contenido de N en la planta 0.25%

FUENTE: Curso: "Cultivo y Beneficio de la Caña de Azúcar". (33)

El cuadro 6 presenta información sumamente importante para este estudio, primero porque resume los requerimientos climáticos tratados a lo largo de la sección anterior, y segundo porque sirve de base para la determinación de los dos índices utilizados para definir el potencial azucarero de las zonas bajo análisis. Ampliando este segundo punto: si se observa detenidamente los requerimientos climáticos de la primera y segunda etapas se notará que estos son similares, (alta luminosidad, alta temperatura y buen abastecimiento de agua) y además que su principal resultado es la producción vegetal (o su comparable en producción de materia seca); mientras que la tercera etapa se diferencia de las anteriores porque define los requerimientos (diferencia entre las temperaturas máxima y mínima y un período de sequía relativa) en relación con el almacenamiento de sacarosa en la planta; argumento que induce a dividir la producción de azúcar en dos fases complementarias: producción de materia seca y acumulación de sacarosa. Esto último puede ser expresado por la siguiente ecuación:

$$Pa = Pms \times As$$

donde:

Pa: Producción de azúcar en toneladas.

Pms: Producción de materia seca en toneladas.

As: Relación sacarosa por tonelada de materia seca.

En la ecuación anterior se refleja la ya sentida necesidad de disponer de dos índices para poder analizar el potencial azucarero de determinada región. Cada uno de estos índices deberá relacionar los factores climáticos que se han determinado más importantes para la producción

de materia seca y para la acumulación de sacarosa en la caña. Esta división se tomó muy en cuenta a la hora de elegir la metodología.

1.5. Respuestas edáficas

La mayoría de los autores coinciden en indicar que la caña de azúcar es una planta que tolera muy bien las condiciones del suelo. De una forma general se la cultiva con éxito tanto en terreno arcilloso muy pesado como en turba casi pura o en terrenos extremadamente arenosos.(11)

Sus únicas exigencias respecto del suelo son: una cierta profundidad, una conveniente aeración, un pH que no sobrepase los límites normales (la caña tolera incluso pH de 4.0 y de 9.0 y hasta 10.0). Ciertos terrenos tóxicos, muy raros, pudieran ser inaptos para el cultivo de la caña, como es el caso de los terrenos salados. Para que la vegetación de la caña pueda realizarse normalmente es necesario, evidentemente, que el suelo tenga la temperatura suficiente y que contenga agua y alimentos minerales.

La productividad de un terreno depende de numerosas propiedades fisicoquímicas. Algunas pueden ser fácilmente modificadas por el hombre, otras no, pero es muy importante saber que ciertas variedades, por una parte, y ciertos métodos de cultivo, por otra, pueden permitir sacar partido de terrenos que normalmente deberían ser considerados como mediocres o sin valor para la caña de azúcar.

Los terrenos muy buenos para la caña pueden ser pues diversos, y la lista siguiente, que señala las características más deseables, debe ser considerada como indicadora y no como limitativa;

- terrenos de origen volcánico o aluviones recientes;
- textura limosa o arcilloso-arenosa;
- estructura granulada, porosa;
- gran capacidad de retención;
- profundidad de 0.60 a 0.80 m. y si es posible, aún más;
- drenaje natural cómodo y no limitado por una capa freática situada demasiado cerca de la superficie (1.5 a 2.0 m.);
- pH entre 6.0 y 8.0;
- vida microbiana activa y suficiente contenido de materia orgánica y de nitrógeno;
- reservas bastante grandes de nitrógeno y de elementos minerales asimilables;
- ni exceso de sales tóxicas, ni carencia de oligoelementos;
- topografía poco inclinada y regular;
- sin piedras, troncos u otros obstáculos físicos.

Ciertos suelos relativamente mediocres pueden ser mejorados en cierta medida sobre todo desde el punto de vista de su composición química. Esto es una cuestión de tiempo y de precio. Según esto, puede no ser absurdo querer cambiar las condiciones de un suelo arcilloso con arena si el costo de esta operación resulta interesante.

Sin embargo para el presente estudio se utilizarán los índices elaborados por la Organización para la Agricultura y la Alimentación, FAO (10), por ser el resúmen del pensamiento de la mayoría de los autores consultados al respecto. Estos serán el criterio de clasificación de los suelos en relación al cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica. (Ver cuadro 7).

CUADRO 7

INDICES FISIOEDAFICOS DETERMINADOS PARA LA CLASIFICACION DE LOS SUELOS EN CAÑEROS Y NO CAÑEROS

PENDIENTE (Porcentaje)		PROFUNDIDAD (cm.)		CLASE DE DRENAJE		TEXTURA		FERTILIDAD	pH (1:25)	
Optimo	Marginal	Optimo	Marginal	Optimo	Rango	Optimo	Rango	Marginal	Optimo	Rango
0-20	20-50	>50	10-50	MD-BD	PD-ID	FL-A	AA-AM	Moderado	5.5-8.2	4.5-8.5

ID = Imperfectamente drenado
MD = Moderamente drenado
PD = Pobremente drenado
BD = Bien drenado

FL = Francolimoso
A = Arenoso
AA = Arcillo-Arenoso
AM = Arcillas montmorilloníticas

FUENTE: FAO. Agro-ecological zones project. Vol. I. Methodology and results for Africa. World Soil Resources Report. Rome. 1980.

2. Estimación de los elementos meteorológicos necesarios para el análisis agroclimático. Segunda Etapa

La estimación de los elementos meteorológicos (temperatura y brillo solar en este caso) se hace necesaria debido a la escasez de estaciones que registran estas variables. En Costa Rica se seleccionaron 101 estaciones para el estudio, de las cuales 54 estaciones registran las temperaturas máxima y mínima, y solamente 22 contienen registros de brillo solar.

2.1 Estimaciones térmicas

Es imprescindible contar con las temperaturas diurna y diaria (que se obtienen a partir de los valores de las temperaturas máxima y mínima) para cada década del año y para cada estación meteorológica, ya que estas son empleadas en el cálculo de la evapotranspiración potencial e integran los índices de producción agrícola. Por esta razón se procedió a estimarlas por medio de una ecuación lineal entre la temperatura y la altura sobre el nivel del mar (denominada ecuación altotérmica o gradiente medio). Para lo cual, se agruparon las estaciones meteorológicas con la información en regiones climáticas homogéneas: Pacífico Norte, Pacífico Sur, Valle Central, Sub-Vertiente Norte y Atlántico.

Obteniéndose 37 ecuaciones por parámetro estimado y por región climática, las cuales suman en total 370 ecuaciones altotérmicas. De estas, a manera de ejemplo, se presentan en el cuadro 8 las ecuaciones y sus coeficientes de determinación, para la Región 1 - Valle Central.

CUADRO 8

RELACION ENTRE LA ALTITUD Y LAS TEMPERATURAS DIURNA Y DIARIA

POR DECADA PARA LA REGION 1 - VALLE CENTRAL

DECADA	ECUACION DE LA TEMPERATURA DIURNA	R^2	ECUACION DE LA TEMPERATURA DIARIA	R^2
1	TD = 31.53 - 0.0087 x ALT	0.93	T24 = 28.64 - 0.0075 x ALT	0.92
2	TD = 32.12 - 0.0092 x ALT	0.95	T24 = 29.21 - 0.0080 x ALT	0.94
3	TD = 32.34 - 0.0091 x ALT	0.94	T24 = 29.49 - 0.0081 x ALT	0.93
4	TD = 32.93 - 0.0097 x ALT	0.95	T24 = 29.93 - 0.0085 x ALT	0.94
5	TD = 33.59 - 0.0102 x ALT	0.94	T24 = 30.49 - 0.0089 x ALT	0.93
6	TD = 33.67 - 0.0099 x ALT	0.94	T24 = 30.56 - 0.0087 x ALT	0.93
7	TD = 33.73 - 0.0096 x ALT	0.92	T24 = 30.61 - 0.0084 x ALT	0.90
8	TD = 34.14 - 0.0099 x ALT	0.94	T24 = 30.98 - 0.0086 x ALT	0.93
9	TD = 33.26 - 0.0086 x ALT	0.93	T24 = 30.23 - 0.0076 x ALT	0.92
10	TD = 33.44 - 0.0091 x ALT	0.94	T24 = 30.39 - 0.0079 x ALT	0.94
11	TD = 32.95 - 0.0083 x ALT	0.91	T24 = 30.02 - 0.0071 x ALT	0.89
12	TD = 31.71 - 0.0072 x ALT	0.91	T24 = 29.00 - 0.0063 x ALT	0.90
13	TD = 31.16 - 0.0067 x ALT	0.92	T24 = 28.60 - 0.0059 x ALT	0.90
14	TD = 29.63 - 0.0054 x ALT	0.84	T24 = 27.32 - 0.0047 x ALT	0.81
15	TD = 28.81 - 0.0049 x ALT	0.89	T24 = 26.69 - 0.0044 x ALT	0.87
16	TD = 29.07 - 0.0056 x ALT	0.93	T24 = 26.90 - 0.0050 x ALT	0.91
17	TD = 28.42 - 0.0049 x ALT	0.88	T24 = 26.43 - 0.0045 x ALT	0.85
18	TD = 29.00 - 0.0055 x ALT	0.86	T24 = 26.88 - 0.0049 x ALT	0.83
19	TD = 29.25 - 0.0057 x ALT	0.84	T24 = 27.05 - 0.0049 x ALT	0.80
20	TD = 29.76 - 0.0063 x ALT	0.91	T24 = 27.52 - 0.0055 x ALT	0.89
21	TD = 29.31 - 0.0058 x ALT	0.89	T24 = 27.09 - 0.0051 x ALT	0.85
22	TD = 29.46 - 0.0060 x ALT	0.88	T24 = 27.15 - 0.0052 x ALT	0.84
23	TD = 28.99 - 0.0054 x ALT	0.85	T24 = 26.55 - 0.0046 x ALT	0.81
24	TD = 28.36 - 0.0051 x ALT	0.84	T24 = 26.16 - 0.0044 x ALT	0.81
25	TD = 27.95 - 0.0047 x ALT	0.86	T24 = 25.87 - 0.0042 x ALT	0.82
26	TD = 27.71 - 0.0046 x ALT	0.84	T24 = 25.65 - 0.0040 x ALT	0.80
27	TD = 27.52 - 0.0044 x ALT	0.87	T24 = 25.64 - 0.0041 x ALT	0.84
28	TD = 27.63 - 0.0045 x ALT	0.85	T24 = 25.72 - 0.0041 x ALT	0.82
29	TD = 27.66 - 0.0046 x ALT	0.86	T24 = 25.91 - 0.0043 x ALT	0.84
30	TD = 27.88 - 0.0049 x ALT	0.86	T24 = 25.97 - 0.0045 x ALT	0.84
31	TD = 28.27 - 0.0053 x ALT	0.86	T24 = 26.26 - 0.0048 x ALT	0.83
32	TD = 28.74 - 0.0059 x ALT	0.85	T24 = 26.56 - 0.0052 x ALT	0.82
33	TD = 29.18 - 0.0061 x ALT	0.86	T24 = 26.82 - 0.0054 x ALT	0.83
34	TD = 29.80 - 0.0069 x ALT	0.87	T24 = 27.29 - 0.0059 x ALT	0.84
35	TD = 30.48 - 0.0079 x ALT	0.90	T24 = 28.07 - 0.0067 x ALT	0.85
36	TD = 31.37 - 0.0088 x ALT	0.94	T24 = 28.60 - 0.0077 x ALT	0.91
37	TD = 31.57 - 0.0090 x ALT	0.94	T24 = 28.70 - 0.0077 x ALT	0.92

ALT = Altitud

R^2 = Coeficiente de determinación

2.2 Estimación del brillo solar

El brillo solar, al igual que la temperatura, juega un papel importantísimo en el cálculo de la evapotranspiración potencial y en el de los índices de producción agrícola. Sin embargo, en la mayoría de los países tropicales son pocas las estaciones que cuentan con registros de este elemento del clima. Sumado a esto, casi no existen estudios que se relacionen con la estimación del brillo solar, por lo que se probaron para Costa Rica, diversos modelos con varias variables (promedio temperatura diurna, temperatura diaria, promedio precipitación, altitud, latitud, longitud, etc), Como resultado se obtuvo una correlación alta entre el promedio interanual por década de la precipitación (se utilizaron solamente los promedios interanuales de precipitación de las estaciones que contaran como mínimo con 15 años de registro). El modelo de mejor ajuste fue de tipo cuadrático ($Y = a + bx + cx^2$).

El análisis se hizo primero por estación y luego por región climática. Del análisis por estación se detectó que las regresiones obtenidas para las estaciones ubicadas en el Atlántico, presentaban coeficientes de correlación bajos por lo que no se procedió a calcular una ecuación para esta región, mientras que para las restantes los coeficientes de correlación fueron bastante buenos (es importante señalar que para la Subvertiente Norte no existen estaciones que registren el brillo solar). Luego se agrupó las estaciones por región climática y se obtuvo una ecuación que relaciona el promedio interanual de brillo solar por década con el promedio interanual por década de la precipitación. (Cada década constituye una observación, por lo que por cada estación se cuenta con 37 observaciones).

Además para poder estimar esta variable en las regiones Atlántico y Subvertiente Norte, se calculó una ecuación para todo el país, utilizando todas las estaciones que contaran con esta información. Las ecuaciones obtenidas y sus coeficientes de correlación se presentan en el cuadro 9.

CUADRO 9

RELACION ENTRE EL PROMEDIO INTERANUAL POR DECADA DE LA PRECIPITACION Y EL PROMEDIO INTERANUAL POR DECADA DEL BRILLO SOLAR POR REGION CLIMATICA

REGION	ECUACION DE REGRESION	COEFICIENTE DE CORRELACION R
Valle Central	$INSO = 8.4799 - 0.077975 \times PP + 0.00039392 (PP)^2$	0.8490
Pacífico Norte	$INSO = 8.9524 - 0.068464 \times PP + 0.00027891 (PP)^2$	0.8835
Pacífico Sur	$INSO = 9.1104 - 0.05636 \times PP + 0.000163090 (PP)^2$	0.8431
Costa Rica	$INSO = 8.6388 - 0.06344 \times PP + 0.000226110 (PP)^2$	0.8428

INSO = Brillo solar PP = Promedio interanual por década de la precipitación

3. Utilización del análisis frecuencial de lluvias para la determinación de los períodos de cultivo. Tercera Etapa

La técnica del análisis frecuencial de lluvias, como se ha explicado anteriormente, define la duración del período de cultivo, período donde es posible integrar el Indice de Producción Potencial. Además da una idea clara de la distribución de las precipitaciones durante el transcurso del año para una determinada zona.

Cada una de las regiones físico-geográficas de Costa Rica fue analizada por medio de esta técnica, para lo cual se evaluaron 72 estaciones meteorológicas.

En el siguiente análisis por región, solamente se incluyen los gráficos del análisis frecuencial, para aquellas estaciones que se consideraron como representativas de la región (3 ó 4 ejemplos por región).

3.1 Para la región 1 - Valle Central - el análisis frecuencial de lluvias arroja una curva que se puede considerar como la más adecuada para el cultivo de la caña de azúcar (Ver Figs. 1 , 2, 3), ya que en ella se aprecia muy claramente una época con buen abastecimiento hídrico (que va desde el 1° de mayo hasta finales de noviembre) necesaria para un buen crecimiento y producción de materia seca, y además una época definida de sequía relativa indispensable para la acumulación de sacarosa. La época de buen abastecimiento hídrico constituye el período de cultivo que tiene en este caso una duración de 190 a 210 días donde será posible integrar la "función de producción". (IPP)

3.2 La región 2 - Pacífico Norte - para esta región la curva del análisis frecuencial presenta dos formas características según se encuentre la estación meteorológica cerca de la Península de Nicoya o se aleje de ésta, acercándose a la región montañosa. Este fenómeno se aprecia muy bien si se analizan las curvas del análisis frecuencial para las estaciones Puntarenas, Barranca y Tilarán (Figs. 4 , 5 , 6).

Para estas estaciones hay dos aspectos importantes de señalar: primero si se observa la forma de la curva del análisis frecuencial para Puntarenas, se apreciará una pequeña contracción de la década 20 a la 23 o sea del 10 de julio al 18 de agosto, esta contracción se debe a una conjugación de factores climáticos que ocasionan períodos de baja incidencia de lluvia, -períodos con características propias a la época de sequía- dentro de la época lluviosa de la

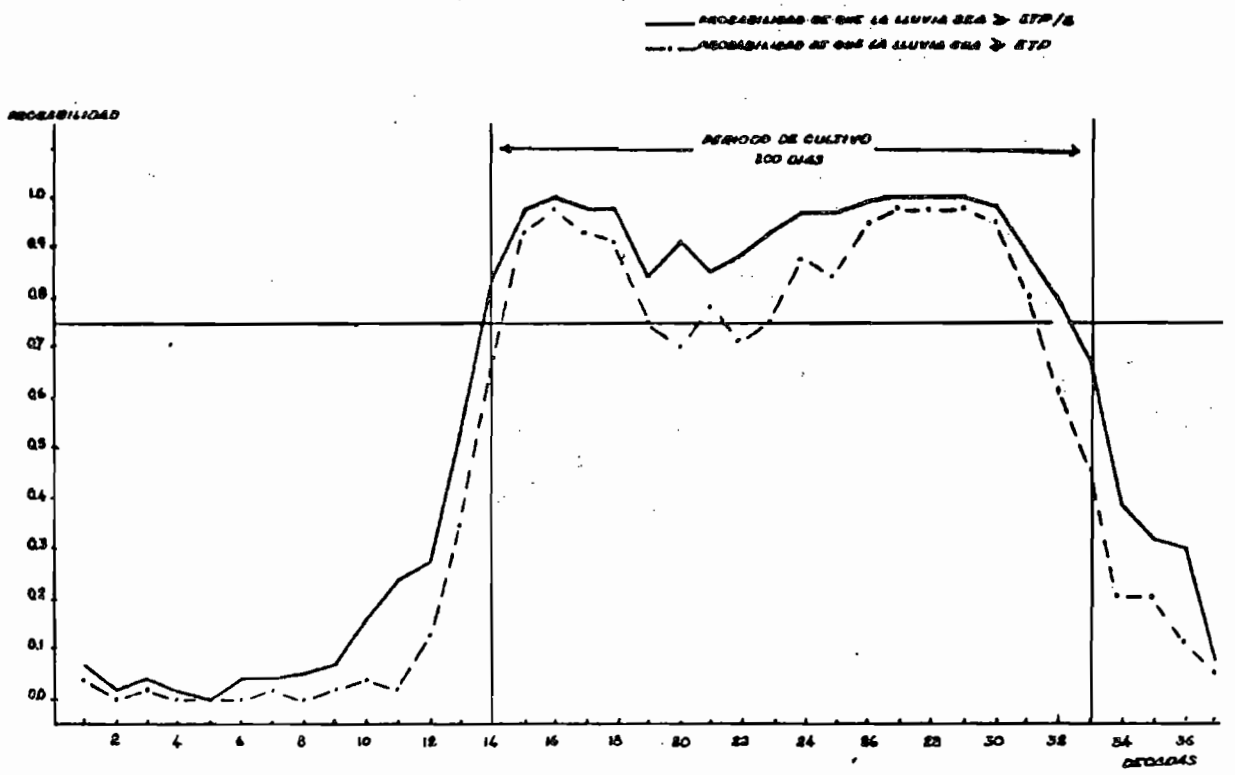


Figura 1. ANALISIS FRECUENCIAL DE LLUVIAS PARA LA ESTACION SAN JOSE

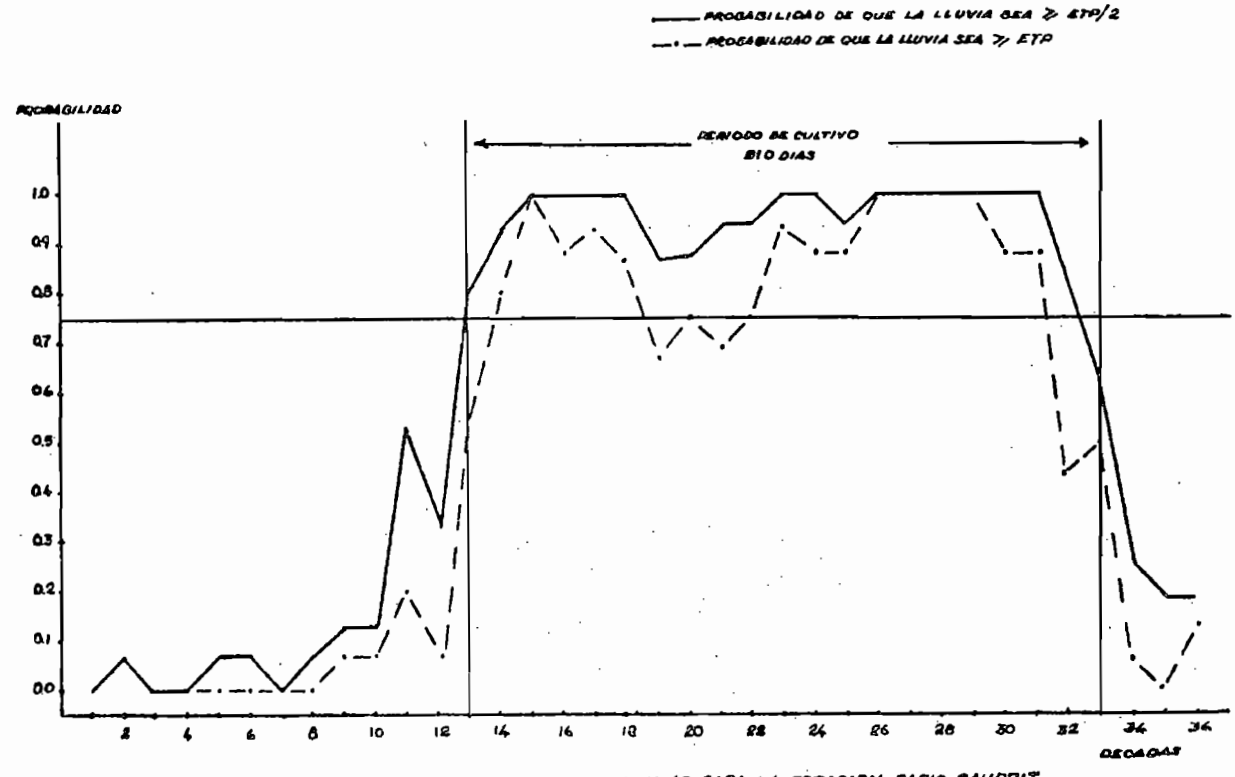


Figura 2. ANALISIS FRECUENCIAL DE LLUVIAS PARA LA ESTACION FABIO BAUDRIT

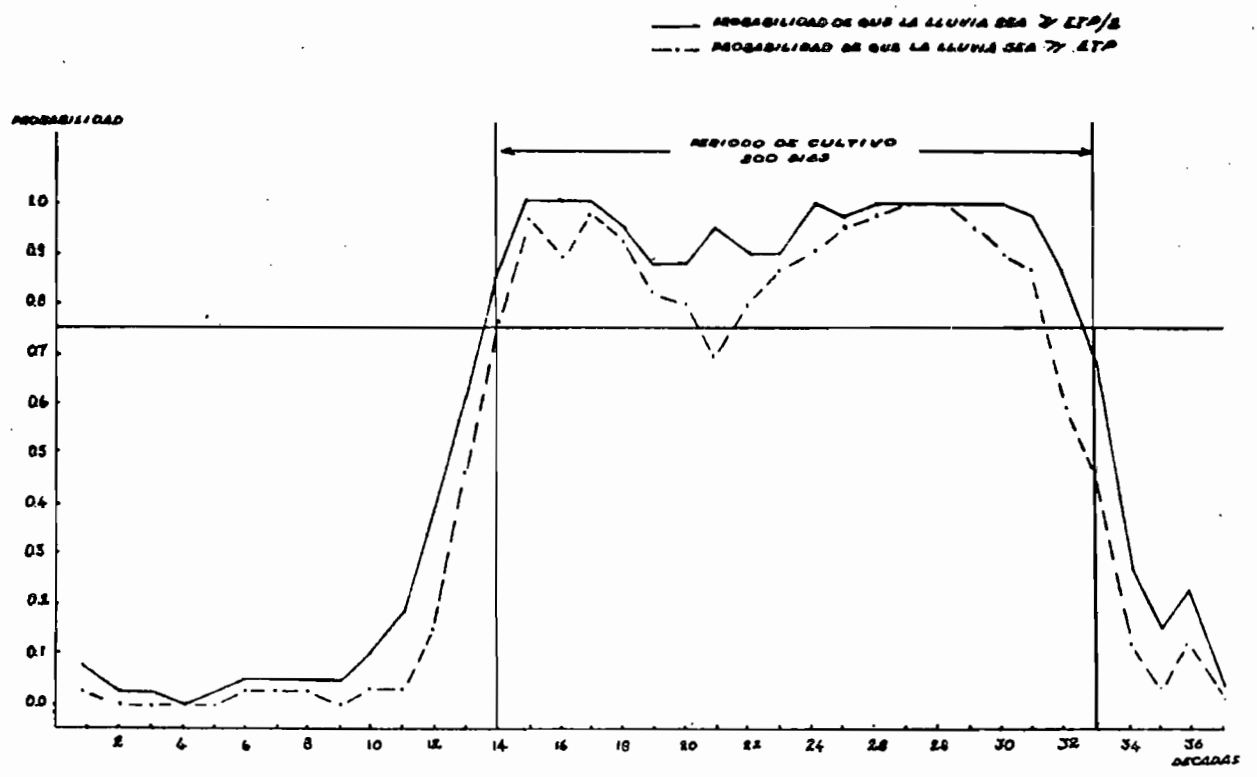


Figura 3. ANALISIS FRECUENCIAL DE LLUVIAS PARA LA ESTACION LA ARGENTINA

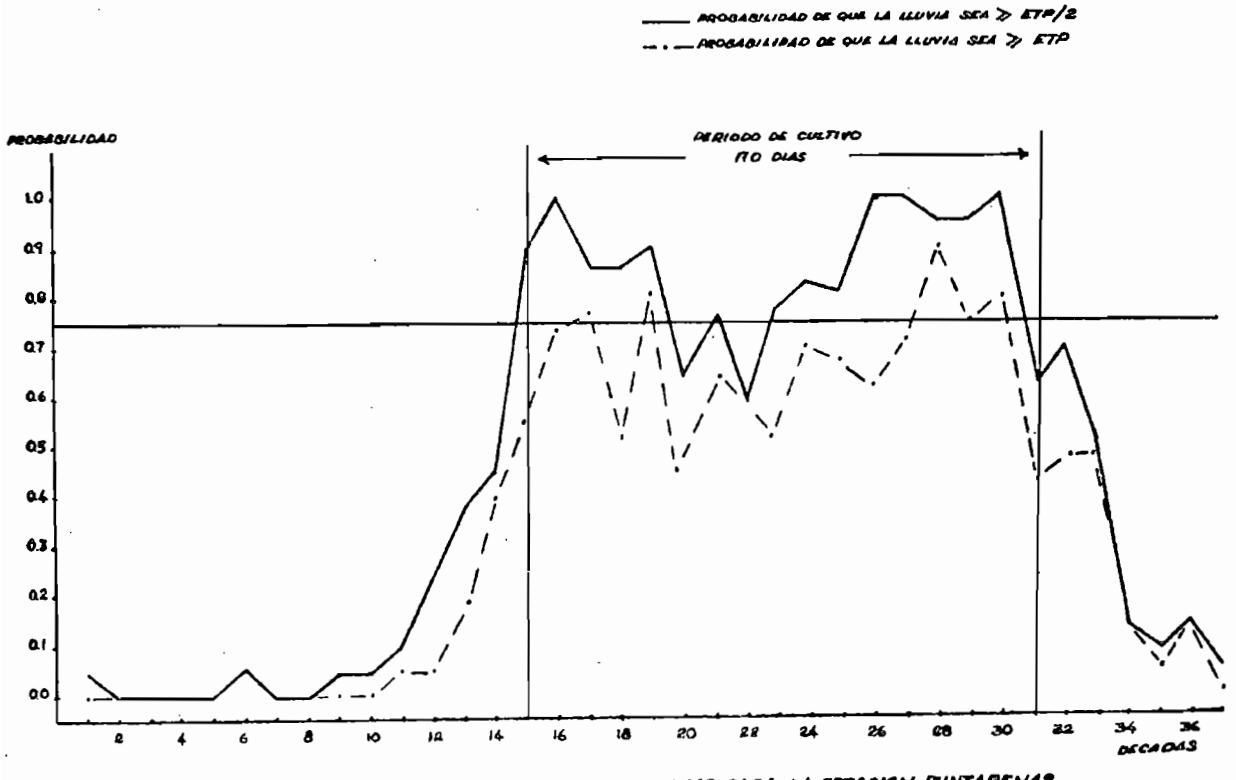


Figura 4. ANALISIS FRECUENCIAL DE LLUVIAS PARA LA ESTACION PUNTARENAS

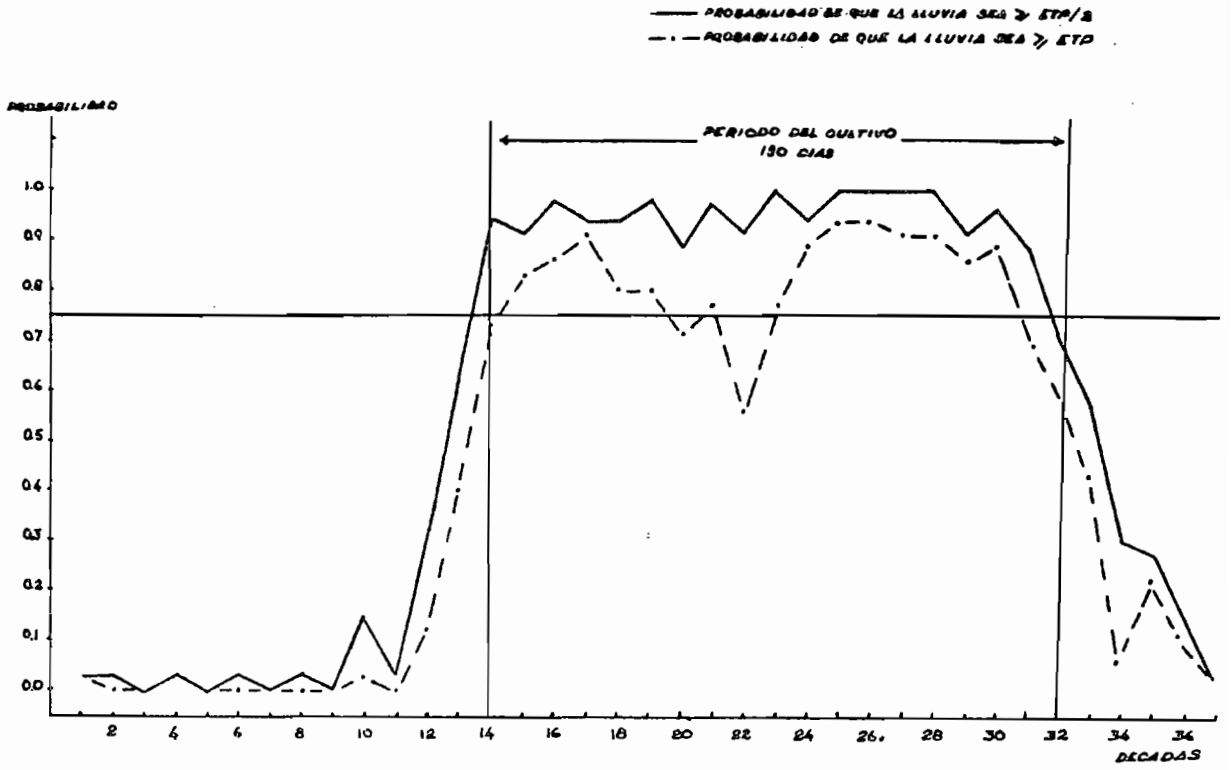


Figura 5. ANALISIS FRECUENCIAL DE LLUVIAS PARA LA ESTACION BARRANCA

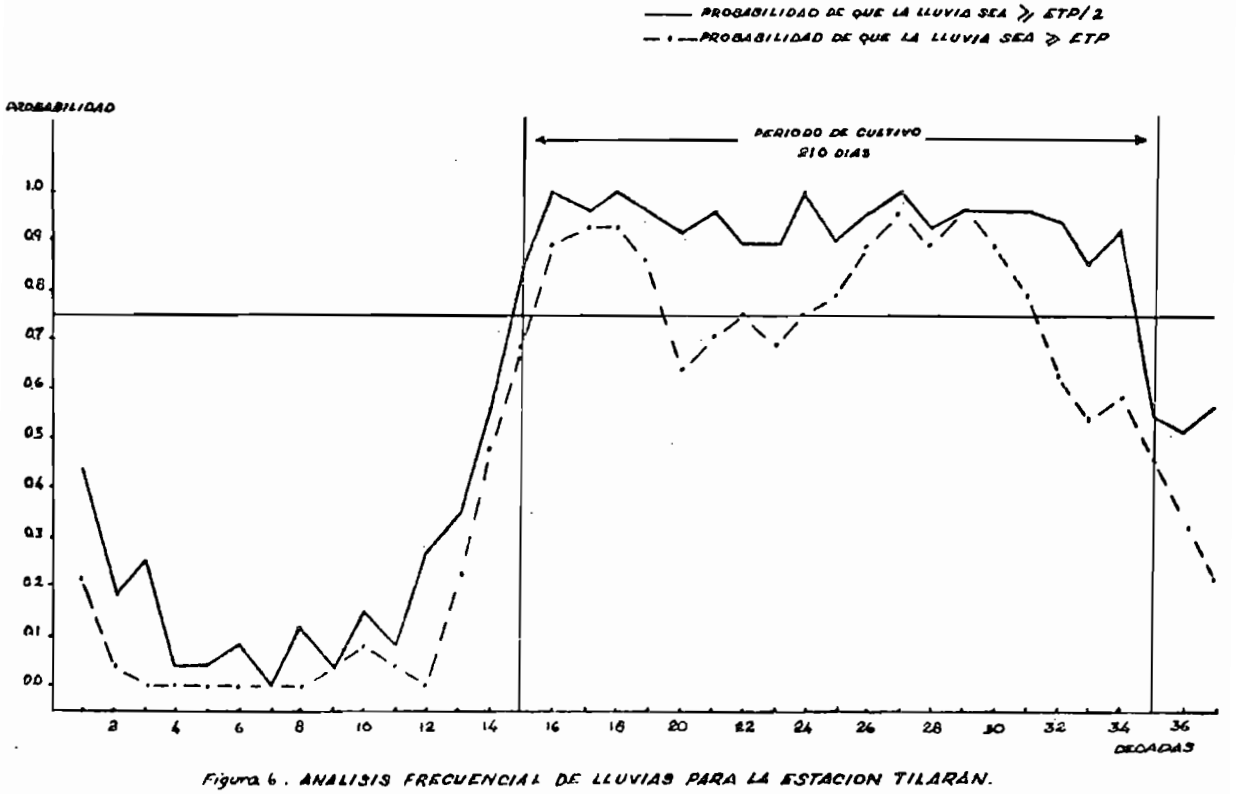


Figura 6. ANALISIS FRECUENCIAL DE LLUVIAS PARA LA ESTACION TILARAN.

región; fenómeno climático que se le denomina con el nombre de "canícula" o "veranillo". La canícula tiene mayor influencia como se demostrará más adelante, en el centro del Pacífico Norte. El segundo aspecto importante es que el período de cultivo de la región se va haciendo mayor conforme nos acercamos a la zona montañosa, de 170 en Puntarenas pasa a 190 en Barranca y a 210 en Tilarán (Ver figs. 4, 5, 6), a la vez que desaparece el citado fenómeno climático.

Por otro lado, si se analizan las estaciones de Nicoya, Santa Cruz, Filadelfia y Liberia, que se encuentran ubicadas más o menos al centro de la Región 2, se notará que se presentan los dos aspectos anteriormente señalados: la canícula y una reducción del período de cultivo, acentuándose éstos conforme nos trasladamos del sur de la región, al norte de la misma. La canícula constituye un tema muy importante de análisis, ya que se acentúa de tal forma que para las estaciones de Santa Cruz, Filadelfia y Liberia, divide el período de cultivo en dos; razón por la cual en esta región es necesario contar para el cultivo de la caña de azúcar, con riego suplementario para poder completar la etapa de crecimiento y formación de materia seca. (Ver figs. 7, 8, 9, 10)

La canícula se prolonga y acentúa como se apuntó, conforme nos trasladamos del sur al norte de la región, por tal razón es apenas percibida en Nicoya donde abarca de la década 19 a la 23 (del 30 de junio al 18 de agosto) y el período de cultivo no es dividido, teniendo una duración de 200 días; mientras que es sumamente importante en Filadelfia donde abarca de la década 19 a la 24 (del 30 de

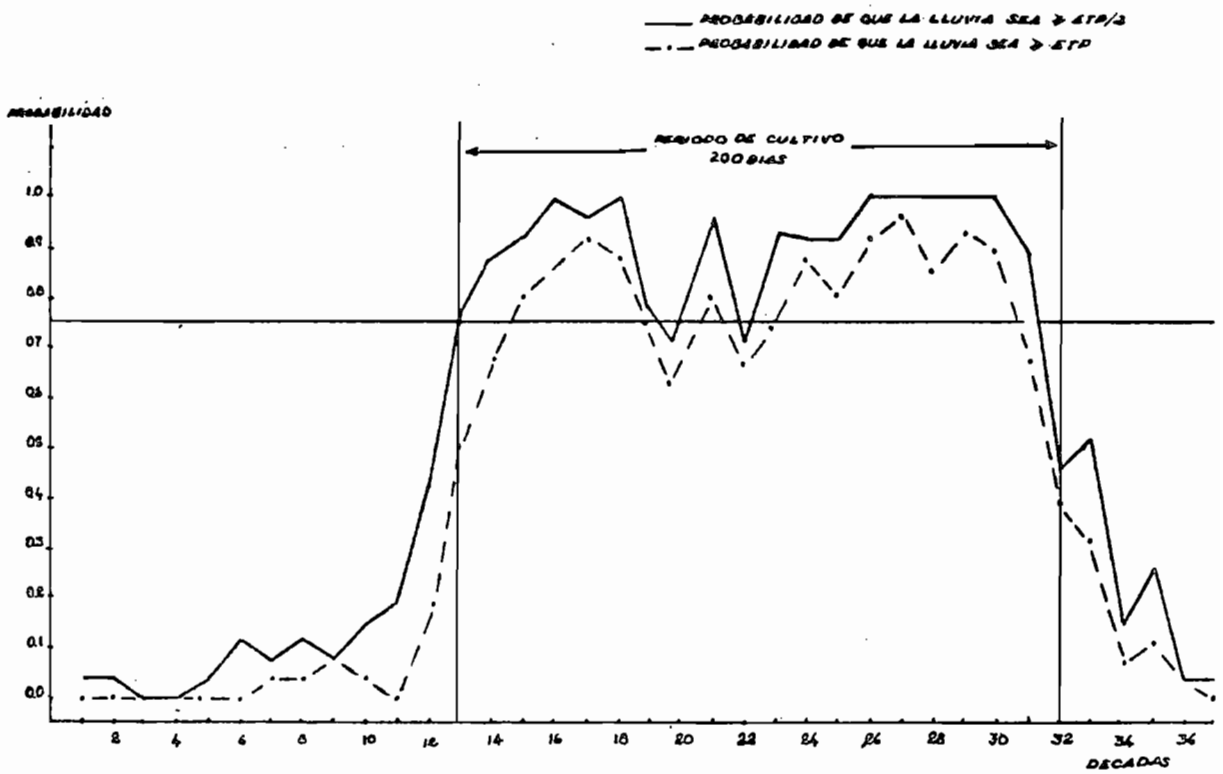


Figura 7. ANALISIS FRECUENCIAL DE LLUVIAS PARA LA ESTACION NICOYA

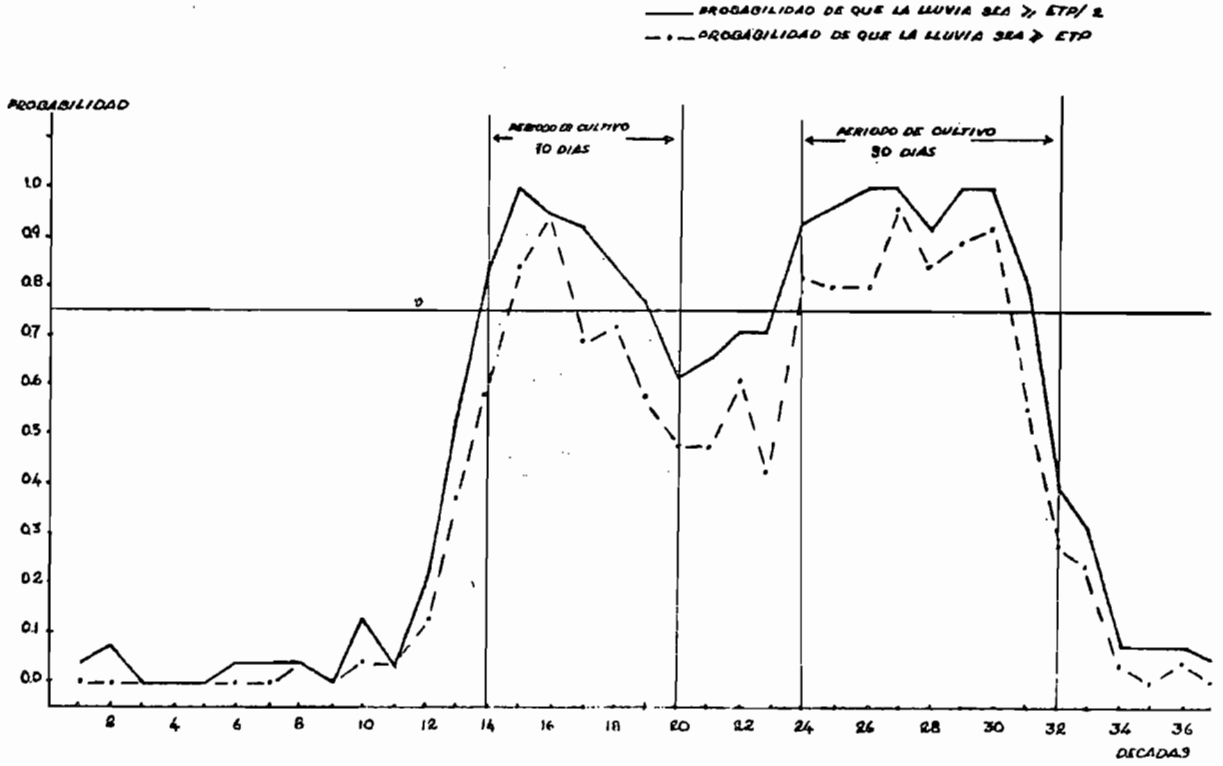


Figura 8. ANALISIS FRECUENCIAL DE LLUVIAS PARA LA ESTACION SANTA CRUZ

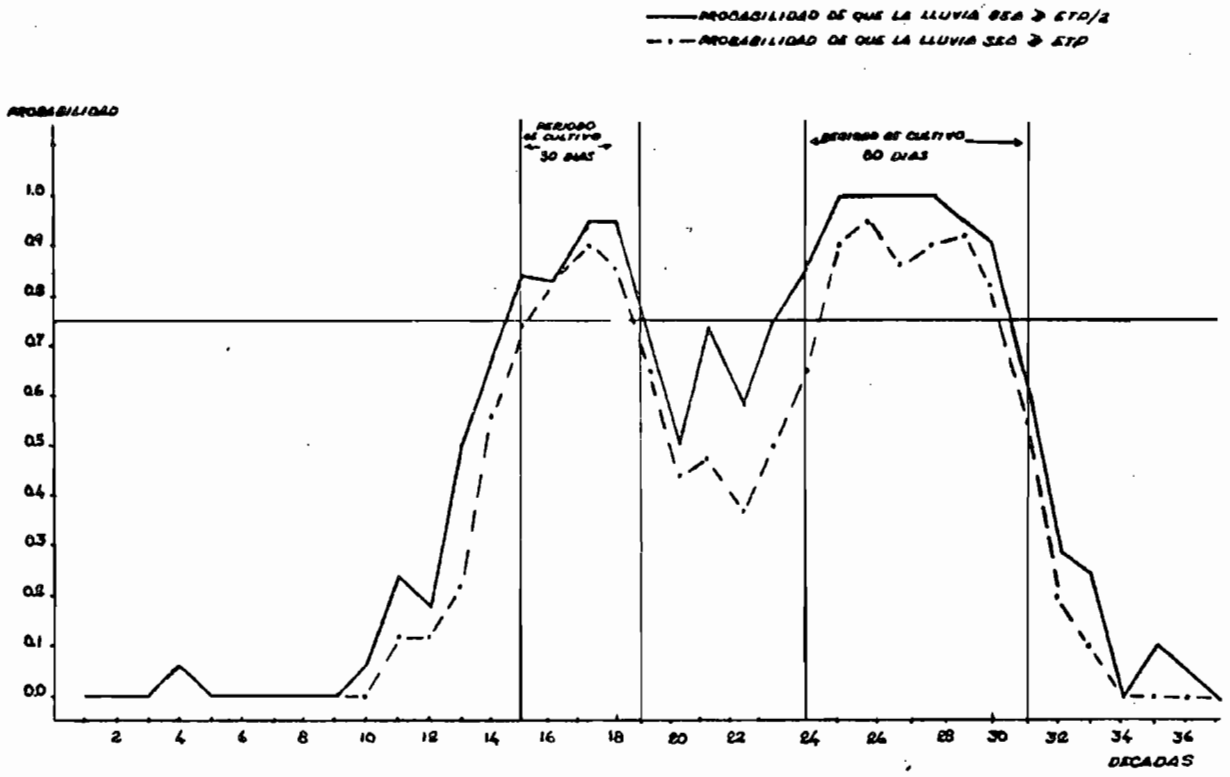


Figura 9. ANALISIS FRECUENCIAL DE LLUVIAS PARA LA ESTACION FILADELFIA

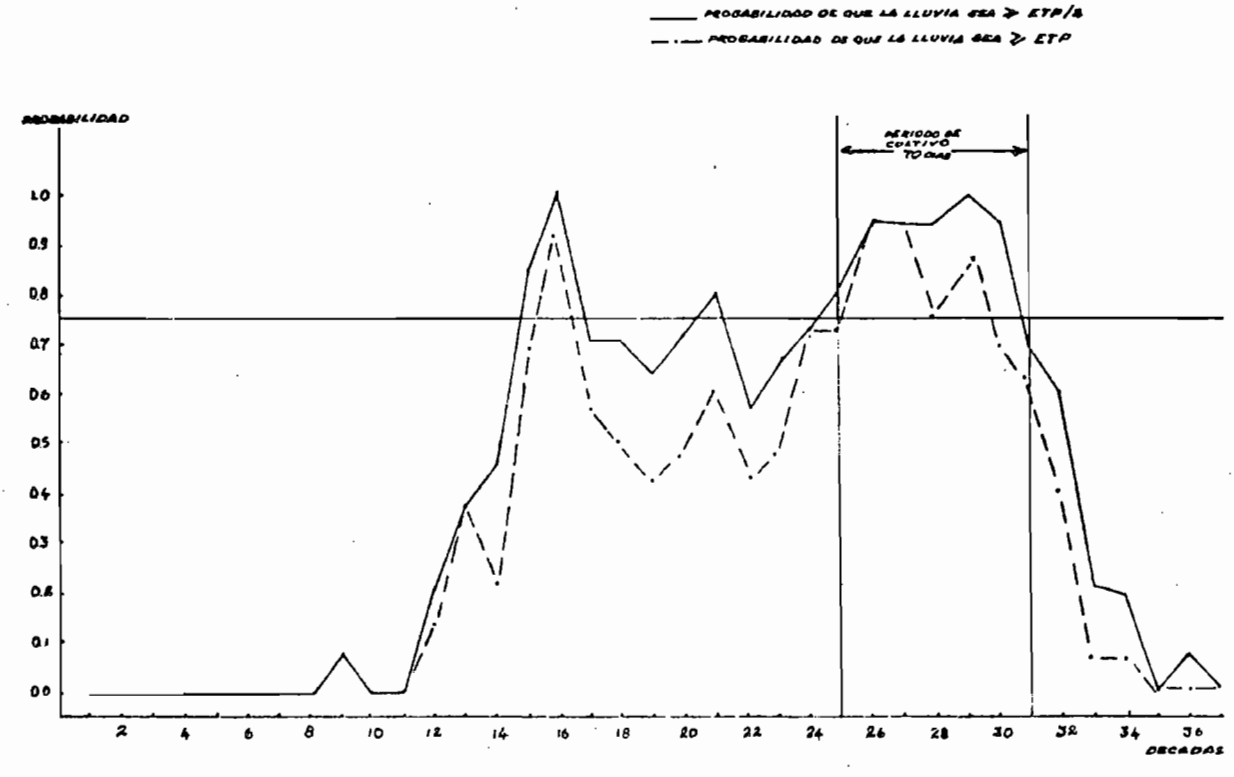


Figura 10. ANALISIS FRECUENCIAL DE LLUVIAS PARA LA ESTACION LIBERIA

junio al 28 de agosto) y el período de cultivo se divide y se reduce a 140 días, y aún es más grave en Liberia, donde se obtiene un período de cultivo más corto, de apenas 70 días.

Para finalizar se debe señalar que la Region 2 Pacífico Norte, presenta una época definida de sequía relativa muy importante para la maduración de la caña de azúcar.

3.3 Región 3 - Pacífico Sur - en términos generales las curvas del análisis frecuencial de lluvias para las estaciones meteorológicas analizadas en esta región, definen una época de buen abastecimiento hídrico y una de sequía relativa. Desde el punto de vista de la distribución de las lluvias se puede clasificar la región como apropiada para el cultivo de la caña de azúcar; sin embargo, es importante señalar que conforme nos trasladamos del norte al sur del Pacífico Húmedo, la época de sequía se reduce a la vez que aumenta la probabilidad de obtener lluvias más fuertes dentro de la misma; lo que para el cultivo de caña de azúcar no es favorable porque la presencia de lluvias durante la maduración reducen el rendimiento de azúcar por tonelada de caña cosechada. Razón por la cual la zona de Golfito no es recomendable para el cultivo de caña de azúcar, si analizamos sólo las lluvias. La reducción de la época de sequía implica un aumento en el período de cultivo como se puede apreciar en las figs. 11, 12, 13, 14.

3.4 Región 4 - Atlántico - Para esta región el análisis frecuencial de lluvias proporciona unos resultados sumamente interesantes. Si se observan las figs. 15, 16, 17, correspondientes a las estaciones de

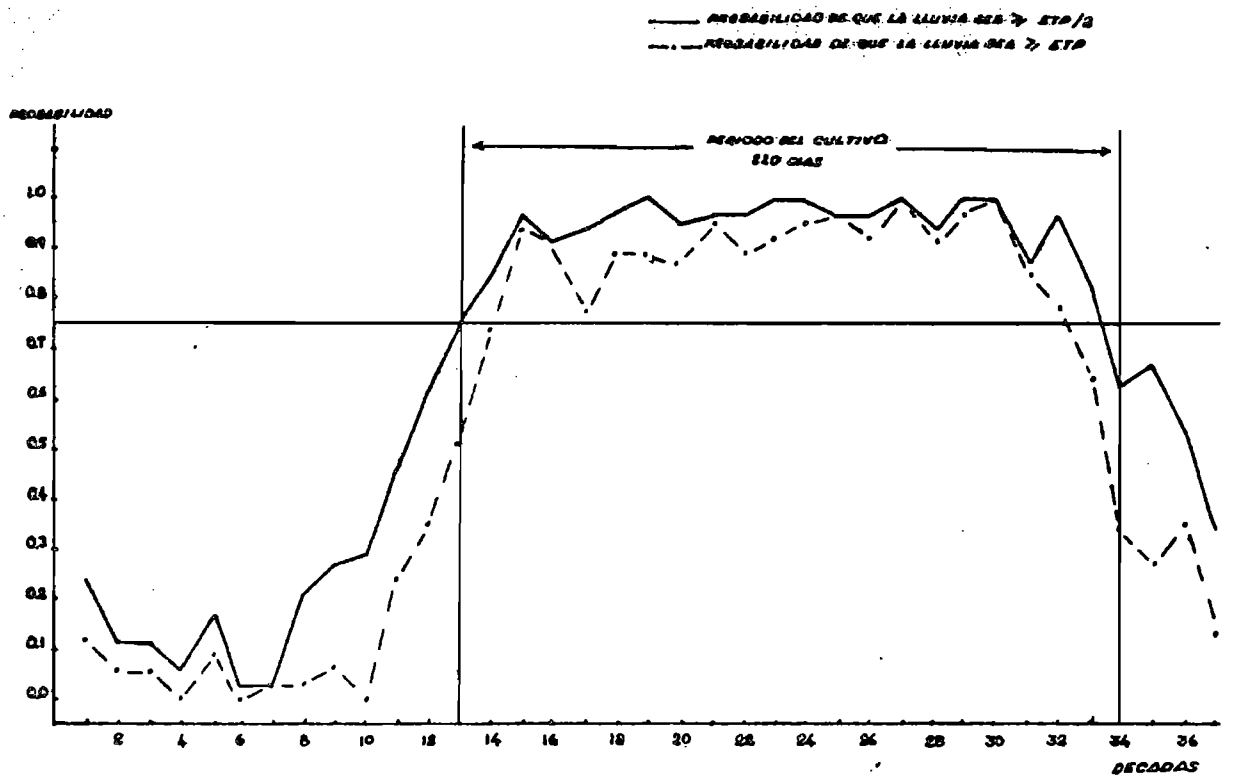


Figura 11. ANALISIS FRECUENCIAL DE LLUVIAS PARA LA ESTACION FINCA PALO SECO

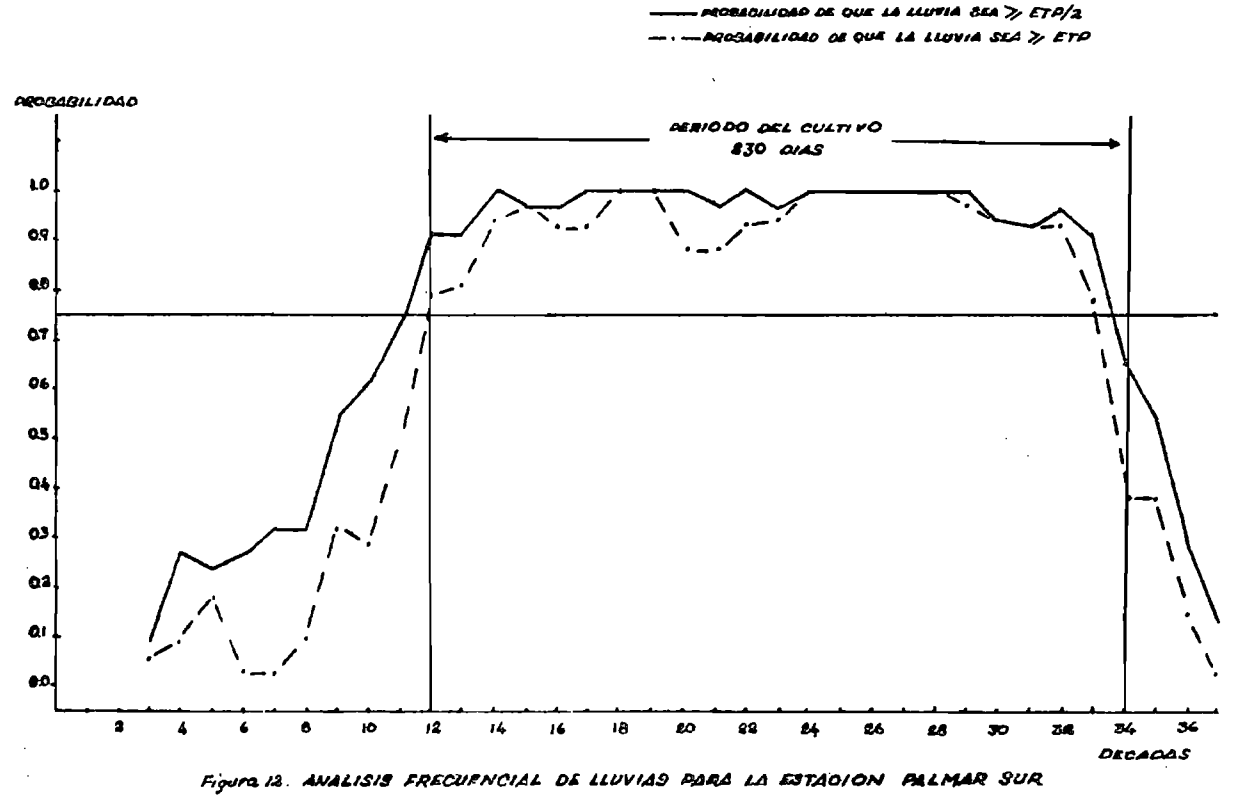


Figura 12. ANALISIS FRECUENCIAL DE LLUVIAS PARA LA ESTACION PALMAR SUR

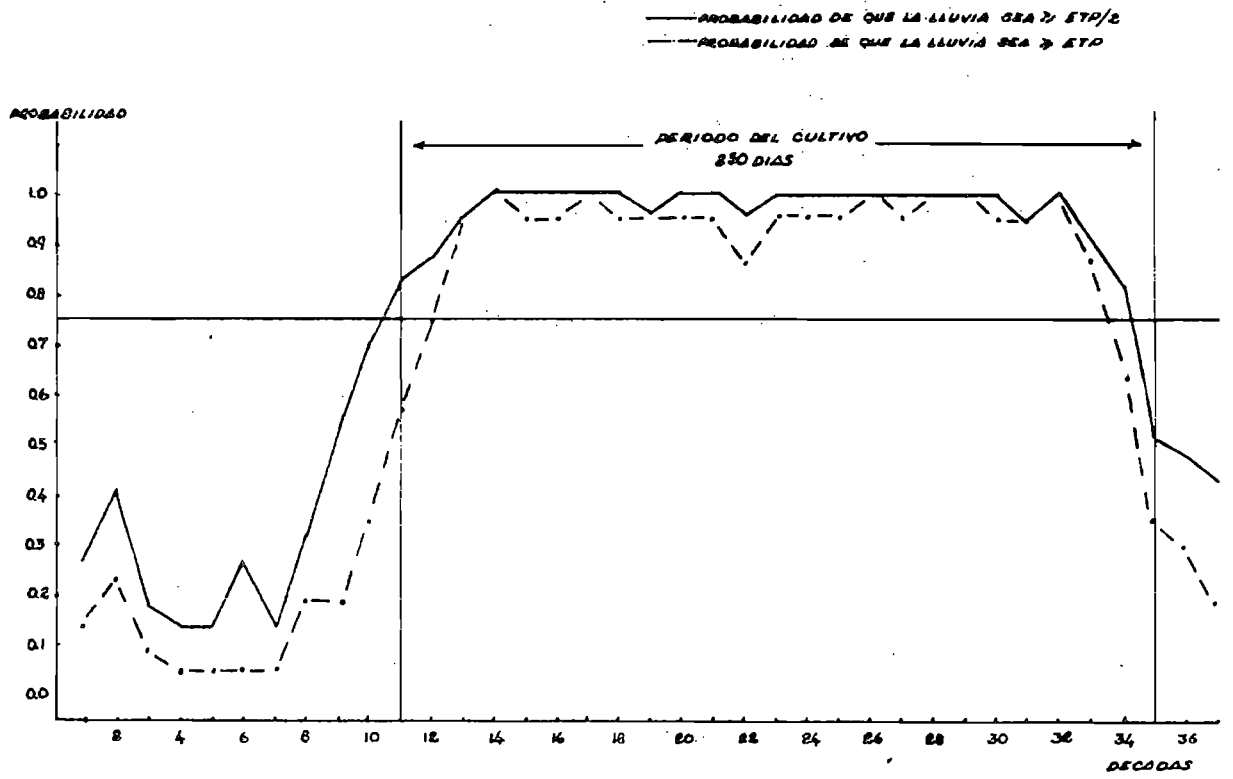


Figura 13. ANALISIS FRECUENCIAL DE LLUVIAS PARA LA ESTACION VOLCAN ANGEL

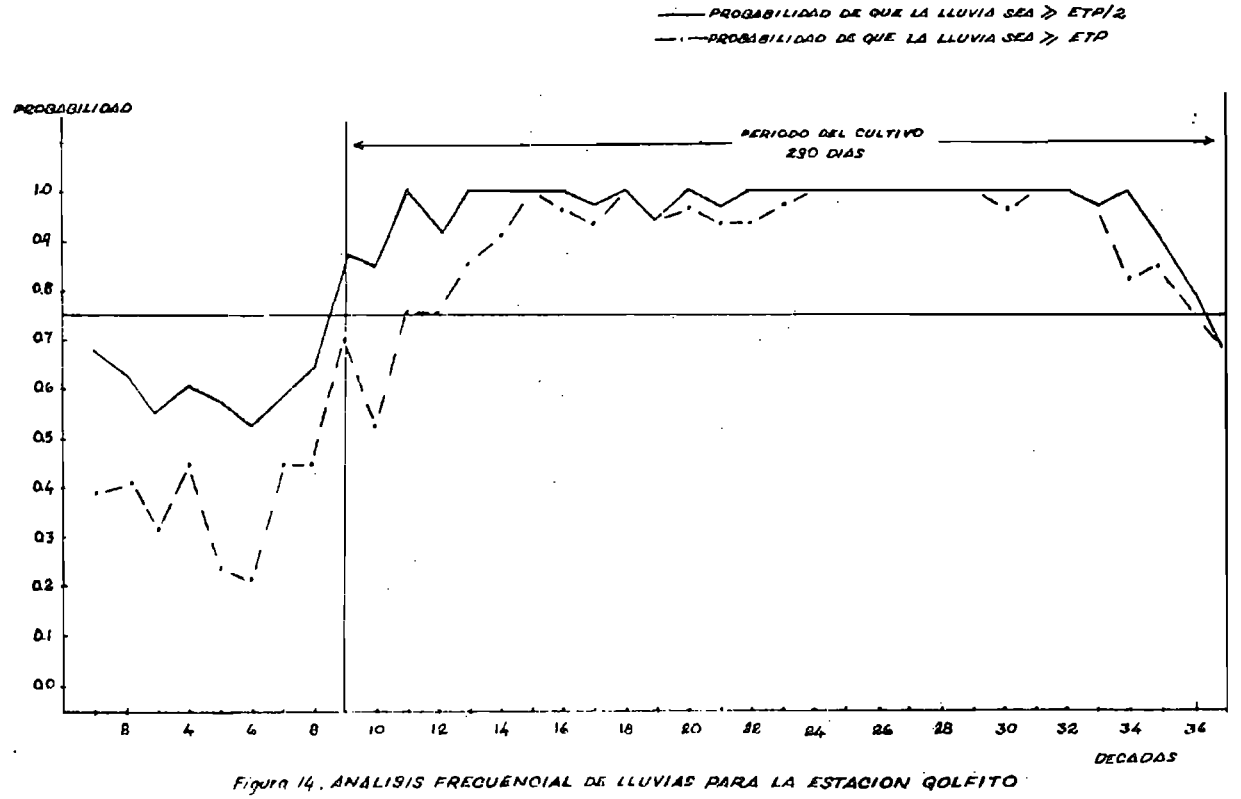


Figura 14. ANALISIS FRECUENCIAL DE LLUVIAS PARA LA ESTACION QUELITO

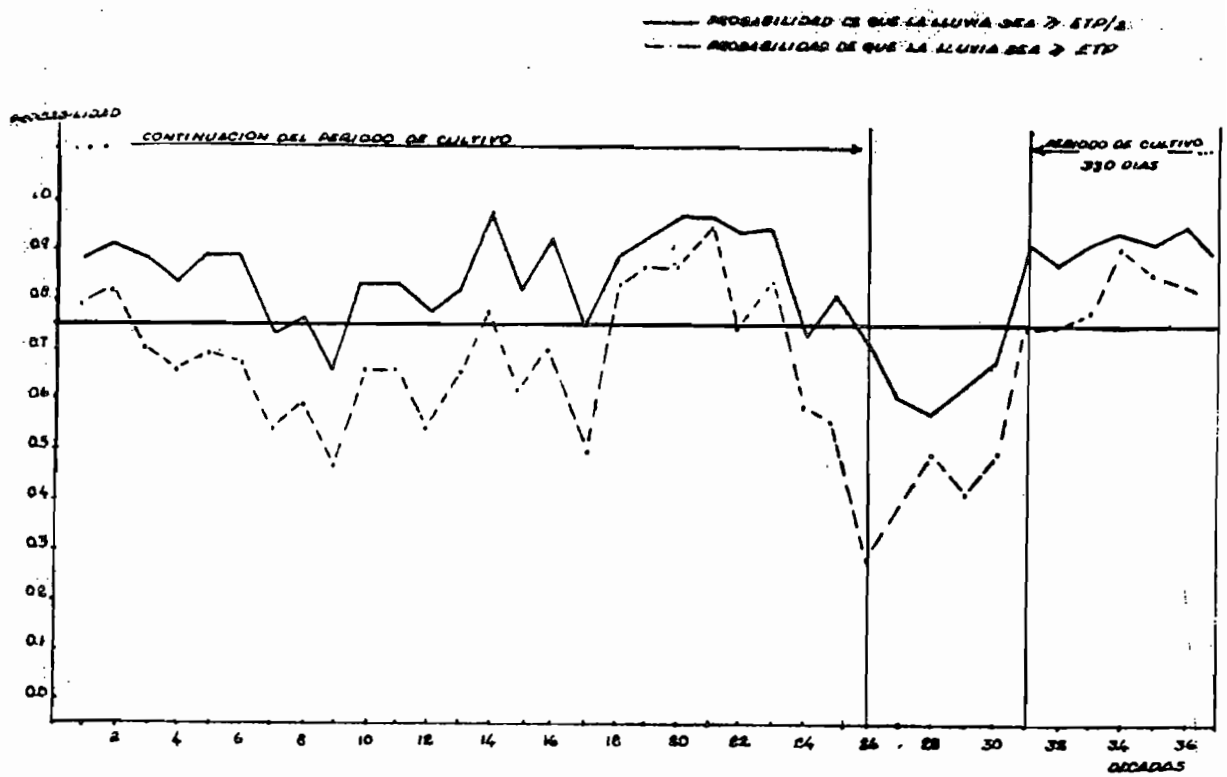


Figura 15. ANALISIS FRECUENCIAL DE LLUVIAS PARA LA ESTACION LIMON

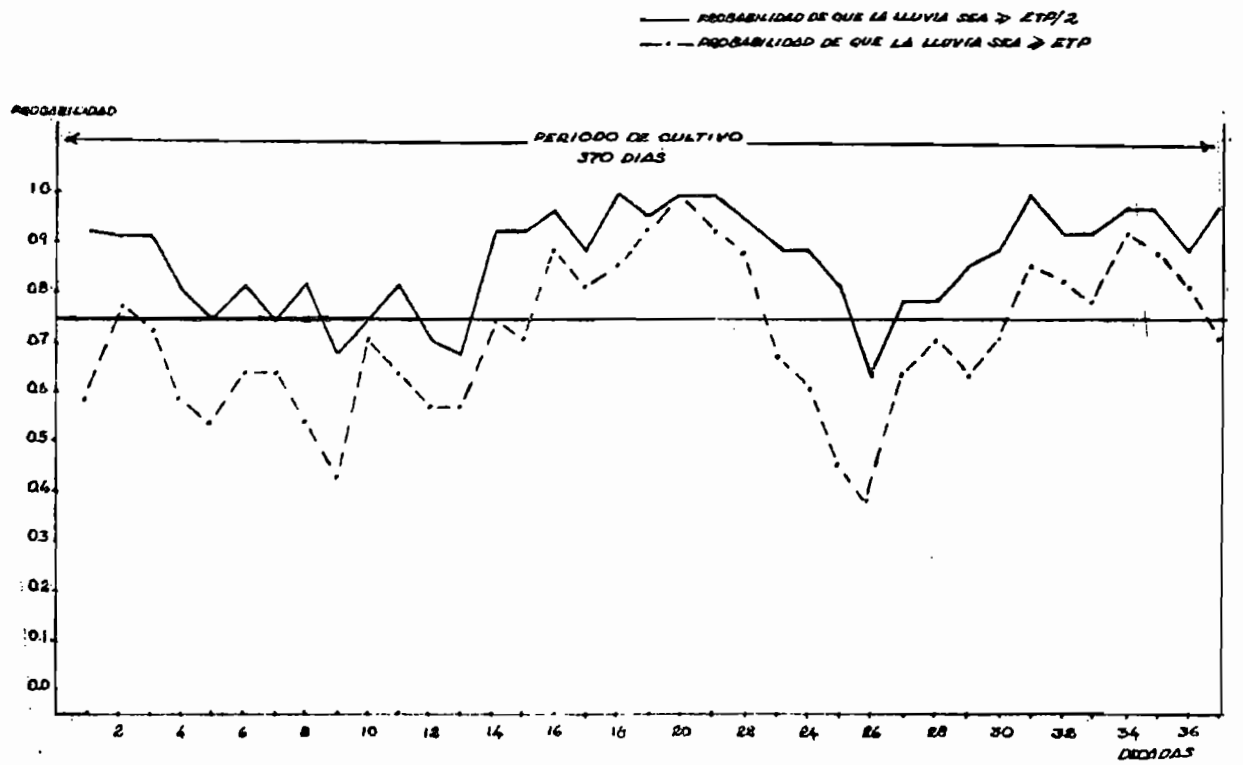


Figura 16. ANALISIS FRECUENCIAL DE LLUVIAS PARA LA ESTACION LA LOLA

Limón, la Lola y Barra del Colorado, que se consideran representativas de la región costera atlántica, se notará que esta región es la que tiene los períodos de cultivos más largos de todo el país, porque la probabilidad de obtener lluvias mayores o iguales a la mitad de la evapotranspiración potencial es muy alta durante todo el año; razón por la cual, no se puede decir que exista una estación seca propiamente dicha. Sin embargo, se puede apreciar una disminución de las probabilidades de la década 26 a la 30 (del 8 de setiembre al 27 de octubre) para la estación de Limón, y de la década 7 a la 12 (del 2 de marzo al 12 de agosto) para la estación Barra del Colorado, señalando este hecho que la estación menos lluviosa de la región se traslada de fecha según se ubiquen las estaciones al norte o al sur de la región costera atlántica, pasando por una zona de indefinición en cuanto a la época con menor lluvia se refiere. Esto último se puede apreciar en la estación La Lola, la cual no presenta en forma evidente la época de menor probabilidad de lluvias, obteniéndose uno de los períodos de cultivo de mayor duración.

Por todo lo expuesto anteriormente, se puede catalogar desde el punto de vista de distribución de lluvias a la región costera atlántica como una región no apropiada para el cultivo de la caña de azúcar, ya que ésta no presenta condiciones adecuadas para la acumulación de la sacarosa en la planta. Esto deberá ser estudiado con más cuidado y con los índices de producción potencial e índice de madurez.

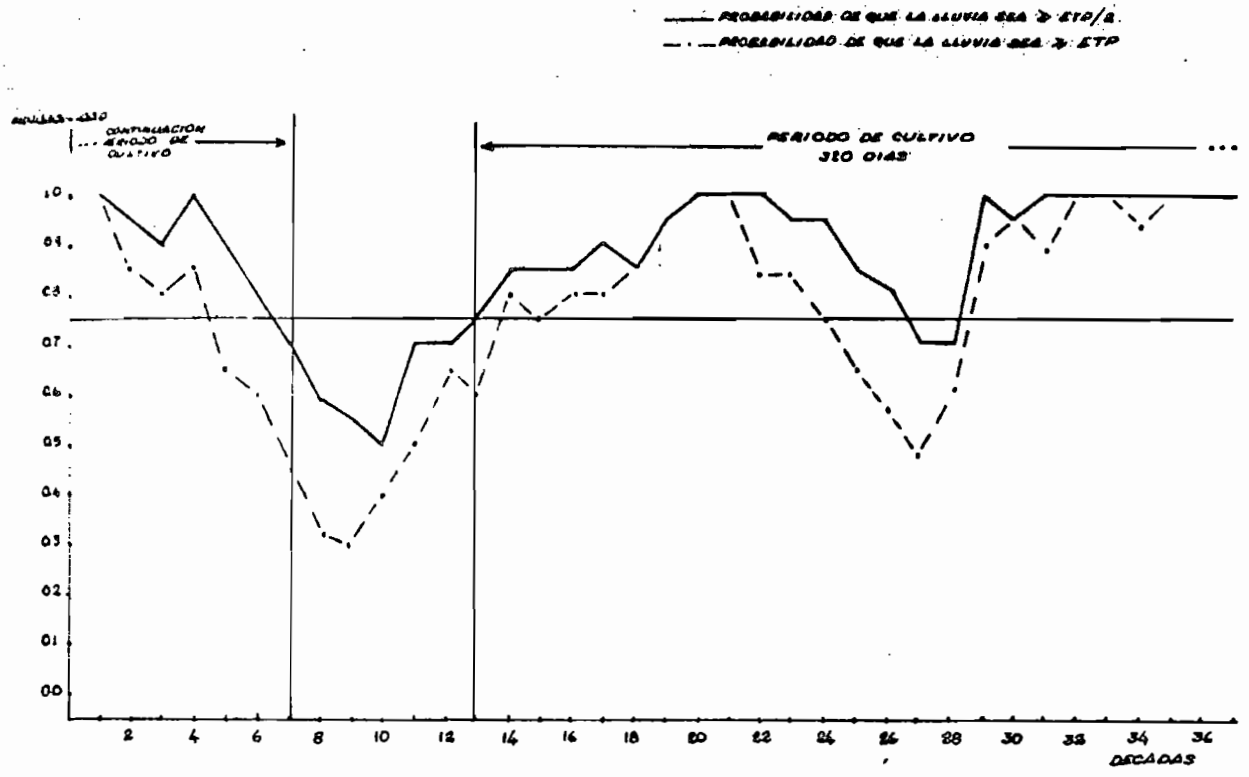


Figura 17. ANALISIS FRECUENCIAL DE LLUVIAS PARA LA ESTACION BARRA DE COLORADO

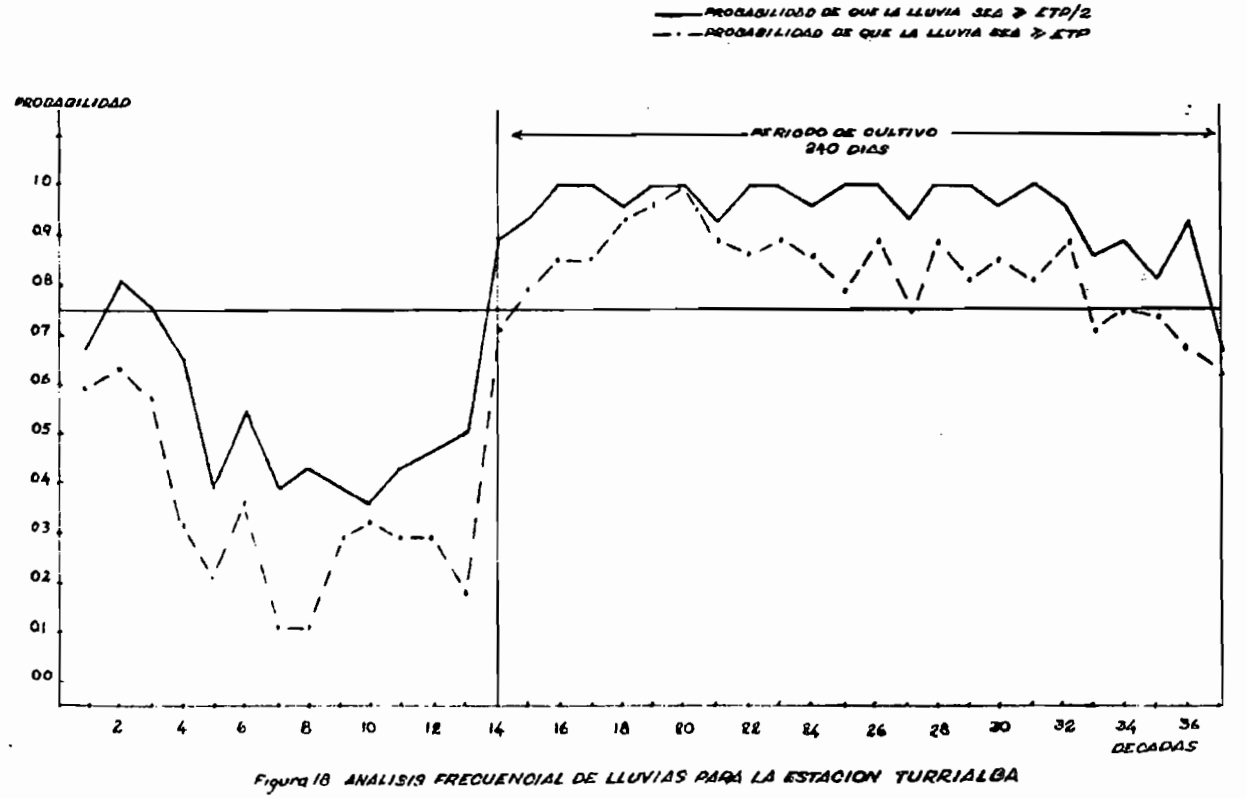


Figura 18 ANALISIS FRECUENCIAL DE LLUVIAS PARA LA ESTACION TURRIALBA

Si se pasa ahora al análisis de la región montañosa atlántica donde se encuentra la estación de Turrialba (Fig. 18) se aprecia que disminuye la incidencia de lluvias presentándose una época de sequía relativa y un período de cultivo definido de 240 días, condiciones que la califican dentro de las estaciones del Atlántico como la más adecuada para el cultivo de la caña de azúcar.

3.5 Región 5 - Subvertiente Norte - Para esta región el período de cultivo es mayor conforme se encuentre ubicada la estación al oeste de la Subvertiente Norte, debido a la influencia del clima del Atlántico. En términos generales la región presenta una pequeña época de menor incidencia de precipitaciones, que va de comienzos del mes marzo hasta finales de mayo (Ver figuras 19, 20).

Por otro lado, la curva del análisis frecuencial varía conforme se ubica la estación en la parte más alta de la región, como se puede apreciar con los resultados obtenidos para la estación de Zarcero, a 1736 msnm (ver fig. 21). La curva se asemeja a las de las estaciones del Valle Central ya analizadas.

3.6 Comparación de las curvas de análisis frecuencial en zonas diferentes

Para finalizar la presentación de los resultados de esta etapa, es interesante poder comparar en una misma gráfica (ver fig. 22) las curvas para las estaciones de Limón, Juan Santamaría y Filadelfia. La gráfica por sí misma es elocuente.

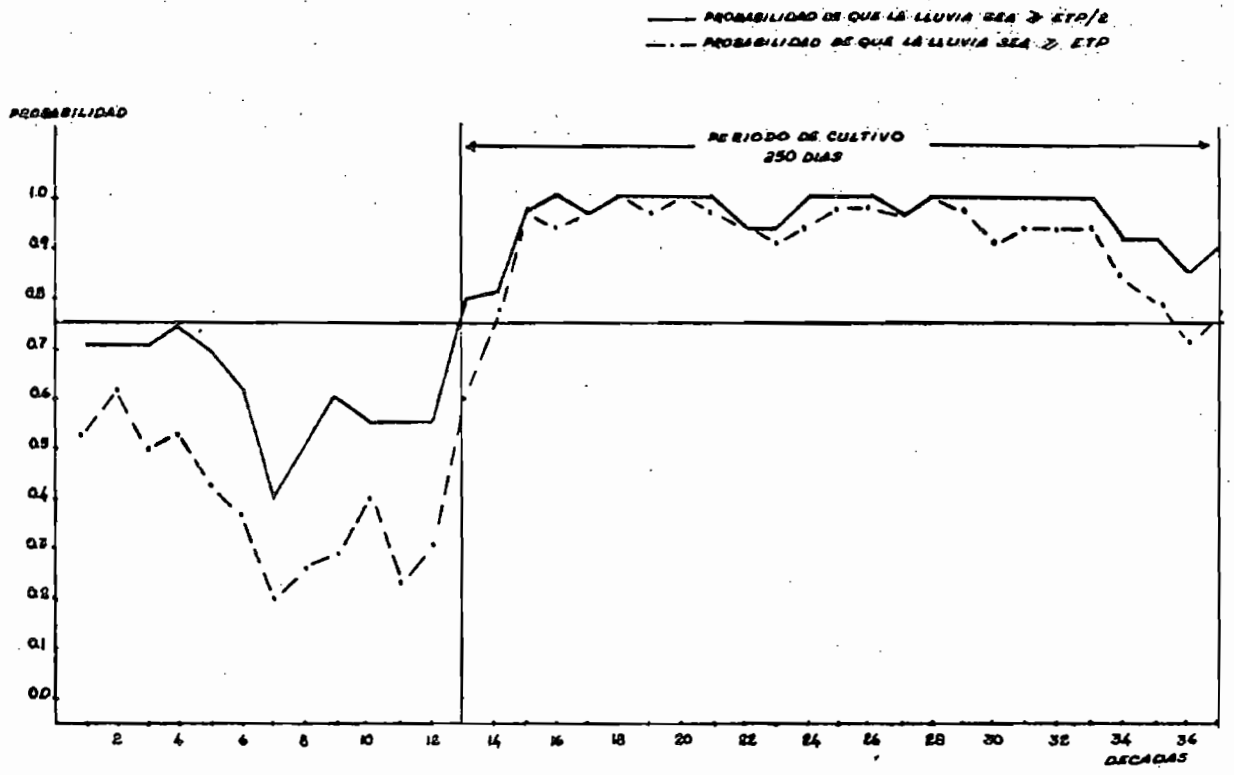


Figura 19. ANALISIS FRECUENCIAL DE LLUVIAS PARA LA ESTACION LA MARINA

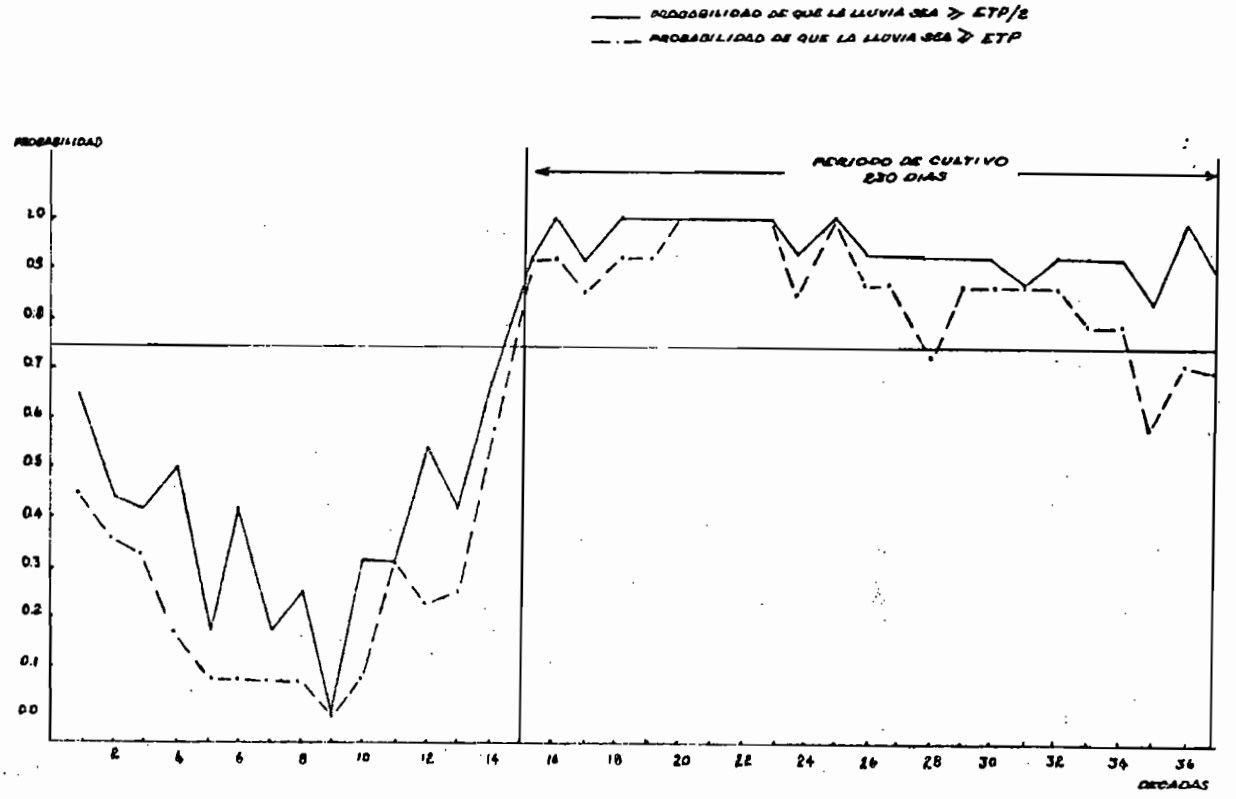


Figura 20. ANALISIS FRECUENCIAL DE LLUVIAS PARA LA ESTACION UPALA

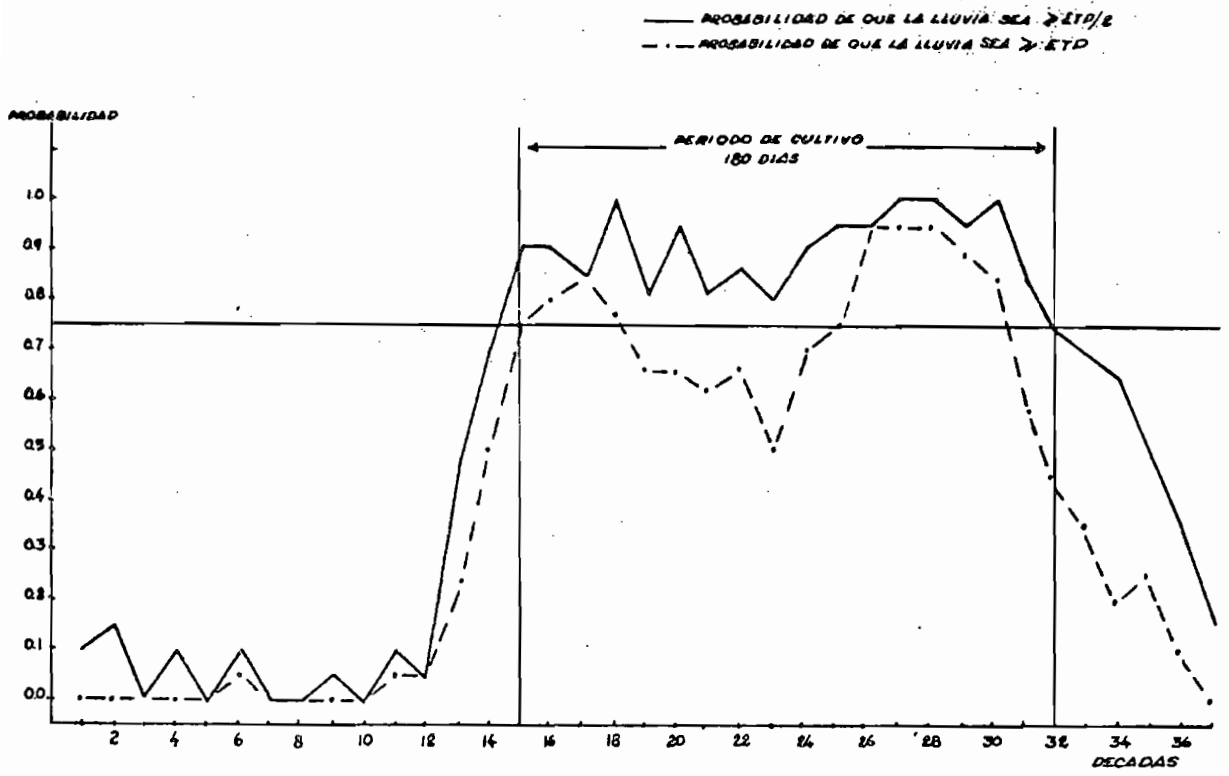


Figura 21. ANALISIS FRECUENCIAL DE LLUVIAS PARA LA ESTACION ZARCERO

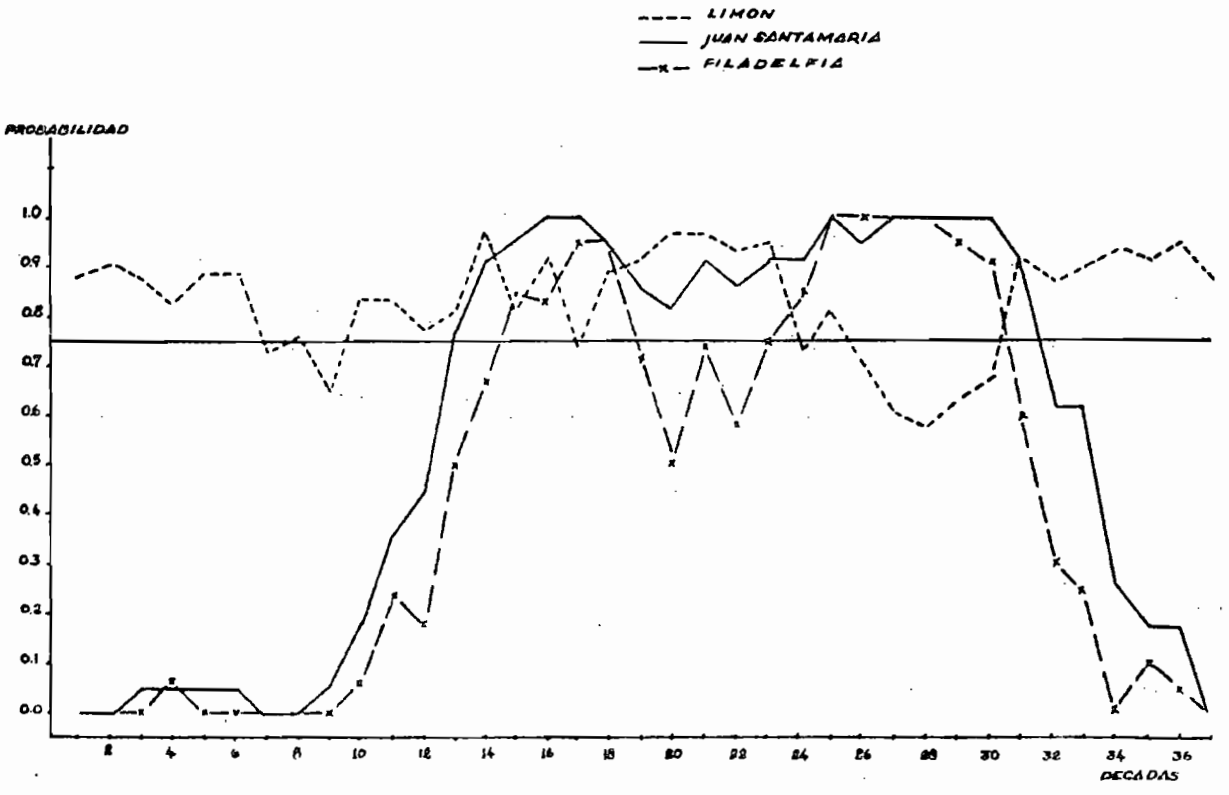


Figura 22. ANALISIS FRECUENCIAL DE LLUVIAS PARA LAS ESTACIONES LIMON, JUAN SANTAMARIA Y FILADELFIA

4. Utilización del Indice de Producción Potencial y del Indice Climático de Madurez para la definición de potencialidades agroclimáticas de producción. Cuarta Etapa

Aunque el índice de producción potencial IPP es expresado en kilogramos de materia seca total por hectárea por período de cultivo y representa aproximadamente la producción anual que podría lograrse si se cumplen sus supuestos, (ver anexo B), es preciso recordar que tanto este índice como el índice climático de madurez, ICM, tienen sobre todo un valor relativo y su propósito principal es permitir la definición y comparación de zonas geográficas diferentes desde el punto de vista de las potencialidades climáticas de producción agrícola.

4.1 Región 1 - Valle Central

En el cuadro 10, aparecen los resultados para el Indice de Producción Potencial (IPP) y del Indice Climático de Madurez (ICM) para las estaciones analizadas en la Región 1. Se aprecia en él que los dos índices toman valores bastante buenos, calificando en términos generales al Valle Central como una zona con buen potencial climático para la producción de la caña de azúcar.

4.2 Región 2 - Pacífico Norte

La región del Pacífico Norte también presenta buenos valores para los índices analizados (ver cuadro 11). Sin embargo, es importante hacer notar varios aspectos: la zona de Puntarenas presenta un IPP bajo -si lo comparamos con las estaciones de período de cultivo completo o sin dividir de la región- debido a que su período de cultivo es corto, 170 días por ser una de las zonas secas de esta región.

CUADRO 10

INDICE DE PRODUCCION POTENCIAL E INDICE CLIMATICO DE MADUREZ

PARA LA REGION 1 - VALLE CENTRAL

ESTACION	PERIODO DE CULTIVO	IPP KG MS Ha^{-1} N^{-1}	PRODUCCION MAT. SECA POR DIA 1/	ICM ZAFRA 6 MESES	ICM ZAFRA 5 MESES	ICM ZAFRA 4 MESES	ICM ZAFRA 3 MESES	ICM ZAFRA 2 MESES
San José	200	26 728.71	133.64	6.28	9.05	14.36	23.14	37.99
La Argentina	200	28 960.98	144.80	9.63	15.56	25.96	39.83	54.58
Atenas	190	28 195.38	148.40	9.75	14.84	22.89	31.46	38.65
Avance, Tres Ríos	210	23 017.30	109.61	2.79	3.60	5.04	7.14	8.61
Hacienda Concepción	210	28 158.48	134.09	5.07	6.91	10.16	13.61	17.00
Coronado	210	27 157.97	129.32	3.80	4.72	5.97	7.68	9.33
Lornessa	180	29 799.64	165.55	9.87	16.01	26.40	39.52	52.74
Turrucares	200	29 061.77	145.31	8.46	12.12	17.99	24.52	30.02
Palmares	190	27 163.93	142.97	10.05	17.54	34.75	69.73	170.06
San Joaquín Flores	190	27 245.54	143.40	6.50	9.26	13.38	19.19	26.05
B. Pilas Naranjo	200	28 505.57	142.53	7.37	11.26	20.07	35.16	57.50
Orotina	200	28 045.30	140.23	11.11	17.64	30.44	51.21	68.84
Rancho Redondo	210	26 698.70	127.14	3.84	4.94	6.62	9.30	12.13
Juan Santamaría	200	29 401.15	147.01	8.23	12.82	20.98	32.85	46.63
Fabio Baudrit	210	30 329.85	144.43	8.58	13.54	22.86	37.02	57.92
San Rafael Ojo Agua	200	29 007.08	145.04	8.41	13.01	21.18	32.32	41.10
Alto Ochomogo*	160	22 745.19	142.16	5.60	8.15	13.26	22.11	35.02
Sanatorio Durán	200	9 316.20	46.58	5.80	8.12	11.88	17.99	24.95
La Maruja	210	28 216.30	134.36	4.12	4.92	5.85	6.98	8.36
El Guarco*	150	23 273.07	155.15	7.27	9.13	11.56	15.00	19.10
Paraíso	210	28 638.04	136.37	3.31	3.78	4.47	5.37	6.66

* Estaciones con dos períodos de cultivo. Lo que aparece en el cuadro es la suma de ellos.

1/ Se obtiene dividiendo el valor del IPP por la duración del período de cultivo.

CUADRO 11

INDICE DE PRODUCCION POTENCIAL E INDICE CLIMATICO DE MADUREZ

PARA LA REGION 2 - PACIFICO NORTE

ESTACION	PERIODO DE CULTIVO	IPP KG MS Ha^{-1} N^{-1}	PRODUCCION MAT. SECA POR DIA[1]	ICM ZAFRA 6 MESES	ICM ZAFRA 5 MESES	ICM ZAFRA 4 MESES	ICM ZAFRA 3 MESES	ICM ZAFRA 2 MESES
Hacienda Orosí	110	17 803.05	161.85	12.89	18.63	26.53	46.07	82.03
Nicoya	200	27 989.82	139.95	10.16	15.89	25.26	36.31	49.00
Colonia Carmona	190	27 003.89	142.13	11.24	19.86	46.48	111.98	184.17
Lepanto, Naranjo*	140	24 006.56	171.48	13.25	23.73	55.39	179.12	617.49
Filadelfia*	140	23 913.67	170.81	17.51	33.16	64.92	104.82	119.50
Santa Cruz*	160	26 947.11	168.42	14.82	24.71	40.02	55.45	70.29
Quebrada Grande	170	25 664.54	150.97	8.15	11.06	16.08	24.60	41.13
Liberia*	70	12 056.11	172.23	18.64	41.33	106.17	341.48	600.42
Tilarán	210	30 301.36	144.29	3.73	4.88	6.70	9.72	13.34
Cañas	130	21 771.64	167.47	12.22	18.33	24.04	27.96	29.58
Taboga	190	27 121.20	142.74	11.18	18.59	31.15	44.25	58.07
Monte Verde	220	27 305.66	124.12	3.59	4.38	5.52	7.07	9.84
Puntarenas	170	24 851.38	146.18	13.75	25.18	48.04	81.20	137.74
Barranca	190	26 979.48	142.00	9.19	15.89	29.93	57.60	99.00
Herradura	210	27 517.43	131.03	6.95	9.26	12.14	15.12	17.65
Peñas Blancas	170	24 650.37	145.00	6.08	7.84	10.95	16.71	25.67

[1] Se obtiene dividiendo el valor del IPP por la duración del período de cultivo.

* Estaciones con dos períodos de cultivo. Lo que aparece en el cuadro es la suma de ellos.

Por otro lado, para las estaciones de Filadelfia y Liberia el IPP también toma valores bajos -de 23 913.67 y 12 056.11 respectivamente pero la razón principal de este valor se debe al citado fenómeno climático: "La canícula"; por lo que nuevamente se ve la necesidad de disponer de riego suplementario para así poder mejorar la producción de materia seca.

Es interesante ver los posibles valores que tomaría el IPP si se completara el período de cultivo por medio de riego; o sea eliminando la reducción del mismo, por el efecto solamente de la canícula. Si hacemos los cálculos suponiendo que no existe este fenómeno, los períodos de cultivo para las estaciones de Filadelfia y Liberia, se aumentarían a 170 días, los índices de producción potencial para estas estaciones y para estos períodos de cultivo tomarían los nuevos valores de 24 866.1 para Filadelfia y de 25 113.18 kg de M.S./Ha/N para Liberia, significando esto un mejoramiento en el valor del índice de un 4 por ciento y un 51 por ciento para las estaciones respectivas.

El último aspecto de señalar es que esta región presenta los mejores valores para el ICM de todas las estaciones analizadas para el país (ver cuadro 11).

4.3 Región 3 - Pacífico Sur

El valor del IPP es mayor para las estaciones del Pacífico Sur que para las del Pacífico Norte (ver cuadro 11 y 12), debido a que los períodos de cultivo son más largos en la región 3; sin

CUADRO 12

INDICE DE PRODUCCION POTENCIAL E INDICE CLIMATICO DE MADUREZ

PARA LA REGION 3 - PACIFICO SUR

ESTACION	PERIODO DE CULTIVO	IPP KG MS Ha^{-1} N^{-1}	PRODUCCION MAT. SECA POR DIA 1/	ICM ZAFRA 6 MESES	ICM ZAFRA 5 MESES	ICM ZAFRA 4 MESES	ICM ZAFRA 3 MESES	ICM ZAFRA 2 MESES
Puriscal	230	31 327.51	136.21	4.42	5.51	8.27	11.35	15.38
Finca Palo Seco	220	28 424.07	129.20	5.35	6.89	9.36	12.82	17.31
San Ignacio Acosta	190	26 842.66	141.28	5.51	7.15	9.02	11.07	13.51
Pocares	230	29 293.53	127.36	5.41	7.07	9.80	14.26	20.12
Quepos	240	29 698.75	123.74	4.10	4.90	6.05	7.56	9.44
Cerros F.	240	29 804.35	124.18	4.64	5.84	7.86	10.91	14.92
Bartolo	240	29 787.01	124.11	4.44	5.50	7.07	9.22	11.79
Llorona	240	29 729.34	123.87	4.27	5.14	6.36	7.70	9.14
Palmar Sur	230	30 346.14	131.94	3.77	4.54	5.62	6.99	8.56
S. Isidro General	230	31 976.82	139.03	4.87	6.50	9.13	13.09	18.10
San Vito Java	280	36 267.02	129.53	2.88	3.25	3.70	4.13	4.47
Cedral	300	32 655.20	108.85	1.90	2.07	2.25	2.46	2.71
Volcán Angel	250	32 533.00	130.13	4.25	5.15	6.39	7.97	9.63
Finca 8	230	30 273.93	131.63	3.96	4.60	5.33	6.15	6.70
Golfito	280	33 415.50	119.34	2.21	2.34	2.50	2.65	2.78
Coto 47	250	30 455.75	121.82	3.42	3.91	4.50	5.18	5.70
Caucho	250	31 498.52	125.99	3.91	4.59	5.40	6.28	6.95

1/ Se obtiene dividiendo el valor del IPP por la duración del período de cultivo.

embargo si comparamos la producción diaria, notaremos que el Pacífico Norte es más eficiente en este sentido que el Pacífico Sur, ya que produce más kilogramos de materia seca por día.

El valor del IPP se mejora cuando nos trasladamos del norte al sur de la región, a la vez que el valor de ICM se reduce; y ya para el estación de Golfito este último índice es bastante bajo, indicando que no existen condiciones adecuadas para una buena acumulación de sacarosa.

4.4 Región 4 - Atlántico

La región se caracteriza por presentar los valores más altos para el IPP del país, llegando a alcanzar el valor máximo de 44 093.00 Kg MS. Ha^{-1} N^{-1} para la estación La Lola. Hecho que demuestra el potencial agroclimático de la región en cuanto a la producción de materia seca o vegetal se refiere, de ahí que el Atlántico presente una vegetación exhuberante muy característica. Pero también se debe notar que presenta los valores más bajos para el ICM. Esto nos indica que los factores climáticos no permiten la acumulación de sacarosa en la planta que al final de cuentas es lo que nos interesa. Por esta razón es que se debe considerar a la región costera atlántica como no apropiada para el cultivo de caña de azúcar. Sin embargo, la alternativa de caña para la producción de alcohol se reviste de importancia para la región, porque en la producción de alcohol no interesa el contenido de sacarosa en la planta; pero consideramos que esta aseveración debe ser estudiada con más cuidado y detenimiento.

Por otro lado, los índices aquieren valores diferentes para la región montañosa atlántica, el IPP disminuye hasta alcanzar el valor mínimo de cero, en las estaciones Irazú y Villa Mills. Esto es debido a que la temperatura diurna en estos lugares es menor de 14°C. Temperatura a la que no es posible el desarrollo de la caña de azúcar. (Ver cuadro 13).

4.5 Región 5 -Subvertiente Norte- En el cuadro 14 se puede observar que la región presenta valores altos para el IPP, pero a igual que la zona atlántica presenta valores bastantes bajos para el ICM.

Sin embargo estos mejoran conforme se localiza la estación a noroeste de la subvertiente, encontrándose condiciones climáticas mejores para el cultivo de la caña.

4.6 Estudio de la zafra: duración y fecha, óptimas

En los cuadros del 10 al 14 se puede apreciar que para todas las estaciones el ICM toma valores menores conforme se aumenta el tiempo de zafra, debido a que las condiciones del clima son menos favorables para la acumulación de sacaroza, ya que existe una mayor probabilidad de que llueva, y que la amplitud de temperatura disminuya; esto es: se alejan las condiciones de sequía relativa indispensables para obtener un buen rendimiento en azúcar.

El criterio para determinar la duración óptima para la zafra, fue evaluando el incremento porcentual del ICM a partir de donde éste toma valores altos.

En forma general la duración óptima de la zafra para el Valle Central es de 4 meses, para el Pacífico Norte se ubica entre 3 y 4

CUADRO 13

INDICE DE PRODUCCION POTENCIAL E INDICE CLIMATICO DE MADUREZ

PARA LA REGION 4 - ATLANTICO

ESTACION	PERIODO DE CULTIVO	IPP KG MS Ha^{-1} N^{-1}	PRODUCCION MAT. SECA POR DIA[1]	ICM ZAFRA 6 MESES	ICM ZAFRA 5 MESES	ICM ZAFRA 4 MESES	ICM ZAFRA 3 MESES	ICM ZAFRA 2 MESES
Barra Colorado	350	39 497.15	112.85	2.08	2.19	2.31	2.45	2.61
El Cairo	350	39 182.83	111.95	2.03	2.08	2.14	2.21	2.29
Turrialba	240	31 425.25	130.94	2.31	2.48	2.72	3.00	3.32
Los Diamantes	370	41 439.38	112.00	1.80	1.83	1.87	1.93	2.00
Pacayas	280	28 213.26	100.76	2.79	3.06	3.45	3.96	4.63
Villa Mills	220	0.00	0.00	5.62	7.22	9.57	12.60	15.74
Irazú	240	0.00	0.00	2.49	2.97	3.53	4.14	4.76
La Lola	370	44 093.00	119.17	2.15	2.22	2.27	2.34	2.40
Moravia	220	27 805.17	126.39	2.99	3.34	3.80	4.49	5.42
Limón	340	38 645.20	113.66	1.79	1.82	1.85	1.96	2.10
Finca 16	290	42 655.79	147.09	2.89	3.00	3.12	3.28	3.43

[1] Se obtiene dividiendo el valor del IPP por la duración del período de cultivo.

CUADRO 14

INDICE DE PRODUCCION POTENCIAL E INDICE CLIMATICO DE MADUREZ

PARA LA REGION 5 - SUBVERTIENTE NORTE

ESTACION	PERIODO DE CULTIVO	IPP KG MS Ha^{-1} N^{-1}	PRODUCCION MAT. SECA POR DIA[1]	ICM ZAFRA 6 MESES	ICM ZAFRA 5 MESES	ICM ZAFRA 4 MESES	ICM ZAFRA 3 MESES	ICM ZAFRA 2 MESES
Puerto Viejo	330	36 797.21	111.51	2.67	2.83	3.03	3.32	3.60
San Miguel	300	37 149.13	123.83	2.23	2.38	2.54	2.71	2.92
Ciudad Quesada	280	34 630.88	123.68	2.36	2.59	2.92	3.39	3.97
Los Ensayos	220	28 884.31	131.29	3.10	3.74	4.61	5.80	7.50
Zarcero	200	21 144.21	105.72	5.01	7.36	12.51	22.77	36.11
Los Llanos	220	30 204.32	137.29	3.59	4.08	4.73	5.44	6.51
La Marina	310	37 215.97	120.05	2.22	2.35	2.50	2.69	2.88
Upala	240	30 741.50	128.09	3.44	4.00	4.81	5.79	6.83

[1] Se obtiene dividiendo el valor del IPP por la duración del período de cultivo.

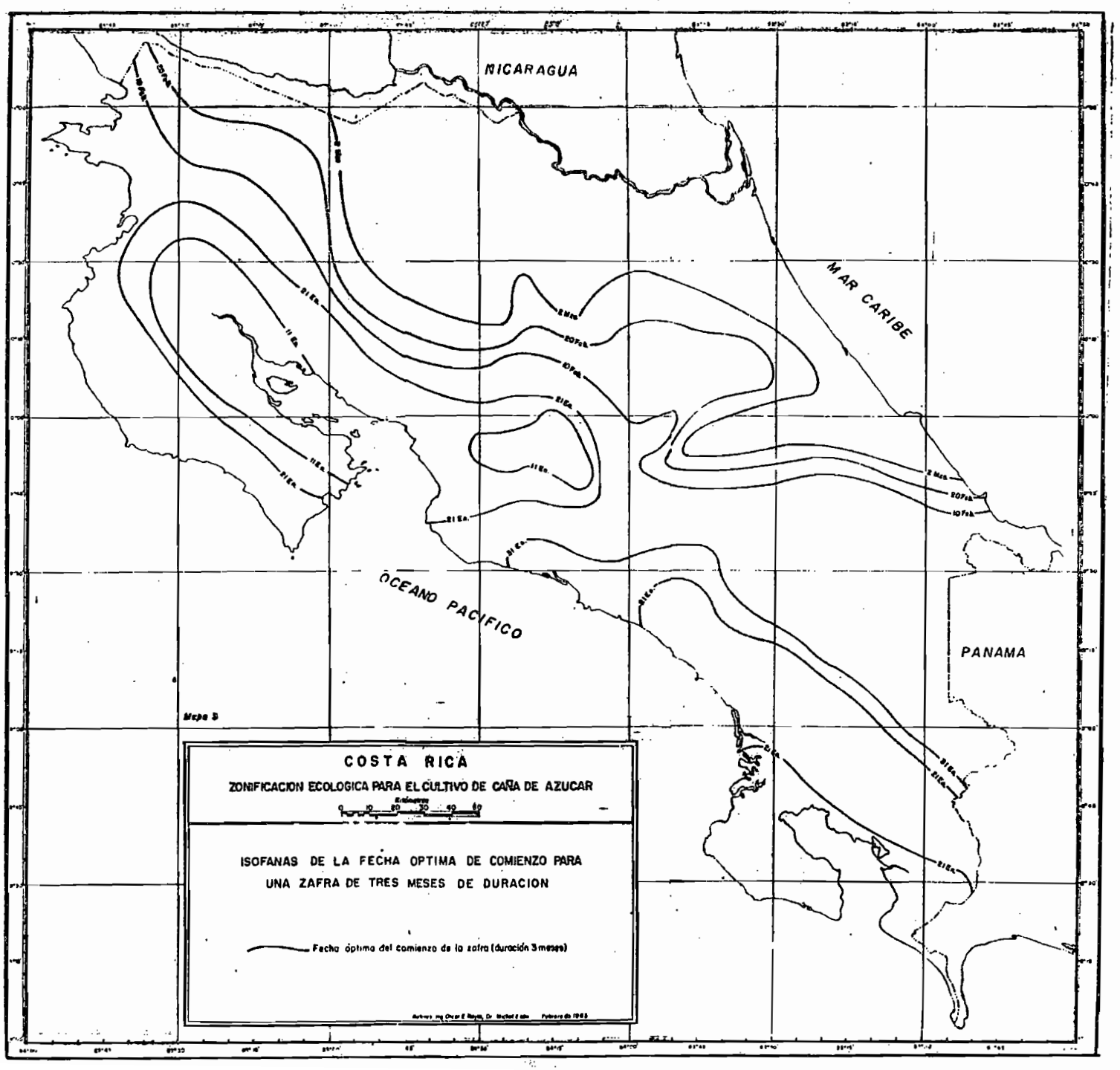
meses (no obstante, esta duración puede extenderse inclusive a 6 meses, ya que el valor del índice no decrece bruscamente. Siendo esto una gran ventaja que presenta esta región con respecto a la demás). Para el Pacífico Sur se determinó una duración óptima para la zafra de 3 meses, para la Subvertiente Norte y el Atlántico una duración entre 2 y 3 meses. Es importante señalar que un alargamiento en la duración de la zafra implicará un reducción considerable de los rendimientos esperados en azúcar, sobre todo en estas dos últimas regiones.

Otro interés que presenta el ICM, es que por medio de él es posible definir, para una determinada duración de cosecha o zafra, la fecha óptima de inicio y finalización de la misma. Estas fechas se definen como óptimas, ya que el índice garantiza que hayan existido y existan las condiciones climáticas más apropiadas para la acumulación de sacarosa en la planta de caña.

De los cuadros del 15 al 19, se presenta para cada estación meteorológica las fechas óptimas según duración del periodo de zafra. Además en el mapa 3 aparecen las isofanas de la fecha óptima de comienzo para una zafra de 3 meses de duración.

5. Análisis de las variables fisioedáficas. Quinta Etapa.

Para la ejecución de esta etapa se recurrió al mapa de asociaciones de Sub-Grupos de Suelos de Costa Rica, elaborado por la Oficina de Planificación Sectorial Agropecuaria. Este incluye la mejor información encontrada sobre el tema y la experiencia de campo del biólogo Samuel Pérez y el Ing. Agr. Alfredo Alvarado. (25)


NICARAGUA
MAR CARIBE
OCEANO PACIFICO
PANAMA
Mapa 5
COSTA RICA
ZONIFICACION ECOLOGICA PARA EL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR
ISOFANAS DE LA FECHA OPTIMA DE COMIENZO PARA
UNA ZAFRA DE TRES MESES DE DURACION
Fecha óptima del comienzo de la zafra (duración 3 meses)

CUADRO N°15 FECHA OPTIMA PARA LA ZAFRA SEGUN DURACION DE LA MISMA, PARA LA REGION 1 - VALLE CENTRAL

ESTACION	ZAFRA DE 6 MESES	ZAFRA DE 5 MESES	ZAFRA DE 4 MESES *	ZAFRA DE 3 MESES	ZAFRA DE 2 MESES
San José	17 Dic-9 Jun 36-16	1 Ene-30 May 1-15	11 Ene-10 May 2-13	31 Ene-30Abr 4-12	10 Feb-10 Abr 5-10
La Argentina	17 Dic- 9 Jun 36-16	27 Dic-20 May 37-14	11 Ene-10 May 2-13	21 Ene-20 Abr 3-11	10 Feb-10 Abr 5-10
Atenas	7 Dic-30 May 35-15	27 Dic-20 May 37-14	1 Ene-30 Abr 1-12	21 Ene-20 Abr 3-11	31 Ene-31 Mar 4-9
Avance Tres Ríos	27 Dic-19 Jun 37-17	11 Ene- 9 Jun 2-16	21 Ene-20 Mar 3-14	31 Ene-30 Abr 4-12	10 Feb-10 Abr 5-10
Tres Ríos	17 Dic- 9 Jun 36-16	27 Dic-20 May 37-14	11 Ene-10 May 2-13	31 Ene-30 Abr 4-12	10 Feb-10 Abr 5-10
Coronado	17 Dic- 9 Jun 36-16	1 Ene-30 May 1-15	21 Ene-20 Mar 3-14	10 Feb-10 May 5-13	2 May-30 Abr 7-12
Santa Ana	7 Dic-30 May 35-15	27 Dic-20 May 37-14	1 Ene-30 Abr 1-12	11 Ene-10 Abr 2-10	31 Ene-31 Mar 4-9
Turrúcares	7 Dic-30 May 35-15	17 Dic-10 May 36-13	1 Ene-30 Abr 1-12	11 Ene-10 Abr 2-10	31 Ene-31 Mar 4-9
Palmares	17 Dic- 9 Jun 36-16	27 Dic-20 May 37-14	11 Ene-10 May 2-13	21 Ene-20 Abr 3-11	10 Feb-10 Abr 5-10
San Joaquín	17 Dic- 9 Jun 36-16	27 Dic- 20 May 37-14	11 Ene-10 May 2-13	21 Ene-20 Abr 3-11	21 Ene-31 Mar 4-9
B. Pilas	17 Dic- 9 Jun 36-16	27 Dic-20 May 37-14	11 Ene-10 May 2-13	31 Ene-30 Abr 4-12	10 Feb-10 Abr 5-10
Los Andes	7 Dic-30 May 35-15	27 Dic-20 May 37-14	1 Ene-30 Abr 1-12	11 Ene-10 Abr 2-10	21 Ene-21 Mar 3-8
Rancho Redondo	17 Dic- 9 Jun 36-16	1 Ene-30 May 1-15	21 Ene-20 Mar 3-14	31 Ene-30 Abr 4-12	20 Feb-20 Abr 6-11
Juan Santamaría	7 Dic- 30 May 35-15	27 Dic-20 May 37-14	1 Ene-30Abr 1-12	21 Ene-20 Abr 3-11	10 Feb-10 Abr 5-10
Fabio Baudrit	7 Dic-30 May 35-15	27 Dic-20 May 37-14	1 Ene-30 Abr 1-12	11 Ene-10 Abr 2-10	31 Ene-31 Mar 4-9

/...

CUADRO N°15 Continuación

ESTACION	ZAFRA DE 6 MESES	ZAFRA DE 5 MESES	ZAFRA DE 4 MESES*	ZAFRA DE 3 MESES	ZAFRA DE 2 MESES
S. Rafael Ojo de Agua	7 Dic-30 May 35-15	27 Dic-20 May 37-14	1 Ene-30 Abr 1-12	11 Ene-10 Abr 2-10	31 Ene-31 Mar 4-9
Alto Ochomogo	17 Dic- 9 Jun 36-16	9 Ene-30 May 1-15	11 Ene-10 May 2-13	31 Ene-30 Abr 4-12	10 Feb-10 Abr 5-10
Sanatorio Durán	27 Dic-19 Jun 37-17	1 Ene-30 May 1-15	21 Ene-20 Mar 3-14	10 Feb-10 May 5-13	2 Mar-30 Abr 7-12
La Maruja	17 Dic- 9 Jun 36-16	1 Ene-30 May 1-15	21 Ene-20 Mar 3-14	10 Feb-10 May 5-13	2 May-30 Abr 7-12
El Guarco	17 Dic- 9 Jun 36-16	1 Ene-30 May 1-15	21 Ene-20 Mar 3-14	10 Feb-10 May 5-13	2 Mar-30 Abr 7-12
Paraíso	27 Dic- 19 Jun 37-17	11 Ene- 9 Jun 2-16	31 Ene-30 May 4-16	20 Feb-20 May 6-14	12 Mar-10 May 8-13

* Duración óptima según los resultados anteriores.

CUADRO N°16 FECHA OPTIMA PARA LA ZAFRA SEGUN DURACION DE LA MISMA, PARA LA REGION 2 - PACIFICO NORTE

ESTACION		ZAFRA DE 6 MESES	ZAFRA DE 5 MESES	ZAFRA DE 4 MESES*	ZAFRA DE 3 MESES*	ZAFRA DE 2 MESES
Hacienda Orosí	F D	27 Dic-19 Jun 37-17	1 Ene-30 May 1-15	21 Ene-20 May 3-14	10 Feb-10 May 5-13	12 Mar-10 May 8-13
Nicoya	F D	7 Dic-30 May 35-15	27 Dic-20 May 37-14	11 Ene-30 Abr 1-12	11 Ene-10 Abr 2-10	31 Ene-31 Mar 4-9
Colonia Carmona	F D	7 Dic-30 May 35-15	17 Dic-10 May 36-13	11 Ene-30 Abr 1-12	11 Ene-10 Abr 2-10	21 Ene-21 Mar 3-8
Lepanto Naranjo	F D	7 Dic-30 May 35-15	27 Dic-20 May 37-14	11 Ene-30 Abr 1-12	11 Ene-10 Abr 2-10	31 Ene-31 Mar 4-9
Filadelfia	F D	7 Dic- 30 May 35-15	17 Dic-10 May 36-13	11 Ene-30 Abr 1-12	11 Ene-10 Abr 2-10	31 Ene-31 Mar 4-9
Santa Cruz	F D	7 Dic-30 May 35-15	27 Dic-20 May 37-14	11 Ene-30 Abr 1-12	21 Ene-20 Abr 3-11	10 Feb-10 Abr 5-10
Quebrada Grande	F D	17 Dic- 9 Jun 36-16	1 Ene-30 May 1-15	21 Ene-20 May 3-14	10 Feb-10 May 5-13	2 Mar-30 Abr 7-12
Liberia	F D	17 Dic- 9 Jun 36-16	27 Dic-20 May 37-14	11 Ene-30 Abr 1-12	21 Ene-20 Abr 3-11	10 Feb-10 Abr 5-10
Tilarán	F D	1 Ene-29 Jun 1-18	21 Ene-19 Jun 3-17	31 Ene-30 May 4-15	20 Feb-20 May 6-14	2 Mar-30 Abr 7-12
Cañas San Luis	F D	7 Dic-30 May 35-15	27 Dic-20 May 37-14	11 Ene-10 May 2-13	21 Ene-20 Abr 3-11	20 Feb-20 Abr 6-11
Taboga	F D	17 Dic- 9 Jun 36-16	27 Dic-20 May 37-14	11 Ene-30 Abr 1-12	21 Ene-20 Abr 3-11	21 Ene-21 Mar 3-8
Monte Verde	F D	27 Dic-19 Jun 37-17	11 Ene- 9 Jun 2-16	31 Ene-30 May 4-15	20 Feb-20 May 6-14	12 Mar-10 May 8-13
Puntarenas	F D	17 Dic- 9 Jun 36-16	27 Dic-20 May 37-14	11 Ene-10 May 2-13	21 Ene-20 Abr 3-11	10 Feb-10 Abr 5-10
San Miguel	F D	17 Dic- 9 Jun 36-16	27 Dic-20 May 37-14	11 Ene-10 May 2-13	21 Ene-10 May 3-11	10 Feb-10 Abr 5-10
Herradura	F D	17 Dic- 9 Jun 36-16	27 Dic-20 May 37-14	11 Ene-10 May 2-13	21 Ene-20 Abr 3-11	10 Feb-10 Abr 5-10

* Duración óptima según resultados anteriores.

CUADRO N°17 FECHA OPTIMA PARA LA ZAFRA SEGUN DURACION DE LA MISMA, PARA LA REGION 3 - PACIFICO SUR

ESTACION	ZAFRA DE 6 MESES	ZAFRA DE 5 MESES	ZAFRA DE 4 MESES	ZAFRA DE 3 MESES*	ZAFRA DE 2 MESES
Puriscal	17 Dic- 9 Jun 36-16	27 Dic-20 May 37-14	1 Ene-30 Abr 1-12	11 Ene-10 Abr 2-10	31 Ene-31 Mar 4-9
Finca Palo Seco	17 Dic- 9 Jun 36-16	1 Ene-30 May 1-15	11 Ene-10 May 2-13	31 Ene-30 Abr 4-12	10 Feb-10 Abr 5-10
San Ignacio Acosta	7 Dic-30 May 35-15	27 Dic-20 May 37-14	1 Ene-30 Abr 1-12	1 Ene-31 Mar 1-9	20 Ene-11 Mar 2-7
Pocares	17 Dic- 9 Jun 36-16	1 Ene-30 Mar 1-15	11 Ene-10 May 2-13	31 Ene-30 Mar 4-12	10 Feb-10 Abr 5-10
Quepos	17 Dic- 9 Jun 36-16	1 Ene-30 May 1-15	11 Ene-10 May 2-13	31 Ene-30 Abr 4-12	10 Feb-10 Abr 5-10
Cerros	17 Dic- 9 Jun 36-16	1 Ene-30 May 1-15	11 Ene-10 May 2-13	31 Ene-30 Abr 4-12	10 Feb-10 Abr 5-10
Bartolo	17 Dic- 9 Jun 36-16	1 Ene-30 May 1-15	11 Ene-10 May 2-13	31 Ene-30 Abr 4-12	20 Feb-20 Abr 6-11
Llorona	17 Dic- 9 Jun 36-16	1 Ene-30 May 1-15	11 Ene-10 May 2-13	31 Ene-30 Abr 4-12	10 Feb-10 Abr 5-10
Palmar Sur	7 Dic-30 May 35-15	27 Dic-20 May 37-14	1 Ene-30 Abr 1-12	11 Ene-10 Abr 2-10	21 Ene-21 Mar 3-8
San Isidro General	17 Dic- 9 Jun 36-16	27 Dic-20 May 37-14	11 Ene-10 May 2-13	21 Ene-20 Abr 3-11	10 Feb-10 Abr 5-10
San Vito de Java	17 Dic- 9 Jun 36-16	27 Dic-20 May 37-14	11 Ene-10 May 2-13	21 Ene-20 Abr 3-11	10 Feb-10 Abr 5-10
Cedral	27 Dic-19 Jun 37-17	1 Ene-30 May 1-15	11 Ene-10 May 2-13	31 Ene-30 Abr 4-12	10 Feb-10 Abr 5-10
Volcán Angel	17 Dic- 9 Jun 36-16	27 Dic-20 May 37-14	1 Ene-30 Abr 1-12	21 Ene-20 Abr 3-11	10 Feb-10 Abr 5-10
Finca 8	7 Dic- 30 May 35-15	27 Dic-20 May 37-14	1 Ene-30 Abr 1-12	21 Ene-20 Abr 3-11	10 Feb-10 Abr 5-10
Golfito	7 Dic-30 May 35-15	27 Dic-20 May 37-14	1 Ene-30 Abr 1-12	21 Ene-20 Abr 3-11	31 Ene-31 Mar 4-9
Coto 47	17 Dic- 9 Jun 36-16	27 Dic-20 May 37-14	11 Ene-10 May 2-13	21 Ene-20 Abr 3-11	31 Ene-31 Mar 4-9
Caucho	27 Dic-19 Jun 37-17	1 Ene-30 May 1-15	11 Ene-10 May 2-13	31 Ene-30 Abr 4-12	10 Feb-10 Abr 5-10

*Duración óptima según resultados anteriores.

CUADRO N°18 FECHA OPTIMA PARA LA ZAFRA SEGUN DURACION DE LA MISMA, PARA LA REGION 4 - ATLANTICO

ESTACION	ZAFRA DE 6 MESES	ZAFRA DE 5 MESES	ZAFRA DE 4 MESES	ZAFRA DE 3 MESES	ZAFRA DE 2 MESES*
El Cairo	1 Ene-29 Jun 1-18	21 Ene-19 Jun 3-17	10 Feb- 9 Jun 5-16	20 Feb-20 May 6-14	12 Mar-10 May 8-13
Turrialba	1 Ene-29 Jun 1-18	21 Ene-19 Jun 3-17	10 Feb- 9 Jun 5-16	2 Mar-30 May 7-15	22 Mar-20 May 9-14
Los Diamantes	27 Dic-19 Jun 37-17	11 Ene- 9 Jun 2-16	10 Feb- 9 Jun 5-16	20 Feb-20 May 6-14	2 Mar-30 Abr 7-12
Pacayas	1 Ene- 29 Jun 1-18	21 Ene -19 Jun 3-17	10 Feb- 9 Jun 5-16	2 Mar-30 May 7-15	22 Mar-20 May 9-14
Villa Mills	17 Dic- 9 Jun 36-16	27 Dic-20 May 37-14	11 Ene-10 May 2-13	31 Ene-30 Abr 4-12	10 Feb-10 Abr 5-10
Irazú	27 Dic-19 Jun 37-17	1 Ene-30 May 1-15	21 Ene-20 May 3-14	10 Feb-10 May 5-13	2 Mar-30 Abr 7-12
La Lola	1 Ene-29 Jun 1-18	21 Ene-19 Jun 3-17	20 Feb-19 Jun 6-17	2 Mar-30 May 7-15	12 Mar-10 May 8-13
Moravia Chirripó	27 Dic-19 Jun 37-17	11 Ene-9 Jun 2-16	31 Ene-30 May 4-15	20 Feb-20 May 6-14	12 Mar-10 May 8-13
Limón	11 Ene- 9 Jul 2-19	21 Ene-19 Jun 3-17	31 Ene-30 May 4-15	8 Set- 6 Dic 26-34	28 Set-26 Nov 28-33
Finca 16	11 Ene- 9 Jul 2-19	21 Ene-19 Jun 3-17	31 Ene-30 May 4-15	10 Feb-10 May 5-13	2 May-30 Abr 7-12
Barra Colorado	31 Ene-29 Jul 4-21	20 Feb-19 Jul 6-20	12 Mar- 9 Jul 8-18	22 Mar-19 Jun 9-17	1 Abr-30 May 10-15

* Duración óptima según resultados anteriores.

CUADRO N°19 FECHA OPTIMA PARA LA ZAFRA SEGUN DURACION DE LA MISMA, PARA LA REGION 5 - SUBVERTIENTE NORTE

ESTACION	ZAFRA DE 6 MESES	ZAFRA DE 5 MESES	ZAFRA DE 4 MESES	ZAFRA DE 3 MESES*	ZAFRA DE 2 MESES*
Puerto Viejo	21 Ene-19 Jul 3-20	31 Ene-29 Jun 4-18	20 Feb-19 Jun 6-17	2 Mar-30 May 7-15	22 May-20 May 9-14
San Miguel	11 Ene- 9 Jul 2-19	31 Ene-29 Jun 4-18	10 Feb- 9 Jun 5-16	2 Mar-30 May 7-15	22 Mar-20 May 9-14
Ciudad Quesada	11 Ene- 9 Jul 2-19	31 Ene-29 Jun 4-18	20 Feb-19 Jun 6-17	12 May- 9 Jun 8-16	22 Mar-20 May 9-14
Los Ensayos	1 Ene-29 Jun 1-18	21 Ene-19 Jun 3-17	31 Ene-30 May 4-15	2 Mar-30 May 7-15	12 Mar-10 May 8-13
Zarcero	27 Dic-19 Jun 37-17	1 Ene-30 May 1-15	21 Ene-20 May 3-14	10 Feb-10 May 5-13	2 Mar-30 Abr 7-12
Los Llanos	1 Ene-29 Jun 1-18	11 Ene- 9 Jun 2-16	31 Ene-30 May 4-15	2 Mar-30 May 7-15	12 Mar-10 May 8-13
La Marina	11 Ene- 9 Jul 2-19	21 Ene-19 Jun 3-17	20 Feb-19 Jun 6-17	2 Mar-30 May 7-15	22 Mar-20 May 9-14
Peñas Blancas	27 Dic-19 Jun 37-17	11 Ene- 9 Jun 2-16	31 Ene-30 May 4-15	20 Feb-20 May 6-14	12 Mar-10 May 8-13
Upala	11 Ene- 9 Jul 2-19	21 Ene-19 Jun 3-17	10 Feb- 9 Jun 5-16	20 Feb-20 May 6-14	12 Mar-10 May 8-13

*Duración óptima según resultados anteriores.

Hubo la necesidad de designar un valor a cada una de las unidades cartográficas de los mapas, en función de su aptitud para el cultivo de la caña de azúcar. Se logró designar con base en los índices predefinidos, tres categorías que son las siguientes: 1) Muy buena, 2) Buena, y 3) Regular. Además, como información adicional, se indicó 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, (r) fragmentos rocosos.

Dentro de la Categoría 1 (Muy Buena), se agruparon los suelos con las claves (ver Manual Descriptivo, (25))., A1, I9, I19, I22, I25 e I33, los cuales no presentaron restricción alguna.

Dentro de la Categoría 2 (Buena), se encuentran aquellos suelos que presentan restricciones moderadas para el cultivo de la caña. Las claves respectivas son: V2, U1, U2, U5, M3, I5, I9, I8, I10, I12, I13, I16, I17, I18, I20, I21, I24, I28, I29, I34, I35, I18. Y por último se clasificaron en la Categoría 3 (Regular), aquellos suelos con restricciones fuertes para el cultivo, cuyas claves son: V1, U3, U4, E4, I6, I7, I14, I23, I26, I27, I31 e I32. Además se eliminaron por sus condiciones extremas (pendiente excesiva (60-100%), suelos la mayor parte del tiempo inundados, etc) los suelos con las claves: H1, H2, H3, E1, E2, E3, E5, E6, I1, I2, I3, I4, I11, I15, I30, M1 y M2.

Sin embargo se debe recordar que la delimitación no es definitiva, y si se desea incentivar el cultivo de caña en alguna región, se recomienda hacer estudios edáficos más profundos.

Ver mapa de suelos según su aptitud para el cultivo de la caña de azúcar. (Mapa 4)

NICARAGUA
MAR CARIBE
PANAMA
OCEANO PACIFICO
ESTUDIO AGROCLIMATICO DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZUCAR
MAPA 4.
SUELOS DE COSTA RICA SEGUN APTITUD PARA EL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR
CLASE
1 MUY BUENA
2 BUENA
3 MARGINAL
LIMITANTES FISICOEDAFICAS
a. ACIDEZ
p. PENDIENTE
t. TEXTURA
d. DRENAJE
f FERTILIDAD
e PROFUNDIDAD
i INUNDACIONES
r AFLORAMIENTOS ROCOSOS
AUTOR: OSCAR MOJAS.
DIBUJO: ROSARIO MORANTES

6. Síntesis cartográfica. Sexta Etapa

Para la síntesis cartográfica se elaboraron tres mapas: el de Suelos según aptitud para el cultivo de la caña de azúcar, el del Indice de Producción Potencial y el del Indice Climático de Madurez. Para ayudar al trazado de las isolíneas de los dos últimos 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 aparecen en el cuadro 20.

Cuadro 20: Relación del IPP e ICM con la latitud, longitud y altitud por región climática.

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

IPP= Indice de Producción Potencial.

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

ALT= Altitud
LAT= Latitud
LOT= Longitud

Por medio de estas ecuaciones es posible tener, para casi todo punto del país conociendo la latitud, longitud y altitud, un buen estimado del valor de los índices.

Se clasificaron los índices en tres categorías: bueno, regular y malo, para facilitar su interpretación a los utilizadores de los mapas de zonificación.

Para el IPP la clasificación se hizo tomando en cuenta el promedio nacional de tonelaje de caña por hectárea (72 TM/Ha) y para el ICM se relacinó su valor con el rendimiento en azúcar por región. Como resultado de lo anterior se obtuvo la siguiente clasificación:

Cuadro: 21 Clasificación de los Indices de Potencialidades de Producción de Caña de Azúcar.

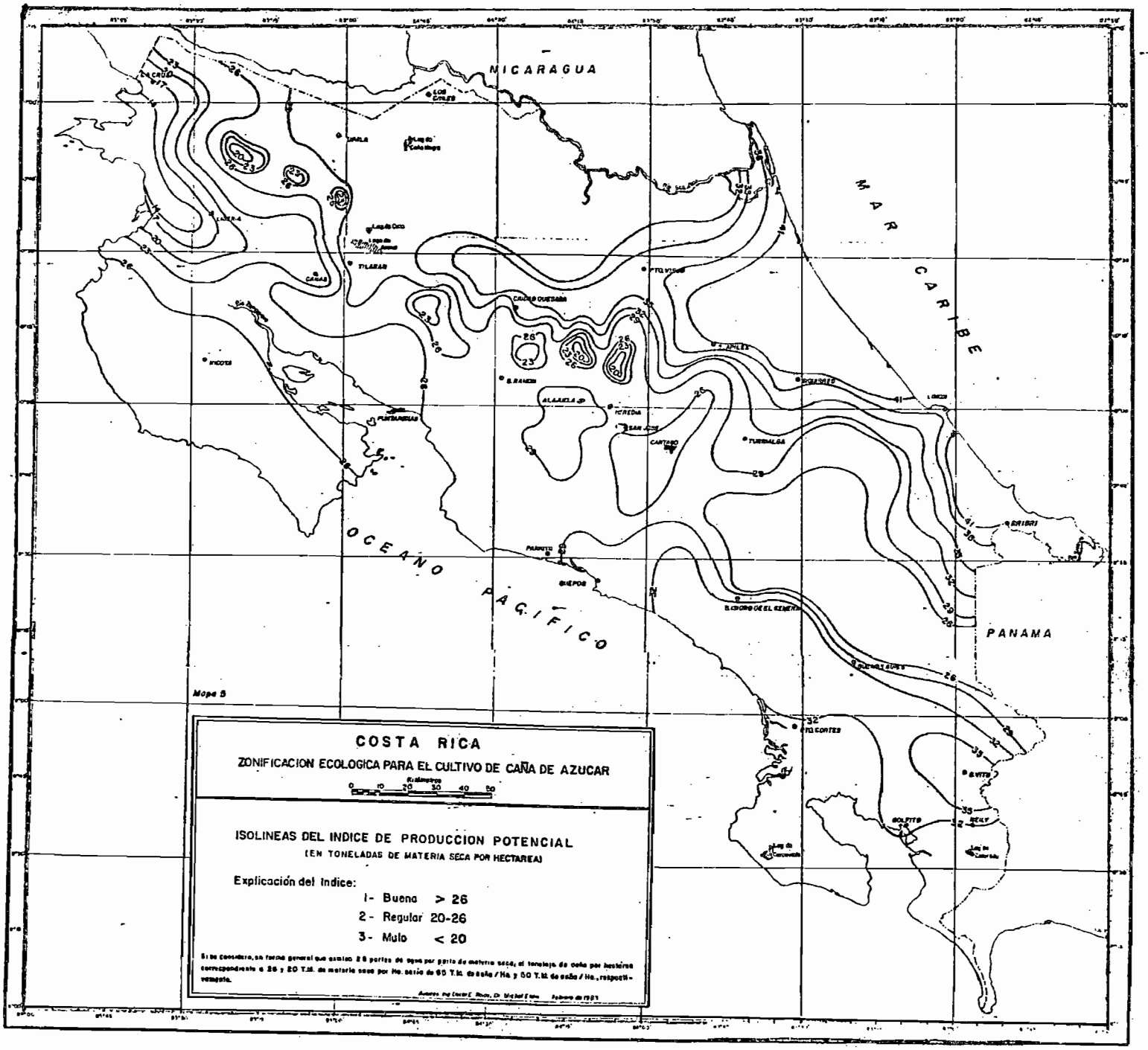
Categoría	Indice de Producción Potencial* en TM de Materia Seca/Ha	Indice Climático de Madurez
Bueno	> 26	> 20
Regular	20-26	5-20
Malo	< 20	< 5

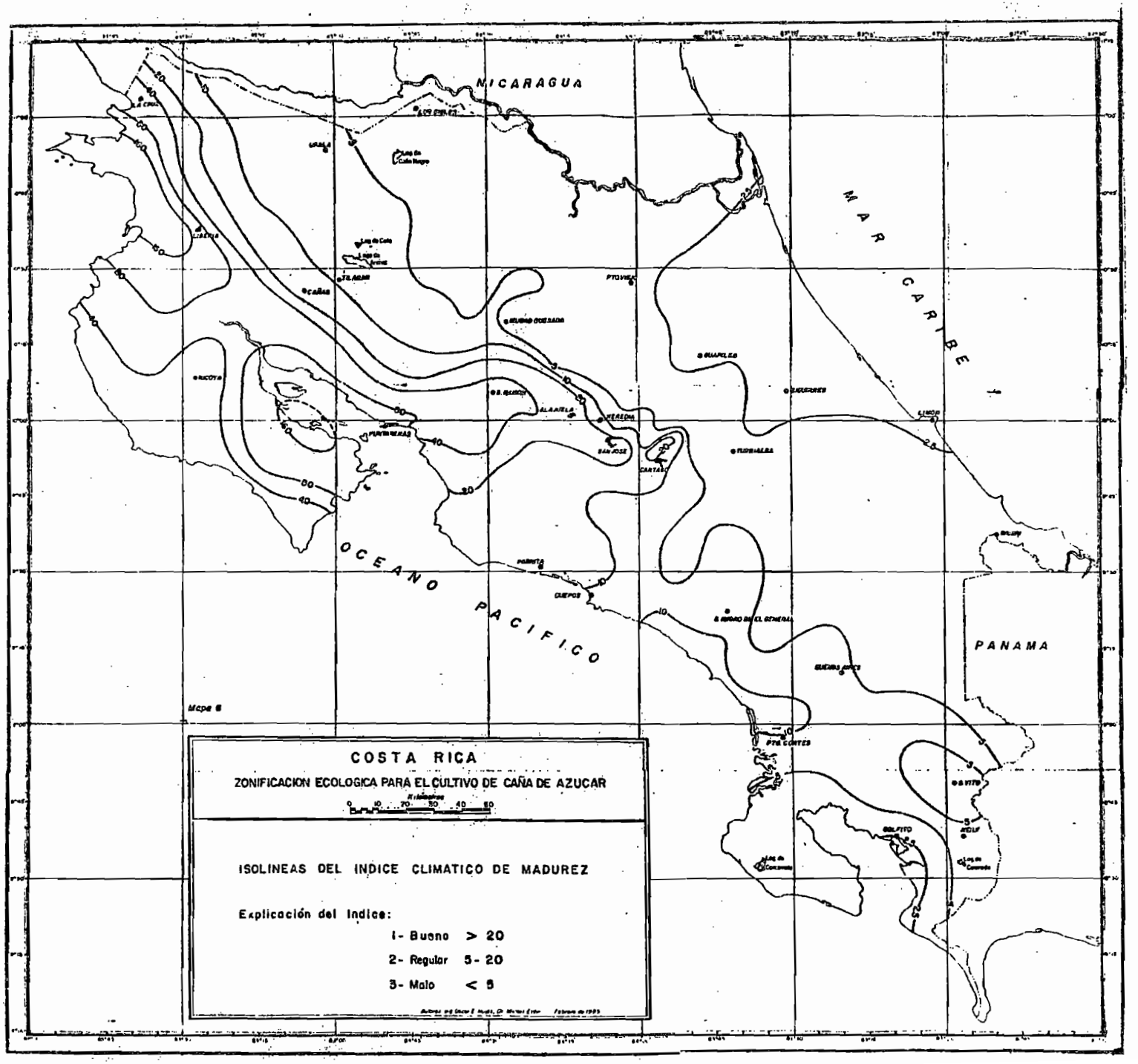
(*) Si se considera en forma general que existen 2.5 partes de agua por parte de materia seca el tonelaje de caña por hectárea correspondiente a 26 y 20 TM de Materia Seca por hectárea sería 65 TM/Ha y 50 TM/Ha respectivamente.

Los mapas respectivos se presentan a continuación como mapa 5 y 6.

7. Resultados Finales. Séptima Etapa.

Como resultado de la síntesis cartográfica se obtiene el mapa de la zonificación ecológica para el cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica, que aparece en el anexo D .


NICARAGUA
MAR CARIBE
OCEANO PACIFICO
PANAMA
Mapa 5
COSTA RICA
ZONIFICACION ECOLOGICA PARA EL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR
Kilómetros
0 10 20 30 40 50
ISOLINEAS DEL INDICE DE PRODUCCION POTENCIAL
(EN TONELADAS DE MATERIA SECA POR HECTAREA)
Explicación del Indice:
1- Buena > 26
2- Regular 20-26
3- Mulo < 20
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 26 y 20 T.M. de materia seca por Ha. sería de 65 T.M. de caña / Ha. y 50 T.M. de caña / Ha., respectivamente.


NICARAGUA
MAR CARIBE
OCEANO PACIFICO
PANAMA
COSTA RICA
ZONIFICACION ECOLOGICA PARA EL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR
ISOLINEAS DEL INDICE CLIMATICO DE MADUREZ
Explicación del Indice:
1- Bueno > 20
2- Regular 5- 20
3- Malo < 5

Las unidades delimitadas fueron caracterizadas por un número fraccionario (a/b); en el numerador aparecen dos números, el primer número representa la clasificación del Indice de Producción Potencial o sea se señala si es posible esperar un buen rendimiento en tonelaje de caña por hectárea. El segundo número representa la categoría del Indice 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 fisioedáfica y la letra las posibles limitantes que deben ser tomadas en cuenta para el manejo eficiente del suelo.

Con la finalidad de hacer más accesible la interpretación a los utilizadores de las unidades de zonificación ecológica, se hizo una jerarquización de las diversas unidades. Las categorías indican el margen de probabilidad para la obtención de rendimientos.

Se contemplaron las siguientes categorías:

1) Muy alta probabilidad de obtener buenos rendimientos.
2) Alta probabilidad de obtener buenos rendimientos
3) Regular probabilidad de obtener buenos rendimientos
4) Baja probabilidad de obtener buenos rendimientos
5) Muy baja probabilidad de obtener buenos rendimientos

CAPITULO IV - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Conclusiones

Los resultados del presente trabajo permiten derivar las siguientes conclusiones:

-La Región 1-Valle Central, presenta dos zonas climáticas bien definidas; la primera ubicada al noreste de la región, presenta un buen potencial agroclimático para el cultivo, mientras que la segunda, localizada al suroeste de la región, tiene un clima poco favorable para el desarrollo de la caña de azúcar.

-La Región 2-Pacífico Norte, sobresale por presentar condiciones muy favorables para la acumulación de sacarosa en la caña, pudiéndose obtener la zafra de mayor duración sin que se afecte severamente el contenido de los azúcares recuperables. Sin embargo, la producción de materia seca se ve afectada por la canícula. Por lo que en gran parte de esta región, se hace indispensable contar con riego suplementario para completar la etapa de crecimiento y formación de materia seca.

-En la Región 3-Pacífico Sur, existen unidades con muy buenas condiciones para el desarrollo de este cultivo. La duración de la zafra debe ser de tres meses.

-Región 4-Atlántico; la región costera atlántica no es recomendable para el cultivo de la caña de azúcar debido a que el clima no presenta las condiciones de sequía relativa necesarias para una buena acumulación de sacarosa en la planta. En la parte alta del Atlántico

se puede desarrollar bien la caña, pero el problema se presenta a la hora de maduración o de la acumulación de sacarosa, ya que el tiempo de sequía relativa es bastante corto. Esto implica que para obtener rendimientos en azúcar aceptables, la zafra deberá limitarse a dos meses o tres meses a lo sumo. Pero el contenido de sacarosa no será tan bueno como en las otras zonas.

-Región 5- Subvertiente Norte; para esta región se presentan condiciones un tanto similares a las de las alturas del Atlántico. Sin embargo, tiene zonas mejores localizadas en la parte noreste de la subvertiente, donde se podrá obtener un buen rendimiento.

2. Recomendaciones

-Realizar un trabajo de investigación, en relación con la alternativa de cultivar caña para la producción de alcohol en las regiones Atlántico y Subvertiente Norte.

-Introducir a las zonificaciones agroclimáticas variables de tipo socioeconómico, por ejemplo: costos de oportunidad, infraestructura, disponibilidad de mano de obra, etc.

LITERATURA CONSULTADA

1. ALVARADO SILESKY, JOSE M. Análisis de la Situación Actual y Perspectivas de Costa Rica como Productor de Azúcar para Exportación. Facultad de Agronomía. Tesis, 1979, 100 p.

2. ALVES DA SILVA, TELMO. Relações entre alguns factõres climáticos con crescimiento e rendimento da cana de açúcar. Turrialba, Costa Rica, IICA. Tesis, 1969, 63 p.

3. BARBOZAN, C. AGUILAR, J. y LEON, J. Perfil Nº 2. Desarrollo Tecnológico en el cultivo de la caña de azúcar. Proyecto de Instrumentos de Política y Planificación Científica y Tecnológica para Centro América y Panamá. Versión preliminar. CONICIT, Costa Rica, 1981.

4. BAZAN, RUFO. El suelo y su estudio desde el punto de vista ecológico. En el Seminario para Profesores de Ecología de las Facultades de Agronomía de Centroamérica, México y el Caribe. Turrialba, 1971.

5. BOHORQUEZ REJAS, JORGE. Zonificación de algunas especies forestales para el Huallaga, Central Tingo, María, Perú. Tesis. IICA. Turrialba, Costa Rica, 1972, 144 p.

6. DILLEWIJN CORNELIS, VAN. Botany of Sugar Cane. U.S.A., Walthan, Mass., 1952. 371 p.

7. DOMINGO B. ROSARIO e HIDALGO, I. La actividad caña de azúcar en Costa Rica ante la crisis económica y energética. UCR., tesis, 1982. 203 p.

8. ELDIN, MICHEL. Metodología para una Zonificación Agroclimática con Base a Potencialidades Climáticas de Producción Agrícola. In Primer Simposio Interamericano sobre Modelos y Sistemas de Información Agroclimática. Caracas, Setiembre 1981

9. ELDIN, MICHEL. Sugerencias para una Zonificación Agroclimática de Escala Continental. IICA. Costa Rica, 1981. 14 p.

10. F.A.O. Agro-ecological zones project. Vol. I. Methodology and Results for Africa. World Soil Resources Report. Rome, 1980.

11. FAUCONNIER, R. y BASSEREAU, D. La caña de azúcar. Barcelona: Editorial Blume, 1975. 433 p.

12. GARCIA BENAVIDEZ, J. y ARAQUE RICARDO. Zonificación de la Producción Frutícola. I parte: Región Capital. Consejo Bienestar Rural. Caracas, 1975.

13. GARCIA BENAVIDEZ, J. Una contribución a la Metodología de la Zonificación Ecológica de Cultivos Anuales. Tesis. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1972. 155 p.

14. GARCIA BENAVIDEZ, J. Estructura Metodológica para la caracterización agroecológica de áreas por procedimientos cuantitativos de análisis y su posterior zonificación. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Venezuela, 1980. 451 p.

15. GARCIA ESPINOZA, ALFONSO. Manual de Campo en Caña de Azúcar. 2da. Edición, México: IMPA, 1975. 232 p.

16. GOMEZ ALVAREZ, FELIPE. Caña de Azúcar. Caracas: Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 1975. 669 p.

17. GOMEZ ALVAREZ, FELIPE. El Registro Agronómico de Clements y su aplicación en Venezuela. Caracas: Ediciones M.A.C., sf. 125 p.

18. HUMBER, ROGER P. El cultivo de la Caña de Azúcar. México: Compañía Editorial Continental, 1974. 719 p.

19. ICAZA GARCIA, JAVIER. Zonificación Ecológica del Frijol en Nicaragua. Tesis, Escuela Nacional de Agricultura y Ganadería, 1971. 61 p.

20. LIST, ROBERT J. Smithsonian Meteorological Tables. 6ta. Edición Smithsonian Institution Press. Washington, sf. 527 p.

21. MALAVOLTA, E. Cultura e Adubacão de Cana de Açucar. Instituto Brasileiro de Potassa. Brasil, 1964. 367 p.

22. MANRIQUE PORTOCARRERO, L.P. Zonificación Bioclimática para la Ganadería Bovina de los Países Centroamericanos, Tesis. IICA, Turrialba. Costa Rica, 1972. 111 p.

23. MARTINEZ GARZA, ANGEL. Diseño y Análisis de Experimentos con Caña de Azúcar. México: Colegio de Post-graduados, Escuela Nacional de Agricultura, 1972. 203 p.

24. MONTOYA, JORGE M. Informe sobre el Proyecto de Zonificación Ecológica de los Cultivos de Consumo Básico y Tradicionales de Exportación de la República de Honduras, en condiciones de Secano. Tegucigalpa, Honduras, 1973. 54 p.

25. OPSA. Manual Descriptivo del Mapa de Asociaciones de SubGrupos de Suelos de Costa Rica. San José, 1979. 236 p.

26. ORTIZ VILLANUEVA, B. Control del Sazonado y Maduración de la Caña de Azúcar. Costa Rica, LAICA, sf. 18 p.

27. PAPADAKIS, JUAN. Geografía Agrícola Mundial. Barcelona: Salvat Editores, S.A. 1960. 648 p.

28. PAPADAKIS, JUAN. Ecología de los Cultivos. Tomo II. República de Argentina, M.A.G., 1954. 461 p.

29. RAMIREZ R. CARLOS. Características, Desarrollo e Investigación de la Caña de Azúcar en Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica, 1980. 25 p.

30. ROJAS MORA, OSCAR. 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.

31. SEPSA. Programa de Mejoramiento de la Producción e Industrialización de la Caña de Azúcar. San José, Costa Rica, 1980. 157 p.

32. SHADID SHAINA, ADOLFO. La Estructura Productiva y de Comercialización del Azúcar en Costa Rica. Documento básico del Curso de Capacitación de Funcionarios Latinoamericanos en materia de Comercialización de Azúcar. PNUD-UNCIAD y GEPLACEA, 1977. 23 p.

33. U.C.R. Curso de la Escuela de Fitotecnia. Cultivo y Beneficio de la Caña de Azúcar. Profesor: Alberto Golcher. 1981.

34. U.C.R. La Producción de Alcohol Carburante en Costa Rica: Evaluación y Perspectivas. Serie Divulgación Económica Nº 22, 1981. 209 p.

35. VAN DILLEWIJN, C. Botánica de la Caña de Azúcar. La Habana, Cuba: Instituto Cubano del Itsmo, 2da. Edición, 1975.

36. VARA SANCHEZ, F. ALCOLEA F. R. Y OTROS. Agrotecnia de la Caña. Cuba: Empresa Editorial Oriente, 1979. 227 p.

ANEXO A

ANALISIS FRECUENCIAL DE LLUVIAS: Tercera Etapa

Requisitos para obtener el Análisis Frecuencial de Lluvias

El Análisis Frecuencial, se basa en la información pluviométrica obtenida para períodos de diez días: denominados décadas. Si se carece de esta información es posible trabajar con los datos diarios de las precipitaciones. Además es necesario contar con el registro de las lluvias (por década o diarias) para una serie de por lo menos 20 años. Este tiempo de registro se justifica por la gran variación que presentan las precipitaciones de un año al otro; si la serie es corta la precisión alcanzada por el método es menor.

Una vez obtenida la información para la serie, si no está en décadas, se procede para cada año, a formar grupos de diez días.

Luego para cada período de diez días del año, se calcula la probabilidad de que las precipitaciones (P) sean mayores o iguales a una fracción de la evapotranspiración potencial (ETP); fracción de ETP que denominaremos con la letra (Q).

Después de encontrar la probabilidad para cada década, de que la precipitación sea mayor o igual a una fracción de ETP, ($P \geq Q$), se formará un gráfico con los niveles de precipitación para cada década y sus respectivas probabilidades para el curso del año. A la vez se establecerá una probabilidad que represente para el agricultor un riesgo razonable, por ejemplo, una probabilidad mayor o igual a 0.75 (3 años sobre 4).

Por medio de este gráfico es posible detectar el o los períodos de integración para la "función de producción" (IPP) empleando el siguiente criterio: Se define como un "período elemental de cultivo" al número de décadas consecutivas que se determinen con una probabilidad mayor o igual a la

aceptada como riesgo razonable, para el presente caso es de 0.75; ya que estas cumplirán con el supuesto de buen abastecimiento hídrico. La finalización de este período elemental estará dada cuando al menos dos décadas consecutivas no cumplan con este requisito; pudiendo establecerse uno o varios períodos elementales de cultivo en el año, para los cuales se calculará el Indice Elemental de Producción Potencial. El índice anual de producción potencial (IPP) se consigue sumando los índices elementales.

ANEXO B

INDICE DE PRODUCCION POTENCIAL

La producción neta de biomasa y el rendimiento de las cosechas se define aquí: como el total de materia seca de la planta y la porción de esta materia seca que es utilizada con fines económicos y que puede ser producida por los cultivos sanos bajo el supuesto de buen abastecimiento de agua y nutrientes.

1. La Producción de Biomasa:

1.2 Producción Neta y Bruta de Biomasa

Para calcular la producción neta de biomasa (Bn) del cultivo se requiere estimar la producción bruta de biomasa (Bg) y la pérdida por Respiración (R), esto es representado por la ecuación 1:

$$Bn = Bg - R \qquad (1)$$

La ecuación que relaciona la tasa de producción neta de biomasa (bn) con la tasa de producción bruta de biomasa (bg) y con la tasa de respiración (r) es:

$$bn = bg - r \qquad (2)$$

La tasa máxima de producción neta de biomasa (bnm) se alcanza cuando el cultivo cubre completamente la superficie del suelo. La curva de crecimiento (acumulativo) tiene forma sigmoidea, por lo tanto bnm es el punto de inflexión de dicha curva de crecimiento, (Fig. B-1) es igual a la primera derivada del crecimiento neto durante el período de máximo crecimiento. Si la primera derivada del crecimiento es dibujada a través del tiempo, la curva resultante tendrá la forma de

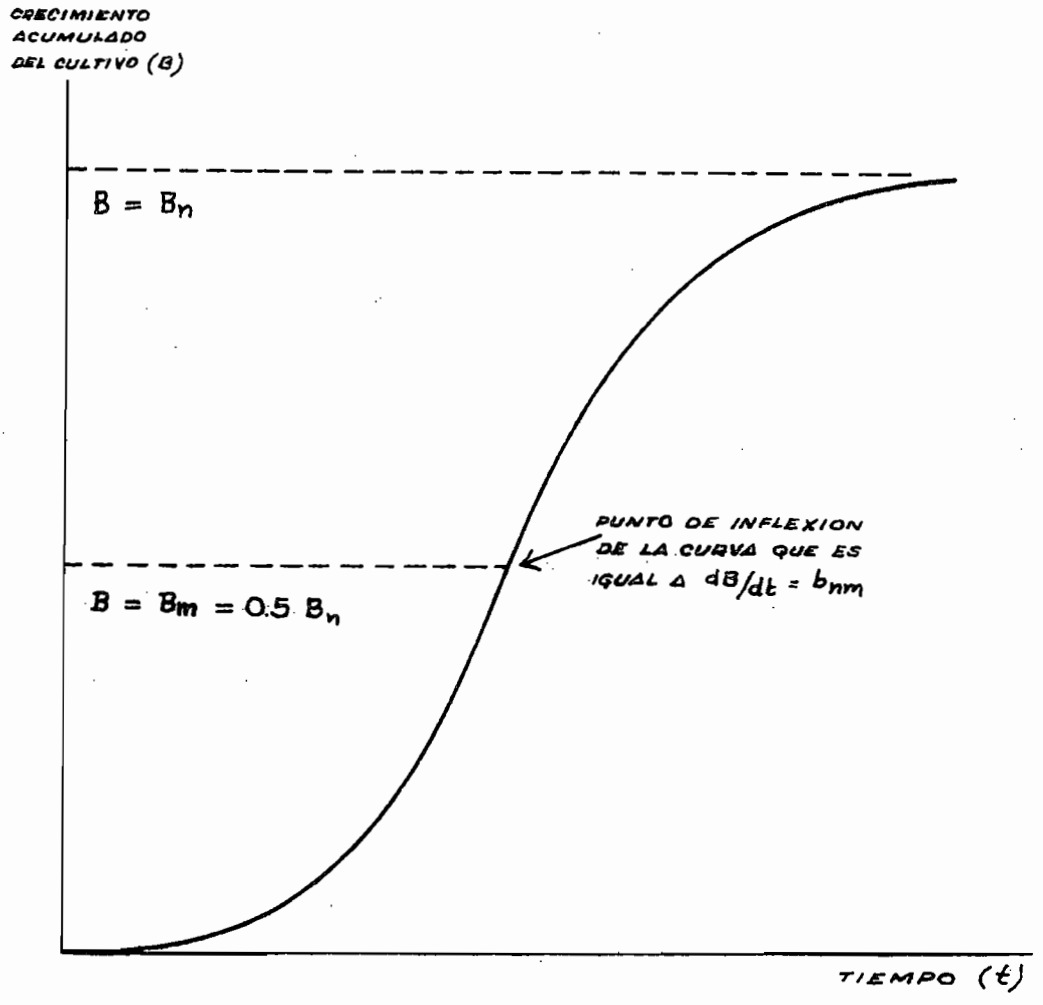


Figura B-1 . CURVA TIPICA DEL CRECIMIENTO ACUMULATIVO DEL CULTIVO, MOSTRANDO EL PUNTO DE INFLEXION DURANTE EL PERIODO DE MAXIMO CRECIMIENTO CUANDO LA PENDIENTE $^{dB}/_{dt}$ ES EQUIVALENTE A LA TASA MAXIMA DE PRODUCCION NETA DE BIOMASA

una de distribución normal (Fig. B-2). El modelo usado aquí asume la tasa porcentual de aclimatación de la producción neta (bna) es la mitad de la tasa máxima de crecimiento del cultivo, esto es: 0.5 bnm. La producción neta de biomasa para un cultivo de N días es entonces:

$$Bn = 0.5\ bnm \times N \qquad (3)$$

Si bnm puede ser calculada, Bn puede ser obtenida mediante la ecuación (3) usando el valor apropiado para N. Para calcular bnm se necesita conocer la tasa máxima de producción bruta de biomasa (bgm) y la tasa de respiración en el tiempo (rm) (Ecuación 2). Ya que:

$$bnm = \frac{0.72 \times bgm}{1 + 0.25 \times c_t \times N} \qquad (4)$$

donde:

bgm = tasa máxima de producción bruta de biomasa

c_t = coeficiente de respiración del cultivo

N = Período de cultivo

1.3 Tasa Máxima de Producción Bruta de Biomasa (bgm)

El valor de bgm depende de la tasa máxima (Pm) de fotosíntesis de las hojas del cultivo en condición de saturación por la luz.

La figura B-3 presenta las variaciones de Pm en relación con la temperatura promedio diurna para los diferentes grupos de cultivos: C_3, C_3 especial, C_4 y C_4 especial.

Consultar el trabajo de la FAO (10), ya citado, para la

definición de estos grupos que corresponden a cuatro tipos diferentes de metabolismos de las plantas.

- Si Pm $\geqslant$ 20 Kg. CH_2O . Ha^{-1} . h^{-1}

Se toma:

$$bgm = F \times bo \times (0.8 + 0.010\ Pm) + (1-F) \times bc \times (0.5 + 0.025\ Pm)$$

- Si Pm $\leqslant$ 20 Kg. CH_2O . Ha^{-1} h^{-1}

Se toma:

$$bgm = F \times bo \times (0.5+0.025\ Pm) + (1-F) \times bc \times (0.05\ Pm)$$

Donde: F es la fracción del día, entre el amanecer y el anochecer, durante el cual el cielo esta cubierto por nubes.

$$F = \frac{Ac - o.5\ G}{0.8\ Ac}$$

G es la radiación solar global promedia durante el período considerado (cal. cm^{-2}, $día^{-1}$)

G se puede aproximar a partir de la duración relativa de insolación: $\frac{h}{H}$, donde H es la duración del día, del amanecer al anochecer.

Ac es el promedio durante el período considerado de la radiación activa para la fotosíntesis (cal. cm^{-2}, $día^{-1}$). Se calcula a partir de la fecha del día y de la latitud del lugar considerado.

- b_o y b_c son las tasas diarias máximas de fotosíntesis bruta de un cultivo durante un día perfectamente claro y durante un día nublado, respectivamente. b_o y b_c se calculan a partir de la fecha del día y de la latitud del lugar en estudio.

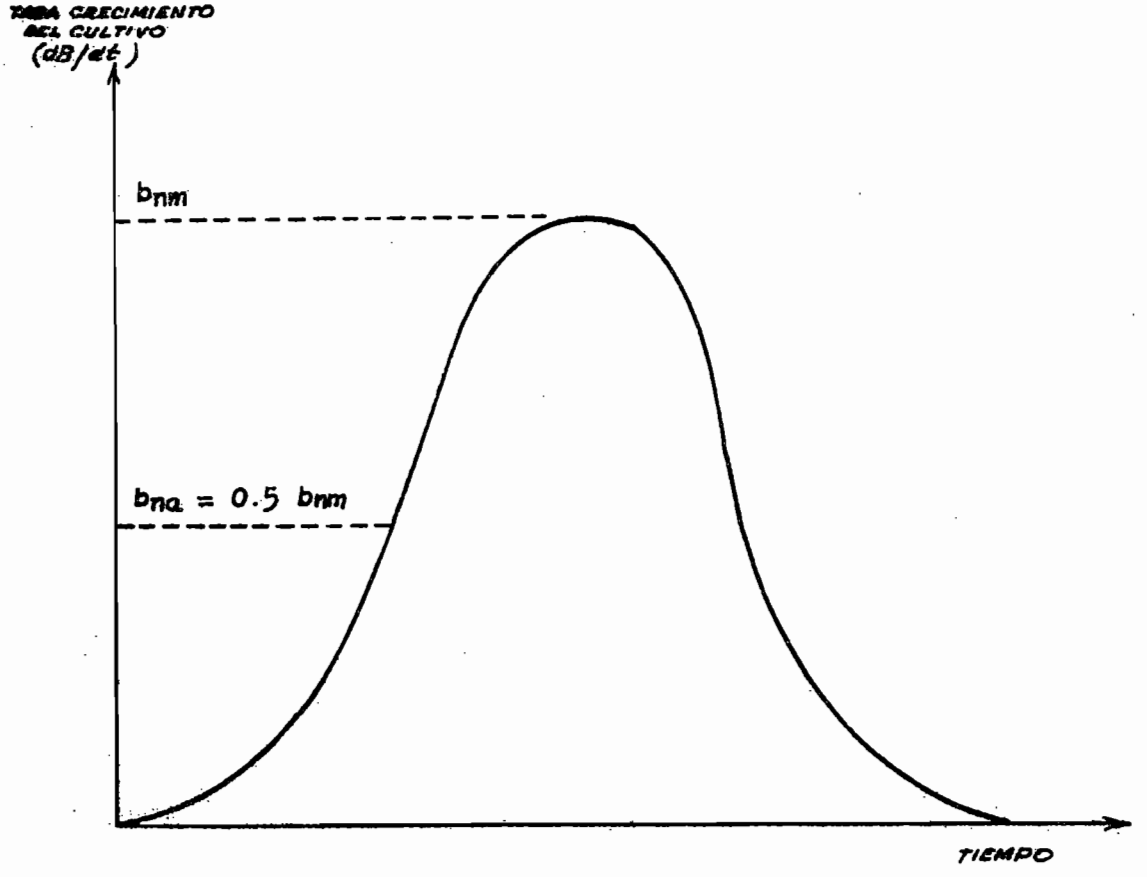


Figura B-2. LA FORMA NORMAL DE LA CURVA DE LA TASA DE CRECIMIENTO DE UN CULTIVO SIENDO LA VARIABLE INDEPENDIENTE EL TIEMPO MOSTRANDO LA TASA DE CRECIMIENTO PROMEDIO DEL CULTIVO $(b_{na}) = 0.5\, b_{nm}$

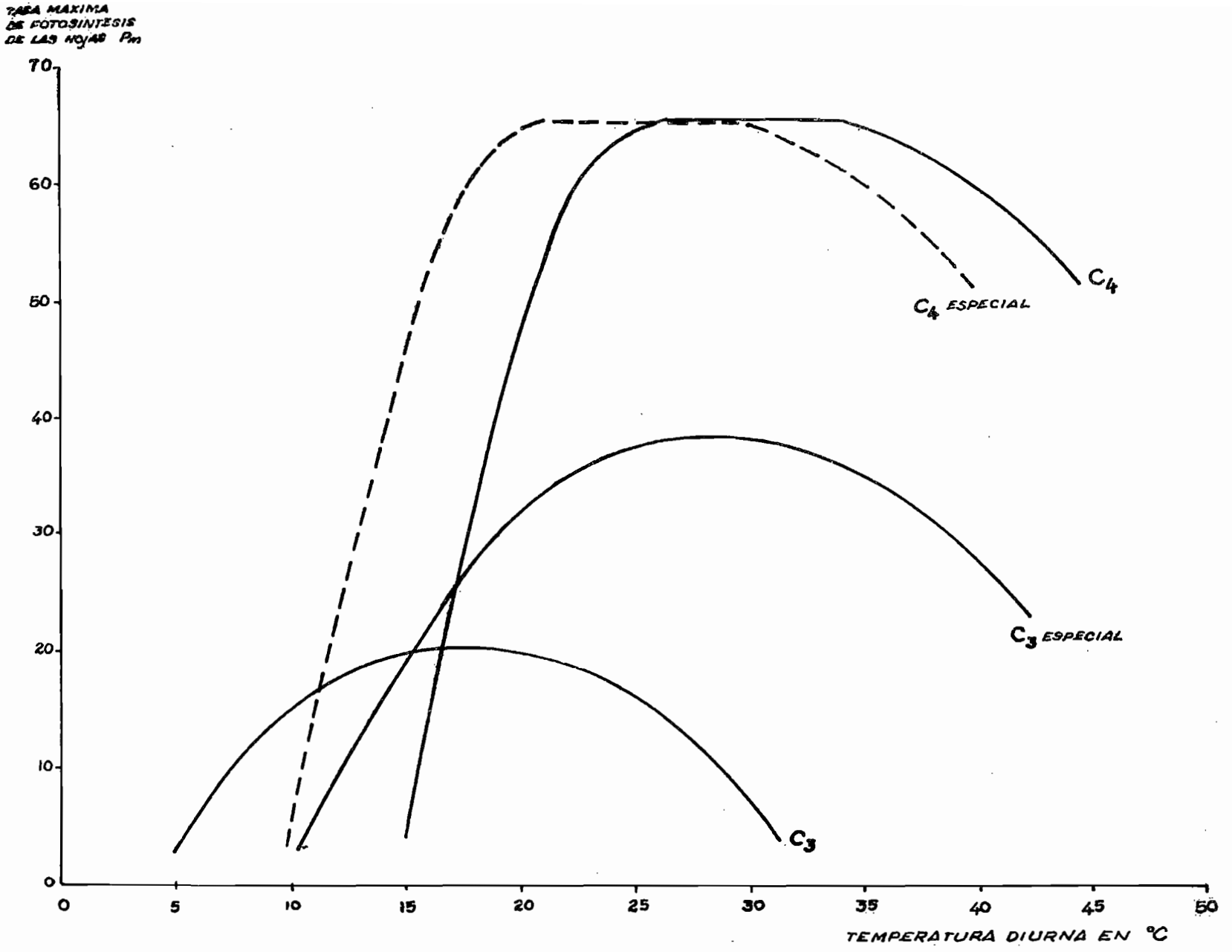


Figura B-3. VARIACIONES PROMEDIO CON LA TEMPERATURA DIURNA PROMEDIO DE LAS TASAS MAXIMAS DE FOTOSINTESIS DE LAS HOJAS DE PLANTAS QUE PERTENECEN A GRUPOS CON METABOLISMO DE TIPO C_3, C_3 ESPECIAL, C_4 Y C_4 ESPECIAL (EN CONDICION DE SATURACION POR LA LUZ)

Los valores de A_c, b_o y b_c para diferentes latitudes fueron calculados por de Wit para un P_m = 20 Kg. Ha^{-1} h^{-1}. En el cuadro B-1 se muestran estos valores para 10° latitud norte.

1.4 Coeficiente de respiración del cultivo (c_t)

c_t se expresa a partir de la temperatura promedio t, por:

$$c_t = c_{30} (0.044 + 0.0019t + 0.001t^2)$$

donde c_{30} es el coeficiente de respiración del cultivo para t= 30°C. Se ha determinado (10) que c_{30} = 0.0283 para la leguminosas y c_{30} = 0.0108 para los cultivos no leguminosos

Tomando en cuenta las ecuaciones (3) y (4) se puede escribir:

$$B_n = \frac{0.36 \times bgm}{1/N + 0.25 \times c_t}$$

Donde B_n para nosotros es el Indice Potencial de Producción IPP.

Para conocer mayores detalles en cuanto a la definición de IPP, consultar los trabajos ya citados, de la FAO (10) y del Dr. Eldin (9).

Ejemplo 1: Cálculo de Indice de Producción Potencial para la estación en Turrialba

1.1 Primero se define el período de cultivo donde será posible integrar la función (IPP). Esto es posible gracias al análisis frecuencial de lluvias (ver Fig.18) que es calculado por el programa de cómputo (Anexo E).

Para la estación de Turrialba el período de cultivo va de la década 14 a la 36 inmplicando una duración de 230 días.

CUADRO B-1

RADIACION FOTOSINTETICAMENTE ACTIVA SOBRE VARIOS DIAS CLAROS (A_c) EN CAL CM^{-2} DIA^{-1} Y LA TASA BRUTA DIARIA DE FOTOSINTESIS DEL CULTIVO EN DIAS CLAROS (b_c) Y NUBLADOS (b_o) EN KG Ha^{-1} DIA^{-1} PARA UN P_m = 20 KG CH_2O Ha^{-1} H^{-1} "10° LATITUD NORTE"

(Derivados de Wit)

A_c	DECADA 1 a 18	294	304	316	328	337	346	354	363	367	373	376	376	377	377	376	375	374	375	
	DECADA 19 a 37	375	375	376	377	376	373	371	366	356	348	339	328	316	308	300	294	287	281	287.5
b_c	DECADA 1 a 28	372	380	389	397	405	412	419	425	430	435	438	439	440	440	440	440	440	440	
	DECADA 19 a 37	440	440	440	439	437	435	432	427	420	414	406	398	389	382	377	372	367	362	367
b_o	DECADA 1 a 18	195	199	205	209	214	219	223	226	229	232	234	235	236	236	235	235	235	236	
	DECADA 19 a 37	236	236	235	235	234	232	230	228	224	220	216	211	206	201	199	195	192	189	192

FUENTE: F.A.O. (10)

1.2 Se calcula para este período de cultivo los promedios para la temperatura de 24 horas (T24), temperatura diurna (TD) y la radiación global (G). Todo lo anterior lo suministra el programa de cómputo.

Para Turrialba, esto es:

$\sum_{i=14}^{7} T24_i = 543.12$ $\quad \overline{T24} = 22.63°C$

$\sum_{i=14}^{7} TD_i = 577.68$ $\quad \overline{TD} = 24.07°C$

$\sum_{i=14}^{7} G = 8052$ $\quad \overline{G} = 335.5$ cal. Cm^{-2} $década^{-1}$

1.3 A partir de la temperatura diurna se calcula la tasa máxima de Fotosíntesis (Pm). A partir de las siguientes ecuaciones 1/

Si $\leq 25 \leq$ TD	35°C	Pm=	65.5
Si $\leq 35 \leq$ TD	45°C	Pm=	-1.41 x TD + 114.8
Si $\leq 22 \leq$ TD	25°C	Pm=	-22 + 3.5 x TD
Si $\leq 15 \leq$ TD	22°C	Pm=	-97.3 + 6.92 X TD

1/ Derivados de la Fig. B-3, donde se considera la curva C_4, por tener la caña de azúcar metabolismo de tipo C_4.

Como para Turrialba TD = 24.07 Pm= 62.25

1.4 A partir del cuadro B-1 se calcula los promedios para A_c, b_c, b_o, correspondientes al periódo de cultivo. Esto es:

$$\sum_{i=14}^{37} AC_i = 8310.48 \qquad \overline{A_c} = 346.27$$

$$\sum_{i=14}^{37} bc_i = 9943.92 \qquad \overline{bc} = 414.33$$

$$\sum_{i=14}^{37} bo_i = 5287.92 \qquad \overline{bo} = 220.33$$

1.5 Se calcula F= Ac-0.5 x G/ 0.8 Ac

F= 346.27-0.5 x 335.5/ 279.06 = 0.644

1.6 Se calcula la tasa máxima de producción bruta de biomasa (bgm) a partir de la tasa máxima de Fotosíntesis (Pm).

Como Pm es mayor de 20

$bgm = F \times b_o \times (0.8 + 0.01 \times Pm) + (1- F) \times b_c \times (0.5 + 0.025 \times Pm)$

$bgm = 0.64 \times 220.33 \times 1.42 + 0.36 \times 414.33 \times 2.06$

$bgm = 504.91$

1.7 Se calcula el coeficiente de respiración del cultivo

$C_t = C_{30} \times (0.044 + 0.0019 \times T24 + 0.001 (T24)^2)$

$C_{30} = 0.0108$ por ser un cultivo no leguminoso

$C_t = 0.006470$

1.8 Resultando que el Indice de Producción Potencial para Turrialba es:

$$IPP = \frac{036 \times bgm}{\frac{1}{N} + 0.25 \times C_t}$$

$$IPP = \frac{0.36 \times 504.91}{\frac{1}{240} + 0.25 \times 0.006470}$$

$$IPP = 31425.25 \text{ kg MS. } Ha^{-1} \ N^{-1}$$

ANEXO C

INDICE CLIMATICO DE MADUREZ. METODO DE PRONOSTICO

Los requisitos necesarios para utilizar el método de pronóstico son los mismos que se definieron para el Análisis Frecuencial de Lluvias, además la base de tiempo de diez días se mantiene. Con este método es posible pronósticar en una forma más o menos aproximada la época más apropiada para la zafra.

El método se describe a continuación:

I) Se divide el año en 37 períodos cada uno de diez días, o sea en 37 décadas.

II) Para cada período se calcula la diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas medias. Estas diferencias constituyen las oscilaciones.

III) Para cada intervalo de 5 décadas consecutivas, se calcula el promedio de las 3 primeras décadas (que designamos Ai) y se anota en el renglón correspondiente al quinto período, (cuyo número de orden se representa por la letra i).

IV) Por cada intérvalo de 6 períodos consecutivos se acumula la probabilidad de que la precipitación durante la década sea mayor o igual a la mitad de la evapotranspiración potencial (ETP), obtenida por medio del Análisis Frecuencial de LLuvias, y se anota el total (que designamos P_i) en el renglón correspondiente al sexto período, (cuyo número de orden se representa por la letra i).

V) Se calcula, para cada período, un índice climático de madurez a partir de la siguiente relación:

$$I_i = \frac{P_i}{A_i} \quad \text{Donde} \quad ICM = \frac{1}{I_i}$$

VI) Para todos los posibles períodos de t décadas consecutivas, donde t es la duración probable de la zafra en décadas, se obtiene la suma de los t valores correspondientes I_i.

VII) El intérvalo de t décadas, para el cual la suma de los valores I_i es mínima, será el más apropiado para hacer la zafra desde el punto de vista climatológico.

El método sugiere una época de zafra tal que la probabilidad de que llueva en el intérvalo de dos meses antes de la cosecha sea reducida. Por otra parte, se requiere que la amplitud de variación diurna entre temperaturas máxima y mínima, un mes antes de la cosecha, sea grande (o que su recíproco sea pequeño). Estas condiciones están comprendidas en términos cuantitativos en los valores I_i de la siguiente manera:

a) Las cantidades A_i cuyo cálculo se describe en III, representa la amplitud media de un período de 3 décadas (aproximadamente un mes), 20 días antes de la década i.

b) Las cantidades P_i, cuyo cálculo se describe en IV, representan el acumulado de 6 décadas (aproximadamente 2 meses) anteriores a la década i.

c) Puesto que en la mejor época de zafra se requieren días secos y de una gran variación entre las temperaturas máxima y mínima, o en otras palabras, cuando los valores A_i son grandes, se deduce que en la época apropiada para zafra el índice sugerido en V toma valores reducidos.

COSTA RICA

ZONIFICACION ECOLOGICA PARA EL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR

Kilómetros
0 10 20 30 40 50

PROBABILIDAD DE OBTENER BUENOS RESULTADOS

Muy alta $\frac{1.1}{1}$ $\frac{1.1}{2}$

Alta $\frac{1.2}{1}$ $\frac{1.2}{2}$

Mediana $\frac{2.1}{1}$ $\frac{2.1}{2}$

Baja $\frac{2.2}{1}$ $\frac{2.2}{2}$ $\frac{1.1}{3}$ $\frac{1.2}{3}$

Muy baja $\frac{3.1}{1}$ $\frac{1.3}{1}$ $\frac{1.1}{3}$ $\frac{3.3}{1}$ $\frac{3.1}{3}$ $\frac{1.3}{3}$ $\frac{1.2}{3}$ $\frac{1.3}{2}$ $\frac{3.1}{2}$ $\frac{2.2}{3}$ $\frac{2.3}{3}$ $\frac{3.2}{2}$

LEYENDA

- Areas eliminadas
- Límite fisioedáfico
- Límite del Indice de Producción Potencial
- Límite del Indice Climático de Madurez

EXPLICACION DE LOS INDICES

INDICE DE PRODUC. POTENCIAL

1 Bueno > 26
2 Regular 20-26
3 Malo < 20

INDICE CLIMATICO DE MADUREZ

1 Bueno > 20
2 Regular 5- 20
3 Malo < 5

CONDICION FISIO-EDAFICA

1 Muy buena
2 Buena
3 Regular

LIMITANTES FISIO-EDAFICAS

a. Acidez
d. Drenaje
f. Fertilidad
i. Inundación
o. Profundidad
p. Pendiente
r. Fragmentos rocosos
t. Textura

En las áreas de Guanacaste se podrá mejorar el valor del Indice de Producción Potencial por medio de riego y obtener a la vez una mayor probabilidad de lograr buenos rendimientos.

Autores: Ing. Oscar E. Rojas, Dr. Michel Eldin *Febrero de 1983*

Editorial IICA
IICA