

IICA
FOO
156

43

Centro Interamericano de Documentación
e Información Agrícola
1981
IICA-CIDIA

IICA
FOO
156

INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA - IICA

El Clima y la Producción de Granos Alimenticios*

(Un Manual para la zonificación Agroclimática del Istmo
Centroamericano)

por
George H. Hargreaves
Utah State University
Logan, Utah, USA

PROYECTO DE INFORMACION AGROPECUARIA DEL ISTMO CENTROAMERICANO
-PIADIC-

Centro Interamericano de Documentación e Información Agrícola-CIDIA
San José, Costa Rica
junio 1980

INTRODUCCION

La población de Centroamérica está creciendo a una tasa de aproximadamente el 3.5 por ciento anual; a menos que esto cambie significativamente, la población se duplicará en poco más de 20 años. Si han de mejorarse los niveles de vida y las condiciones de salud los abastecimientos alimenticios deberían aumentar a más del doble durante este período.

En los países en desarrollo la producción de alimentos está aumentando en área de un 3 por ciento al año, del cual, aproximadamente uno por ciento resulta del mejoramiento de la tecnología y dos por ciento del cultivo de nuevas tierras. En Centroamérica la apertura para usos agrícolas de nuevas tierras frecuentemente trae como resultado la deforestación y el cultivo de terrenos marginales. El aumento del área cultivada en regiones montañosas puede ser poco beneficiosa ya que produce aumento en la erosión con más y mayores inundaciones y mayores escorrentías totales y máximas haciendo más costoso y difícil el uso de las tierras de los valles lo cual, a su vez, causa un incremento en el uso de las tierras marginales.

No hay una solución sencilla para resolver el problema del aumento de los requerimientos alimenticios, sin embargo, puede ser útil un inventario bastante detallado de los recursos naturales, definiendo los suelos, las disponibilidades de agua y el clima.

Existen más de dos docenas de clasificaciones climáticas y varias maneras de relacionar el clima a la producción agrícola. Aunque la clasificación de Köppen ha sido ampliamente usada, tiene poca aplicación para cultivos. La clasificación de Thornthwaite es una contribución importante ya que introduce el concepto de la evapotranspiración potencial. Mejoras y clasificaciones más recientes introducen el concepto de relacionar las posibilidades de aprovisionamiento con los requerimientos de agua para períodos de un mes o menos. Se describen y proponen algunos métodos para Centroamérica.

Se seleccionan cuatro cultivos: maíz, frijoles, sorgo y arroz y se describen los requerimientos climáticos para asegurar buenos niveles de producción. Una mejor comprensión de estos requerimientos facilita la obtención de niveles de producción más altos y puede reducir significativamente la necesidad de cultivar tierras marginales. La consideración más importante es la cantidad y época de la disponibilidad de agua. Por eso, se le da mayor importancia a los métodos de evaluación de la suficiencia de agua, incluyendo los déficits y los excesos.

*La responsabilidad por el contenido de este artículo es exclusivamente del autor y no necesariamente refleja la opinión del IICA. Título original del artículo "Climate and Food Grain Production".

EL AGUA Y LOS RENDIMIENTOS

Si no hay otros factores que limitan el rendimiento, la cantidad de grano producido es esencialmente una función de la disponibilidad de agua para las plantas. La producción máxima o rendimiento óptimo de granos se obtienen cuando la cantidad de agua usada en la transpiración de las plantas es igual al potencial máximo para el uso de agua. Si los déficits de agua no se concentran en períodos críticos, el rendimiento Y puede ser expresado con bastante precisión como una función de la evapotranspiración de la planta, ET , o del agua aplicada al cultivo, W . Las ecuaciones pueden expresarse como sigue:

$$Y = a + b \times ET \dots \dots \dots (1)$$

$$Y = -a + b \times W - c \times W^2 \dots \dots \dots (2)$$

Los períodos críticos en el ciclo de crecimiento del maíz y el sorgo de grano son:

Maíz: El período de polinización desde la inflorescencia hasta la etapa en que empieza a formarse el grano.

Frijol: El florecimiento y el período de formación de la vaina.

Sorgo: Enraizamiento secundaria hasta la etapa de formación de panaja.

Arroz: El florecimiento o cuando las panículas emergen de la vaina superior.

En las condiciones climáticas prevalecientes en Centroamérica, la ET del cultivo en estos períodos críticos debe promediar de 5 a 8 mm por día para asegurar rendimientos máximos u óptimos.

El total de agua disponible debe ser un poco más. El manual de Irrigación y Drenaje de la FAO (2) da las siguientes amplitudes en la evapotranspiración estacional del cultivo.

Maíz	400 — 750 mm
Frijol	250 — 500 mm
Sorgo	300 — 650 mm

De un análisis de la evapotranspiración potencial, ETP, en el Istmo Centroamericano se desprende que la producción máxima o casi máxima de maíz, frijol, sorgo y arroz de secano se obtiene con las siguientes cantidades aproximadas de ET estacional de los cultivos:

Maíz 650 mm, frijol 400 mm, sorgo 500 mm y arroz de secano 750 mm. Los requerimientos varían ligeramente con la variedad y extensión del ciclo de crecimiento del cultivo y aumentan con las temperaturas altas y mayores cantidades de radiación solar.

Hay algún aumento en la ET del cultivo a niveles más altos de fertilidad del suelo y particularmente con aplicaciones mayores de nitrógeno. Sahlhevet y otros (8) presentan datos indicando que la ET del maíz sube con el aumento de N hasta un máximo de 850 o posiblemente 900 mm. No se dan los valores correspondientes de la ETP, pero es probable que el área sea significativamente más cálida y con mayor radiación que Centroamérica. Algunos cultivos son mucho más sensibles que otros a los déficits de agua durante los períodos críticos.

El Cuadro 1 de Stewart y otros (9) presenta información sobre la influencia de los déficits de ET durante los períodos vegetativo, de polinización y de formación de grano del sorgo. El cociente de reducción del rendimiento es el porcentaje de reducción del rendimiento debido al déficit de agua dividido por el porcentaje promedio estacional del déficit de agua.

El Cuadro 2 de Stewart y otros (9) presenta los efectos de los déficits de agua en los rendimientos del maíz. El maíz es particularmente sensible durante el período de polinización, desde la inflorescencia hasta la etapa en que empieza a ampoillar (perlar) el grano. La evapotranspiración del maíz durante la polinización en la mayoría de los lugares en Centroamérica debe ser alrededor de un 175 - 200 mm. Del Cuadro 2 se desprende que, a menos que la ET se mantenga de 90 a 100 mm. o más durante este período será muy baja la producción. Como no toda la lluvia es efectiva y disponible para el uso del cultivo debe ser de por lo menos 150 mm y bien distribuida durante el período de polinización para que resulte en niveles de producción satisfactorios.

Litzenberger (7) indica que los suelos favorables para la producción de arroz de altura o de secano tienen que estar constantemente húmedos y que se requieren de 4 a 6 meses con 130 a 280 mm de precipitación mensual bien distribuida para lograr rendimientos satisfactorios de arroz.

La frecuencia y distribución de la precipitación requerida para asegurar buenos rendimientos depende un poco de los suelos y su capacidad para retener la humedad fácilmente disponible. El manual de la FAO presenta profundidades usuales de enraizado, la fracción del agua del suelo disponible que se recomienda antes de que sea necesario agregar agua y la cantidad considerada como normalmente y fácilmente disponible para el cultivo, según varios tipos de suelos. Alguna de esta información se resume como sigue:

<u>CULTIVO</u>	<u>PROFUNDIDAD DE RAIZ (METROS)</u>	<u>FRACCION DE AGUA DEL SUELO</u>	<u>MM FACILMENTE DISPONIBLES EN LA ZONA RADICULAR DEL CULTIVO SEGUN EL TIPO DE SUELO</u>		
			<u>Fino o Pesado</u>	<u>Mediano</u>	<u>Grueso o Arenoso</u>
Frijol	0.5 = 0.7	0.45	45 - 56	32 - 46	15 - 21
Maíz	1.0 = 1.7	0.60	120 - 204	80 - 136	40 - 68
Sorgo	1.0 = 2.0	0.55	110 - 210	75 - 150	35 - 70

Si se asume que la ET del cultivo es de 5 mm al día, el sorgo, en un suelo con una alta capacidad de retención de humedad, puede pasarse hasta 40 días antes de que la humedad del suelo necesite reaprovisionamiento; el frijol en un suelo bastante arenoso, puede necesitar que la zona radicular sea provista con agua a intervalos de 3 días. La marchitez de las plantas por solo unos pocos días, puede resultar en grandes reducciones en los rendimientos.

Para el maíz, el frijol y el sorgo, el rendimiento del grano se reduce cuando las condiciones de la precipitación y el drenaje son tales que la aireación del suelo es restringida. El sorgo es significativamente más tolerante al mal drenaje que el maíz; puede soportar anegamiento por unos días, mientras que el maíz es susceptible a daño por aguas encharcadas. Adelante se describen algunos métodos para mejorar el drenaje superficial.

Zonificación Agroclimatológica

La determinación de las áreas geográficas apropiadas para cultivos específicos se puede lograr en dos etapas. Primero se pueden anotar las áreas generales en un mapa en términos de aptitud climática. Segundo, deben prepararse mapas a gran escala indicando las condiciones de suelo, la pendiente, la topografía, los datos fenológicos del cultivo y el uso actual de los terrenos. Este manual incluye el trazado de mapas o la clasificación según datos climáticos. Aunque los mapas son muy útiles en muchas regiones de Centroamérica hay mucha variación en la precipitación dentro de distancias cortas y los cambios microclimáticos pueden hacer difícil o imposible un trazado de mapas exacto.

Hargreaves (3) propuso que el clima tropical se divida en 7 clases. Johnson (5) agregó una clase más y luego usó las 5 clases más secas como un medio para la zonificación del noreste del Brasil para la producción de maíz y sorgo. El procedimiento utiliza un índice de disponibilidad de humedad, MAI.

Los valores del MAI se calculan del 75 por ciento de probabilidad de precipitación, PD_x y la evapotranspiración potencial, ETP. La ecuación puede escribirse:

$$MAI = PD/ETP \dots \dots \dots (3)$$

La clasificación según la propuso Hargreaves (3) y la modificó Johnson (5) se presenta a continuación:

<u>CRITERIOS</u>	<u>CLASIFICACION DEL CLIMA</u>	<u>CLASIFICACION DE LA PRODUCTIVIDAD</u>
Todos los meses con el MAI en un rango de 0,00-0,33	Muy árido	No apropiado para agricultura de secano.
Solamente un mes con MAI de 0,34 o más	Subárido	No apropiado para cultivos de secano
Tres o cuatro meses con MAI de 0,34 o más	Semiárido	Producción posible para cultivos con período de crecimiento de 3 a 4 meses
Cinco o más meses consecutivos con MAI de 0,34 o más	seco-húmedo	Producción posible para cultivos que requieren una buena cantidad de agua durante 5 meses o más
Uno o dos meses con MAI sobre 1,33	Algo húmedo	Drenaje natural o artificial necesario para lograr buena producción
Tres a cinco meses con MAI sobre 1,33	Moderadamente húmedo	Buen drenaje necesario para una producción agrícola normal
Seis o más meses con MAI sobre 1,33	Muy húmedo	Muy buen drenaje necesario para lograr una producción agrícola normal

En un estudio del clima de Nicaragua, Hargreaves y Hancock (4) presentaron valores medios y un 75 por ciento de probabilidades de ocurrencia para 10 y 15 días y períodos mensuales y un análisis semigráfico usando el siguiente criterio para los 10 y 15 días y los períodos mensuales.

<u>CLASIFICACION MAI</u>	<u>SIMBOLO</u>	<u>SIGNIFICADO</u>
1,21 o más	D	Drenaje necesario para asegurar el mejor rendimiento
0,80 - 1,20	A	Adecuada humedad disponible
0,40 - 0,79	S	Riego suplementario necesario para asegurar el mejor rendimiento
0,00 - 0,39	I	Riego es necesario para asegurar la producción agrícola.

Kampen y Krishna (6) hacen uso de los valores de precipitación semanal para calcular las probabilidades de precipitación semanal iguales o mayores que 20 mm y la probabilidad de dos semanas seguidas sin lluvia o con menos de 20 mm de precipitación por semana. En la Fig. 1 esto se presenta para tres lugares en los trópicos semiáridos, SAT. Vale la pena notar que el lugar con la más baja precipitación anual es el más favorable y aquél con la mayor precipitación anual el menos favorable para la producción agrícola.

No hay un método único que se pueda recomendar para todos los requerimientos. Sin embargo, suponiendo la existencia de datos climáticos diarios en cinta o disco, entonces el trazado de las probabilidades o índices por computadora se vuelve una forma práctica y barata de suministrar evaluaciones del clima para todo el país. Es muy importante que los períodos que se utilicen sean cortos, de una semana o 10 días y que el índice o la probabilidad se adapten y correlacionen con la experiencia y con la investigación agrícola.

Del uso de datos hidrológicos puede resultar un mejoramiento significativo en la zonificación agrícola. Un análisis de la probabilidad del flujo de todas las corrientes de agua dentro de un país o región es una forma muy útil para determinar la uniformidad de las cantidades de precipitación y de su distribución en varias áreas. La precipitación es usualmente muy variable en las áreas tropicales semiáridas durante los meses de transición. Si las probabilidades de ocurrencia se basan en registros de pocos años, son probables errores significativos. Siempre que sea posible debe usarse un registro de 20 años o más. Sin embargo, el uso de registros inadecuados, o sea de hasta 5 años, es definitivamente mejor que ninguna información. Al estimar la producción potencial el uso de tales registros debe hacerse con mucha cautela y con márgenes de seguridad mucho más amplios.

Para la zonificación de Centroamérica para la producción de granos alimenticios se podría adoptar el siguiente criterio.

Maíz: Areas con un 75 por ciento de probabilidad de lluvias de 600 -900 mm en 120 días, con poca probabilidad de lluvia excesiva o de un déficit significativo durante la polinización.

Sorgo y Frijol:

Areas con 75 por ciento de probabilidad de una precipitación de 400 mm o más durante aproximadamente 100 días. En algunos casos bajas cantidades de lluvia, hasta de 300 mm, pueden ser suficientes para producir rendimientos comerciales si la distribución es adecuada y la escorrentía mínima.

Arroz: Areas con 4 o más meses consecutivos con MAI de 1,33 o más.

SISTEMAS AGRICOLAS PARA AUMENTAR LA PRODUCCION

La transferencia de tecnología se facilita y puede generalizarse por medio de la identificación y definición de condiciones climáticas similares en varias regiones del mundo. En Centroamérica se cultivan importantes áreas agrícolas para la producción de granos alimenticios, principalmente maíz, bajo condiciones mínimas de precipitación para asegurar una producción económica. Kampen y Krishna (6) describen sus investigaciones sobre sistemas de producción e indican que la efectividad de las lluvias puede ser aumentada por medio de un mejor manejo y el uso de sistemas de cultivo más productivos. Obtuvieron consistentes aumentos en "productividad de la precipitación" mayores de 300 por ciento.

Un sistema de eras y surcos con poca pendiente provee drenaje superficial durante aguaceros fuertes y hace más lenta la escorrentía de manera que permite que aumente la infiltración del agua a la zona radicular del cultivo. La conservación de agua, junto con combinaciones de nuevos cultivos mejora la "productividad de la precipitación" medida por el valor de rendimiento del cultivo por hectárea por cm, de lluvia.

El sistema de eras con poco desnivel se describe en la Figura 2. El resultado de los dos años de ensayos se aprecia en el Cuadro 3. Los aumentos en la producción son suficientes para indicar que ensayos similares en Centroamérica podrían resultar en amplios beneficios. Sin embargo, debe tenerse cuidado en la selección de las condiciones climáticas apropiadas para el sistema.

En muchos lugares los rendimientos de los cultivos disminuyen debido a períodos de precipitación excesiva; cuando esto ocurre, puede aumentarse la producción en los valles mejorando el drenaje superficial. Un sistema que ha producido buenos resultados en pendientes hasta de un 3 por ciento (pendientes uniformes hasta un 2 por ciento) es la construcción de eras o bancales en la dirección de la pendiente con una anchura de 20 a 40 metros a una elevación máxima en el centro que varía entre 40 a 80 cm. El aumento en rendimiento con este sistema ha sido usualmente entre un 20 y un 40 por ciento. Normalmente es necesario mejorar el drenaje superficial en los valles, cuando los valores del MAI para uno o más meses excede 1,33.

Los resultados de los ensayos presentados en cuadros 1 y 2 se basan en condiciones estandarizadas que los investigadores consideran casi óptimas con la excepción de los déficits de agua. Se seleccionaron variedades ya bien adaptadas. La fecha de siembra fue casi óptima. El fertilizante se aplicó a razón de 225 Kg/ha de nitrógeno, 112 Kg/ha de P_2O_5 , 112 Kg/ha de K_2O y 20 Kg/ha de $ZnSO_4$. La densidad de población para los ensayos irrigados fue de 62.000 plantas por hectárea con un espaciamiento entre hilera de 76 cm. El control de malezas se hizo mecánicamente y las plagas se controlaron con insecticidas.

Los rendimientos de maíz dados por Shalhevet y otros (8) indican que 225 Kg de N por ha posiblemente no fue suficiente para lograr un rendimiento máximo y que pudo haber sido suficiente para reducir la producción en los niveles más bajos de disponibilidad de humedad. Los datos de Israel indican un nivel óptimo de fertilización de N que puede determinarse aproximadamente con la ecuación:

$$N = 0,32 ET \dots\dots\dots(4)$$

en la cual N está en Kg/ha y ET es la evapotranspiración real del cultivo en mm para la temporada. La relación expresada en la ecuación 4 probablemente ha sido influenciada por varias condiciones o factores que deben determinarse experimentalmente. Sin embargo,, provee una guía o indicación de los niveles aproximados deseables para el diseño de experimentos.

La densidad de población de las plantas se determina a menudo como una función de la disponibilidad de agua. Stewart y otros (9) sugieren 62.000 plantas/ha para maíz bajo riego y 43.000 para terreno sin riego. La densidad óptima puede no estar determinada totalmente en función de la disponibilidad de agua. Chang(1) muestra que la producción óptima de la materia seca es muy sensible a los cambios en el índice de área de la hoja y en la radiación. Esto indicaría que a medida que la radiación y probablemente las temperaturas aumenten la densidad de población de plantas también debiera de aumentarse.

La alta producción de granos alimenticios requiere alta fertilidad especialmente en nitrógeno. La rotación del maíz y el sorgo con leguminosas es una práctica útil que podría generalizarse. Se prefieren los suelos con alto contenido de bases. El pH óptimo para el maíz y el sorgo es de 5,5 a 8,2 y para el arroz es de 5,5 a 7,5.

No es ni sencilla ni fácil la selección de sistemas agrícolas para optimizar la producción. El o los sistemas de producción deben seleccionarse con base en la disponibilidad de la cantidad adecuada de agua. Esta es sin duda la consideración de mayor importancia. Cuando hay suficiente agua pueden aplicarse altos niveles de fertilización. Además, debe seleccionarse la densidad de población apropiada.

En muchos casos la optimización es difícil debido a la tradición y la costumbre. En Africa y Asia se acostumbra usar el frijol "mungo" (*Vigna radiata*). Algunas variedades del frijol "mungo" producen en tan solo 45 días, requieren poca humedad, son ricos en minerales y proteínas y le agregan nitrógeno al suelo si se usan en rotación. Sin embargo, poca gente en Centroamérica ha desarrollado un gusto por las lentejas, incluyendo los frijoles mungo.

Los actuales sistemas de producción se pueden mejorar significativamente por medio de la transferencia de tecnología. Sin embargo, para este fin se requieren mejores registros e informes de las lluvias, la temperatura, la radiación, la fertilización, las variedades, la densidad de población de plantas y otra información pertinente.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

Disponibilidad de agua y condiciones de suelo favorables son los factores principales en la determinación de los posibles sistemas de producción. Ensuelos con un pH de 5,5 o más, son posibles buenos niveles de producción de granos alimenticios.

Una buena producción de maíz sin riego requiere un 75 por ciento de probabilidad de ocurrencia de precipitaciones de 600 a 900 mm, bien distribuida durante aproximadamente 120 días. Para asegurar buenos rendimientos son esenciales 150 a 200 mm de lluvia bien distribuidos durante el período de polinización. Las lluvias excesivas son a menudo, dañinas para la producción.

El sorgo de grano y el frijol usualmente requieren aproximadamente 400 mm de precipitación, bien distribuida, durante 100 días. Parte de este requerimiento puede obtenerse de la humedad almacenada en el suelo. Estos cultivos son menos sensibles que el maíz a escasez de humedad y algunas veces es posible una producción económica con tan solo 300 mm de lluvias bien distribuidas.

Mejora la producción de arroz sin riego si se hacen diques para retener la precipitación. Es posible una buena producción con lluvias confiable y bien distribuidas de 800 mm o más durante 120 días, o cuatro o más meses consecutivos con valores de MAI en exceso de 1,33.

Se proponen los anteriores criterios como guía para la zonificación agroclimática y para el desarrollo de sistemas de producción en Centroamérica. Para la zonificación computarizada se necesitan datos diarios o semanales de la precipitación. Para obtener una indicación gráfica del potencial agrícola puede ser útil la información sobre probabilidades de cantidades predeterminadas durante cortos períodos como se muestra en la Figura 1.

También podrían trazarse con computadora los valores del índice de disponibilidad de humedad, MAI, para períodos semanales o de 10 días en forma similar a la presentación en la Figura 1.

Tal presentación tendría aplicación más directa a la zonificación de cultivos y al desarrollo de los sistemas de producción más deseables. El MAI es un valor de equilibrio de agua y se pueden escoger los límites apropiados para cada cultivo o sistema de producción.

Se ha usado una presentación semigráfica para mostrar áreas de precipitación excesiva, adecuada, semideficiente y claramente deficiente para la producción, durante cortos períodos. Sin embargo, podría ser más útil un gráfico de computadora de los valores del MAI, semanales o por períodos de 10 días. Para la conservación de precipitación y para mejorar el drenaje superficial se recomienda un sistema de eras o bancales y surcos con poco desnivel. Han sido alentadores algunos ensayos

con este sistema en la India resultando en grandes aumentos en la productividad. Se recomiendan ensayos similares para aquellas áreas que pueden beneficiarse de la conservación del agua y el mejoramiento del drenaje superficial. Las prácticas de conservación del agua no son necesarias en áreas con una precipitación algo más elevada. En los valles relativamente planos las eras o bancales orientados en la dirección de la pendiente máxima, usualmente resultan en aumentos en rendimiento de un 20 a un 40 por ciento. Se recomienda un uso más generalizado de bancales en las áreas de más alta precipitación.

Las tasas óptimas para la aplicación de fertilizantes varían con las condiciones del cultivo y del suelo, y, principalmente, con la disponibilidad de agua. Las tasas óptimas de aplicación de nitrógeno son aproximadamente de 80 Kg/ha para arroz seco y entre 200 y 300 Kg/ha para maíz, a condición de que la disponibilidad de humedad sea casi óptima. Algunas veces con buenos niveles de disponibilidad de agua se obtienen aumentos de más de 30 Kg de maíz en grano por Kg de nitrógeno aplicado. Con la aplicación de fertilizante de acuerdo con la disponibilidad de agua, pueden obtenerse grandes aumentos en la producción con base en experiencias en Israel, pareciera que el nivel óptimo de N para el maíz, en Kg/ha es aproximadamente 0,32 veces la evapotranspiración del cultivo en mm. Esta cantidad se recomienda como guía para futuros trabajos experimentales y ensayos comerciales. Sin embargo, como se muestra en el cuadro 2 si ocurrieran déficits de agua durante el período de polinización, estos déficits limitarían tanto la producción que el nivel óptimo de fertilización cambiaría radicalmente.

Si se satisfacen ciertas condiciones, son posibles grandes aumentos en la producción de granos alimenticios en el Istmo Centroamericano. Estas incluyen:

1. La selección del cultivo o sistema de producción con base en las condiciones del suelo y el clima. La principal consideración climática es la disponibilidad de agua. Si el agua es muy abundante, o no es suficiente para el crecimiento del cultivo, debe sustituirse por un cultivo más apropiado.
2. Debe mantenerse un nivel de fertilidad óptima considerándose la disponibilidad de agua, los suelos, el cultivo y el potencial del cultivo para el uso del agua. Si las otras condiciones son favorables, un nivel de alta fertilidad resulta en una productividad alta. Durante los períodos de serio déficit de agua la alta fertilidad usualmente reduce el rendimiento del cultivo.
3. Para cada cultivo, deben determinarse las densidades de siembra y la población de plantas. El número óptimo de plantas lo determinan la disponibilidad de humedad, la energía para producción (radiación y temperatura) y la fertilidad del suelo. Una población óptima de maíz bajo las condiciones más favorables, probablemente fluctúe entre 60 y 70 mil plantas por hectárea.
4. La variedad cultivada debe ser apropiada para las condiciones prevalentes.

CUADRO 1

EFFECTO DEL DEFICIT DE AGUA EN EL RENDIMIENTO DEL SORGO DE GRANO

ET-MM DE LA EPOCA	TONELADAS DE PRODUCCION DE GRANO	% DEFICIT ET			PERIODO DE GRANO	PROMEDIO DE LA EPOCA	% DE REDUCCION DE LA PRO- DUCCION	COEFICIENTE DE REDUCCION DE LA PRODUC- CION
		PERIODO VEGETATIVO	PERIODO POLINIZACION	PERIODO DE GRANO				
496	8,3	0	0	0	0	-	-	
432	7,7	0	9	0	3	7	2,3	
414	8,2	0	26	29	17	1	0,1	
444	6,2	32	0	0	11	25	2,3	
422	7,0	26	0	24	15	16	1,0	
340	6,4	45	48	4	32	23	0,7	
305	5,9	29	40	57	39	29	0,8	

Fuente: Stewart et al.(9)

CUADRO 2

EFFECTO DEL DEFICIT DE AGUA EN LA PRODUCCION DE MAIZ

ET-MM DE LA EPOCA	TONELADAS DE PRODUC- CION DE GRANO	% DEFICIT ET			PROMEDIO DE LA EPOCA	% DE REDUCCION DE LA PRO- DUCCION	COEFICIENTE DE REDUCCION DE LA PRODUC- CION
		PERIODO VEGETATIVO	PERIODO DE POLINIZACION	PERIODO DE GRANO			
659	-	0	0	0	0	-	-
632	9.8	0	0	12	4	5	-
605	10.3	0	0	26	8	0	7
600	5.9	0	17	12	9	43	4.6
560	4.3	0	28	20	15	59	3.9
530	1.2	0	37	26	23	88	4.3
388	3.2	0	36	91	39	69	1.8
515	8.0	48	0	23	22	23	1.0
480	8.1	47	0	41	27	21	0.8
440	1.7	41	39	24	33	84	2.5
331	1.2	39	52	65	49	88	1.8
376	3.6	23	36	71	43	63	1.5
353	5.2	37	33	82	43	55	1.3

Fuente: Stewart et al. (9)

TABLA 3

PRODUCTIVIDAD ES DE LA PRECIPITACION (1) (RP) OBTENIDA EN ALGUNOS SISTEMAS DE PRODUCCION ALTERNATIVOS EN VERTISOLES Y ALFISOLES EN 1975-1976 y 1976-1977 (ICRISAT 1976, ICRISAT 1977)

CUENCA No. 2 y TRATAMIENTO	SISTEMA DE PRODUCCION Y USO DE AGUA (3)	RP (Rs/cm/ha)
<u>1975-1976 Vertisoles</u>		
BWL, angosto (75 cm) eras con desnivel (.6%)	Maíz-garbanzo	58
	Guandul -setaria	34
BW3A, angosto (75 cm) eras con desnivel (.4%)	Maíz-garbanzo	52
	Guandul -setaria	39
	Maiz-sorgo S(5)	62
BW4C, plano, campo terraplenado, tradicional 4	Barbecho-sorgo	12
BW6B, plano terraplenado en contorno	Barbecho-sorgo	16
<u>1976-77 Vertisoles</u>		
BWL, ancho (150, eras con desnivel (.6%)	Maíz-garbanzo	53
	Guandul -maíz	68
BW3A ancho (150 cm), eras con desnivel (0.04%)	Maíz-garbanzo	53
	Maíz-garbanzo S(5)	63
	Guandul -maíz	68
BW4C, plano, terreno terraplenado, tradicional	Barbecho-sorgo	9
BW6B, plano, terraplenado en contorno	Barbecho-sorgo	17
<u>1975-76 Alfisoles</u>		
RW1D, ancho (150 cm), eras con desnivel (.4%)	Guandul -sorgo	36
	Mijo perla-tomate	92
	Mijo perla-tomate S(5)	133
RW1E, plano, terraplenado en contorno	Guandul -sorgo	31
	Mijo-perla-tomate	77
	Mijo perla-tomate S(5)	100
<u>1976-77 Alfisoles</u>		
RW1D, ancho (150 cm) eras con desnivel (.4%)	Guandul -setaria	36
	Maní-alazor	66
RW1E, plano, terraplenado en contorno	Guandul -setaria	30
	Maní-alazor	43

En 1975 el total de precipitación estacional en cuencas Vertisoles fue de 1040 mm y en cuencas Alfisoles fue de 1100 mm; en 1976 la precipitación sobre las Vertisoles fue de 729 mm y sobre las Alfisoles de 680 mm.

2

BW se refiere a cuencas Vertisol; RW a cuencas Alfisol

3

El símbolo "S" seguido de un número significa que se agregó agua en la cantidad dada en cm.

4

Aquellos sistemas definidos como tradicional, simulan prácticas de cultivo locales en términos de semillas, fertilizantes, equipo de labranza, etc., en todos los demás se utilizó óptima tecnología en términos de manejo de la tierra y el cultivo.

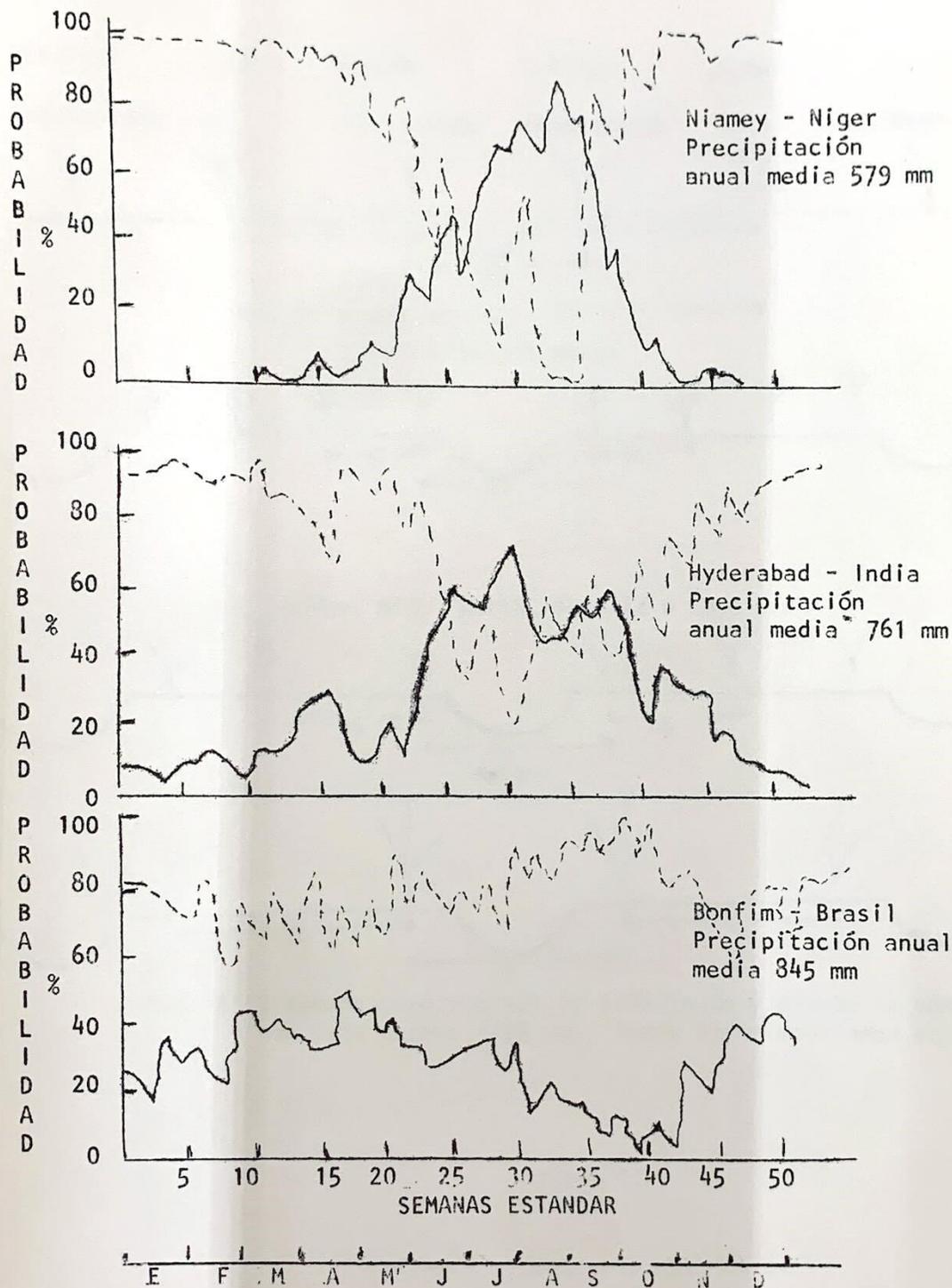


Fig. 1 Patrones de precipitación en tres lugares del SAT.

- Probabilidad de precipitación semanal ≥ 20 mm.
- - - - - Probabilidad de dos semanas "secas" (< 20 mm) consecutivas-

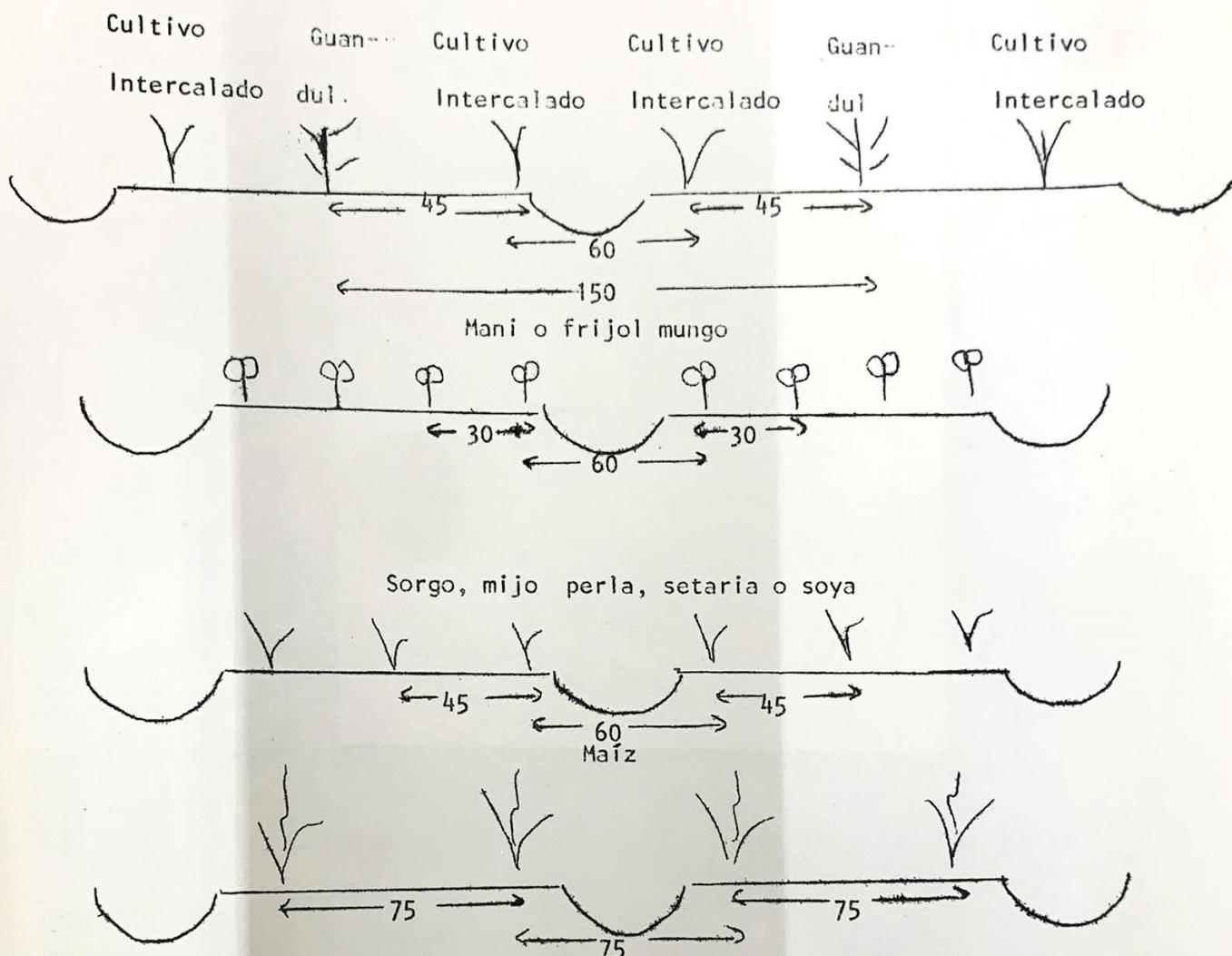


Fig. 2 Sistemas alternativos de producción y diseño de surcos con eras anchas (150 cm). Todas las dimensiones en cm.