



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES**

**Z A R A G O Z A**

ZONIFICACION AGROECOLOGICA DEL ESTADO DE CAMPECHE  
PARA EL CULTIVO DEL ARROZ

(Oryza sativa)

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

**B I O L O G O**

**P R E S E N T A**

**LUIS FELIPE PEREZ HIDALGO**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**JULIO DE 1989**



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. OBJETIVOS, HIPÓTESIS Y SUPUESTOS.....	5
2.1. OBJETIVOS.....	5
2.2. HIPÓTESIS.....	6
2.3. SUPUESTOS.....	6
3. REVISIÓN LITERARIA.....	7
4. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTADO DE CAMPECHE.....	14
4.1. LOCALIZACIÓN DEL ESTADO DE CAMPECHE.....	14
4.2. SUPERFICIE Y LÍMITES.....	14
4.3. VÍAS DE COMUNICACIÓN.....	14
4.4. RELIEVE.....	15
4.5. HIDROLOGÍA.....	15
4.6. AGRICULTURA.....	16
4.7. SUELOS.....	16
4.8. GANADERÍA.....	17
4.9. CLIMA.....	17
5. MATERIAL Y MÉTODO.....	19
5.1. EL ARROZ EN EL ESTADO DE CAMPECHE.....	19
5.2. VARIEDADES DE ARROZ EN EL ESTADO DE CAMPECHE....	21
5.3. MATERIAL CARTOGRÁFICO.....	24
5.4. TIPOS DE UTILIZACIÓN DE LA TIERRA.....	24
5.5. INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA.....	27

5.6. INVENTARIO CLIMÁTICO.....	29
5.7. CLASIFICACIONES AGROCLIMÁTICAS.....	35
5.8. INVENTARIO EDÁFICO.....	39
5.8.1. MODIFICACIONES POR TEXTURA.....	43
5.8.2. MODIFICACIONES POR PENDIENTE.....	43
5.9. ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO MÁXIMO DEL CULTIVO...	44
5.9.1. PRODUCCIÓN DE BIOMASA BRUTA.....	45
5.9.2. ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA NETA.....	57
5.9.3. ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO APROVECHABLE..	58
5.10. RECORRIDO DE CAMPO.....	60
6. RESULTADOS.....	61
6.1. DETERMINACIÓN DE LA DIVISIÓN CLIMÁTICA MAYOR...	61
6.2. PERÍODO DE CRECIMIENTO.....	61
6.3. CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO...	66
6.4. LA ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA.....	68
6.5. ESTIMACIÓN DE LOS RENDIMIENTOS MÁXIMOS.....	70
7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	73
8. CONCLUSIONES.....	75
9. BIBLIOGRAFÍA.....	77
APÉNDICE I.....	80
APÉNDICE II.....	84
APÉNDICE III.....	97

## RESUMEN

En este trabajo se aplicó la metodología de zonificación agroecológica propuesta por F.A.O. en 1981, en el Estado de Campeche, para el cultivo del arroz. La metodología consiste en la obtención de los periodos de crecimiento de cada estación meteorológica del estado, a partir de datos climatológicos (ETP -Evapotranspiración potencial- y P -precipitación-) se proponen las isolíneas de periodo de crecimiento en un mapa a escala 1:250,000, se determina la aptitud agroclimática, el mapa que se obtiene se sobrepone a un mapa edafológico de la misma escala y la aptitud agroclimática se demerita por la subunidad de suelo, la fase, la textura y la pendiente. Este procedimiento se realizó en dos niveles de inversión, el Alto o grandes insumos y el Bajo o pocos insumos. Resultando dos mapas con su clasificación de aptitud agroecológica, además de proponerse para cada nivel de inversión diferentes producciones potenciales de arroz en las zonas clasificadas. Se observa que no hay limitación climática para cultivar arroz en el Estado de Campeche, pero existen muchas limitaciones edáficas como son los suelos calcáreos (*Rendzinas*), las salinas, los de textura gruesa, etc... En conclusión, las limitaciones para cultivar arroz en Campeche son edáficas.

# 1. INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas (O.N.U.), en una serie de investigaciones realizadas en la década de los 70's, estima que para sustentar la población que habitará nuestro planeta en el año 2000 será necesario incrementar la producción agrícola en un 60%. Por esto, planteo la pregunta ¿existe tierra para lograrlo? (ORTIZ, 1981).

La F.A.O. (Food and Agricultural Organization), en 1976, inicia el proyecto de zonas agroecológicas con el objeto de obtener una primera aproximación del potencial de producción de los recursos de las tierras del mundo y, con ello, reunir la base de datos necesaria para planificar el desarrollo de la agricultura en el futuro.

México presenta una superficie de casi dos millones de Km<sup>2</sup> y se caracteriza por la presencia de un mosaico de ambientes, formando hábitats bastante complejos, dado que sus componentes clima, suelo y manejo varían de un punto a otro con bastante facilidad.

Tamayo (1980) señala que el 15% de la superficie total del País, es decir, unas 30 millones de hectáreas, constituye la superficie potencialmente laborable. De ésta, el 80%, o sea 24 millones de hectáreas, son clasificadas como áreas de temporal, de las cuales un gran porcentaje presenta

escasez o inadecuada distribución de la precipitación. Estas causas, entre otras, provocan la obtención de bajos rendimientos de cosecha, mismos que son destinados fundamentalmente para el autoconsumo familiar.

Lo anterior ha provocado que en los últimos años diversos investigadores hayan canalizado sus esfuerzos al desarrollo y aplicación de metodologías que expliquen de manera satisfactoria la relación existente entre los cultivos y el medio en el que se desarrollan.

Sin embargo, muchos de estos estudios han tocado de manera aislada los componentes del medio biofísico, profundizando algunos sobre los aspectos del clima, otros analizando de manera exhaustiva y puntual algunas de las características edáficas, generando modelos explicativos de los rendimientos del cultivo dentro de los cuales introducen algunas de las variables climáticas (generalmente lluvia) con bastante imprecisión geográfica.

De esta manera es evidente que para generar técnicas que eleven la producción es importante tener un amplio conocimiento de los factores clima y suelo, su ubicación y distribución geográfica y la manera en que el hombre pueda hacer uso de ellos.

Una metodología que intenta la integración de los factores ambientales del clima y del suelo, así como el manejo que el hombre les puede dar, es el método de "zonas

agroecológicas", propuesto por la F.A.O. en 1978 y 1981.

El método que se utiliza para el Estado de Campeche en este trabajo inicia con la evaluación cuantitativa de las condiciones climatológicas, de radiación, temperatura y precipitación existentes en una región a través de los períodos de crecimiento, seleccionando los cultivos factibles de desarrollarse bajo tales condiciones. Posteriormente, y con base en la información de la radiación solar, se estiman los rendimientos máximos potenciales de los cultivos, por medio de ecuaciones biofísicas para dos niveles de inversión, los cuales son ajustados por restricciones agroclimáticas que engloban a todas las limitaciones que afectan al cultivo durante su ciclo vegetativo (sequía, plagas, enfermedades, etc.), obteniéndose la aptitud agroclimática de la región para el desarrollo de los cultivos.

Finalmente, los rendimientos agroclimáticos son reevaluados cualitativamente de acuerdo a las características de los suelos de la región (obtenidos a través de cartas edafológicas), definiéndose una caracterización o zonificación agroecológica. Cada zona está representada por una combinación de clima y suelo localizada geográficamente y dentro de las cuales se manifiesta el potencial productivo de los cultivos para dos niveles de inversión.



## 2. OBJETIVOS, HIPÓTESIS Y SUPUESTOS

### 2.1 OBJETIVOS

El objetivo general del presente trabajo es realizar una zonificación agroecológica del Estado de Campeche, para el cultivo del arroz en condiciones de temporal; utilizando la metodología FAO (1981).

Los objetivos particulares son:

- 1.- Determinación de los potenciales climáticos y edáficos del Estado de Campeche para el cultivo del arroz.
- 2.- Compilación de un inventario climático y de suelos (zonas agroecológicas) con referencia al cultivo del arroz en Campeche.
- 3.- Cálculo de la producción potencial en las diferentes zonas agroecológicas reconocidas en Campeche.
- 4.- Clasificación de las tierras en las diferentes clases de aptitud para el cultivo del arroz en el Estado de Campeche.

## 2.2. HIPÓTESIS

El Estado de Campeche muestra una fuerte variabilidad de la aptitud de sus tierras para la producción del cultivo del arroz, por lo que las tierras con mayor potencialidad para el cultivo del arroz pueden ser ubicadas con precisión mediante la metodología de zonificación agroecológica.

## 2.3. SUPUESTOS

- 1.- La distribución y el número de las estaciones climatológicas analizadas son representativas de la superficie total estudiada.
- 2.- El material cartográfico de apoyo representa correctamente las características edáficas y climáticas del área estudiada.
- 3.- La producción o rendimiento en Kg/Ha no está determinada por cuestiones genéticas de la especie o variedades de la especie, ni por manejo agronómico del cultivo, etc.

### 3. REVISIÓN LITERARIA

La zonificación se define como la delimitación de zonas donde los factores del medio físico-biótico se comportan sensiblemente igual, para ser aprovechados con fines diversos (CETENAL, 1976, CITADO POR SÁNCHEZ (1988)). En 1965, el Servicio de la Carta de la Vegetación de Francia definió a la "Zonificación Agroecológica" como la selección de zonas equipotencialmente aptas para la producción de cultivos. Romo (1985) menciona que la zonificación agrícola consiste en establecer las zonas más propicias para la agricultura. Blas (1987), citado por Sánchez (1988), señala que la zonificación agrícola de una región es una caracterización del medio físico para el establecimiento de un cultivo económico.

Primault (1979), citado por Romo (1985), menciona que la delimitación de dichas áreas puede realizarse a través de dos grandes grupos de métodos, los agroclimáticos y los agroecológicos, sustentándose estos últimos en los primeros, es decir, primero se procede con reconocimientos agroclimáticos con escalas relativamente grandes (1:200,000, por ejemplo), para dar seguimiento a la evolución de parámetros meteorológicos básicos y su relación con grupos de cultivos con la misma capacidad de respuesta al clima, para

enseguida dar paso a estudios agroclimáticos más detallados, de unos cuantos Km, donde se analizan parámetros meteorológicos más específicos en relación a una especie vegetal o grupos de variedades. Después de ese nivel los métodos agroclimáticos se vuelven casi inútiles, pues las variaciones espaciales dependen ahora en mayor grado de factores ecológicos, como el suelo, la topografía, la biota, etc. y de factores genéticos. Es aquí, pues, donde entran en juego los métodos agroecológicos que pueden proporcionar información sobre los mejores sitios para que prospere un cultivo, inclusive a nivel de hectáreas o áreas.

Romo (1985) elaboró una metodología para detectar el potencial agroclimático para la producción nacional de cinco cultivos de oleaginosas bajo condiciones de temporal. La metodología valora los índices agroclimáticos de 707 estaciones meteorológicas (para un periodo de observación de 30 años), atendiendo los requerimientos bioclimáticos de temperatura y precipitación para el cultivo, determinando así las mejores áreas geográficas para su establecimiento, agregando además información sobre las fechas promedio de siembra, cosecha, duración de periodo de crecimiento y niveles de rendimiento esperado.

Aguilar (1987) generó para la región central del estado de Tamaulipas una metodología para la regionalización agroclimática de cuatro cultivos básicos de temporal (maíz,

sorgo, frijol y cártamo), la cual incluye información sobre los riesgos de producción por déficit de humedad. La metodología consiste básicamente en lo siguiente: a) análisis de la precipitación observada durante el período de 7 años (1975-1981) en 35 estaciones meteorológicas, b) estimación y delimitación cartográfica de la precipitación con una probabilidad de ocurrencia del 70 y 90% para diferentes épocas cronológicas, c) obtención del número de días con disponibilidad y déficit de humedad utilizando el concepto de período de crecimiento establecido por la F.A.O. (1978-1981), d) información de la siniestabilidad (expresada en porcentaje de la superficie total) causada por déficit de humedad por cultivo y época, e) utilizando regresión lineal simple para relacionar los períodos de crecimiento en función de la precipitación, y la siniestabilidad en función de la precipitación o del período de crecimiento, f) delimitación conjunta de la precipitación al 70 y 90% de probabilidad de ocurrencia y riesgos de siniestabilidad.

Los estudios agroclimáticos constituyen el primer nivel en la búsqueda del potencial productivo de una región. Sin embargo, el rendimiento de un cultivo no es la resultante del efecto aislado de un factor, sino de la acción e interacción de todos los componentes que conforman su entorno ambiental (TARIM, 1987).

Azzi (1971) señala que por importante que pueda ser el efecto de los factores del ambiente físico, es evidente que éstos no son los únicos componentes del rendimiento de los cultivos, sobre los cuales influyen también y en gran medida los factores agrotecnicos o sistemas de cultivos.

Oliver (1973), refiriéndose a los trabajos de Visher, menciona que al relacionar el clima con el rendimiento del cultivo del maíz, es fundamental el efecto de los insumos tecnológicos sobre esta relación.

García (1979) propone una estructura metodológica de tipo cuantitativo para la caracterización de áreas agroecológicas a diferentes niveles de precisión, según lo exhaustivo de la caracterización y de acuerdo a la cantidad y calidad de la información primaria existente. El objetivo fundamental de esta metodología es la localización del potencial productivo de zonas geográficas para diferentes niveles de manejo, expresados como funciones de producción.

Las metodologías existentes para llevar a cabo una zonificación agrícola son muy numerosas y varían de acuerdo a la información disponible, los cultivos por analizar y las características de la zona en cuestión, pero en forma general, las metodologías más empleadas en la zonificación son: la zonificación integral, la zonificación deductiva y la zonificación cuantitativa.

*La zonificación agrícola integral.* Toma en cuenta los aspectos biofísicos y socioeconómicos, pero es obvio que el marco biofísico es el sostén fundamental de la zonificación, a la cual se le plantean dos casos fundamentales (GARCÍA BENAVIDES, 1979):

1) Con base en una lista de cultivos que se deben fomentar por condiciones socioeconómicas, se necesita determinar las mejores áreas para su establecimiento.

2) Dada una área geográfica, se deben determinar los cultivos más aptos que en ella se puedan desarrollar.

Lo anterior se puede lograr con metodologías del tipo deductivo o bien con las del tipo inductivo, dependiendo de la información disponible.

*La zonificación deductiva.* Esta metodología parte de la hipótesis fundamental de que los cultivos darán la misma respuesta en cualquier área con climas y suelos similares y consiste en caracterizar los cultivos por sus tipos agroclimáticos y edáficos, para su posterior ubicación en los espacios geográficos que mejor cubren sus requerimientos de clima y suelo. Con este tipo de zonificación se responde al 'dónde' y 'cuándo' sembrar, pero 'cuánto' se espera obtener, es difícil de contestar, por lo que se tiene que recurrir a un proceso inductivo. (SÁNCHEZ, 1988).

*La zonificación inductiva o cuantitativa.* Consiste en obtener una función de producción en áreas más o menos restringidas (con base en experimentos o datos estadísticos), pero con un espectro de variación suficiente y extrapolar geográficamente dicha función hacia áreas mucho más extensas, cuantificando el incremento o abatimiento del rendimiento, casi siempre relativo, es decir, se produce de lo particular a lo general (GARCÍA BENAVIDES, 1979)

En este trabajo se seleccionó la clasificación agroecológica deductiva, propuesta por F.A.O. (1981), debido a que utiliza a los factores clima, suelo, cultivo y nivel de inversión, de manera que resulta ser la más completa y, además, es la que responde en mayor medida a los conceptos teóricos que se tienen del crecimiento de los cultivos (CUANALO, 1989).

Esta metodología estima el potencial productivo de las tierras del mundo con base en una caracterización agroecológica para cultivos bajo condiciones de temporal, que incluye además información respecto a los tipos de utilización de la tierra, expresados como niveles de inversión altos y bajos. El primero corresponde al de una agricultura comercial caracterizada por utilizar variedades híbridas y rendidoras, adecuada aplicación de fertilizantes y estricto control de plagas y enfermedades, mientras que el segundo define a una agricultura de subsistencia con bajo



nivel tecnológico.

La aplicación del método consiste primeramente en evaluar cuantitativamente las condiciones climatológicas de radiación y temperatura existentes en la región a través de los periodos de crecimiento, seleccionando los cultivos factibles de desarrollar bajo tales condiciones. Posteriormente, y con base en la información de la radiación, se estiman los rendimientos máximos potenciales de los cultivos, por medio de ecuaciones biofísicas para cada nivel de inversión, los cuales son ajustados a las restricciones agroclimáticas que engloban a todas las limitaciones que afectan al cultivo durante su ciclo vegetativo (sequía, plagas, enfermedades, etc.), obteniéndose la adaptabilidad agroclimática de la región para el desarrollo de cultivos.

Finalmente, los rendimientos agroclimáticos son reevaluados cualitativamente de acuerdo a las características de los suelos de la región (obtenidas a través de cartas edafológicas), definiéndose una caracterización o zonificación agroecológica. Cada zona está representada por una combinación del clima y suelo localizada geográficamente y dentro de las cuales se manifiesta el potencial productivo de los cultivos para cada nivel de inversión.

La metodología fue elaborada y probada a nivel continental y se está utilizando en este trabajo a nivel regional.

## 4. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTADO DE CAMPECHE

### 4.1. LOCALIZACIÓN DEL ESTADO DE CAMPECHE.

Situación geográfica: Al Sureste de la República Mexicana, en la parte Oeste de la Península de Yucatán.

### 4.2. SUPERFICIE Y LÍMITES.

La superficie total es de 51,833 Km<sup>2</sup>, y sus límites son al norte Yucatán, al este el Estado de Quintana Roo, al sur la República de Guatemala, al suroeste el Estado de Tabasco y al oeste el Golfo de México.

### 4.3. VÍAS DE COMUNICACIÓN.

La línea de Ferrocarriles Unidos del Sureste, procedente de Coatzacoalcos, que pasa por Villahermosa, Francisco Escárcega, Campeche y Mérida. Carreteras: se comunica con el resto del País por medio de la carretera del Golfo: Campeche-Cd. del Carmen-Villahermosa-Coatzacoalcos, y las de Champotón a Francisco Escárcega y de Sabuncuy a Escárcega, que entroncan con la carretera de Villahermosa a Chetumal. Dos carreteras pavimentadas, de Campeche a Mérida.

**Aéreas:** dos aeropuertos de medio alcance: Campeche y Cd. del Carmen. **Comunicación aérea** con México y Mérida y conexión con las rutas a Isla Mujeres y Cozumel. **Marítimas:** dos puertos. Campeche y Cd. del Carmen.

#### 4.4. RELIEVE.

Carece de relieve montañoso. Es una planicie con lomeras y pequeñas depresiones que forman ondulaciones de escasa altura, no mayores a 50m. La escasa inclinación del terreno hacia el litoral continúa en la plataforma continental, con profundidad no mayor de 200 m y anchura hasta de 200 Km, llamada Sonda de Campeche. Las zonas sur y suroeste son las más bajas, formadas por depósitos de aluvión. El resto del Estado está formado por depósitos de calizas. El litoral, un poco elevado en Campeche y Champotón, es bajo, arenoso y con zonas pantanosas en la porción sur, en donde se encuentran la Laguna de Términos, cerrada en parte por la Isla del Carmen y Aguada.

#### 4.5. HIDROGRAFÍA.

En la región suroeste (llamada de los ríos y lagunas) se encuentran: el Río San Pedro en el límite con Tabasco y los que desembocan en la Laguna de Términos: Palizada (brazo de Usumacinta), Chumpán, Candelaria y sus afluentes y El Mamantel. En la parte media del Estado, El

Champotón. Al oeste de la Laguna de Términos hay varias que desaguan unas en otras: del Pom, Atasta, del Corte y San Carlos.

#### 4.6. AGRICULTURA.

Productos principales: maíz, coco (en la región costera), henequén (en el norte), cítricos (principalmente la naranja (norte)), frijol, caña de azúcar, arroz y calabaza, aguacate, mango, plátano, piña y otros frutales. La agricultura de Campeche enfrenta, entre otros problemas, la falta de tecnificación y la carencia de estudios de Ecología.

#### 4.7. SUELOS.

De acuerdo a la clasificación de suelos F.A.O. - U.N.E.S.C.O., en el Estado de Campeche encontramos las siguientes unidades de suelos; en general, se observa que predominan las Rendzinas y los Gleysoles (eútrico, mólico, plíntico y vértico) en todo el Estado: en la parte norte encontramos áreas con Litosoles, Nitrosoles eútricos y Luvisoles crómicos; en la región sureste se ubican manchones con Vertisoles pélicos; la parte sur presenta Cambisoles (crómicos y ferrálicos) y sigue la dominancia de Gleysoles y Rendzinas; en el centro del Estado encontramos Litosoles, Luvisoles crómicos, Vertisoles (crómicos y pélicos); y en la

parte suroeste se localizan Gleysoles de los tipos ya citados.

#### 4.8. GANADERÍA.

Las zonas ganaderas se concentran en los municipios de Palizada y Carmen. Las especies más importantes son ganado bovino y porcino. La apicultura se ha desarrollado en la zona norte desde hace muchos años.

#### 4.9. CLIMA.

En general, el Estado de Campeche pertenece al grupo climático A, según el sistema de clasificación de Köppen modificado por Enriqueta García (1973). Las características del grupo climático A son: cálido húmedo con temperatura media anual mayor que 22°C y la del mes más frío mayor que 18°C.

El Estado de Campeche se divide en 4 tipos climáticos, que se listan a continuación con una distribución de Noroeste a Suroeste: Aw<sub>0</sub>, Aw<sub>1</sub>, Aw<sub>2</sub>, Am.

**Aw:** Cálido subhúmedo con lluvias en verano, precipitación del mes más seco menor que 60 mm, porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2 de la anual. De acuerdo con su grado de humedad se divide en tres subtipos:

**Aw<sub>0</sub>:** El más seco de los cálidos subhúmedos, con lluvias en verano, con un cociente P/T (precipitación total

anual en mm sobre temperatura media anual en °C)  
menor que 43.2.

**Aw<sub>1</sub>:** Intermedio en cuanto a grado de humedad entre el Aw<sub>0</sub>  
y el Aw<sub>2</sub>, con lluvias en verano, cociente *P/T* entre  
43.2 y 55.3.

**Aw<sub>2</sub>:** El más húmedo de los cálidos subhúmedos, con lluvias  
en verano, cociente *P/T* de 55.3.

**Am:** Cálido húmedo con lluvias en verano, porcentaje de lluvia  
invernal 5 y 10.2 de la anual, precipitación del mes más  
seco menor que 60 mm.

## 5. MATERIAL Y MÉTODO

### 5.1. EL ARROZ EN EL ESTADO DE CAMPECHE <sup>(1)</sup>

En el Estado de Campeche el arroz tiene mayor rendimiento bajo riego y una menor aportación en condiciones de temporal, debiéndose aprovechar el potencial y las condiciones favorables en cuanto a clima, agua y suelo de que se dispone.

El análisis de la actividad arrocería en el Estado de Campeche revela que, en los últimos años, se han canalizado importantes volúmenes de recursos para su fomento.

En los cuatro ciclos más recientes, la superficie habilitada de arroz aumentó 29%. Los montos ejercidos en créditos de avío se incrementaron en 335%. La cobertura del crédito oficial, respecto del total de la superficie cosechada de arroz, es casi del 90% y los montos ejercidos promedio por hectárea sembrada se elevaron, de 1980 a 1983, en un equivalente a 3.5 veces (NAVARRETE, 1984).

Los costos de cultivo promedio por hectárea en el Estado de Campeche se han incrementado en 315%. Los renglones de costo más significativos han tenido el siguiente comportamiento: en preparación de suelos, un incremento de 219%; en control de plagas y enfermedades, de 471%; y en

(1) Véase apéndice III

cosecha, de 246% (NAVARRETE, 1984).

No obstante los importantes apoyos otorgados a los crecientes costos del cultivo, los resultados hasta ahora obtenidos no muestran avances de igual magnitud en los índices de productividad, manifestándose, en cambio, un estancamiento en los indicadores de rendimiento. Las superficies cosechadas en el Estado se incrementaron, de 1975 a 1983, en un porcentaje neto de 172%; la producción obtenida aumentó en 175%. En el mismo período, los rendimientos por hectárea, en cambio, se han mantenido prácticamente iguales, de 2.01 toneladas por hectárea en 1975 y de 2.03 toneladas por hectárea en 1983 (NAVARRETE, 1984).

Como se ha observado en el Estado de Campeche, en los últimos años ha aumentado el área ocupada por arroz y se ha incrementado su valor y producción total. Se le ha dado a su cultivo impulso económico como son préstamos, implementación de maquinaria, fumigación, etc, además del apoyo técnico que otorgan dependencias como la S.A.R.H. (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos) en la utilización de tecnologías para la optimización de la producción. Por las razones anteriores, se decidió como alternativa de uso el arroz.



## 5.2. VARIEDADES DE ARROZ EN EL ESTADO DE CAMPECHE

En el Estado de Campeche se cultivan diferentes variedades de arroz como *CICA-8*, *CHAMPOTON A-80*, *MILAGRO FILIPINO*, *CAMPECHE A-80* y otras, éstas han sido desarrolladas en diferentes partes del mundo como Colombia, Filipinas y México como se puede observar en el tabla 1, en el mismo cuadro se vierten otras características de las variedades como son: áreas de siembra, época de siembra, días a flor, días a madurez, resistencia a sequía y rendimientos. Para el Estado de Campeche, de acuerdo con Rodríguez (1989) investigador de la S.A.R.H. (C.I.F.A.P.-CAMPECHE); la variedad que se cultiva con mayor extensión en el estado, es la *CAMPECHE A-80* que cubre el 98% del área total.

**TABLA 1. RELACION DE VARIETADES RECOMENDADAS PARA SU SIEMBRA EN EL ESTADO DE CAMPECHE, SU ORIGEN, ECOSISTEMA EN EL QUE RESPONDEN MAS FAVORABLEMENTE, AREAS Y EPOCAS SUGERIDAS PARA SU MANEJO Y PRINCIPALES CARACTERISTICAS. (Rodriguez, 1988).**

VARIEDAD	CAMPECHE A-80	CHAMPOTON A-80	PALIZADA A-86	CHETUMAL A-86
ORIGEN	MEXICO	MEXICO	MEXICO	MEXICO
ECOSISTEMA	TF-TD	TF	TF	TF
AREAS DE SIEMBRA	TODOS CAMPECHE	ESCARCEGA-PALIZADA	PALIZADA	PALIZADA
EPOCA DE SIEMBRA	P.V.	P.V.	P.V.	P.V.
DIAS A FLOR	100	100	100	100
DIAS A MADUREZ	140	130	130	130
RESISTENC. PIRI	MS	S	MS	MS
SEQUIA	MR	MS	S	S
REND. 1/ TEMP. T/HA	5.0	4.5	4.0	4.0
REND. 2/ RIEGO T/HA	8.0	7.0	6.0	6.0

TF= TEMPORAL FAVORECIDO  
 TD= TEMPORAL DESFAVORECIDO  
 PV= PRIMAVERA-VERANO  
 OI= OTONO-INVIERNO  
 MR= MODERADAMENTE RESISTENTE  
 MS= MODERADAMENTE SUSCEPTIBLE  
 S= SUSCEPTIBLE  
 AS= ALTAMENTE SUSCEPTIBLE

1/ RENDIMIENTOS POTENCIALES OBTENIDOS POR EXPERIMENTACION EN TEMPORAL.

2/ RENDIMIENTOS POTENCIALES OBTENIDOS POR EXPERIMENTACION EN RIEGO.

**NOTA:** TODAS LAS VARIETADES PUEDEN SER SEMBRADAS BAJO EL SISTEMA DE RIEGO DE AUXILIO DURANTE EL P.V. INDISTINTAMENTE SI LA PREPARACION DE SUELOS ES EN SECO O EN HUMEDO. DURANTE EL O.I. SOLO SE PODRAN SEMBRAR LAS VARIETADES CICA-4, CICA-6, CICA-8 Y MILAGRO FILIPINO POR SER LA DE MENOR CICLO VEGETATIVO, TAMBIEN INDISTINTAMENTE SI LA PREPARACION DE SUELOS ES EN SECO O EN HUMEDO.

TABLA 1. (Continuación)

VARIEDAD	CICA-4	CICA-6	CICA-8	MILAGRO FILIP
ORIGEN	COLOMBIA	COLOMBIA	COLOMBIA	FILIPINAS
ECOSISTEMA	TF	TF	TF-TD	TF
AREAS DE SIEMBRA	PALIZADA	PALIZADA	TODO CAMPECHE	PALIZADA
EPOCA DE SIEMBRA	P.V.-O.I.	P.V.-O.I.	P.V.-O.I.	P.V.-O.I.
DIAS A FLOR	90	85	90	80-85
DIAS A MADUREZ	120	115	120	110-115
RESISTENC. PIRI	S	S	S	AS
SEQUIA	S	S	MR	AS
REND. 1/ TEMP. T/HA	3.0	3.0	4.5	4.0
REND. 2/ RIEGO T/HA	5.0	5.0	7.0	8.0

TF= TEMPORAL FAVORECIDO  
 TD= TEMPORAL DESFAVORECIDO  
 PV= PRIMAVERA-VERANO  
 OI= OTONO-INVIERNO  
 MR= MODERADAMENTE RESISTENTE  
 MS= MODERADAMENTE SUSCEPTIBLE  
 S= SUSCEPTIBLE  
 AS= ALTAMENTE SUSCEPTIBLE

1/ RENDIMIENTOS POTENCIALES OBTENIDOS POR EXPERIMENTACION EN TEMPORAL.

2/ RENDIMIENTOS POTENCIALES OBTENIDOS POR EXPERIMENTACION EN RIEGO.

NOTA: TODAS LAS VARIEDADES PUEDEN SER SEMBRADAS BAJO EL SISTEMA DE RIEGO DE AUXILIO DURANTE EL P.V. INDISTINTAMENTE SI LA PREPARACION DE SUELOS ES EN SECO O EN HUMEDO. DURANTE EL O.I. SOLO SE PODRAN SEMBRAR LAS VARIEDADES CICA-4, CICA-6, CICA-8 Y MILAGRO FILIPINO POR SER LA DE MENOR CICLO VEGETATIVO, TAMBIEN INDISTINTAMENTE SI LA PREPARACION DE SUELOS ES EN SECO O EN HUMEDO.

### 5.3. MATERIAL CARTOGRÁFICO

Para la realización de este trabajo se utilizará el siguiente material:

Mapas edafológicos del Estado de Campeche, escala 1:250,000.

Mapas climatológicos del Estado de Campeche, escala 1:500,000.

### 5.4. TIPOS DE UTILIZACIÓN DE LA TIERRA

Una vez seleccionado el cultivo para su evaluación, es necesario definir las condiciones bajo las cuales se desarrolla. Sin esta definición la evaluación no es válida, debido a que la aptitud para un cultivo varía en forma considerable de acuerdo a las circunstancias bajo las cuales es producido. Lo anterior puede ilustrarse con los siguientes ejemplos: 1) tierras con pendientes de más de 14% o muy pedregosas normalmente no son aptas para labores mecanizadas, pero pueden cultivarse con herramientas manuales y, 2) suelos de textura fina, como los vertisoles, no pueden ser cultivados con herramientas manuales, pero son aptos para las labores mecanizadas.

De esta forma, la descripción de las circunstancias de cómo se cultiva es indispensable para lograr una evaluación adecuada de la tierra. En tales descripciones deberán incluirse inversiones, productos, nivel de conocimiento teórico, tecnología empleada, tenencia y tamaño de parcelas, orientación al mercado, etc., y globalmente son conocidas como tipos de utilización de la tierra.

A nivel nacional es difícil establecer la definición detallada de los tipos de utilización de las tierras, debido a la amplia variación de factores económicos, sociales y de manejo en diferentes regiones. Por lo anterior, se adoptó en este estudio una generalización de los tipos de utilización de las tierras, denominada de *Inversión baja* y de *Inversión alta de capital*, con los siguientes atributos:

<u>ATRIBUTO</u>	<u>INVERSION BAJA</u>	<u>INVERSION ALTA</u>
Producto y Producción	El cultivo del arroz temporal, considerado individualmente (sin asociaciones con otros cultivos).	bajo condiciones de
Orientación al mercado	Producción de subsistencia	Producción comercial
Intensidad de capital	Bajo	Alto
Intensidad de labor	Alta, incluyendo la labor familiar sin pago	Baja, la labor familiar es pagada
Fuente de potencia	Labores y herramientas manuales	Mecanización completa, incluyendo operaciones de cosecha
Tecnología empleada	Variedades locales sin (o insuficiente) aplicación de fertilizantes, sin control químico de plagas y enfermedades, períodos de descanso. Sin irrigación y sin control de agua	Variedades de alto rendimiento, adecuada aplicación de fertilizantes, control químico de plagas, enfermedades y malezas. Sin períodos de descanso. Sin irrigación y sin control de agua
Requerimientos de infraestructura	No es esencial la accesibilidad al mercado, inadecuado servicio de asistencia técnica	Son esenciales vías de comunicación y accesibilidad al mercado. Buen servicio de asistencia técnica
Parcelas	Pequeñas y algunas veces fragmentadas	Grandes y juntas
Nivel de ingreso	Bajo	Alto

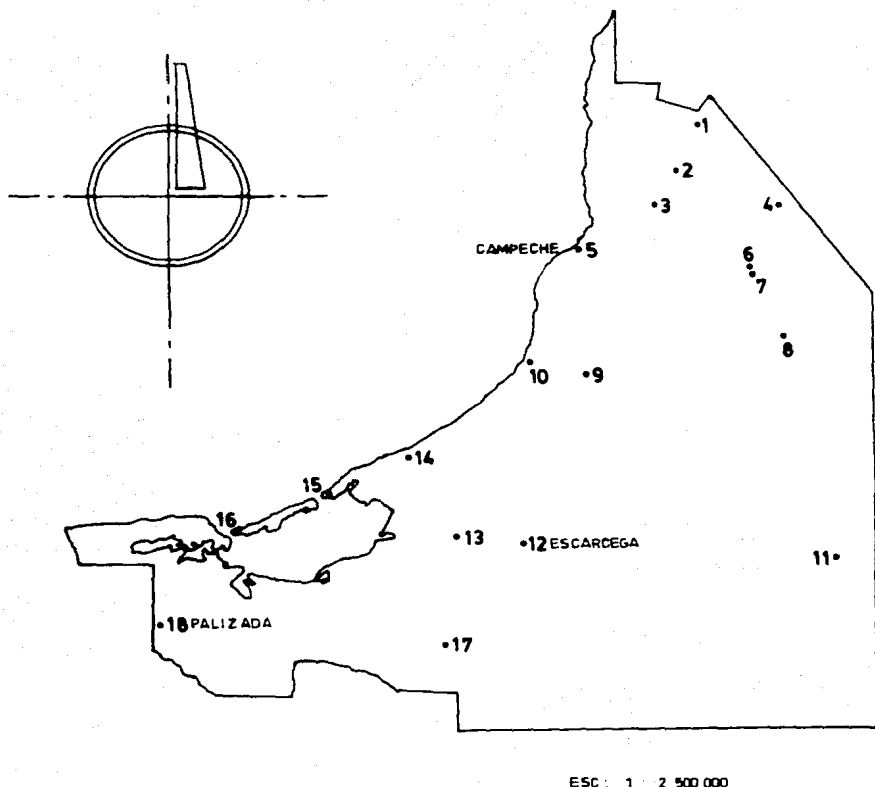
Los niveles de inversión constituyen el factor económico, considerado en forma muy sencilla, de la presente evaluación y se pretende al considerarlo establecer las zonas que ofrezcan un alto porcentaje de seguridad para la inversión de capital o bien que sirva de base para la planeación del desarrollo agrícola de una región.

### 5.5. INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA

Para el análisis del clima fueron seleccionadas un total de 18 estaciones climatológicas (incluyendo el observatorio metereológico de Campeche, Campeche). Los criterios de selección fueron los siguientes: 1) se distribuyen por toda la zona de estudio, 2) presentan mayor información acumulada , y 3) poseen mayor información requerida para el cálculo de los Periodos de Crecimiento. La ubicación geográfica de las estaciones metereológicas se presentan en la figura 1.

El periodo analizado para las 18 estaciones climatológicas seleccionadas fue de un promedio de 25 años (1945-1970). La información climatológica de interés fue la siguiente:

- Temperatura media mensual, en °C.
- Temperatura promedio máxima mensual, en °C.
- Temperatura promedio mínima mensual, en °C.



**Fig.1. Distribución geográfica de las estaciones climatológicas del Estado de Campeche.**

**Estaciones climatológicas:** 1. Calkini, 2. Hecelchacan, 3. Tenabo, 4. Bolonchen, 5. Campeche (Observatorio), 6. Hopelchen, 7. Xcupil, 8. Dzibalchen, 9. Pustunich, 10. Champotón, 11. Zoh Laguna, 12. Escárcega, 13. San Isidro, 14. Sabancuy, 15. Isla Aguada, 16. Cd. del Carmen, 17. Candelaria, 18. Palizada.



- Precipitación total mensual, en mm.
- Evaporación total mensual, en mm.

Para el caso del observatorio meteorológico de Campeche, Campeche, además se obtuvo la siguiente información:

- Total de horas de insolación mensual, en horas.

## 5.6. INVENTARIO CLIMÁTICO <sup>(2)</sup>

La elaboración de un inventario climático consta de dos etapas: 1) definición de las divisiones climáticas mayores, y 2) obtención de *Períodos de Crecimiento*.

Las divisiones climáticas fueron definidas con base en los requerimientos térmicos de cultivos, los cuales limitan su distribución a escala global.

Para establecer las divisiones climáticas mayores, como primer paso se considera el efecto de la latitud, en espacio y tiempo, sobre la temperatura media, para lo cual las temperaturas medias mensuales son convertidas a temperaturas a nivel del mar, considerando un gradiente altotérmico de 0.5°C/100 m de elevación. Si todos los meses

(2) Los incisos del 5.6 al 5.9 se tomaron de la metodología FAO (1981) con algunas modificaciones hechas por el Colegio de Postgraduados (ver Ojeda, 1987).

resultan con una temperatura media mayor de 18°C se le denomina *tropical*, cuando existe un periodo con temperaturas medias mensuales menores de 18°C pero mayores de 5°C se le llama *subtropical* y cuando estos últimos son menores de 5°C se designa como *templada*. Las zonas subtropicales son a su vez divididas de acuerdo a la estación lluviosa (esto es, *subtropical con lluvias en invierno* o *subtropical con lluvias en verano*).

Posteriormente se considera el efecto de la altitud sobre las temperaturas medias durante el periodo de crecimiento (y por ende de la distribución de cultivos) y las divisiones tropicales y subtropicales con lluvias en verano se dividen en cuatro climas mayores, esto es: *caliente* ( $> 20^{\circ}\text{C}$ ), *moderadamente fresco* ( $15-20^{\circ}\text{C}$ ), *fresco* ( $5-15^{\circ}\text{C}$ ) y *frío* ( $< 5^{\circ}\text{C}$ ).

Las divisiones *subtropical con lluvias en invierno* y *templada* son divididas a su vez en dos climas mayores (*fríos* y *templados*).

Lo anterior origina un total de 14 climas mayores para el mundo.

El periodo de crecimiento se considera como el número de días durante el año en el que existe disponibilidad de agua y temperaturas favorables para el desarrollo de un cultivo.

Metodológicamente, el periodo de crecimiento es el número de días durante el año en el cual la precipitación ( $P$ ) excede a la mitad de la evapotranspiración potencial, más el periodo requerido para evapotranspirar 100 mm de agua provenientes del exceso de precipitación y almacenada en el perfil del suelo. Asimismo, se eliminan los días con temperatura menor a  $5^{\circ}\text{C}$ , por que la planta no se desarrolla.

De acuerdo a lo anterior, el periodo de crecimiento se calcula con base en la disponibilidad de agua y por temperatura.

Para el cálculo del periodo de crecimiento por la disponibilidad de agua se efectúa un balance de humedad comparando la precipitación ( $P$ ) con la evapotranspiración potencial ( $ETP$ ). Los datos de  $P$  y  $ETP$  son mensuales. La  $ETP$  es estimada por el método de Penman.

En la figura 2 se muestran los tipos de periodo de crecimiento, según F.A.O. (1978). En el periodo de crecimiento *NORMAL* se muestra que el periodo inicia cuando la  $P = 0.5ETP$  y también se le denomina a este punto inicio de las lluvias. Cuando  $P > ETP$  se tiene un *período húmedo*, en esta etapa al existir un exceso de agua se supone que hay un almacenamiento de la misma en el perfil del suelo. Posteriormente, cuando nuevamente  $P = 0.5ETP$ , se considera como la terminación de la temporada de lluvias, después de la cual la planta puede seguir viviendo con el agua almacenada

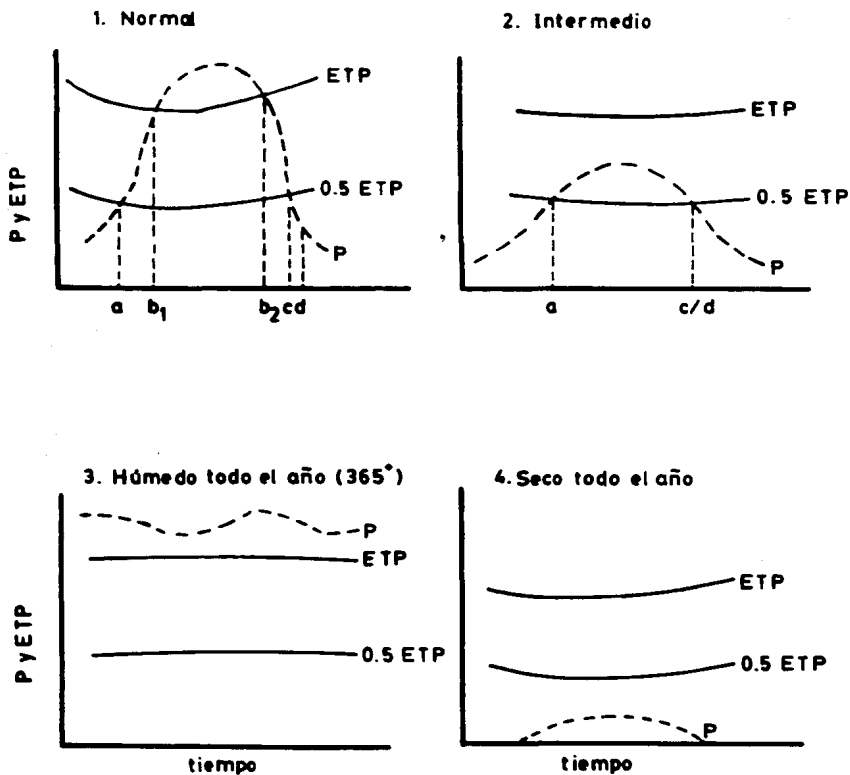


Fig. 2. Ejemplos de cuatro tipos de periodos de crecimiento. (FAO, 1981)

- a - Comienzo de las lluvias y el periodo de crecimiento
- b<sub>1</sub> y b<sub>2</sub> - Inicio y final del periodo húmedo, respectivamente
- c - Final de las y de la estación de las lluvias
- d - Final del periodo de crecimiento con agua almacenada
- P - Precipitación
- ETP - Evapotranspiración potencial

en el suelo. El valor de 100 mm de capacidad de almacenamiento de agua en el suelo es el valor promedio entre la capacidad de almacenamiento para los suelos someros (50 mm) y suelos profundos (150 mm).

Otro tipo de periodo de crecimiento es el *INTERMEDIO*, cuya diferencia con el normal se debe a la falta de periodo húmedo, es decir, no existen excesos de agua o no hay reservas de humedad en el suelo. Esta situación origina que el inicio y la terminación de la temporada de lluvias coincida con el inicio y la terminación del periodo de crecimiento. En el periodo *HUMEDO TODO EL AÑO* la *P* es mayor que la *ETP* en todos los meses, por lo que se considera un periodo de crecimiento de 365 días; y en el periodo *SECO TODO EL AÑO* la *P* es menor que *0.5ETP*, resultando que no existe humedad para el desarrollo de la planta, considerándose como un periodo de 0 días.

La evapotranspiración potencial se estima generalmente por el método de Penman, pero éste tiene serias restricciones para su aplicación en México, ya que el número de estaciones meteorológicas que disponen de datos de insolación real es muy escaso (1% de las estaciones), y de velocidad del viento prácticamente no existen. Lo anterior obliga a buscar otras alternativas, y, al parecer, lo más cercano a la realidad es partiendo de la evaporación potencial (*E<sub>v</sub>*) con la fórmula:

$$ETP = 0.8Ev$$

de acuerdo a las definiciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 1966) y a los trabajos de García (1979).

Otro aspecto importante fue al reevaluar el período de crecimiento en lo referente a la temperatura. Al no contar con datos de temperatura diaria, se optó por eliminar los meses que tuvieran una temperatura media mínima inferior que  $6.5^{\circ}\text{C}$ , porque existen suficientes evidencias para establecer que a dichas temperaturas se presentará al menos un día de heladas en nuestro país.

Cada estación puede ubicarse sobre un mapa y trazar isolíneas de duración de períodos de crecimiento cada 30 días.

Como ya se comentó, el método de Penman para la estimación de la *ETP* no es aplicable en México por las restricciones ya discutidas. Otra de las alternativas para cuando no se tengan datos de *ETP* es utilizar el método de Thornthwaite (Apéndice I), que está basado en datos de temperatura media mensual y precipitación mensual que se consiguen en México.

Por lo tanto, para el Estado de Campeche estimamos la *ETP* con la fórmula  $ETP = 0.8Ev$  y por el método Thornthwaite, según fuera el caso.

Los procedimientos de cómputo para el desarrollo matemático del método, se hicieron utilizando el paquete de computadora LOTUS.

## 5.7. CLASIFICACIONES AGROCLIMÁTICAS

La siguiente fase dentro del proyecto de zonas agroecológicas de F.A.O. fue el desarrollo de una serie de Clasificaciones Agroclimáticas para cultivos específicos. Para lograrlo, fue necesario restringir su aplicación a divisiones climáticas específicas y para un nivel de inversión dado. De esta manera el rendimiento de un cultivo en condiciones de secano depende del periodo de crecimiento.

La relación lógica que se espera entre el rendimiento y los periodos de crecimiento es en forma sigmoideal. Esto significa que a medida que aumenta el periodo de crecimiento aumenta el rendimiento hasta un máximo después del cual tiende a disminuir. Lo anterior es posible explicarlo por la deficiencia y el exceso de humedad.

A través de las gráficas 3 y 4 es posible entender que existe un periodo de crecimiento óptimo para la producción de un cultivo. Sin embargo, el establecer un solo número no sería adecuado si nuestro objetivo es el zonificar, por esta razón se consideró conveniente por la F.A.O. el establecer intervalos utilizando criterios económicos y

CULTIVO: MAIZ

DIVISION CLIMATICA:  
TROPICAL TEMPLADO.

NIVEL DE INVERSION: ALTO

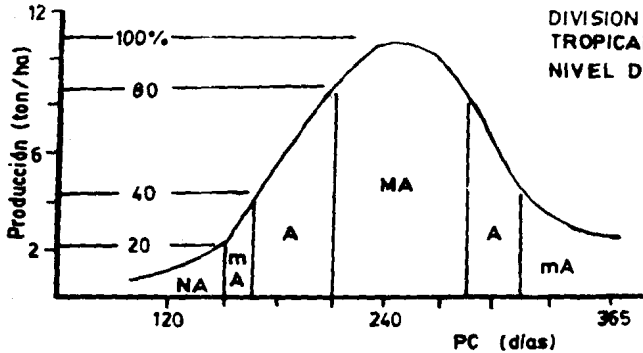


Figura 3.  
Según FAO, 1981

CULTIVO: MAIZ

DIVISION CLIMATICA:  
TROPICAL TEMPLADO.

NIVEL DE INVERSION: BAJO

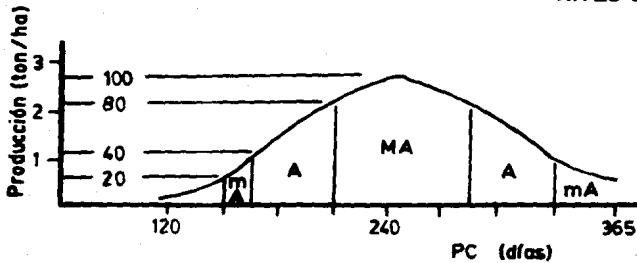


Figura 4.  
Según FAO, 1981.



referido al rendimiento máximo.

En general se puede indicar que existen cuatro clases de aptitudes: muy *apta* (*MA*), *apta* (*A*), *marginamente apta* (*mA*) y *no apta* (*NA*). La clase muy *apta* involucra rendimientos que varían del 80 al 100% del máximo; la clase *A* del 40 al 80%; la clase *mA* del 20 al 40%; y la *NA* menos del 20%. Económicamente, lo anterior significa que *MA* tendrá grandes ganancias; la *A* tendrá ganancias; la *mA* no tendrá ganancias pero tampoco pérdidas y la *NA* siempre tendrá pérdidas.

Resulta conveniente hacer notar que la diferencia entre niveles de inversión respecto al rendimiento de un cultivo es aproximadamente de 1 a 4, esto es, con el nivel de inversión alto es posible obtener hasta 4 veces lo que se produce a nivel de inversión bajo.

Con los valores de rendimientos que corresponden al 20, 40 y 80% del máximo posible, al ubicarlos en las gráficas se relacionan con los valores de periodos de crecimiento y de esta forma se generan los límites de las clases de aptitud.

CUADRO 1. CLASIFICACION AGROCLIMATICA DE CULTIVOS  
(FAO. 1981)

DIVISION CLIMATICA		TROPICAL CALIENTE			
CULTIVO		ARROZ		MAIZ	
NIVEL DE INVERSION		ALTO	BAJO	ALTO	BAJO
C	NA	<120	<120	<90	<100
L	NA				
A	MA	120-179	120-179	90-119	100-119
S	A	180-239	180-239	120-149	120-149
E	MA	240-329	240-329	150-224	150-224
D	A	330-365	330-365	225-284	225-364
E	MA				
A	A				
P	MA	*****	*****	285-365	365
T	NA	*****	*****	*****	*****
I					
T					
U					
D					

## 5.8. INVENTARIO EDÁFICO

Después de evaluar una zona para la producción de un cultivo desde el punto de vista climático, se analiza si se dispone o no de suelos adecuados para su producción.

Sys y Requier (1981), citados por Djeda (1987), realizaron una evaluación para cada unidad de suelos de acuerdo al Sistema F.A.O.-U.N.E.S.C.O., por cultivo y nivel de inversión, calificando a los suelos S1 si no existe ninguna restricción, es decir, la clasificación agroclimática permanece; S2 si existe una restricción moderada, esto es, provoca que la clasificación agroclimática se degrade un una clase y N1 y N2 si no es apta por el suelo para la producción de dicho cultivo (N1 no es apta actualmente y N2 permanente). En el cuadro 2 se muestran las calificaciones de las Unidades de suelos.

Los mismos autores procedieron con las Fases calificando como 0 cuando no hay restricciones, -1 cuando se degrada una clase de clasificación agroclimática y N cuando no es apta para la producción del cultivo (N1 y N2). En el cuadro 3 se presentan las modificaciones por las fases.

CUADRO 2. CALIFICACIONES DE LAS UNIDADES DE SUELOS PARA LA PRODUCCION DE ARROZ EN CONDICIONES DE TEMPORAL (FAO, 1981)

NIVEL DE INVERSION			NIVEL DE INVERSION		
SUB UNIDAD	BAJO	ALTO	SUB UNIDAD	BAJO	ALTO
Ge	S1	S1	Be	S1	S1
Gc	S1	S1	Bd	S2	S1
Gd	S2	S1	Bh	S2	S1
Go	S1	S1	Bg	S1	S1
Gh	S2	S1	Bx	N2	N2
Gp	S2	S2/N2	Bk	S2	S1/S2
Cx	N2	N2	Bc	S1	S1
			Bv	S1	S1
Re	S2	S2	Bf	S2/N2	S2/N2
Rc	S2	S1/S2			
Rd	S2	S2	Lo	S1	S1
Rx	N2	N2	Lc	S1	S1
			Lk	S2	S1/S2
I	N2	N2	Lv	S1	S1
			Lf	S2/N2	S2/N2
Qc	N2	N2	La	S2	S2
Ql	N2	N2	Lp	S2	S2
Qf	N2	N2	Lg	S1	S1
Qa	N2	N2			
			We	S1	S1
E	N2	N2	Wd	S2	S1
			Wm	S1	S1
U	N2	N2	Wh	S2	S1
			Ws	S2/N2	S2/N1
To	S1	S1	Wx	N2	N2
Tm	S1	S1			
Th	S1	S1	Ao	S2	S1
Tv	N2	N2	Af	S2/N2	S2/N2
			Ah	S2	S1
Vp	S2	S1	Ap	S2	S1/S2
Vc	S2	S1	Ag	S1/S2	S1
Zo	N2	N2	Ne	S1	S1
Zm	S2/N2	S2/N1	Nd	S2	S1
Zt	N2	N2	Nh	S2	S1
Zg	S2/N2	S2/N1			

Continúa...

CUADRO 2. CALIFICACIONES DE LAS UNIDADES DE SUELOS PARA LA PRODUCCION DE ARROZ EN CONDICIONES DE TEMPORAL (FAO, 1981)

*Continuación...*

NIVEL DE INVERSION			NIVEL DE INVERSION		
SUB UNIDAD	BAJO	ALTO	SUB UNIDAD	BAJO	ALTO
So	N2	N1/N2	Fo	N2	S2
Sm	N2	N1/N2	Fx	S2	S2
Sg	N2	N1/N2	Fr	S1/S2	S1/S2
			Fh	S1/S2	S1/S2
			Fa	N2	N1
			Fp	S2	S2
Kh	S2	S2	Oe	S2/N2	S2/N2
Kk	S2	S1/S2	Od	N2	N2
Kl	S1	S1	Ox	N2	N2
Hh	S1	S1			
Hc	S2	S1/S2			
Hl	S1	S1			
H	S1	S1			

**CUADRO 3. MODIFICACIONES POR FASES PARA ARROZ  
(FAO, 1981)**

F A S E	NIVEL DE INVERSION	
	BAJO	ALTO
Pedregosa	N2	N2
Lítica	N2	N2
Pátrica	-1/N2	-1/N2
Petrocalcica	-1/N2	-1/N2
Petrogipsica	-1/N2	-1/N2
Petroferrica	-1/N2	-1/N2
Fredica	0	0
Fragipán	0/-1	0/-1
Duripán	0/-1	0/-1
Salina	N2	N2
Sódica	0/-1	0/-1

### 5.8.1. Modificaciones por Textura.

La metodología original indica que las texturas medias y finas (2 y 3, respectivamente) permanecen sin cambio y los suelos con textura gruesa (1) se degradan en una clase.

### 5.8.2. Modificaciones por Pendiente

Las pendientes óptimas y marginales para los cultivos estudiados se presentan en el cuadro 4. las pendientes óptimas permanecen sin cambio y las marginales degradarían en una clase a la clasificación agroclimática.

En el Estado de Campeche existe en general una topografía plana o de lomeríos, y es evidente que los suelos que tienen posibilidades para la producción de arroz, son los que pertenecen a la topografía plana, que casi son la totalidad del Estado.

**CUADRO 4 PENDIENTES OPTIMAS Y MARGINALES PARA EL CULTIVO DEL ARROZ Y NIVEL DE INVERSION**  
(Sys y Riquier, 1980, In: OJEDA, 1987)

PENDIENTE (X)			
INVERSION ALTA		INVERSION BAJA	
OPTIMA	MARGINAL	OPTIMA	MARGINAL
0 - 4	4 - 8	0 - 4	4 - 8

## 5.9. ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO MÁXIMO DEL CULTIVO

El rendimiento máximo del cultivo se expresa como su capacidad genética para producir biomasa neta y la fracción que de ésta se pueda transformar en materia económicamente aprovechable (grano, forraje, fruto, etc.). Sus cálculos requieren de información climática (radiación y temperatura) durante el ciclo vegetativo, tomando en cuenta las características fotosintéticas de las plantas, (P.A.O., 1968).

Para estimar la producción de biomasa neta y los rendimientos económicos se requiere primeramente del cálculo de la producción de biomasa bruta y de la pérdida energética por la respiración del cultivo.

La estimación de los rendimientos máximos en el área de estudio se hizo para cada una de las estaciones climatológicas estudiadas, de acuerdo a sus características ambientales, considerando la información de las normales climatológicas (1941-1970).

Para los rendimientos del cultivo fue necesario recopilar la siguiente información:

- 1) Información referente al clima por estación climatológica.
  - Ubicación geográfica: latitud, longitud y altitud.
  - Inicio, término y duración del periodo de crecimiento,



en días.

- Incidencia de radiación global media, durante el periodo de crecimiento, en  $\text{cal}/\text{cm}^2/\text{día}$ .
- Temperatura media mensual durante el periodo de crecimiento, en  $^{\circ}\text{C}$ .
- Temperatura promedio de máxima mensual durante el periodo de crecimiento, en  $^{\circ}\text{C}$ .
- Temperatura promedio de mínima mensual durante el periodo de crecimiento, en  $^{\circ}\text{C}$ .

## 2) Información referente al cultivo.

- Tipo del cultivo.
- Periodo vegetativo del cultivo, desde la siembra hasta la madurez fisiológica, en días.
- Índice de cosecha del cultivo, en porcentaje.
- Grupo de adaptabilidad climática del cultivo.

### 5.9.1. Producción de biomasa bruta

De acuerdo con Odum (1971), la producción de biomasa bruta se define como la asimilación total de la fotosíntesis, incluyendo el gasto energético que por concepto de la respiración el cultivo tenga que cubrir.

La estimación de la producción de biomasa bruta se realizó para los periodos de crecimiento de cada una de las estaciones climatológicas, utilizando la fórmula de De Wit

(1965), citada por la F.A.O. (1981).

$$bgm = F \times bo + (1 - F)bc \quad \text{Ec 1}$$

Donde:

**bgm** = Producción bruta de materia seca para un cultivo, en Kg/Ha/día.

**F** = Fracción del tiempo del día en que el cielo está nublado. Se obtiene como:

$$F = \frac{(Ac - 0.5 Rg)}{0.8 Ac}$$

Donde **Ac** es la radiación fotosintéticamente activa para días despejados, en cal/cm<sup>2</sup>/día, y **Rg** es la radiación global de onda corta, percibida en la zona, se mide en cal/cm<sup>2</sup>/día.

**bo** = Producción bruta de materia seca para un cultivo, en un día completamente nublado, en Kg/ha/día.

**bc** = Producción bruta de materia seca para un día despejado, en Kg/Ha/día.

Las variables **Ac**, **bo** y **bc** se obtuvieron en función de la latitud para cada una de las estaciones, utilizando el cuadro 5, con la observación de que los valores **bo** y **bc**

corresponden a una fotosíntesis máxima ( $P_m$ ) de 20 Kg/Ha/h.

Un dato importante para la estimación de los rendimientos de un cultivo es el de radiación global. Sin embargo, la observación directa de esta variable no se registraba en las estaciones climatológicas estudiadas, por lo que se decidió estimarla en función de la insolación, utilizando la fórmula modificada de Angstrom.

La fórmula modificada de Angstrom, citada por Ortiz (1984), es la siguiente:

$$R_g/RA = a + b (n/N) \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

$R_g$  = Radiación global, en  $\text{cal/cm}^2/\text{día}$

$RA$  = Radiación solar teórica o valor de Angot, en mm de agua evaporable (1 mm = 59 calorías)

$a, b$  = Coeficientes de regresión

$n$  = Período de insolación, en horas y décimas de hora

$N$  = Duración astronómica de la insolación, en horas y décimas de hora

Los valores medios mensuales de las variables  $N$  y  $RA$  se obtuvieron de los cuadros 6 y 7, respectivamente, en función de la latitud.

**CUADRO 5. RADIACION FOTOSINTETICAMENTE ACTIVA EN DIAS TOTALMENTE DESPEJADOS (Ac), EN  $\text{cal/cm}^2/\text{dia}$  Y VELOCIDAD DE FOTOSINTESIS BRUTA (DIARIA) DEL FOLLAJE EN DIAS TOTALMENTE DESPEJADOS (bc) Y CUBIERTOS (bo), EN  $\text{Kg/Ha}/\text{dia}$ , CON  $P_m = 20 \text{ Kg}$  DE  $\text{CH}_2\text{O}/\text{Ha}/\text{h}$  (FUENTE: De WIT, CITADO POR OJEDA (1987))**

Latitud Norte		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.
0°	Ac	343	360	369	364	348	337
	bc	413	424	429	426	417	410
	bo	219	226	230	228	221	216
10°	Ac	299	332	359	375	377	374
	bc	376	401	422	437	440	440
	bo	197	212	225	234	236	235
20°	Ac	249	293	337	375	394	400
	bc	334	371	407	439	460	468
	bo	170	193	215	235	246	250
30°	Ac	191	245	303	363	400	417
	bc	281	333	385	437	471	489
	bo	137	168	200	232	251	261
40°	Ac	131	190	260	339	396	422
	bc	218	283	353	427	480	506
	bo	99	137	178	223	253	268

continúa...

CUADRO 5. Continuación...

Latitud Norte		Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
0°	Ac	342	357	368	365	349	337
	bc	413	422	429	427	418	410
	bo	218	225	230	228	222	216
10°	Ac	375	377	369	345	311	291
	bc	440	439	431	411	385	370
	bo	236	235	230	218	203	193
20°	Ac	399	386	357	313	264	238
	bc	465	451	425	387	348	325
	bo	249	242	226	203	178	164
30°	Ac	411	384	333	270	210	179
	bc	438	456	412	356	299	269
	bo	258	243	216	182	148	130
40°	Ac	413	369	298	220	151	118
	bc	497	455	390	314	241	204
	bo	263	239	200	155	112	91

**CUADRO 6. DURACION ASTRONOMICA DE LA INSOLACION (N). PROMEDIO MENSUAL, EN HORAS Y DECIMOS DE HORA. (FAO, 1981)**

Meses	Latitud Norte						
	40°	35°	30°	25°	20°	15°	10°
Ene	9.6	10.1	10.4	10.7	11.0	11.3	11.6
Feb	10.7	11.0	11.1	11.3	11.5	11.6	11.8
Mar	11.9	11.9	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Abr	13.3	13.1	12.9	12.7	12.6	12.5	12.3
May	14.4	14.0	13.6	13.3	13.1	12.8	12.6
Jun	15.0	14.5	14.0	13.7	13.3	13.0	12.7
Jul	14.7	14.3	13.9	13.5	13.2	12.9	12.6
Ago	13.7	13.5	13.2	13.0	12.8	12.6	12.4
Sep	12.5	12.4	12.4	12.3	12.3	12.2	12.1
Oct	11.2	11.3	11.5	11.6	11.7	11.8	11.8
Nov	10.0	10.3	10.6	10.9	11.2	11.4	11.6
Dic	9.3	9.8	10.2	10.6	10.9	11.2	11.5

**CUADRO 7. RADIACION SOLAR (RA) SOBRE UNA SUPERFICIE HORIZONTAL, EXPRESADA COMO mm DE AGUA EVAPORADA (FAO, 1981)**

Latitud Norte	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.
40°	6.44	8.56	11.40	14.32	16.36	17.29
38°	6.91	8.98	11.75	14.50	16.39	17.22
36°	7.38	9.39	12.10	14.67	16.43	17.10
34°	7.85	9.82	12.44	14.84	16.46	17.09
32°	8.32	10.24	12.77	15.00	16.50	17.20
30°	8.81	10.68	13.14	15.17	16.53	16.95
28°	9.29	11.09	13.39	15.26	16.48	16.83
26°	9.79	11.50	13.65	15.34	16.43	16.71
24°	10.20	11.89	13.90	15.43	16.37	16.59
22°	10.70	11.30	14.16	15.51	16.32	16.47
20°	11.19	12.71	14.41	15.60	16.27	16.36
18°	11.60	13.02	14.60	15.62	16.11	16.14
16°	12.00	13.32	14.69	15.64	15.99	15.92
14°	12.41	13.62	14.89	15.65	15.83	15.70
12°	12.82	13.93	15.08	15.66	15.67	15.48
10°	13.22	14.24	15.26	15.68	15.51	15.26

*Continua...*

CUADRO 7. Construcción...

Latitud Norte	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
40°	16.70	15.17	12.54	9.58	7.03	5.68
38°	16.72	15.27	12.81	9.98	7.52	6.10
36°	16.73	15.37	13.08	10.59	8.00	6.62
34°	16.75	15.48	13.35	10.79	8.50	7.18
32°	16.76	15.58	13.63	11.20	8.99	7.66
30°	16.78	15.68	13.90	11.61	9.49	8.31
28°	16.68	15.71	14.08	11.95	9.90	8.79
26°	16.58	15.74	14.26	12.30	10.31	9.27
24°	16.47	15.78	14.45	12.64	10.71	9.73
22°	16.37	15.81	14.64	12.98	11.11	10.20
20°	16.27	15.85	14.83	13.31	11.61	10.68
18°	16.09	15.79	14.94	13.58	12.02	11.12
16°	15.91	15.72	15.04	13.85	12.43	11.57
14°	15.72	15.65	15.14	14.12	12.84	12.02
12°	15.53	15.58	15.24	14.38	13.25	12.47
10°	15.34	15.51	15.34	14.66	13.56	12.88



Para obtener los valores de los coeficientes a y b, Frère y Popov (1980) proponen tres conjuntos de coeficientes, basados en las experiencias obtenidas de la aplicación del método bajo diferentes condiciones climatológicas.

Estos conjuntos de coeficientes son los siguientes:

a	b	
0.18 +	0.55	Para zonas frías y templadas
0.25 +	0.45	Para zonas tropicales secas
0.29 +	0.42	Para zonas tropicales húmedas

Decidiéndose utilizar los coeficientes de zonas tropicales húmedas, por ser la condición climática más similar al área de estudio.

Para obtener la radiación global, sólo fue necesario despejar  $R_g$  de la Ec. 2 y sustituir por los valores correspondientes.

$$R_g = RA \{a + b (n/ND)\}$$

Sin embargo, la información referente a la insolación sólo estaba disponible para el Observatorio Meteorológico de Campeche. Esto dificultaba estimar la incidencia de la radiación para el resto de las estaciones climatológicas.

Para resolver esta situación, se realizó una correlación entre la radiación global y la temperatura máxima

promedio mensual, obteniéndose un modelo para el Observatorio de Campeche, el cual fue generalizado a toda el área de estudio.

El modelo obtenido fue el siguiente:

$$R_g = -336.17 + 25.21(T_{máx})$$

donde:

$T_{máx}$  = Temperatura máxima.

El coeficiente de determinación ( $r^2$ ) para este modelo es de 0.85.

De esta manera, generadas todas las variables, sólo fue necesario sustituir y resolver aritmeticamente la Ec. 1, para obtener la bgm. Sin embargo, como ya se señaló, esta fórmula fue derivada para una fotosíntesis máxima ( $P_m$ ) de 20 Kg/Ha/h, por lo que fue necesario hacer los ajustes correspondientes.

La F.A.O. (1981) señala que cuando los valores de  $P_m$  son diferentes de 20 Kg/Ha/h, los datos  $b_0$  y  $b_c$  son corregidos a través de las siguientes expresiones:

Cuando  $P_m > 20$  Kg/Ha/h

$$F_c = 0.002 \times DP \times F \times b_0 + 0.005 \times DP \times (1-F) \times b_c \quad \text{Ec. 3}$$

Cuando  $P_m < 20$  Kg/Ha/h

$$F_c = 0.005 \times D_f \times F \times b_o + 0.01 \times DP \times (1-F) \times b_c \quad \text{Ec. 4}$$

donde:

$F_c$  = Factor de corrección para los datos  $b_o$  y  $b_c$ ,  
en Kg/Ha/día

$DP$  = Diferencia porcentual entre la fotosíntesis  
máxima efectiva y la fotosíntesis de 20Kg/Ha/h  
Se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$DP = (5 \times PNE) - 100 \quad \text{Ec. 5}$$

para  $P_m > 20$  Kg/Ha/h, y

$$DP = (5 \times PNE) \quad \text{Ec. 6}$$

para  $P_m < 20$  Kg/Ha/h.

Donde PNE es la fotosíntesis máxima efectiva.  
Se obtiene en función de la temperatura y  
grupo de cultivo (figura 5).

El factor de corrección se suma o resta según sea  
el caso. Los valores ajustados de  $b_{gm}$  se obtuvieron por medio  
de la siguiente ecuación:

$$b_{gm}' = b_{gm} \pm F_c \quad \text{Ec. 7}$$

donde:

$b_{gm}'$  = Producción de biomasa bruta corregida

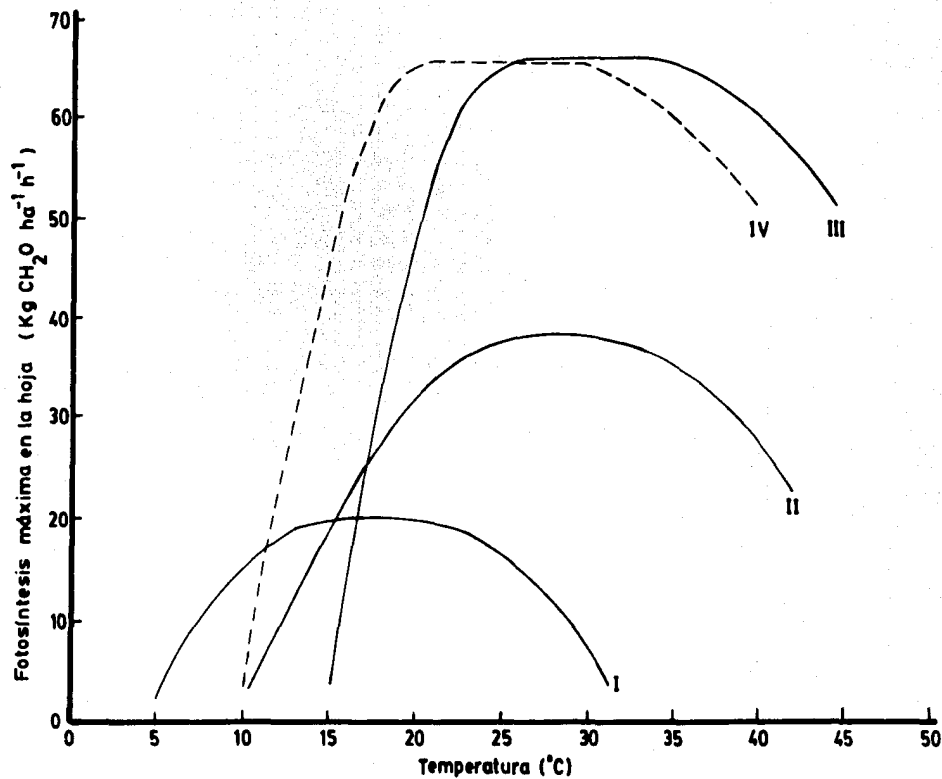


Fig. 5. Relación media entre la velocidad máxima de fotosíntesis en la hoja ( $P_m$ ) y la temperatura, en los grupos de cultivos I, II, III, IV. (FAO, 1981)

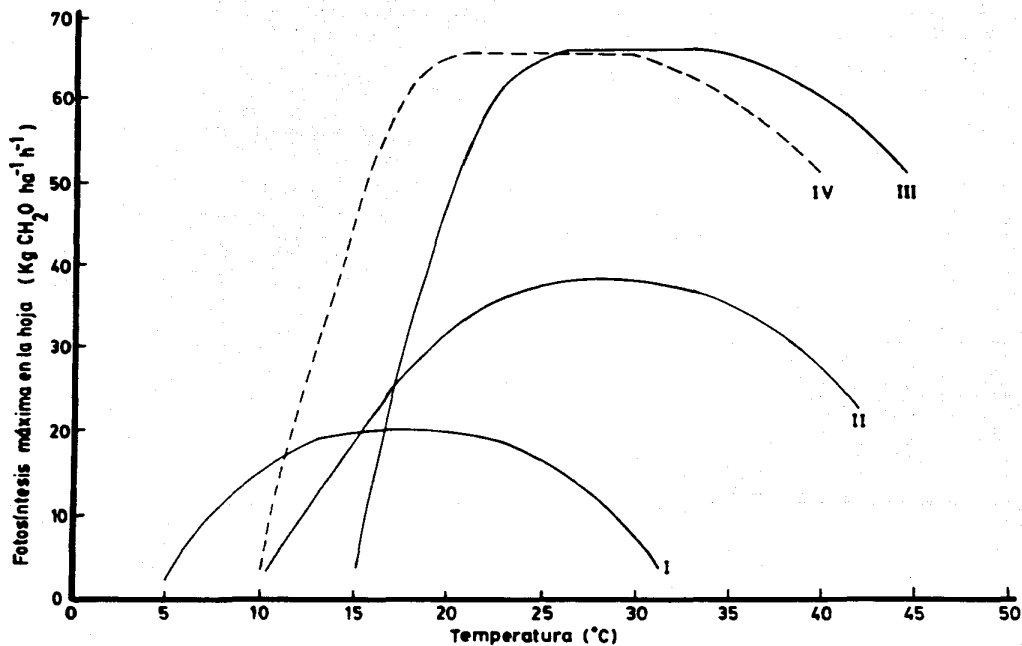


Fig. 5. Relación media entre la velocidad máxima de fotosíntesis en la hoja ( $P_m$ ) y la temperatura, en los grupos de cultivos I, II, III, IV. (FAO, 1981)

Para el área de estudio, en general la *bgm* estuvo por encima de los 20 Kg/Ha/h, por lo tanto, hubo de hacerse los ajustes correspondientes, utilizando para esto las Ecs. 3, 5 y 7 y la figura 5.

### 5.9.2. Estimación de la producción de biomasa neta

Odum (1971) señala que la producción de biomasa neta, es la velocidad con que se almacenan los compuestos orgánicos en los tejidos vegetales en exceso con respecto a la utilización respiratoria por parte de las plantas.

Para estimar la producción de biomasa neta se utilizó la siguiente expresión:

$$B_n = \frac{(0.36 \text{ bgm}^*)}{(1/N + 0.25 \text{ Ct})} \quad \text{Ec. 8}$$

donde:

$B_n$  = Producción de biomasa neta, en ton/Ha

$N$  = Número de días del cultivo en su ciclo de desarrollo

$C_t$  = Coeficiente de respiración, se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$C_t = C_{30}(0.044 + 0.00019 T + 0.0010 T^2) \quad \text{Ec. 9}$$

donde:

$C_{30}$  = Coeficiente de respiración a 30°C. Sus valores son 0.0283 para leguminosas y 0.0108 para no leguminosas.

T = Promedio de la temperatura media de las 24 horas durante el periodo de crecimiento.

Respecto a este último punto, es necesario aclarar que en México las estaciones climatológicas no registran las temperaturas medias durante las 24 horas del día. Ante esto se decidió utilizar el valor promedio de la temperatura media mensual durante el periodo de crecimiento. Por otro lado, esta expresión fue generada considerando un índice de área foliar (IAF)<sup>{s}</sup> igual a cinco.

En cuanto a esto, la F.A.O. (1981) señala que para los casos en que el IAF sea superior a cinco, se asume que el efecto sobre la velocidad máxima de crecimiento de un cultivo es mínima. Pero si éste es inferior a cinco, entonces los valores de rendimiento deberán ajustarse con el valor del coeficiente adecuado, obtenido en la figura 6.

### 5.9.3. Estimación del rendimiento aprovechable

El rendimiento aprovechable del cultivo se define como la fracción económicamente aprovechable de la biomasa neta. Se obtuvo a través de la siguiente ecuación:

{s} IAF es la relación existente entre la superficie foliar y el área sembrada.

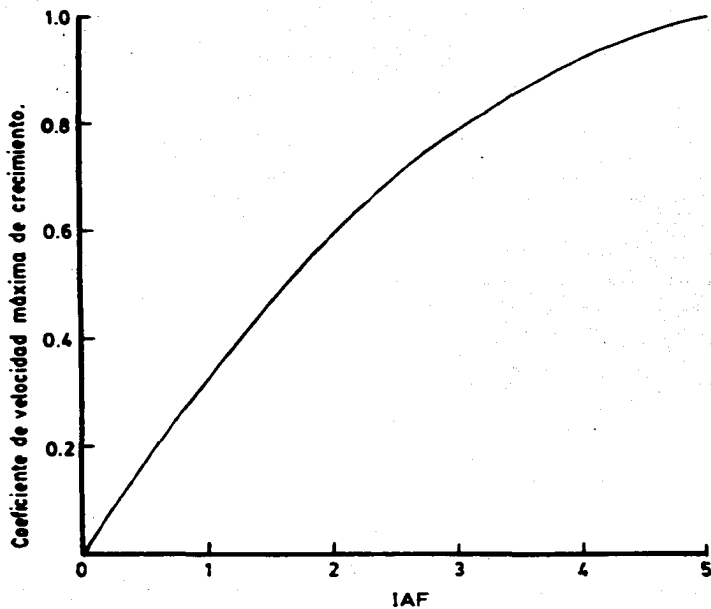


Fig. 6. Relación entre el índice de área foliar y la velocidad máxima de crecimiento, como coeficiente de la velocidad máxima de crecimiento con índice foliar 5. (FAO, 1981)



$$REA = Bn \times Ic$$

Ec. 10

donde:

REA = Rendimiento económicamente aprovechable en ton/Ha.

IC = Índice de cosecha, en porciento.

El índice de cosecha se define como la fracción de biomasa neta que puede ser aprovechada. Su valor depende de factores tales como el potencial genético del cultivo (alto y bajo rendimiento), el régimen de humedad (riego o temporal) y el sistema de cultivo. Para el caso del arroz, el valor es de 0.3, según F.A.O. (1981).

### 5.10. Recorrido de campo

Con el fin de obtener una opinión experimentada, los resultados de la zonificación agroecológica fueron puestos a la consideración de los investigadores de la S.A.R.H. de Campeche, quienes se dedican al estudio de la producción de arroz. De manera general, las opiniones vertidas por éstos corroboraron la distribución geográfica de las aptitudes para el cultivo del arroz.

El recorrido de campo se realizó en el Distrito de Desarrollo de Champotón, transportándonos por el camino de terracería que va de éste a Yohaltum. Se efectuaron tres paradas -Felipe Carrillo Puerto, Paraíso y Yohaltum-, y en cada una de ellas se realizó una barrenación.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. DETERMINACIÓN DE LA DIVISIÓN CLIMÁTICA MAYOR

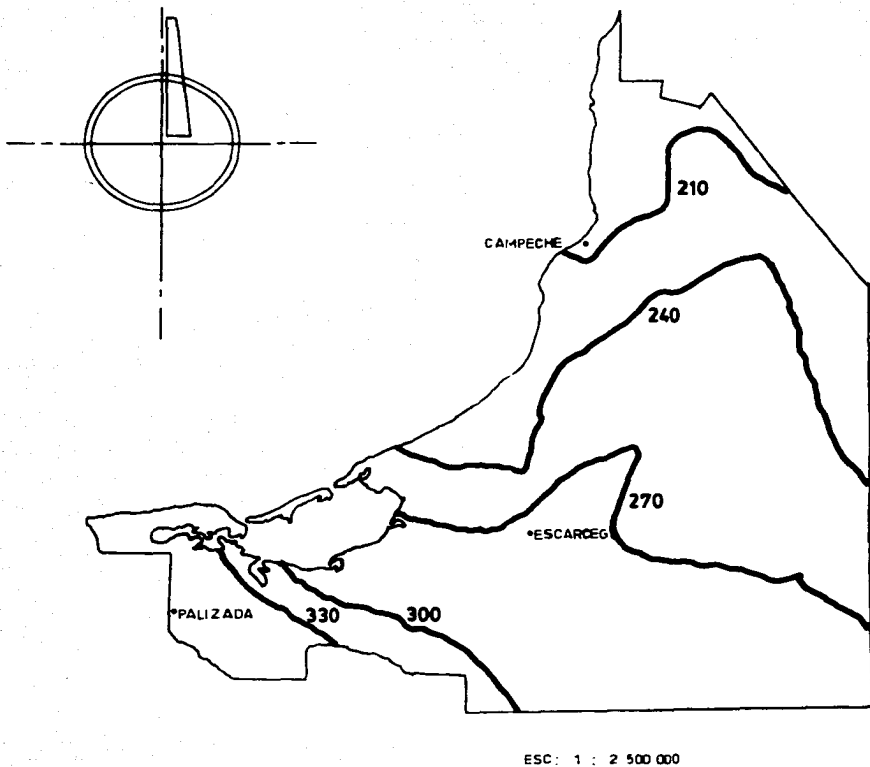
Debido a las condiciones de latitud y por encontrarse al nivel del mar, la zona de estudio presenta una temperatura media mensual mayor a los 18°C para todos los meses del año y una temperatura media mensual durante el período de crecimiento mayor a los 20°C, clasificándose como una zona tropical caliente. Este clima resulta muy adecuado para el desarrollo del cultivo del arroz.

### 6.2. PERÍODO DE CRECIMIENTO

Los periodos de crecimiento permitieron separar áreas con diferentes potenciales agrícolas para el desarrollo del cultivo del arroz.

De manera general, el área de estudio está delimitada por isolíneas de 210, 240, 270, 300 y 330 días, con una tendencia ascendente de noreste a suroeste (figura 7).

La duración de los periodos de crecimiento por estación climatológica se encuentran en el cuadro 8, en donde se observa que el período más largo corresponde a la estación de Palizada con 348 días, mientras que el más corto fue en el



**Fig.7. Distribución de los periodos de crecimiento en días del Edo. de Campeche. Se realizó por medio de interpolación entre estaciones meteorológicas.**

CUADRO 8. DURACION EN DIAS DEL PERIODO DE CRECIMIENTO

No. de estación Meteorológica	Periodo de crecimiento		Duración del PC
	Inicio	Final+100mm	
1. Calkini	25 mayo	19 dic	208
2. Hecelchacan	15 mayo	12 ene	242
3. Tenabo	29 mayo	20 dic	206
4. Bolonchen	23 may	7 ene	229
5. Campeche (observ)	8 jun	20 dic	195
6. Hopelchen	19 may	15 ene	241
7. Xcupil	16 may	20 ene	249
8. Dzibalchen	12 may	27 ene	260
9. Pustunich	15 may	1 feb	262
10. Champotón	6 jun	6 ene	214
11. Zoh laguna	9 may	20 ene	256
12. Escárcega	24 may	23 feb	275
13. San Isidro	3 jun	26 feb	268
14. Sabancuy	21 jun	17 feb	241
15. Isla aguada	16 jun	5 mar	262
16. Cd. del Carmen	21 may	29 mar	312
17. Candelaria	22 may	11 mar	293
18. Palizada	9 may	22 abr	348

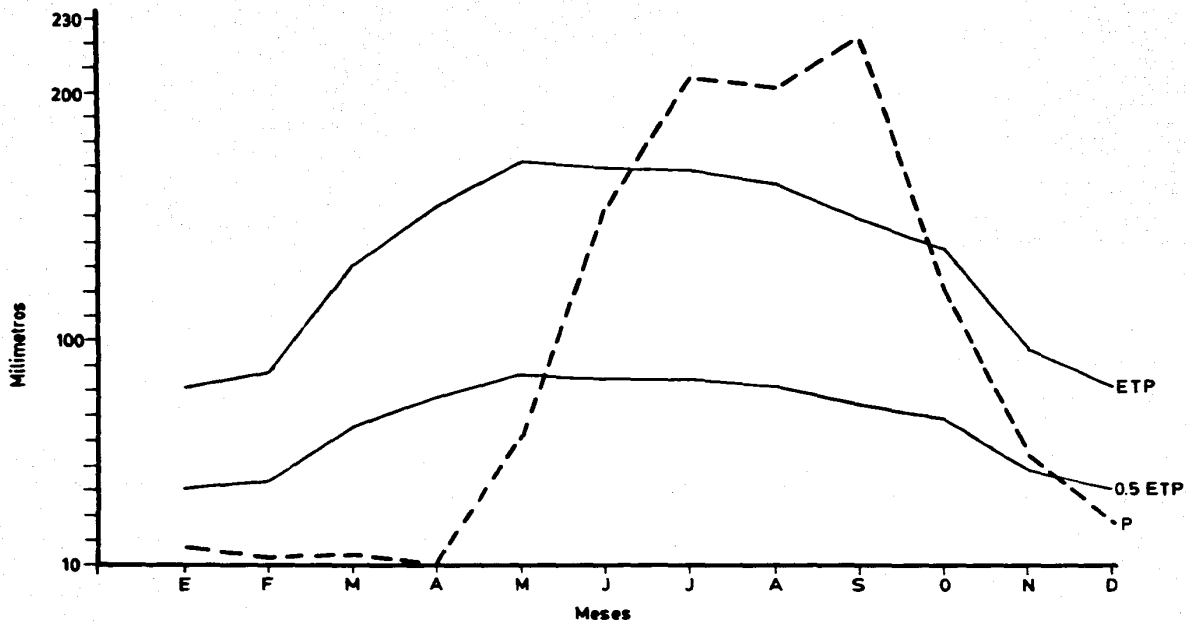


Fig. 8. Período de crecimiento del observatorio Campeche; Campeche.

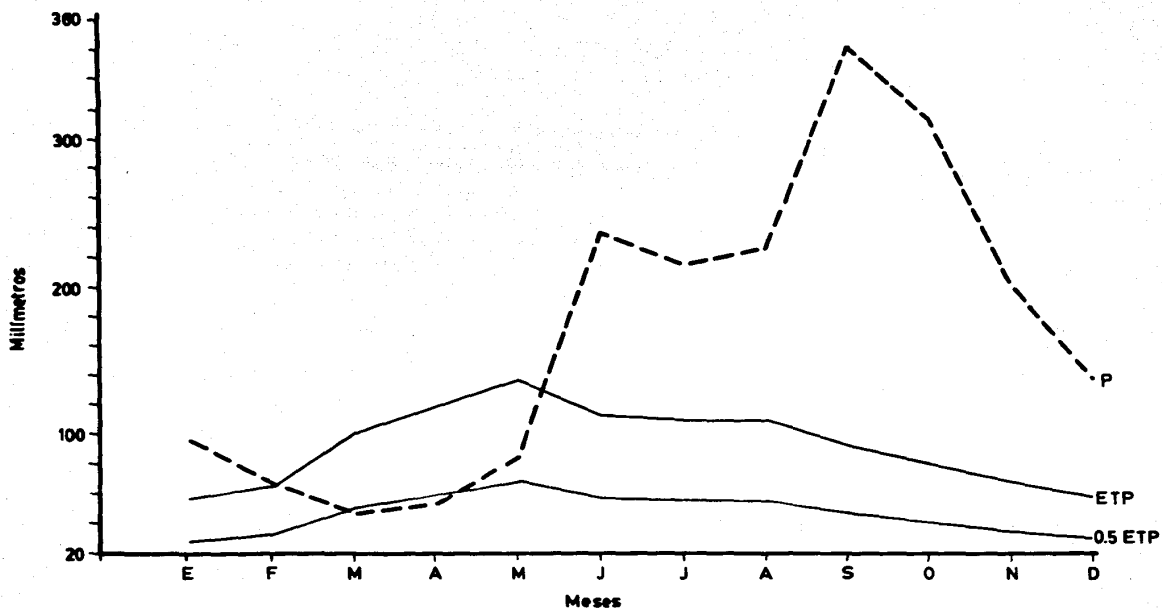


Fig. 9. Periodo de crecimiento de la estación meteorológica Campeche, Palizada.

Observatorio de Campeche, con 195 días de duración. Ambas caracterizan los puntos extremos de amplitud de periodo de crecimiento en el Área de estudio (figuras 8 y 9).

Al comparar los diferentes periodos de crecimiento del Área de estudio con las necesidades del cultivo, se observa que no hay limitaciones para el desarrollo.

Resultando agroclimáticamente el extremo norte y suroeste *apta* y la parte central muy *apta* (Figura 10).

### 6.3. CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

En general, se observa que las unidades de suelo que predominan en el Área de estudio son las *Rendzinas* y *Gleysoles* que se distribuyen en todo el Estado. En la parte norte encontramos áreas con *Nitsoles* y *Litsoles*, aunque éstos en menor proporción.

En la parte sureste encontramos manchones con *Vertisoles*; la parte sur presenta *Cambisoles* y sigue la dominancia de *Gleysoles* y *Rendzinas*.

En el centro del estado domina la *Rendzina* y la parte suroeste tiene una mayor proporción de *Gleysoles*.

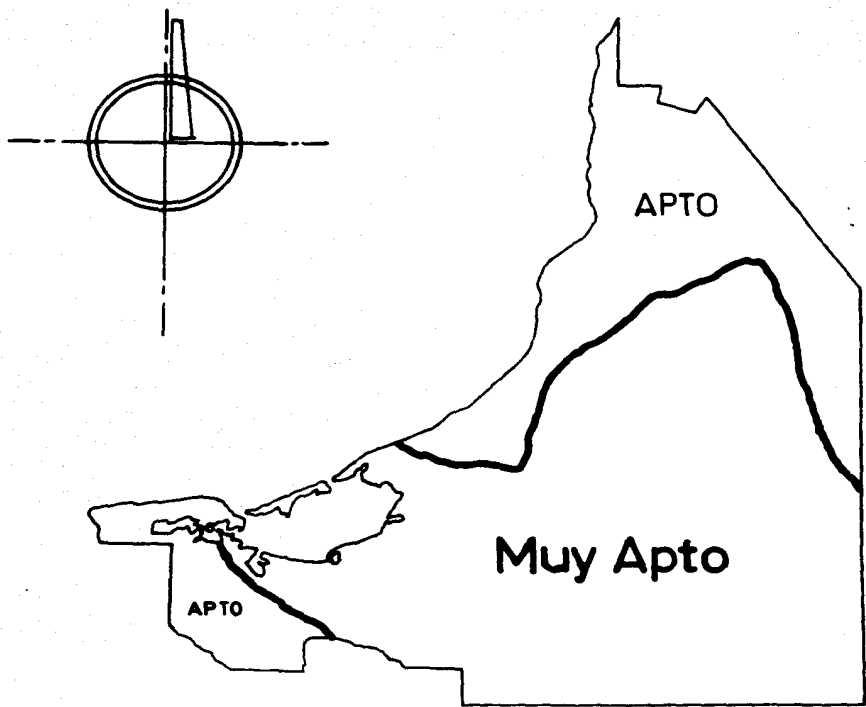


Fig.10. División Agroclimática del Estado de Campeche.



#### 6.4. LA ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA

Utilizando la parte de inventario edáfico de la metodología, se obtuvo el efecto de las características y propiedades de los suelos de la zona de estudio sobre el comportamiento del cultivo del arroz, y expresaron un abatimiento porcentual y cualitativo de la aptitud agroclimática. De esta manera se delimitaron cuatro zonas agroecológicas para dos niveles de inversión, que nos dan una idea de las diferentes potencialidades del clima y suelo del área para el desarrollo del cultivo del arroz.

De esta manera se definieron zonas agroecológicas de clase *no apta* (NA), *marginamente apta* (mA), *apta* (A) y *muy apta* (MA).

En general, los dos niveles de inversión, el alto y el bajo, no presentan diferencias muy importantes con respecto a la distribución geográfica de la aptitud. Sólo se detectaron diferencias en algunas subunidades de suelo, que al aplicar la metodología fueron demeritadas en su aptitud por su textura o su fase.

Así, podemos decir para los dos niveles de inversión, que la clase *muy apta* se concentra en la región sur-sureste de Campeche, la *apta* en la región norte y suroeste (en estas regiones encontramos manchones de clase *marginamente apta*). La clase *no apta* está representada por

la región central de Campeche, además de observarse manchones a lo largo de todo el Estado (mapa 1 y 2).

En el recorrido de campo se encontraron anomalías de correspondencia entre la clasificación de suelos del INEGI y la realidad. En Yohaltum un suelo está clasificado por INEGI como Gleysol vértico, fase salino-sódica y textura fina. La metodología dice que un suelo con fase salino-sódica se degrada a clase *no apta*; en la realidad, este suelo no presenta ninguna indicación de poseer salinidad y, según los investigadores del CIFAP de Campeche, es un suelo productivo para el cultivo del arroz.

Analizando la metodología, observamos que al trabajar con valores promedio de varios años para la determinación de periodos de crecimiento, se considera que existe un enmascaramiento de los resultados, ya que hay cierta variabilidad de año a año que no es posible cuantificar. Con base en lo anterior, se recomienda que en próximos estudios se utilicen trabajos más profundos sobre la clasificación de suelos, que se usen escalas con mayor detalle, que se analice la posibilidad de manejar valores por año y no valores promedio de varios años para el cálculo de periodos de crecimiento y que, en general, se ponga a prueba la totalidad de la metodología.

## 6.5. ESTIMACIÓN DE LOS RENDIMIENTOS MÁXIMOS

El cálculo de los rendimientos máximos se realizó para el cultivo del arroz tomando en cuenta un ciclo vegetativo (tiempo necesario para llegar a su madurez fisiológica) de 140 días, según Rodríguez (1988) y un índice de cosecha de 0.3.

En el cuadro 9 se señalan los valores de radiación global, producción de biomasa neta y los rendimientos económicamente aprovechables por estación y nivel de inversión.

El rendimiento máximo aprovechable con bajo nivel de inversión es equivalente al 25% de los rendimientos máximos obtenidos con alto nivel de inversión. En ambos no se presentaron impedimentos agroclimáticos.

De manera general, se observa que conforme disminuye la radiación global disminuye el rendimiento aprovechable.

En el cuadro 9 encontramos que los valores de radiación global tienen sus extremos en Tenabo, con 507 cal/cm<sup>2</sup>/día y en el Observatorio de Campeche con 417 cal/cm<sup>2</sup>/día.

En el rendimiento aprovechable, la producción máxima aparece en dos estaciones meteorológicas: en Ciudad del Carmen y en Zoh Laguna, con 5.97 y 5.94 ton/Ha, respectivamente. El valor mínimo de producción está

representado por Isla Aguada, con 5.4 ton/Ha.

**CUADRO 9. RENDIMIENTOS MAXIMOS (ton/Ha), DEL ARROZ POR ESTACION CLIMATOLOGICA**

No. de estación Meteorológica	Rg <sup>†</sup> cal/cm <sup>2</sup> /día	Bn (ton/ha)	REA (ton/ha)	
			INVERSION ALTA	BAJA
1. Calkini	460	17990	5.31	1.32
2. Tenabo	507	19009	5.70	1.42
3. Bolonchen	494	19043	5.71	1.42
4. Campeche (observ)	417	17718	5.31	1.32
5. Hopelchen	498	18920	5.67	1.41
6. Xcupil	493	19013	5.70	1.42
7. Dzibalchen	482	17906	5.67	1.41
8. Pustunich	487	19040	5.71	1.42
9. Champotón	441	18896	5.42	1.35
10. Zoh laguna	427	17816	5.34	1.33
11. Escárcega	470	18623	5.58	1.39
12. San Isidro	445	18246	5.47	1.36
13. Sabancuy	476	18526	5.55	1.38
14. Isla Aguada	452	18016	5.40	1.35
15. Cd. del Carmen	453	17900	5.37	1.34
16. Candelaria	481	18976	5.69	1.42
17. Palizada	462	18136	5.44	1.36

†

Rg = Radiación global

Bn = Producción de biomasa neta

REA = Rendimiento Económico Aprovechable

**CUADRO 10. ESTADO DE CAMPECHE  
EVALUACION DE LA APTITUD DE LAS TIERRAS PARA LA PRODUCCION DE  
A R R O Z  
EN CONDICIONES DE TEMPORAL**

CLASIF. APTITUD	INVERSION BAJA			INVERSION ALTA		
	EXTENSION (Ha)	R. P. E. ° (ton/Ha)	% AREA TOTAL	EXTENSION (Ha)	R. P. E. ° (ton/Ha)	% AREA TOTAL
MUY APTA	458 577	1.1-1.3	8.84	604 891	4.4-5.5	11.67
APTA	591 145	0.5-1.1	11.40	630 289	2.2-2.4	12.16
MARGINAL- MENTE APTA	127 804	0.2-0.5	2.46	59 608	1.1-2.2	1.15
NO APTA	4 000 864	<0.2	77.18	3 887 475	<1.1	75.00
TOTAL	5 183 300		100.00	5 183 300		100.00

°R.P.E. = Rendimiento Promedio Esperado

NOTA: El por ciento del área total y la extensión fueron calculados por medio del método de la *pesada*, obteniendo el peso total del mapa en cada nivel de inversión y a partir de él calcular los porcentajes correspondientes. Posteriormente, utilizando el área total de Campeche y los porcentajes calculados se determinó la extensión por clase de aptitud. El rendimiento promedio esperado se obtiene a partir del promedio de los REA de las estaciones meteorológicas de Campeche, multiplicados por los factores originados por los impedimentos agroclimáticos propuestos por FAD (1981), que son, para la clase *Muy Apta* de 80-100%, la *Apta* de 40-80%, la *marginalmente Apta* de 20-40% y para la *No Apta* de < 20% en el nivel de inversión alto; con respecto al nivel de inversión bajo se multiplican los valores encontrados del nivel alto por 0.25 en todas las clases de aptitud.

## 7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La división agroclimática del cultivo del arroz, como resultado de la relación existente entre las características climáticas del área de estudio y su efecto en el comportamiento del cultivo, se manifestó mediante la delimitación de dos zonas de aptitud agroecológica: *Apta* y *Muy Apta*. La primera se encuentra en el extremo norte y en el extremo suroeste del Estado, la parte muy apta representa el mayor porcentaje de terreno y se localiza en la parte central (figura 10). Esta distribución coincide de manera general con lo reportado por la S.A.R.H. de Campeche<sup>(4)</sup> con respecto a la localización geográfica de las áreas arroceras del Estado (figura 10).

Los rendimientos del cultivo del arroz fueron obtenidos con base en las características climatológicas del Estado por medio de los periodos de crecimiento. Sin embargo, existen algunas unidades y fases del suelo que limitan el desarrollo del cultivo, abatiendo sus rendimientos en un porcentaje determinado por la intensidad del efecto de estas limitaciones.

(4) Comunicación personal con los investigadores del CIFAP, Campeche.

Cuando analizamos la relación entre la radiación global, producción de biomasa neta y precipitación, observamos que conforme aumenta la precipitación disminuye la radiación global y esto da como consecuencia el aminoramiento en la producción potencial.

En cuanto al modelo de regresión obtenido para el cálculo del rendimiento económicamente aprovechable se puede decir, que a pesar de haber sido generado con sólo 17 estaciones meteorológicas, constituye una tendencia interesante que bien vale la pena obtener mayor información que permita su demostración.

Por último, se puede considerar que el Estado de Campeche posee condiciones para la producción del cultivo del arroz, ya que tiene un potencial productivo con valores superiores a las 5 ton/ha, rendimientos que no son despreciables y que podrían ser considerados como perspectiva o meta en programas de planeación agrícola a corto plazo.

## 8. CONCLUSIONES

Segun Angladette (1975) para que el arroz cumpla su ciclo vegetativo debe tener temperaturas mayor-igual a 20°C, durante todo su desarrollo. Por lo que el clima tropical caliente de Campeche se adecúa óptimamente a su establecimiento.

El periodo de crecimiento se considera como el número de días durante el año en el que existe disponibilidad de agua y temperaturas favorables para el desarrollo de un cultivo, según FAO, (1981); ya que en el estado de Campeche se tienen periodos de crecimiento mayores a 140 días que es lo que necesita para madurar el cultivo del arroz. No existen limitaciones climatológicas para el desarrollo del cultivo.

La limitante principal para que el cultivo del arroz florezca, es el conjunto de características edáficas (de suelo) del Estado de Campeche, que de manera principal están representadas por la existencia de grandes extensiones de la unidad de suelo *Rendzina*, que es poco profundo y está sobre piedra caliza (ver inciso 6.3), por lo que no es apto para el cultivo del arroz. Otro elemento importante, es que muchos suelos del estado tienen texturas arenosas que demeritan la aptitud. En las costas de Campeche existen suelos que por la cercanía al mar, se saturan de sal,



originando suelos salinos. Los suelos salinos existen en todo el estado, la salinidad es otro factor que demerita la aptitud (ver mapas de zonificación agroecológica).

El rendimiento económicamente aprovechable de las diferentes estaciones meteorológicas, nos indica que el Estado de Campeche tiene un gran potencial para producir el cultivo del arroz. Sin embargo, está desaprovechado.

La regionalización agroecológica de Campeche para la producción de arroz mediante la metodología de F.A.D., permite establecer la aptitud de la tierra y ubicar geográficamente las áreas con mayor potencial productivo para este cultivo.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Ackerman, B.A., 1983. Las Gramíneas de México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México.
- Aguilar, G.R., 1987. Regionalización y estimación agrometeorológica del riesgo para cuatro cultivos de la zona central de Tamaulipas. Tesis de M.C., Colegio de Posgraduados, Chapingo, México.
- Angladette, A., 1969. El Arroz. Ed. Blume. Barcelona, España.
- Azzi, G., 1971. Ecología Agraria. Instituto Cubano del Libro. La Habana, Cuba.
- Cronquist, A., 1982. Introducción a la Botánica. 5a. Ed. Continental. México.
- Cuanalo de la Cerda, H., 1989. Comunicación personal.
- Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional. 1982. Normales climatológicas. Período 1941-1970. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México, D.F.
- Escuela de Agricultura, Universidad de Filipinas. 1988. Cultivo del arroz, Manual de producción. Ed. Limusa. México, D.F.
- F.A.O., 1978. Report the agroecological zones project. Methodology and results for Africa. Vol 1. Food Organization of the United Nations. Rome, Italy.
- F.A.O., 1981. Informe del proyecto de zonas agroecológicas. Vol. 3. Metodología y resultados para América del Sur y Central. Informe sobre recursos mundiales de suelos.
- Frére, M. y G.F. Popov, 1980. Pronóstico de cosechas basado en datos agrometeorológicos. Estudio F.A.O.: Producción y Protección Vegetal. 17. Roma, Italia.
- García, B.J., 1979. Estructura metodológica para la caracterización agroecológica de áreas por procedimientos, cuantitativos de análisis y su posterior zonificación. Tesis de M.C., Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

- García, E., 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 2a. ed., Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Morales, C.N., 1983. Aplicación de la metodología de zonas agroecológicas (FAO), para la evaluación de la aptitud de producción de maíz, frijol y trigo en la parte sur del Estado de Zacatecas. Tesis profesional. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México.
- Navarrete, D.R., 1984. Reunión Técnica Sectorial para el diagnóstico del cultivo del Arroz en el Estado de Campeche. (Presentación de aspectos generales, problemática específica y alternativas de solución por parte del Banco de Crédito Rural Peninsular, S.A.). Banco de Crédito Rural Peninsular, S.A. Campeche, México.
- Oduan, E.P., 1971. Fundamentals of Ecology. 3a. ed. W.B. Saunders Company. Philadelphia, U.S.A.
- Ojeda, T.E., D.H. Pájaro y C.S. Ortiz, 1987. Zonificación Agroecológica de Cultivos. (FAD, 1978). (Curso-Taller). Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Oliver, J.E., 1973. El clima y la agricultura. Traducido al español por la Subdirección de Agrología de la Dirección General de Estudios de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México, D.F.
- Ortiz Solorio, C.A., 1984. Agrometeorología cuantitativa con aplicación en la República Mexicana. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México.
- Ortiz Solorio, C.A., 1987. Evaluación de tierras de México para la producción de maíz, frijol y sorgo en condiciones de temporal. Serie Cuadernos de Edafología B. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Rodríguez, A.J., 1988. Apoyo de la investigación agrícola para la región de las Sabanas entre los Estados de Tabasco y Campeche. SARH (CIFAP-CAMP). Campeche, México.

- Rodríguez, A.J., 1989. Comunicación personal.
- Romo González, J., 1985. Zonas con potencial agroclimático para la producción de cinco oleaginosas, bajo temporal, en la República Mexicana. Tesis de M.C. Centro de Hidrociencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Sánchez, S.O., 1979. La Flora del Valle de México. 5a. ed. Herrero, México.
- Sánchez, G.M. y Salgado, A.M., 1988. Proyecto para la unidad de producción *El Gargaleste*, Tamuin, S.L.P.. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Tamayo, J.L., 1980. Geografía de México. 9a. ed. Trillas. México, D.F.
- Tarin, R.J., 1987. Validación de la metodología de zonas agroecológicas para el área de Chapingo. Tesis de M.C. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Torres, R.E., 1984. Agrometeorología. Ed. Diana. México, D.F.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

## APÉNDICE I

### CÁLCULO DE ETP POR EL MÉTODO DE THORNTHWAITTE

El cálculo de ETP se deberá efectuar ordenando los datos en forma tabular con el objeto de tener mayor facilidad y orden en su desarrollo.

A continuación se indica la forma de obtener cada uno de los datos:

*Temperatura Media Mensual* en °C (TE). De la estación meteorológica correspondiente.

*Precipitación Mensual* en cm (PR). De la estación meteorológica correspondiente.

*Índice de Calor (IC)*. Está dado por la siguiente fórmula:

$$ICM = \left[ \frac{TE}{5} \right]^{1.514}$$

en donde:

ICM = Índice de Calor Mensual

TE = Temperatura Media Mensual

La suma de los 12 valores mensuales ICM es igual al Índice de Calor Anual (ICA).

Evapotranspiración Potencial Mensual sin corregir (Ev). Está definida por la ecuación:

$$Ev = 1.6 \left( \frac{10TE}{ICA} \right)^{\alpha + \beta + \gamma + \delta}$$

En donde:

$$\alpha = 0.000000675(ICA)^3$$

$$\beta = -0.0000771(ICA)^2$$

$$\gamma = 0.01792(ICA)$$

$$\delta = 0.49239$$

Para temperaturas mayores que 26.5°C no hay influencia del Índice de Calor, por lo que la Ev sólo es función directa de la temperatura.

*Factor de Corrección por Latitud (FC)*. Este factor se debe a los diferentes valores de iluminación que ocurren a diferentes latitudes, lo cual influye en la evapotranspiración. Se obtiene de tablas, en particular para la latitud Norte, en las que existe el valor de dicho factor para cada uno de los meses de año. Para la elaboración de estas tablas, se utiliza la latitud en la que se encuentra la estación meteorológica de que se trate.

*Evapotranspiración Potencial Mensual corregida en cm (EP)*. Se obtiene multiplicando el valor de la evapotranspiración potencial sin corregir por el factor de corrección por latitud.



FACTOR DE CORRECCION 'FC' POR LATITUD  
(LATITUD NORTE)

M E S	G R A D O S							
	16	17	18	19	20	21	22	23
Ene	0.97	0.96	0.95	0.95	0.95	0.94	0.94	0.93
Feb	0.91	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.89	0.89
Mar	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
Abr	1.84	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85
May	1.8	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4
Jun	1.89	1.89	1.8	1.8	1.8	1.8	1.2	1.3
Jul	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5	1.6
Ago	1.89	1.89	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.2
Set	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82
Oct	1.8	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	0.99	0.99
Nov	0.95	0.94	0.94	0.93	0.93	0.92	0.92	0.92
Dic	0.95	0.95	0.95	0.95	0.94	0.94	0.93	0.92



## APÉNDICE II

### UNIDADES PROPUESTAS POR LA F.A.O. PARA EL MAPA DE SUELOS DEL MUNDO

La F.A.O. elaboró una clasificación de suelos destinada a la realización del mapa de suelos del mundo escala 1:5,000,000; después de numerosas consultas internacionales, se propusieron varias aproximaciones sucesivas que condujeron a la versión definitiva en 1973. En un sentido estricto no es un sistema formal de clasificación. Es un sistema bicatagórico que comprende la *UNIDAD* (categoría alta) y *SUBUNIDAD* (categoría baja). La Unidad tiene una equivalencia aproximada, aunque no completa, con el nivel de los 'Grandes Grupos' de la Taxonomía de Suelos del U.S.D.A. La subunidad está formada por integrados o suelos con horizontes o características especiales.

Se definen 26 unidades, cada una de las cuales se divide en diferentes subunidades. Tales unidades se presentan en orden lógico, en función del grado de alteración y de evolución crecientes; las primeras se refieren a los suelos poco evolucionados e independientes de los factores climáticos, luego aparecen los suelos cuyo desarrollo se puede considerar como *Medio* y, finalmente, las restantes

unidades se refieren a los suelos en zonas de clima cálido, considerados como las más evolucionadas y los más alterados. En el cuadro 1 se presentan las unidades y subunidades empleadas por la F.A.O. para la realización del mapa de suelos del mundo.

Para las unidades de Mapa Mundial de Suelos se definen 3 clases de textura del suelo, 3 clases de pendiente del terreno y 12 fases (subdivisiones de las unidades del suelo).

Se han propuesto *fases* para subdividir las clases secundarias según la diferencia de características o cualidades importantes en la utilización y la administración de los suelos, las clases de textura y las clases de pendiente.

### CLASES TEXTURALES

Se reconocen 3 clases texturales, y se indican en el mapa con las cifras 1, 2 y 3:

CUADRO I. UNIDADES Y SUBUNIDADES PROPUESTAS POR LA F.A.O.

<b>FLUVISOLES (J)</b>		<b>SOLONCHAKZ (Z)</b>	
Je Fluvisoles eútricos		Zo Solonchaks árticos	
Jc Fluvisoles diátricos		Zm Solonchaks mólticos	
Ld Fluvisoles diátricos		Zt Solonchaks taquíricos	
		Zg Solonchaks gleicos	
<b>GLEYSOLES (G)</b>		<b>SOLONETZ (S)</b>	
Ge Gleysoles eútricos		So Solonetz árticos	
Gc Gleysoles calcáreos		Sm Solonetz mólticos	
Gd Gleysoles diátricos		Sg Solonetz gleicos	
Gm Gleysoles mólticos			
Gh Gleysoles húmicos		<b>VERMOSOLES (V)</b>	
Gp Gleysoles plúnticos		Yh Vermosoles hápticos	
Gx Gleysoles gálicos		Yk Vermosoles cálicos	
		Yy Vermosoles gípsicos	
<b>REGOSOLES (R)</b>		Yl Vermosoles lúvicos	
Re Regosoles eútricos		Yt Vermosoles taquíricos	
Rc Regosoles calcáreos			
Rd Regosoles diátricos		<b>XEROSOLES (X)</b>	
Rx Regosoles gálicos		Xh Xerosoles ápticos	
		Xk Xerosoles cálicos	
<b>LITOSOLES (L)</b>		Xy Xerosoles gípsicos	
		Xl Xerosoles lúvicos	
<b>ARENOSOLES (A)</b>		<b>KASTALOZEMS (K)</b>	
Qc Arenosoles cámbicos		Kh Castanozems hápticos	
Ql Arenosoles lúvicos		Kk Castanozems cálicos	
Qf Arenosoles férricos		Kl Castanozems lúvicos	
Qa Arenosoles álbicos			
<b>RENDZINAS (E)</b>		<b>CHERNOZEMS (C)</b>	
		Ch Chernozems ápticos	
<b>RANKERS (U)</b>		Ck Chernozems cálicos	
		Cl Chernozems lúvicos	
<b>ANDOSOLES (T)</b>		Cg Chernozems glálicos	
To Andosoles útricos			
Tm Andosoles mólticos		<b>PHAEZOZEMS (H)</b>	
Th Andosoles húmicos		Hh Phaeozems hápticos	
Tv Andosoles vítricos		Hc Phaeozems calcáreos	
		Hi Phaeozems lúvicos	
<b>VERTISOLES (V)</b>		Hg Phaeozems gleicos	
Vp Vertisoles pélticos			
Vc Vertisoles cámbicos			

CUADRO I. *Continuación...*

<b>GREYZEMS (M)</b>	<b>LUVISOLES (L)</b>
<b>Mo</b> Greyzema órticos	<b>Lo</b> Luvisoles órticos
<b>Mg</b> Greyzema gleícos	<b>Lc</b> Luvisoles crómicos
<b>CAMBISOLES (B)</b>	<b>Lk</b> Luvisoles cálcicos
<b>Be</b> Cambisoles eútricos	<b>Lv</b> Luvisoles vérticos
<b>Bd</b> Cambisoles diátricos	<b>Lf</b> Luvisoles férricos
<b>Bh</b> Cambisoles húmicos	<b>La</b> Luvisoles álvicos
<b>Bg</b> Cambisoles gleícos	<b>Lp</b> Luvisoles plínticos
<b>Bk</b> Cambisoles cálcicos	<b>Lg</b> Luvisoles gleícos
<b>Bc</b> Cambisoles crómicos	<b>POTZOLUVISOLES (D)</b>
<b>Bv</b> Cambisoles vérticos	<b>De</b> Potzoluvisoles eútricos
<b>Bf</b> Cambisoles férricos	<b>Dd</b> Potzoluvisoles diátricos
<b>POTZOLES (P)</b>	<b>Dg</b> Potzoluvisoles gleícos
<b>Po</b> Potzoles órticos	<b>FERRALSOLES (F)</b>
<b>Pl</b> Potzoles lépticos	<b>Fo</b> Ferralsoles órticos
<b>Pf</b> Potzoles férricos	<b>Fx</b> Ferralsoles xálvicos
<b>Ph</b> Potzoles húmicos	<b>Fr</b> Ferralsoles ródcicos
<b>Pp</b> Potzoles pládcicos	<b>Fh</b> Ferralsoles húmicos
<b>Pg</b> Potzoles gleícos	<b>Fa</b> Ferralsoles ácricos
<b>PLANOSOLES (W)</b>	<b>Fp</b> Ferralsoles plínticos
<b>We</b> Planosoles eútricos	<b>HISTOSOLES (O)</b>
<b>Wd</b> Planosoles diátricos	<b>Oe</b> Histosoles eútricos
<b>Wm</b> Planosoles mólvicos	<b>Od</b> Histosoles diátricos
<b>Wh</b> Planosoles húmicos	<b>Ox</b> Histosoles gleícos
<b>Ws</b> Planosoles sólídicos	<b>NITOSOLES (N)</b>
<b>Wx</b> Planosoles gleícos	<b>Ne</b> Nitosoles eútricos
<b>ACRISOLES (A)</b>	<b>Nd</b> Nitosoles diátricos
<b>Ao</b> Acrisoles órticos	<b>Nh</b> Nitosoles húmicos
<b>Af</b> Acrisoles férricos	
<b>Ah</b> Acrisoles húmicos	
<b>Ap</b> Acrisoles plínticos	
<b>Ag</b> Acrisoles gleícos	

## CLASES TEXTURALES

CLASE	Incluye a las texturas siguientes
1. Textura Gruesa	Arenas, arenoso-francos y francos con menos del 10% de arcilla
2. Textura Media	Franco-arenosos, francos, franco arcillo-arenosos, franco limosos, franco arcilloso-limosos y arcillo-limosos con menos del 25% de arcilla y menos del 65% de arena; la fracción arena puede llegar hasta el 82% si presenta un mínimo de 10% de arcilla
3. Textura fina	Arcillas, arcillo-limosos, arcillo-arenosos, franco-arcillosos y franco arcillo-limosos con más del 25% de arcilla

La clase textural se da para el suelo que predomina en cada asociación de suelos y se refiere a la textura de los 30 cm superiores del suelo, que son los que tienen importancia para el cultivo y para la retención del agua.

## CLASES DE PENDIENTE

La pendiente es un caracter integrante de la superficie del terreno. Tiene influencia sobre el drenaje, escurrentia, erosión, exposición, accesibilidad. Las clases de pendiente se refieren a la inclinación que predomina en la zona que comprende una asociación de suelos.

Se distinguen 3 clases de pendiente, indicadas en el mapa por los símbolos a, b y c.

CLASE DE PENDIENTE	DESCRIPCION
a	Horizontal a suavemente ondulado, las pendientes dominantes varían entre 0 y 8%
b	Fuertemente ondulado o colinado; las pendientes dominantes varían entre 8 y 30%
c	Empinadamente socavado o montañoso; las pendientes dominantes están por encima del 30%

## FASES

Las fases son subdivisiones de las Unidades del suelo, basadas en las características que son significativas desde el punto de vista del uso o aprovechamiento del suelo, pero que no son de diagnóstico para la separación de las propias unidades. Las fases reconocidas en el Mapa Mundial de Suelos son: pedregosa, litica, pétrica, petrocálcica, petrogipsica, petroférrica, freática, con fragipán, con duripán, salina, sódica y cerrada.

FASE	DESCRIPCION
Pedregosa	Zonas con fragmentos rocosos o consolidados; si tienen diámetros menores o iguales a 7.5 cm son denominados gravas, y los más grandes se denominan piedras o guijarros. Normalmente se pueden utilizar herramientas manuales o equipos mecánicos simples, en estas áreas
Lítica	Se usa cuando se presenta roca continua dura y coherente dentro de una profundidad de 50 cm a partir de la superficie
Pétrica	Indica suelos que muestran una capa que consta del 20% o más, en volumen, de concreciones oxidadas con otros fragmentos gruesos o de plintita endurecida o piedra ferruginosa con un espesor de 25 cm por lo menos, cuya parte superior se presenta dentro de una profundidad de 100 cm a partir de la superficie
Petroclástica	Suelos en los que la parte superior de un horizonte petroclástico se presenta dentro de una profundidad de 100 cm a partir de la superficie
Petrogipsica	Indica suelos en los que la parte superior de un horizonte petrogipsico se presenta dentro de una profundidad de 100 cm
Petroférica	Indica suelos en los cuales la parte superior del horizonte petroférico se presenta dentro de una profundidad de 100 cm
Fredica	Indica suelos que tienen una capa fredica entre 3 y 5 metros a partir de la superficie

Continúa...



Continuación...

FASE	DESCRIPCION
Fragipán	Indica suelos que tienen un fragipán cuya parte superior se presenta dentro de una profundidad de 100 cm a partir de la superficie
Duripán	Indica suelos que tienen un duripán, cuya parte superior se presenta dentro de una profundidad de 100 cm a partir de la superficie
Salina	Indica suelos que en algún horizonte, dentro de una profundidad de 100 cm a partir de la superficie, muestra valores de la conductividad eléctrica del extracto de saturación mayores de 4 mohm/cm a 25°C
Alcalina (sódica)	Indica suelos que tienen más del 15% de saturación con sodio intercambiable en algún horizonte, dentro de una profundidad de 100 m
Cerrado	Es un nombre brasileño para designar llanuras de campo abierto de las sabanas tropicales, con vegetación compuesta de gramíneas altas y árboles de bajo porte, que están muy extendidas en el centro de Brasil

Las unidades de suelo del esquema de la F.A.O. se diferencian por los criterios cuantitativos similares a los de la Taxonomía de Suelos de los E.U.A. En particular, las definiciones de la mayoría de los horizontes de diagnóstico se han tomado de la Taxonomía de Suelos Americana y son, por lo tanto, idénticas en ambos casos en cuanto se refiere a la nomenclatura y a la esencia de la información, aunque no al detalle de la definición. En el cuadro 2 se enlistan los horizontes y propiedades de diagnóstico empleados por la F.A.O. En este cuadro, los Epipedones *Plaggen*, *Antropic* y los horizontes *Sombric*, *Calcic* y *Agric* de la Taxonomía Americana no se presentan, ya que la escala del mapa no permite separar los suelos por estos horizontes.

La nomenclatura de las unidades en el esquema de la F.A.O. refleja la tendencia a retener los nombres tradicionales establecidos en otros sistemas, tales como Chernozems, Podsoles, Solonchaks y Rendzinas. También se adoptaron nombres que se han popularizado en años recientes, tales como: Vertisoles, Ranker, Andosoles y Ferralsoles. La necesidad de acuñar nuevos términos es aparente en casos en donde los nombres existentes podrían causar confusión debido al diferente uso en los diversos países. Algunos de estos nombres incluyen Luvisoles, Acrisoles, Yermosoles y Nitosoles. Para nombrar a las subunidades se emplean 28 términos connotativos, tales como: mólico, takirico,

districo, lúvico, etc., como adjetivos de los nombres de las unidades del suelo.

En el cuadro 3 se presenta la lista de unidades de suelos propuestas por la F.A.O.-U.N.E.S.C.O., y agregando una descripción cualitativa de cada una de ellas.

En México, I.N.E.G.I. (*Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática*, de la S.P.P.) ha editado cartas edafológicas escala 1:1,000,000 empleando el esquema de clasificación de la F.A.O.. La manera en que presenta los resultados se analiza observando la figura 1.

Se definen a las Unidades y Subunidades en orden de dominancia, de tal manera que en un Área se pueden tener más de dos Unidades, pero una es la que denomina.

Por ejemplo, si tenemos el símbolo  $Re + I + Bc/1$  significa que en el área marcada con éste, se presentan suelos que pertenecen a las unidades Regosol eútrico en asociación con Litosol y Cambisol crómico, pero la unidad Regosol eútrico es la dominante; además, el número 1 significa que en toda el área en cuestión dominan las texturas gruesas. Sin embargo, el símbolo empleado nos dice qué unidades existen pero no el sitio específico donde se encuentran. Entonces, para usos prácticos de los Mapas Edafológicos de I.N.E.G.I., casi siempre se toma en cuenta a la unidad dominante, que para el caso del ejemplo sería la unidad Regosol eútrico.

**CUADRO 2. HORIZONTES Y CARACTERISTICAS DE DIAGNOSTICO EMPLEADOS POR EL ESQUEMA DE LA F.A.O. PARA LA DEFINICION DE UNIDADES Y SUBUNIDADES DE SUELO**

**HORIZONTES DE DIAGNOSTICO**

**MISTIC**

**MOLLIC**

**OCRIC**

**ARGILIC**

**NATRIC**

**CAMBIC**

**SPODIC**

**OXIC**

**GIPSIC**

**SULFURIC**

**ALBIC**

**PROPIEDADES DE DIAGNOSTICO**

Cambio textural brusco o abrupto; caliza pulverizada

Complejo de intercambio dominado por material amorfo

Microrrelieve gilgai; materiales sulfurosos; lenguas; minerales alterables

Alta salinidad

**PROPIEDADES HIDROMORFICAS**

Intemperización

Plintita

Permafrost

Elkensides

**CUADRO 3. UNIDADES CARTOGRAFICAS DE SUELOS PARA EL MAPA  
MUNDIAL DE SUELOS, DE LA F.A.O./U.N.E.S.C.O.**

UNIDADES DE SUELOS	DESCRIPCION CUALITATIVA
(J) Fluvisoles	Suelos depositados por el agua, con pocas modificaciones
(R) Regosoles	Suelos delgados sobre materiales no consolidados
(Q) Arenosoles	Suelos formados con arena
(G) Gleysoles	Horizontes moteados o reducidos debido a la humedad
(E) Rendzinas	Suelos poco profundos sobre piedra caliza
(R) Rankers	Suelos delgados sobre material silíceo
(T) Andosoles	Cenizas volcánicas con superficies oscuras
(V) Vertisoles	Suelos que se agrietan con altos contenidos de arcilla y mortmorillonita
(Y) Yermosoles	Suelos desérticos
(X) Xerosoles	Suelos secos de regiones semáridas
(Z) Solonchaks	Suelos con acumulación de sales solubles
(S) Solonetz	Suelos con alto contenido de sodio
(P) Planosoles	Suelos con contacto brusco entre horizontes A y B
(C) Castanosems	Suelos con color superficial de castaña, con vegetación esteparia
(H) Feozems	Suelos con superficie oscura, más lixiviada que castanosems y chernozems
(B) Cambisoles	Suelos de color claro, con cambio de estructura o consistencia debido a intemperización
(L) Luvisoles	Suelos de contenido mediano a alto de bases, con horizontes arcillosos
(D) Podzoluvisoles	Suelos con horizontes lixiviados que penetran en horizonte B arcillosos
(P) Podsoles	Suelos con horizontes aluviales de color claro y acumulaciones en el subsuelo de hierro, aluminio y hierro
(A) Acrisoles	Suelos sumamente intemperizados con horizontes arcillosos
(N) Nitosoles	Baja capacidad de intercambio catiónico en los arcillosos
(O) Histosoles	Suelos orgánicos
(L) Litosoles	Suelos poco profundos sobre roca dura

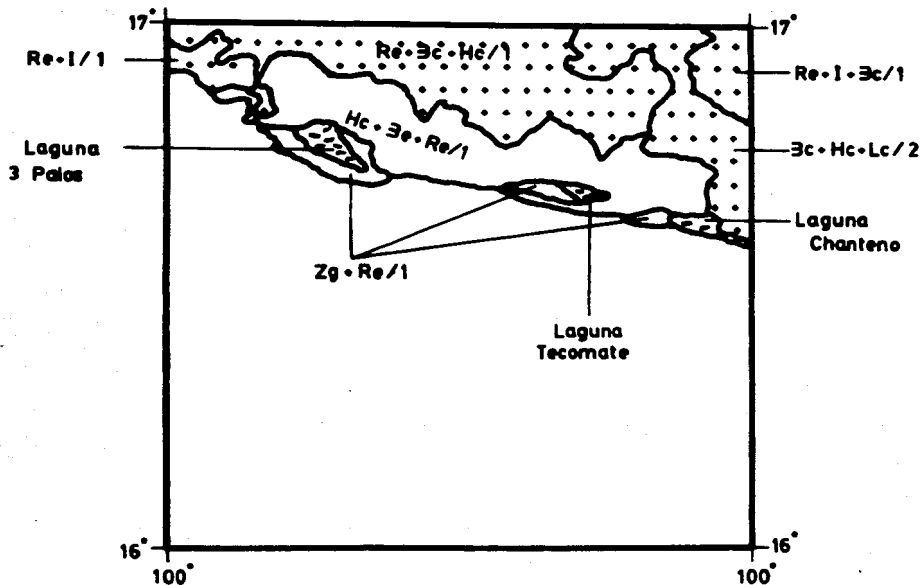


Fig.1. Algunas unidades de suelos del esquema FAO, para el mapa de suelos de México, INEGI.

### SÍMBOLOS

3c = Cambisol crómico  
 3e = Cambisol eútrico  
 Hc = Feozem calcárico  
 I = Litosol  
 Lc = Luvisol crómico

Re = Regosol eútrico  
 Zg = Solonchak gleyico  
 1 = Textura gruesa  
 2 = Textura media  
 .. = Fase Iftica

## APÉNDICE III

TAXONOMÍA DE LA PLANTA DE ARROZ (*Oryza sativa*),  
SEGÚN ACKERMAN (1983)

<b>Reino:</b>	<i>Vegetal</i>
<b>División:</b>	<i>Spermatophyta</i>
<b>Subdivisión:</b>	<i>Angiospermae</i>
<b>Clase:</b>	<i>Monocotyledonae</i>
<b>Orden:</b>	<i>Glumiflorae</i>
<b>Familia:</b>	<i>Gramineae (Poaceae)</i>
<b>Subfamilia:</b>	<i>Oryzoideae</i>
<b>Tribu:</b>	<i>Oryzeae</i>
<b>Género:</b>	<i>Oryza</i>
<b>Especie:</b>	<i>Oryza sativa</i>

MORFOLOGÍA DE LA PLANTA DE ARROZ <sup>{1}</sup>

La diversidad de términos utilizados para describir los rasgos morfológicos idénticos en el arroz ha dificultado, indudablemente, el reconocimiento de las partes específicas de las plantas, que se mencionan en la bibliografía. Los geneticistas y fitomejoradores de arroz, necesitan contar con un conjunto de términos uniformes para describir variedades, híbridos y mutantes. Los especialistas en agronomía, fisiología de las plantas y otras disciplinas, utilizan con frecuencia los mismos términos para indicar partes diferentes de las plantas, o bien, términos distintos para referirse a partes idénticas. Con frecuencia, esto ha confundido a quienes interceptan los resultados experimentales. Por tanto, es necesario adoptar una terminología uniforme para las diversas partes de la planta de arroz. Para lograr este propósito, en los capítulos que siguen se utilizarán los términos que se definen a continuación:

La planta de arroz es una hierba anual con tallos redondos, huecos y con juntas, hojas bastante planas y una panoja terminal. Está adaptada para crecer en suelos inundados; pero puede también hacerlo muy bien en suelos no

{1} Tomado íntegramente de 'CULTIVO DEL ARROZ, Manual de producción' de la Escuela de Agricultura de la Universidad de Filipinas, (1966), pp. 21-29.



anegados.

Las partes de la planta de arroz pueden dividirse como sigue:

1. *Organos vegetativos.* Comprenden las raíces, los tallos y las hojas.

2. *Organos florales.* Comprenden la panoja que, en realidad, es un conjunto de espiguillas.

### Raíces

Las raíces son fibrosas y consisten en radículas y vellos radicales. Las raíces embrionarias, o sea, las que crecen de la semilla (grano) cuando germina, tienen pocas ramificaciones. Sobreviven solamente durante un breve espacio de tiempo, después de la germinación. Las raíces adventicias secundarias, que se ramifican libremente y se producen a partir de los nudos subterráneos de los tallos jóvenes, reemplazan a las raíces embrionarias. Al crecer la planta, las raíces adventicias gruesas forman, con frecuencia, verticilos a partir de los nudos, que salen sobre el nivel del terreno.

### Tallo

El tallo se compone de una serie de nudos e internudos, en orden alterno.

El nudo lleva una hoja y un capullo que pueden

desarrollarse, para constituir un vástago o renuevo.

El entrenudo maduro es hueco y está estriado finamente. Su superficie exterior carace de vellocidad. Tiene una longitud variable, que generalmente aumenta de los entrenudos más bajos a los más altos. Los entrenudos más bajos, en la base del tallo, son cortos y se van haciendo gruesos, hasta formar una sección sólida. Varían también en cuanto a sus dimensiones en grosor, los entrenudos más bajos tienen mayor diámetro y un mayor espesor que los superiores.

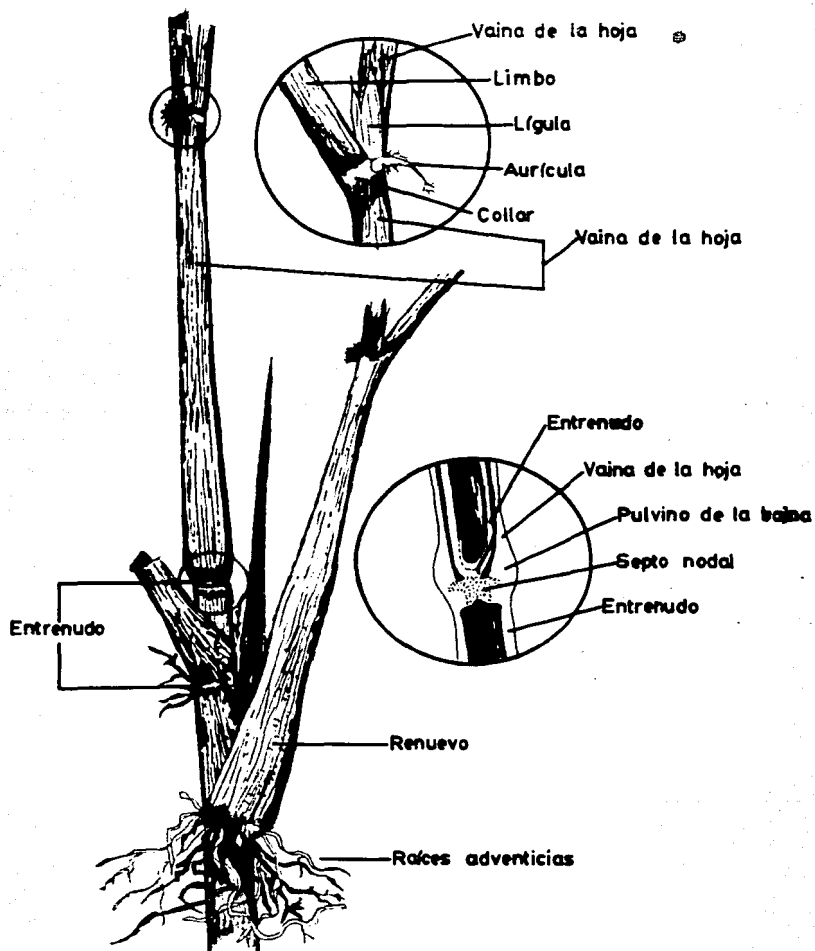
Los renuevos se desarrollan a partir del tallo principal en orden alterno. Los renuevos primarios se desarrollan de los nudos más bajos, produciendo renuevos secundarios. A su vez, estos últimos producen el tercer grupo de renuevos, los terciarios (ilustración 1).

### Hojas

Las hojas están dispuestas en ángulo con el tallo, en dos hileras, una en cada nudo (ilustración 1). La hoja o la parte extendida de ella se sujeta al nudo por medio de la vaina. Esta última rodea el entrenudo hasta el nudo siguiente, llegando en algunas casos todavía más allá. El pulvino hinchado de la vaina, por encima del nudo, se confunde con frecuencia con el nudo mismo. La hoja más alta, por debajo de la panoja, es la de bandera.

Las crestas que se encuentran en la superficie superior

Ilus.1. Partes de un renuevo primario y su renuevo secundario.



de la hoja están formadas por venas paralelas. Las venas protuberantes contienen los haces vasculares, que continúan a través del eje principal y las ramas de la planta —desde las raíces a la panoja. La cresta más sobresaliente en la superficie superior de la hoja es la vena central.

El tallo principal desarrolla el mayor número de hojas. Los renuevos primarios producen más hojas que los secundarios. La primera hoja rudimentaria, en la base de un renuevo, es la bractéola, una bráctea sin hojas y con doble quilla. Las márgenes de la bractéola aseguran a los renuevos jóvenes por el dorso, contra el tallo original.

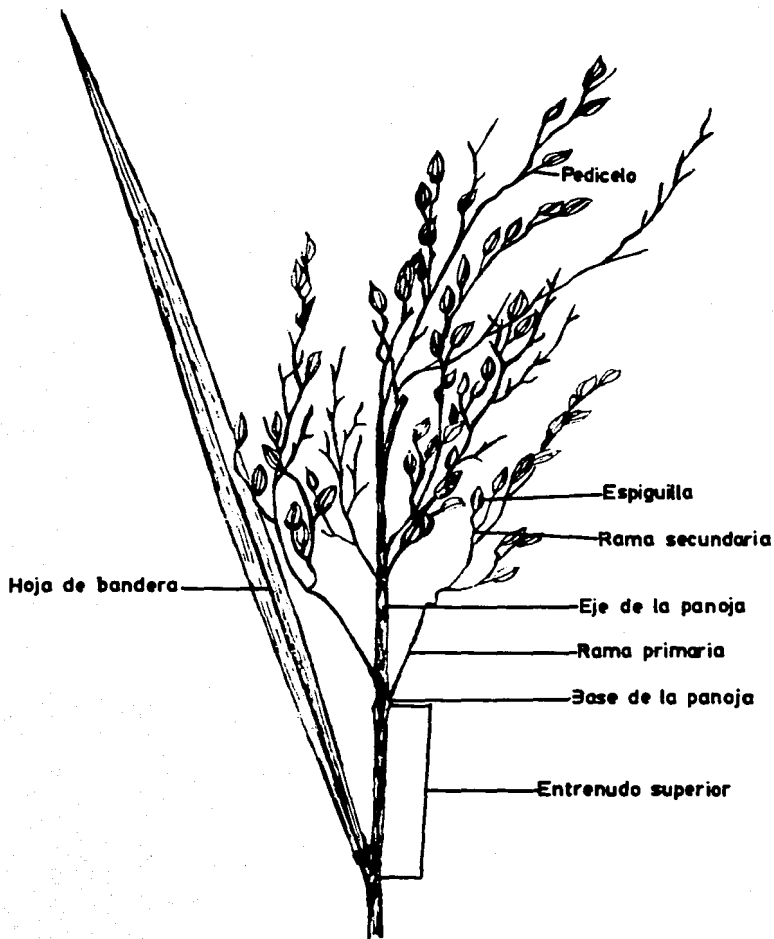
A cada lado de la base de la hoja hay pares de apéndices pequeños y en forma de orejas, que se conocen como aurículas (ilustración 1). Inmediatamente por encima de estas últimas hay una estructura triangular, de textura parecida al papel, que se conoce como ligula. Las plantas de arroz tienen aurículas y ligulas, mientras que la mala hierba (*Echinochloa* spp.), que se encuentra normalmente en la mayor parte de los arrozales, carece de aurículas y ligulas. Esta característica resulta con frecuencia útil para diferenciar el arroz de las malas hierbas, cuando las plantas son jóvenes.

### **Panojas**

La panoja (ilustración 2) es un grupo de espiguillas nacidas en el nudo superior del tallo.

El nudo situado entre el entrenudo superior del tallo y

**Ilus. 2. Partes componentes de una panoja (se muestran en forma parcial).**



el eje principal de la panoja es la base de la panoja. Esta última aparece como frecuencia como un anillo ciliado y se utiliza para medir la longitud del tallo y de la panoja.

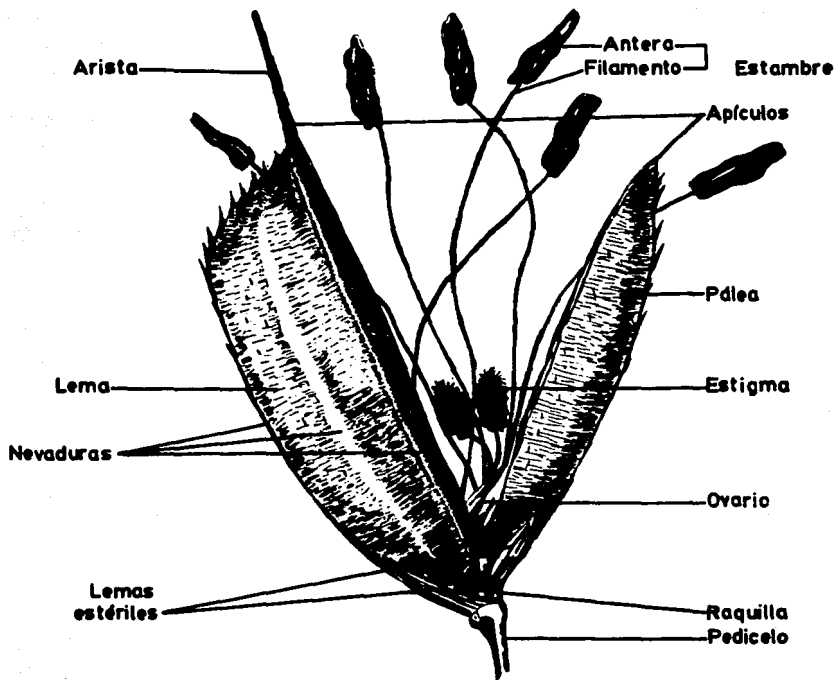
La rama primaria de la panoja se divide en otras ramas secundarias y, a veces, terciarias. Estas últimas son las que llevan las espiguillas. Las ramas pueden estar dispuestas solas o por parejas. La panoja permanece erecta en el momento de la floración; pero, por lo común, se caen las espiguillas cuando se llenan, maduran y forman los granos.

Las diversas variedades tienen diferencias considerables en cuanto a longitud, forma y ángulo de implantación de las ramas primarias, así como también en cuanto al peso y densidad de la panoja (número de espiguillas por unidad de longitud).

### **Espiguillas**

La espiguilla individual (ilustración 3) está formada por dos «glumas externas» (lemas estériles) muy pequeñas, y todas las demás partes florales se encuentran entre ellas o por encima de ellas. Crecen sobre el pedicelo, que las

**Ilus. 3. Partes de una espiguilla.**



conecta con la rama de la panoja.

Todas las partes de la planta que se encuentran por encima de las «glumas externas» se denominan colectivamente flósculo. Este último consiste en la cubierta dura que se convierte en lema y pálea (las «glumas») y la flor completa que se encuentra entre ellas.

La flor (ilustración 3) consta de seis estambres y un pistilo. Los estambres se componen de anteras bicelulares, nacidas sobre filamentos delgados, mientras que el pistilo consiste en el ovario, el estilo y el estigma.

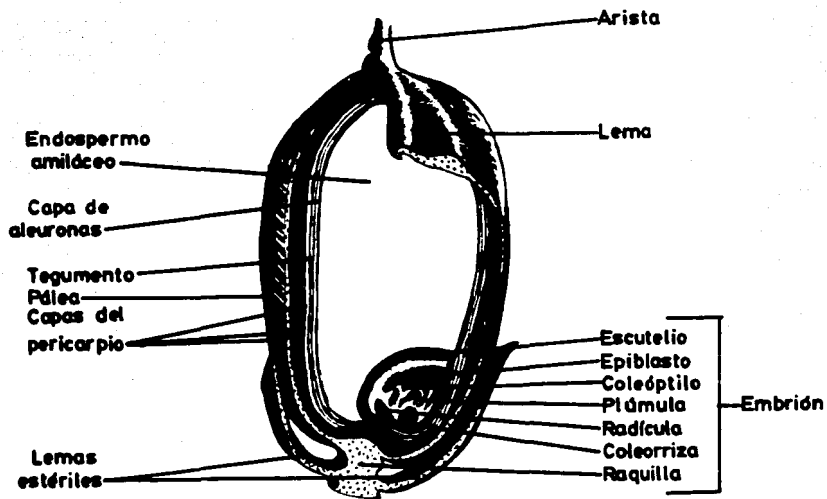
El estigma es una estructura plumosa nacida en el estilo que, a su vez, es una extensión del ovario. En la base de la flor se encuentran dos estructuras transparentes que se conocen como lodículos.

### El grano

El grano de arroz (ilustración 4) se compone del ovario maduro, la lema y la pálea, la raquilla, las lemas estériles y las aristas cuando se encuentran presentes. El embrión se une con el endospermo. La lema y la pálea, con sus estructuras asociadas, constituyen la cáscara, y pueden retirarse mediante la aplicación de una presión giratoria.

El grano de arroz descascarado (cariópside) se conoce en el comercio como arroz café y debe su nombre al pericarpio de color marrón (o de otro color) que lo cubre. El pericarpio es





Ilus.4. Estructura de un grano.

la capa más externa que rodea a la cariósida y se retira cuando el arroz se pule y muele por completo. Debajo del pericarpio hay dos capas de células que representan la recubierta de la semilla.

El embrión se encuentra en el lado ventral de la espiguilla, junto a la lema. El resto de la cariósida está ocupado por el endospermo amiláceo, adyacente al embrión se encuentra un punto llamado ojo, que marca el punto de inserción de la cariósida a la pálea. Otra cicatriz situada en el extremo de la cariósida, indica la base del estilo.

El embrión contiene las hojas embrionarias (plúmulas) y la raíz embrionaria (radícula). La plúmula se encuentra encerrada en una vaina (coleóptilo) y la radícula está envainada en la coleorriza.

El endospermo blanco consiste principalmente en gránulos de almidón encastrados en una matriz proteínica. Contiene, además, azúcares, grasas, fibra cruda y materia inorgánica.

### **Morfología de las plántulas**

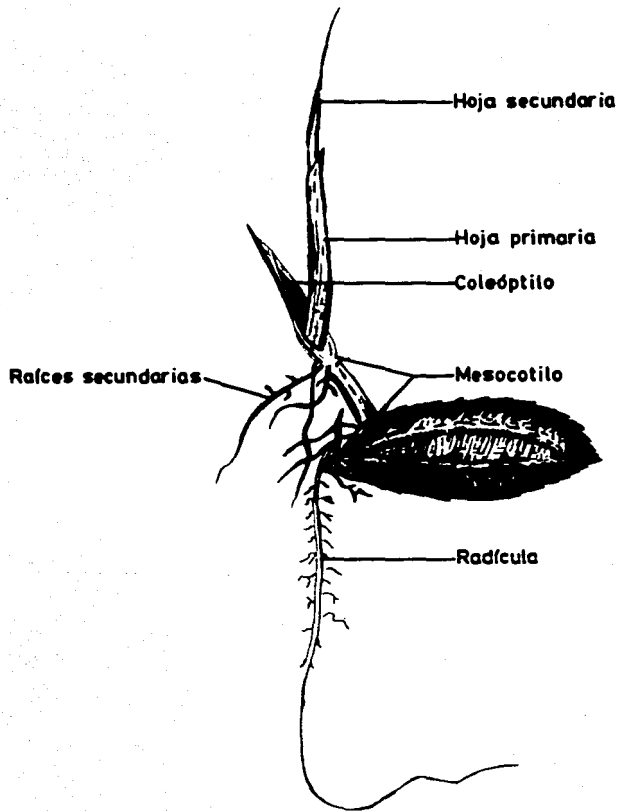
Los granos de las variedades no latentes pueden germinar inmediatamente después de alcanzar la madurez, si se exponen a condiciones húmedas o cálidas. En cuanto a las variedades latentes debe transcurrir cierto tiempo (dependiendo de la variedad), antes de que sea posible la germinación. Pueden utilizarse procedimientos especiales, tales como el

tratamiento térmico (50°C durante 4 ó 5 días), o el descascaramiento mecánico, para interrumpir la latencia de las muestras recién cosechadas, si se necesitan las semillas para la siembra inmediata. Muchas de las variedades tropicales tienen un grado de latencia que puede resultar muy conveniente, debido a que impide que los granos de las panojas se derramen, cuando se producen lluvias en la época de la cosecha. Sin embargo, si la latencia de las semillas impide que los agricultores las utilicen para la siembra siguiente, puede considerarse como perjudicial.

Cuando los granos germinan en un ambiente aireado, como el de los suelos con buen drenaje, surge la vaina (coleorriza) que rodea a las raíces primarias en el embrión (ilustración 5), antes que la radícula. Si germina en agua, la estructura cilíndrica (coleóptila) nace antes que la coleorriza.

A continuación, la raíz embrionaria primaria (radícula) atraviesa la coleorriza poco después de que ésta aparece, va seguida por dos o más raíces embrionarias secundarias, todas las cuales desarrollan raíces laterales. Las raíces embrionarias mueren posteriormente y son reemplazadas por raíces adventicias secundarias.

**Ilus. 5. Partes de un embrión en germinación.**



## CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LA PLANTA <sup>(2)</sup>

### Cómo se poliniza y fecunda el arroz

Cuando la flor del arroz está apunto de brotar, los lóculos se hinchan, empujando y separando a la lesa y la pálea. Este proceso permite la elongación y salida de los estambres, por encima del flósculo abierto.

La apertura del flósculo va seguida por la rotura de las anteras, que esparcen sus granos de polen (esporas machos). Después que los granos de polen se derraman de los sacos de las anteras, la lesa y la pálea se cierran. La transferencia de los granos de polen al estigma completa el proceso de polinización.

La polinización va seguida por la unión (fecundación) de una espora hembra con un núcleo de esperma para formar el embrión diploide ( $2n$ ). Mientras tanto, en el saco embrionario, la unión en un segundo núcleo de esperma con dos núcleos polares, produce el endospermo triploide ( $3n$ ). El grano de arroz se desarrolla después que se completan la polinización y la fecundación.

(2) Tomado íntegramente de 'CULTIVO DEL ARROZ, Manual de producción' de la Escuela de Agricultura de la Universidad de Filipinas, 1966, p. 22-27.

### **Ciclo biológico de la planta del arroz**

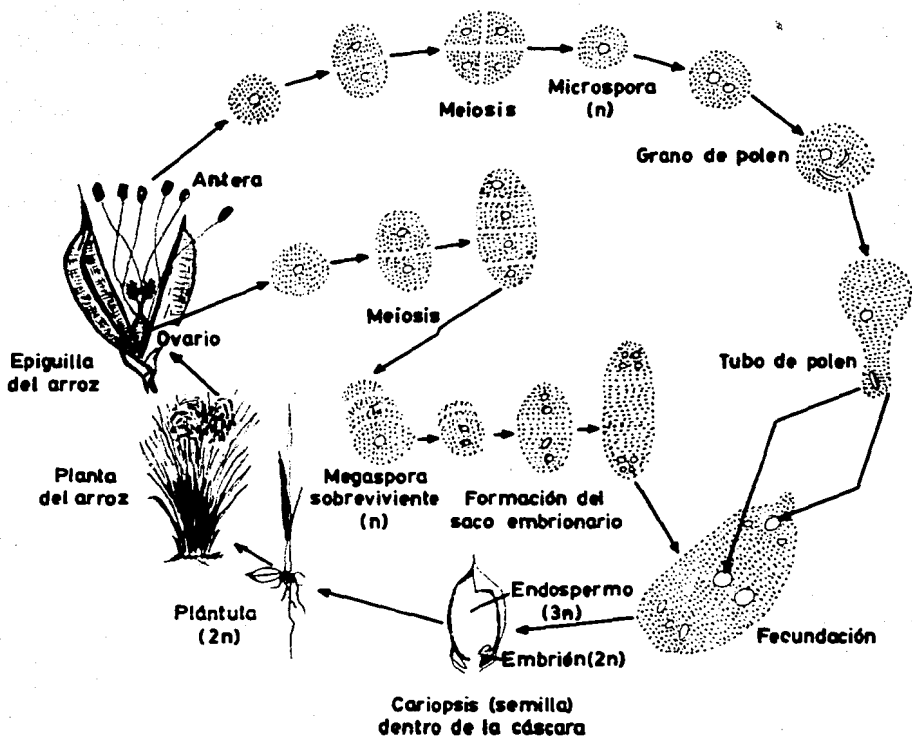
El ciclo biológico de la planta del arroz (ilustración 6) se inicia con la fecundación y el desarrollo subsiguiente de la planta embrionaria (plántula de arroz no nacida). La planta embrionaria germina en una plántula que crece a continuación hasta constituir una planta madura. En los trópicos, las variedades de arroz completan su ciclo de vida dentro de un periodo general que va de 110 a 210 días, cayendo el módulo entre 100 y 150 días.

### **Fases fisiológicas del proceso de crecimiento**

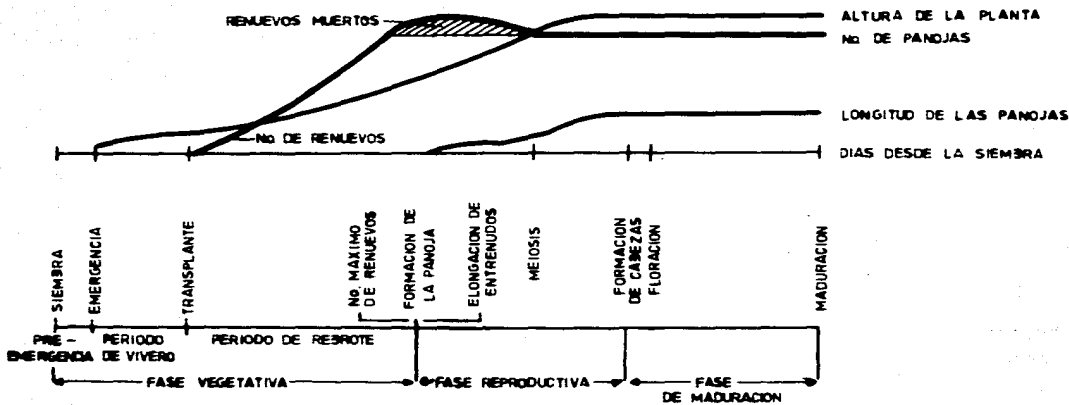
El ciclo completo de vida de las plantas de arroz puede dividirse en tres fases principales, que son:

1. Fase vegetativa —(desde la germinación de la semilla hasta el comienzo de la formación de la panoja).
2. Fase reproductiva —(desde el comienzo de la formación de la panoja hasta la floración) y
3. Fase de maduración —(desde la floración hasta la maduración completa).

Sin embargo, estas fases principales pueden subdividirse en etapas o periodos fisiológicamente distintos. Las divisiones detalladas de las fases principales se muestran en la ilustración 7 y se analizan detalladamente en párrafos siguientes.

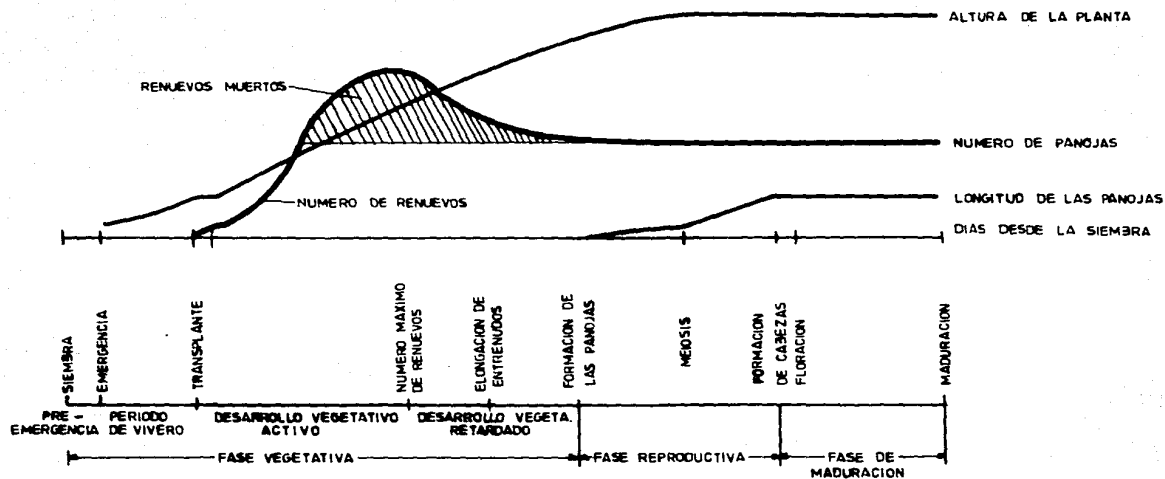


Ilus. 6. Ciclo biológico del arroz.



Ilus. 7. Etapas de crecimiento y fases de desarrollo de la variedad de arroz de 120 días.





Ilus. 7. Etapas de crecimiento y fases de desarrollo de la variedad de arroz de 150 días.

Los dos diagramas de la ilustración 7 ilustran el comportamiento en el desarrollo de una variedad que madura en 130 días (por ej.: C4-63 e IRB), en comparación con otra que madura en 150 días (por ej.: Peta). La duración de la fase reproductiva y la de maduración (25 a 35 días) es bastante constante para las dos variedades. La diferencia en la duración total del crecimiento se debe a la presencia de un período de «crecimiento vegetativo retardado» para la última variedad (Peta). La longitud del período de crecimiento vegetativo retardado depende de la sensibilidad de la variedad al fotoperíodo o a su madurez tardía inherente. Los efectos del fotoperíodo sobre las plantas de arroz, se analizan detalladamente en la sección «Influencia de la longitud del día sobre las plantas de arroz».

### 1. Fase vegetativa

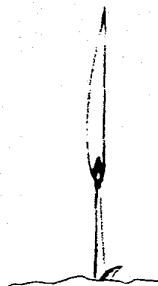
Esta fase se inicia al germinar la semilla, que se caracteriza por la aparición de la radícula o de la coleóptila en el embrión que germina (ilustración 8). Durante la fase vegetativa, la planta pasa por las etapas siguientes:

#### *Etapas de plántula*

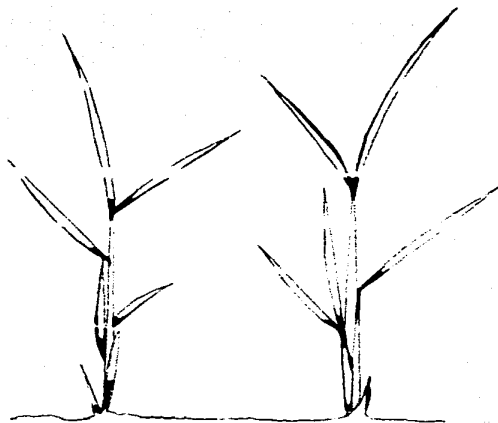
Por esta etapa pasan las plántulas trasplantadas y cubre el período que va desde el desarraigo de la plántula hasta la recuperación completa, después del trasplante.



**Coleóptilo (y punta  
de la hoja primaria)**



**Segunda hoja (y punta  
de la tercera)**



**Plántulas en la  
etapa de cinco hojas.**

**Ilus. 8. Desarrollo de la planta de arroz en la etapa de plántula.**

Las semillas que se siembran directamente en el terreno no pasan por la etapa de trasplante y recuperación.

#### *Etapas de renuevos*

La etapa de renuevos sigue a la de plántula. Se inicia con la aparición del primer renuevo que procede de la yema axilar de uno de los nudos más bajos. El aumento del número de renuevos prosigue hasta llegar al máximo (etapa máxima de renuevos). A continuación, algunos de los renuevos mueren y otros se debilitan y caen. Las plantas cesan de producir renuevos después que aparecen los terciarios (ilustración 9).

#### *Fases que componen la fase vegetativa*

La fase vegetativa es la más variable de todas en el crecimiento de las plantas. Esta fase se ve afectada notablemente, en algunas variedades, por la longitud del día y la temperatura, y puede subdividirse en dos fases componentes: la fase vegetativa básica o activa y la fase sensible al fotoperíodo o vegetativa retardada.

La fase vegetativa básica o activa es el período mínimo de crecimiento vegetativo que requiere la planta antes que se inicie la formación del primordio de panoja. Las variaciones habituales de la longitud del día tienen poco o ningún efecto sobre su duración. En las variedades sensibles al calor, la temperatura puede acortar o prolongar su duración.

Ilus. 9. Renuevos terciarios.



La fase sensible al fotoperíodo o vegetativa retardada es la porción de la fase vegetativa en la que la fecha de floración se determina por el número de horas de luz diurna a que se exponen las plantas. Por consiguiente, va del final de la fase vegetativa básica al comienzo de la formación de la panoja.

No todas las variedades tienen una fase fotoperiódica sensible. Por lo común, las variedades de maduración temprana y las no estacionales, como la IRB y la C4-63, tienen una fase fotoperiódica sensible muy corta.

## 2. Fase reproductiva

### *Etapas de formación de la panoja*

La fase reproductiva puede iniciarse antes de alcanzar el número máximo de renuevos, aproximadamente en el momento de la mayor actividad de producción de renuevos o después de él. Esta fase se caracteriza por la iniciación del primordio de la panoja, de dimensiones microscópicas, en el vástago en crecimiento.

El comienzo de formación de la panoja se produce, poco más o menos, de 70 a 75 días antes de la fecha de maduración de cualquier variedad. Este período corresponde a unos 60 a 70 días después de la formación de las plántulas, para variedades no estacionales que maduran en 130 días.

La fecha de iniciación de la panoja a partir de la

plántula, en las variedades estacionales o sensibles al fotoperíodo, varía debido a que el comienzo de formación de la panoja depende de la longitud del día a que se expone (véase «Influencia de la longitud del día sobre la planta de arroz»).

*Etapa de elongación de los entrenudos y panojas*

El momento de iniciarse la etapa de elongación de los entrenudos difiere entre las variedades. En las variedades de maduración tardía, la elongación acelerada de los entrenudos superiores puede iniciarse mucho antes que la fase reproductiva. En las variedades de maduración temprana, la elongación puede iniciarse después del comienzo de la formación de la panoja. Al desarrollarse la panoja joven, se hace visible a simple vista en unos cuantos días. La diminuta panoja es una estructura transparente que mide de 1 a 2 mm de longitud, con una punta esponjosa o vellosa (ilustraciones 10 y 11). Esto ocurre aproximadamente 55 días antes de la fecha de maduración de cualquier variedad, y marca el comienzo de la etapa de embuchamiento. A medida que continúa el desarrollo de las panojas, las espiguillas comienzan a distinguirse. El aumento de tamaño de las panojas jóvenes y su extensión hacia arriba dentro de la vaina de la hoja de bandera, hacen que dicha vaina se hinche. Los tallos deben

disectarse para observar estos desarrollos, puesto que las panojas se encuentran todavía encerradas por las vainas durante este periodo (ilustración 10).

#### *Etapa de espigamiento*

La etapa de embuchamiento va seguida por la emergencia de las puntas de las panojas (formación de cabezas, saliendo de las vainas de las hojas en forma de bandera). El crecimiento continúa hasta que el 90 por ciento de las panojas se encuentran fuera de las vainas.

#### *Etapa de floración*

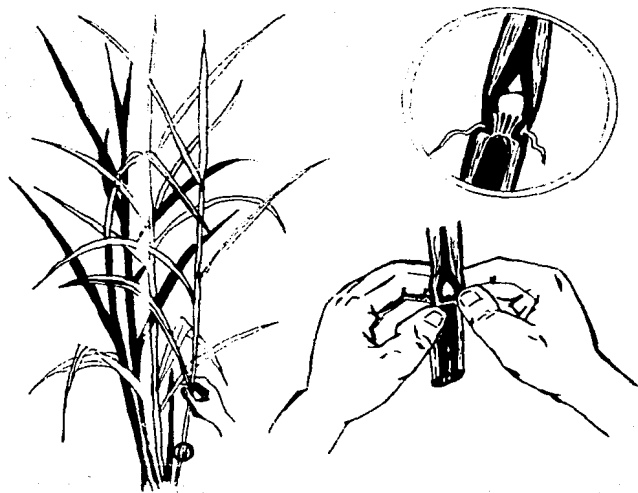
La floración se inicia con la rotura de las primeras anteras dehiscentes en las espiguillas terminales de las ramas de la panoja. La floración se produce aproximadamente 25 días después del embuche, sea cual fuere la variedad, y continúa sucesivamente hasta que todas las espiguillas de la panoja florecen. A continuación se producen la polinización y la fecundación.

### **3. Fase de maduración**

La fase de maduración (de la floración a la madurez) ocupa un periodo de 25 a 35 días, sea cual fuere la variedad.

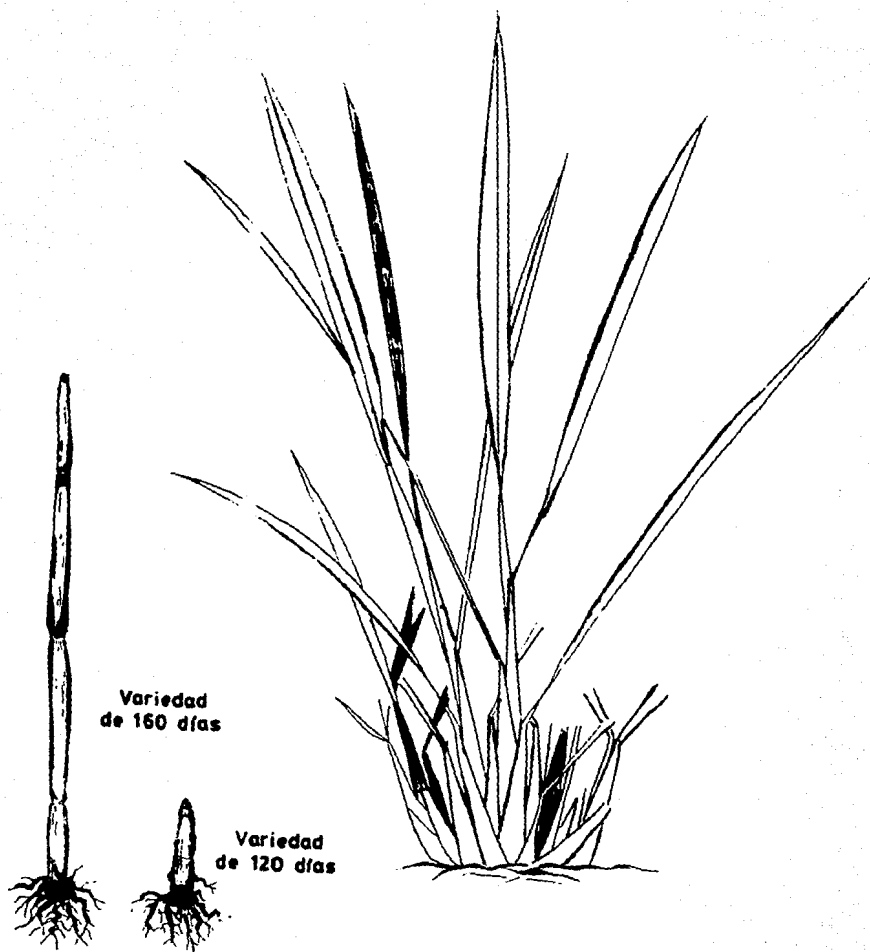
El grano de arroz se desarrolla después de la polinización y la fecundación. El desarrollo de los granos es un proceso continuo y dichos granos sufren cambios evidentes antes de madurar por completo.





**Ilus. 10. Disección de un tallo para determinar la emergencia de la panoja.**

Ilus. 12. Rebrote



Ilus. 11. Panoja joven, que comienza a verse.

*Etapa lechosa*

El contenido de la carióspside (la porción amilácea del grano) es primeramente acuosa; más tarde, se vuelve de consistencia lechosa.

*Etapa masosa*

La carióspside lechosa se convierte en masa blanda y, posteriormente, en masa dura.

*Etapa de maduración*

El grano individual está maduro cuando la carióspside se ha desarrollado completamente y se vuelve dura, clara, y limpia de tintes verdosos. La etapa de maduración se completa cuando están maduros más del 90 por ciento de los granos de las panojas. Los granos maduros pueden tener una coloración verdosa, si se cosechan con un contenido de humedad del 26 por ciento.

Al madurar el grano, las hojas envejecen y se ponen amarillentas, en orden ascendente. Las hojas que dejan de funcionar y los tejidos del tallo se llaman paja muerta. En algunas variedades, el tallo y las hojas superiores pueden permanecer verdes incluso después que maduran los granos. Esto es típico en la variedad IRB, cuando se cultiva en condiciones exentas de enfermedades y en suelos muy fértiles.

### *Etapas de sobremaduración*

La paja muere y los granos demasiado maduros se desgranar de la panoja. Puede producirse un resquebrajamiento de la cariósida dentro de la lema y la pálea, mientras que los granos están todavía sujetos a la panoja con la consiguiente pérdida en la molienda y en el grado de la calidad para el mercado.

### **Soca**

En condiciones favorables de humedad y fertilidad, pueden desarrollarse renuevos adicionales de los restos de las plantas cosechadas. Esos renuevos constituyen una segunda cosecha o soca. La duración de crecimiento de una soca se reduce considerablemente; pero también el rendimiento del grano.

**Resumen de las fechas aproximadas en que ocurren las distintas etapas de crecimiento del arroz**

Las fechas en que ocurren aproximadamente las diferentes etapas de crecimiento en las plantas de arroz, a partir de las plántulas, son las siguientes:

E t a p a s	Fecha de aparición a partir de la plántula	Fecha de aparición en relación a la fecha esperada de madurez
1. Comienzo de formación de la panoja.	Unos 60 a 70 días después de la formación de las plántulas, para las variedades no estacionales de 130 días y variable en las variedades estacionales.	Unos 70 a 75 días antes de la fecha de maduración, sea cual fuere la variedad.
2. Embuche.	Unos 75 días después de la formación de las plántulas para la variedades no estacionales de 130 días, y variable en las variedades estacionales.	Unos 55 días antes de la fecha de maduración, sea cual fuere la variedad.
3. Floración.	Unos 100 días después de la formación de plántulas para las variedades estacionales de 130 días, y variable para las variedades estacionales.	De 25 a 35 días antes de la fecha de maduración, sea cual fuere la variedad.

### Duración de cada fase de crecimiento

#### *Duración de la fase vegetativa básica o activa*

La duración de la fase vegetativa básica varía según las variedades. En general, la duración es de 25 a 65 días, aún cuando en algunas variedades sobrepase esos límites. La fase vegetativa básica tiene un valor fijo para cada variedad; sin embargo, en las variedades sensibles a la temperatura, la duración se ve afectada por la temperatura en grados variables. Las bajas temperaturas prolongan esta fase y las altas temperaturas la acortan.

#### *Duración de la fase vegetativa retardada o sensible al fotoperíodo*

La duración de esta fase varía de acuerdo con la longitud del día, así como también de una variedad a otra. En algunas variedades es muy corta, sea cual fuere la longitud del día. En las variedades muy sensibles a la duración del fotoperíodo, la fase vegetativa retardada puede durar indefinidamente, si esas variedades se exponen a días muy largos. Sin embargo, para darle un valor preciso a la fase sensible al fotoperíodo de cualquier variedad particular, se define como la cantidad máxima en que puede alterarse el crecimiento, debido a los cambios de longitud del día. Como ejemplo de esta reacción, la variedad de arroz conocida como Radin Siak 34, florece en 88 días, si cuenta con una longitud diurna de 10 horas, florece en 171 días. Por consiguiente, la

fase sensible al fotoperíodo es de 171 menos 88, o sea, de 83 días. Por otra parte, la variedad Milfor florece de 104 a 111 días, sea cual fuere la longitud del día. Por tanto, la fase sensible al fotoperíodo es de solamente 7 días.

Las diferencias en la duración del crecimiento (de la siembra a la madurez) de las variedades de arroz sensibles al fotoperíodo se deben principalmente a las variaciones en la duración de la fase vegetativa retardada. Si esta última es corta, la duración del crecimiento será también corta. Si la fase vegetativa retardada se prolonga, la etapa de crecimiento será también larga.

#### *Duración de las fases reproductiva y de maduración*

Normalmente, la duración de las fases reproductivas y de maduración son más o menos constantes, sea cual fuere la época de siembra, la plantación y la variedad. La duración de la fase reproductiva (desde el comienzo de la formación de la panoja hasta la floración) es generalmente de unos 35 días. La duración de la fase de maduración (desde la floración a la madurez) es de 25 a 35 días.

## Resumen de la duración aproximada de las fases de crecimiento de las plantas de arroz

La duración aproximada de cada fase y etapa de crecimiento de las plantas de arroz, se resume como sigue:

Fases	Duración
1. Fase vegetativa básica o activa	De 25 a 65 días para la mayoría de las variedades.
2. Fase vegetativa retardada (de básica al comienzo de la formación de las panojas).	Varia considerablemente, de acuerdo con la longitud del día, en las variedades estacionales.
3. Fase reproductiva (del comienzo de formación de las panojas a la floración).	Unos 35 días, sea cual fuere la variedad.
4. Fase de maduración (de la floración a la maduración).	De 25 a 35 días, sea cual fuere la variedad.

### Fase de crecimiento en relación con el rendimiento

El rendimiento en grano de las plantas de arroz está determinado por tres factores: 1) el número de panojas por planta (o por unidad de superficie); 2) el número de espiguillas llenas por panoja, y 3) el peso medio de los granos individuales.

El número de panojas por planta se determina en gran parte durante la fase vegetativa; el número de espiguillas



por panoja, durante la fase reproductiva; y el peso de un grano simple, durante la fase de maduración.

El periodo de crecimiento de las plantas de corta duración (con un periodo de maduración que no llega a los 100 días), cultivadas en condiciones normales de campo, por lo común no permite que se formen suficientes hojas; por lo cual hay menor número de panojas con granos bien llenos. Es necesaria una superficie foliar adecuada para fabricar alimentos asimilables que se requiere para desarrollar un gran número de espiguillas llenas en una panoja.

Por lo común, una fase vegetativa larga da como resultado mayor número de renuevos; sin embargo, la restricción de nutrientes disponibles y de espacio para el crecimiento óptimo limitan el número de renuevos que producen panojas.

El número de espiguillas por panoja depende de la actividad de la planta durante la fase reproductiva. Numerosos estudios han demostrado que la disponibilidad de nutrientes y las espiguillas por panoja tienen una correlación positiva. También la actividad fotosintética durante la fase reproductiva controla el número de espiguillas por panoja, como lo han demostrado ciertos experimentos de sombreado.

Las plantas expuestas a una absorción óptima de nitrógeno en cada fase de crecimiento, dan altos

rendimientos. Con numerosas hojas y una cantidad adecuada de nitrógeno, las plantas producen gran cantidad de carbohidratos, durante las fases reproductiva y de maduración, lo cual, a su vez, da como resultado un gran número de espiguillas bien llenas por panoja.

El almidón de los granos de arroz tiene una doble procedencia: a) los productos asimilados que se acumulan en el tallo y los tejidos de las hojas, antes de la floración, para transformarse posteriormente en azúcares, y a su vez transferirse a los granos; b) los productos asimilados que se producen durante las fases de maduración. El almidón procedente de la primera fuente se dice que es «acumulado». Una variedad de corta duración tendrá una proporción menor de almidón acumulado que las de larga duración; y en un nivel alto de nitrógeno la proporción de almidón acumulado es menor que en un nivel bajo de dicho elemento.

En el arroz, el fotoperiodo afecta la duración del crecimiento

El fotoperiodo (longitud del día) es uno de los principales factores que influyen en el desarrollo de las plantas de arroz. Se trata de la duración del período de luz (incluyendo la penumbra) durante un día dado. Fluctúa rítmicamente dentro del año y varía con la latitud. Por ejemplo, en Los Baños, Laguna, Filipinas (14.2° latitud N),

el fotoperiodo varia de 12 horas en enero a 13 horas y 42 minutos en julio. Se observan también variaciones del fotoperiodo en otras regiones de las Filipinas.

Sin embargo, en el Ecuador (latitud 0°), el fotoperiodo varía muy poco en el curso del año. En latitudes más altas, tanto al norte como al sur del ecuador, las variaciones fotoperiódicas se distinguen más.

### **Reacción de las variedades al fotoperiodo**

La respuesta de las plantas de arroz al fotoperiodo se conoce como fotoperiodismo. Esta reacción se manifiesta en aspectos vitales del desarrollo de la planta, tales como la fase de floración y la de crecimiento. Así, las variedades cuyas duraciones de crecimiento aumentan o disminuyen en relación al fotoperiodo, se llaman sensibles al fotoperiodo.

No obstante, la sensibilidad de las plantas de arroz a la longitud del día difiere entre variedades. Hay variedades cuya duración de crecimiento varía ligeramente dependiendo de la estación o el mes en que se plantan. Esas variedades son levemente sensibles al fotoperiodo.

Las variedades muy sensibles al fotoperiodo son aquellas cuya duración del crecimiento varía considerablemente, dependiendo del mes o la estación en que se plantan. Dado que los agricultores plantan por lo común variedades sensibles al fotoperiodo sólo durante cierta estación del año (por lo

común durante los periodos de días largos), se llaman también variedades estacionales.

Por otra parte, hay variedades cuya duración de crecimiento es más o menos la misma, sea cual fuere la estación en que se plantan. Por tanto, estas variedades se denominan no estacionales.

### **Plantas de día corto y de día largo**

Las plantas difieren en su reacción a la longitud del día. Por ejemplo, algunas plantas florecen solamente si el fotoperiodo es más corto que cierta duración crítica. Esas plantas se denominan de día corto. Plantas de día largo son las que florecen solamente si el fotoperiodo es más largo que la duración crítica.

En general, las plantas de arroz se consideran de día corto en el sentido de que los fotoperiodos cortos hacen disminuir la duración del crecimiento. Este tipo de reacción al fotoperiodo es básicamente similar en todas las variedades; pero el grado de sensibilidad puede variar considerablemente según la variedad.

### **Influencia de la longitud del día sobre las plantas de arroz**

Los investigadores dedujeron de los estudios sobre el comportamiento de las plantas de arroz con relación al fotoperiodo, que influye en la floración de estas plantas de modo considerable.

## 1. La longitud crítica del día determina el comienzo de la formación de panojas en las plantas de arroz

El comienzo de la formación de panojas en las plantas de arroz depende de la longitud crítica diurna para cada variedad. La longitud crítica diurna, se refiere a la longitud del fotoperíodo cuyo exceso puede impedir la formación de panojas.

La longitud crítica diurna difiere entre especies y entre variedades dentro de cada especie.

En general, las variedades fotoperiódicas muy sensibles no producen primordios de panojas o necesitan mucho tiempo para formar panojas, si las longitudes del día son más largas que la duración crítica.

## 2. Ciclos fotoinductivos necesarios para inducir el comienzo de la formación de panojas

Como indicamos previamente, los fotoperíodos inferiores a la longitud crítica diurna hacen que las plantas de arroz florezcan. Para saber cuántos ciclos fotoinductivos o días y noches de una longitud dada se requieren para inducir la floración de las plantas de arroz, los científicos del IRRI estudiaron el problema mediante el uso de la variedad fotoperiódica sensible BPI-76(S). Se desarrollaron plantas bajo luz continua, durante 35 días. Dichas plantas se sometieron a varios ciclos de longitud diurna distinta, antes

### *Etapa de sobremaduración*

La paja muere y los granos demasiado maduros se desgranar de la panoja. Puede producirse un resquebrajamiento de la cariósida dentro de la lema y la pálea, mientras que los granos están todavía sujetos a la panoja con la consiguiente pérdida en la molienda y en el grado de la calidad para el mercado.

### **Soca**

En condiciones favorables de humedad y fertilidad, pueden desarrollarse renuevos adicionales de los restos de las plantas cosechadas. Esos renuevos constituyen una segunda cosecha o soca. La duración de crecimiento de una soca se reduce considerablemente; pero también el rendimiento del grano.

**Resumen de las fechas aproximadas en que ocurren las distintas etapas de crecimiento del arroz**

Las fechas en que ocurren aproximadamente las diferentes etapas de crecimiento en las plantas de arroz, a partir de las plántulas, son las siguientes:

E t a p a s	Fecha de aparición a partir de la plántula	Fecha de aparición en relación a la fecha esperada de madurez
1. Comienzo de formación de la panoja.	Unos 60 a 70 días después de la formación de las plántulas, para las variedades no estacionales de 130 días y variable en las variedades estacionales.	Unos 70 a 75 días antes de la fecha de maduración, sea cual fuere la variedad.
2. Embuche.	Unos 75 días después de la formación de las plántulas para la variedades no estacionales de 130 días, y variable en las variedades estacionales.	Unos 55 días antes de la fecha de maduración, sea cual fuere la variedad.
3. Floración.	Unos 100 días después de la formación de plántulas para las variedades estacionales de 130 días, y variable para las variedades estacionales.	De 25 a 35 días antes de la fecha de maduración, sea cual fuere la variedad.

## Duración de cada fase de crecimiento

### *Duración de la fase vegetativa básica o activa*

La duración de la fase vegetativa básica varía según las variedades. En general, la duración es de 25 a 65 días, aún cuando en algunas variedades sobrepase esos límites. La fase vegetativa básica tiene un valor fijo para cada variedad; sin embargo, en las variedades sensibles a la temperatura, la duración se ve afectada por la temperatura en grados variables. Las bajas temperaturas prolongan esta fase y las altas temperaturas la acortan.

### *Duración de la fase vegetativa retardada o sensible al fotoperíodo*

La duración de esta fase varía de acuerdo con la longitud del día, así como también de una variedad a otra. En algunas variedades es muy corta, sea cual fuere la longitud del día. En las variedades muy sensibles a la duración del fotoperíodo, la fase vegetativa retardada puede durar indefinidamente, si esas variedades se exponen a días muy largos. Sin embargo, para darle un valor preciso a la fase sensible al fotoperíodo de cualquier variedad particular, se define como la cantidad máxima en que puede alterarse el crecimiento, debido a los cambios de longitud del día. Como ejemplo de esta reacción, la variedad de arroz conocida como Radin Siak 34, florece en 88 días, si cuenta con una longitud diurna de 10 horas, florece en 171 días. Por consiguiente, la



fase sensible al fotoperiodo es de 171 menos 88, o sea, de 83 días. Por otra parte, la variedad Milfor florece de 104 a 111 días, sea cual fuere la longitud del día. Por tanto, la fase sensible al fotoperiodo es de solamente 7 días.

Las diferencias en la duración del crecimiento (de la siembra a la madurez) de las variedades de arroz sensibles al fotoperiodo se deben principalmente a las variaciones en la duración de la fase vegetativa retardada. Si esta última es corta, la duración del crecimiento será también corta. Si la fase vegetativa retardada se prolonga, la etapa de crecimiento será también larga.

*Duración de las fases reproductiva y de maduración*

Normalmente, la duración de las fases reproductivas y de maduración son más o menos constantes, sea cual fuere la época de siembra, la plantación y la variedad. La duración de la fase reproductiva (desde el comienzo de la formación de la panoja hasta la floración) es generalmente de unos 35 días. La duración de la fase de maduración (desde la floración a la madurez) es de 25 a 35 días.

## Resumen de la duración aproximada de las fases de crecimiento de las plantas de arroz

La duración aproximada de cada fase y etapa de crecimiento de las plantas de arroz, se resume como sigue:

F a s e s	D u r a c i ó n
1. Fase vegetativa básica o activa	De 25 a 65 días para la mayoría de las variedades.
2. Fase vegetativa retardada (de básica al comienzo de la formación de las panojas).	Varía considerablemente, de acuerdo con la longitud del día, en las variedades estacionales.
3. Fase reproductiva (del comienzo de formación de las panojas a la floración).	Unos 35 días, sea cual fuere la variedad.
4. Fase de maduración (de la floración a la maduración).	De 25 a 35 días, sea cual fuere la variedad.

### Fase de crecimiento en relación con el rendimiento

El rendimiento en grano de las plantas de arroz está determinado por tres factores: 1) el número de panojas por planta (o por unidad de superficie); 2) el número de espiguillas llenas por panoja, y 3) el peso medio de los granos individuales.

El número de panojas por planta se determina en gran parte durante la fase vegetativa; el número de espiguillas

por panoja, durante la fase reproductiva; y el peso de un grano simple, durante la fase de maduración.

El periodo de crecimiento de las plantas de corta duración (con un periodo de maduración que no llega a los 100 días), cultivadas en condiciones normales de campo, por lo común no permite que se formen suficientes hojas; por lo cual hay menor número de panojas con granos bien llenos. Es necesaria una superficie foliar adecuada para fabricar alimentos asimilables que se requiere para desarrollar un gran número de espiguillas llenas en una panoja.

Por lo común, una fase vegetativa larga da como resultado mayor número de renuevos; sin embargo, la restricción de nutrientes disponibles y de espacio para el crecimiento óptimo limitan el número de renuevos que producen panojas.

El número de espiguillas por panoja depende de la actividad de la planta durante la fase reproductiva. Numerosos estudios han demostrado que la disponibilidad de nutrientes y las espiguillas por panoja tienen una correlación positiva. También la actividad fotosintética durante la fase reproductiva controla el número de espiguillas por panoja, como lo han demostrado ciertos experimentos de sombreado.

Las plantas expuestas a una absorción óptima de nitrógeno en cada fase de crecimiento, dan altos

rendimientos. Con numerosas hojas y una cantidad adecuada de nitrógeno, las plantas producen gran cantidad de carbohidratos, durante las fases reproductiva y de maduración, lo cual, a su vez, da como resultado un gran número de espiguillas bien llenas por panoja.

El almidón de los granos de arroz tiene una doble procedencia: a) los productos asimilados que se acumulan en el tallo y los tejidos de las hojas, antes de la floración, para transformarse posteriormente en azúcares, y a su vez transferirse a los granos; b) los productos asimilados que se producen durante las fases de maduración. El almidón procedente de la primera fuente se dice que es «acumulado». Una variedad de corta duración tendrá una proporción menor de almidón acumulado que las de larga duración; y en un nivel alto de nitrógeno la proporción de almidón acumulado es menor que en un nivel bajo de dicho elemento.

**En el arroz, el fotoperiodo afecta la duración del crecimiento**

El fotoperiodo (longitud del día) es uno de los principales factores que influyen en el desarrollo de las plantas de arroz. Se trata de la duración del período de luz (incluyendo la penumbra) durante un día dado. Fluctúa rítmicamente dentro del año y varía con la latitud. Por ejemplo, en Los Baños, Laguna, Filipinas (14.2° latitud N),

el fotoperíodo varía de 12 horas en enero a 13 horas y 42 minutos en julio. Se observan también variaciones del fotoperíodo en otras regiones de las Filipinas.

Sin embargo, en el Ecuador (latitud 0°), el fotoperíodo varía muy poco en el curso del año. En latitudes más altas, tanto al norte como al sur del ecuador, las variaciones fotoperiódicas se distinguen más.

### **Reacción de las variedades al fotoperíodo**

La respuesta de las plantas de arroz al fotoperíodo se conoce como fotoperiodismo. Esta reacción se manifiesta en aspectos vitales del desarrollo de la planta, tales como la fase de floración y la de crecimiento. Así, las variedades cuyas duraciones de crecimiento aumentan o disminuyen en relación al fotoperíodo, se llaman sensibles al fotoperíodo.

No obstante, la sensibilidad de las plantas de arroz a la longitud del día difiere entre variedades. Hay variedades cuya duración de crecimiento varía ligeramente dependiendo de la estación o el mes en que se plantan. Esas variedades son levemente sensibles al fotoperíodo.

Las variedades muy sensibles al fotoperíodo son aquellas cuya duración del crecimiento varía considerablemente, dependiendo del mes o la estación en que se plantan. Dado que los agricultores plantan por lo común variedades sensibles al fotoperíodo sólo durante cierta estación del año (por lo

común durante los periodos de días largos), se llaman también variedades estacionales.

Por otra parte, hay variedades cuya duración de crecimiento es más o menos la misma, sea cual fuere la estación en que se plantan. Por tanto, estas variedades se denominan no estacionales.

### **Plantas de día corto y de día largo**

Las plantas difieren en su reacción a la longitud del día. Por ejemplo, algunas plantas florecen solamente si el fotoperíodo es más corto que cierta duración crítica. Esas plantas se denominan de día corto. Plantas de día largo son las que florecen solamente si el fotoperíodo es más largo que la duración crítica.

En general, las plantas de arroz se consideran de día corto en el sentido de que los fotoperíodos cortos hacen disminuir la duración del crecimiento. Este tipo de reacción al fotoperíodo es básicamente similar en todas las variedades; pero el grado de sensibilidad puede variar considerablemente según la variedad.

### **Influencia de la longitud del día sobre las plantas de arroz**

Los investigadores dedujeron de los estudios sobre el comportamiento de las plantas de arroz con relación al fotoperíodo, que influye en la floración de estas plantas de modo considerable.

## 1. La longitud crítica del día determina el comienzo de la formación de panojas en las plantas de arroz

El comienzo de la formación de panojas en las plantas de arroz depende de la longitud crítica diurna para cada variedad. La longitud crítica diurna, se refiere a la longitud del fotoperíodo cuyo exceso puede impedir la formación de panojas.

La longitud crítica diurna difiere entre especies y entre variedades dentro de cada especie.

En general, las variedades fotoperiódicas muy sensibles no producen primordios de panojas o necesitan mucho tiempo para formar panojas, si las longitudes del día son más largas que la duración crítica.

## 2. Ciclos fotoinductivos necesarios para inducir el comienzo de la formación de panojas

Como indicamos previamente, los fotoperíodos inferiores a la longitud crítica diurna hacen que las plantas de arroz florezcan. Para saber cuántos ciclos fotoinductivos o días y noches de una longitud dada se requieren para inducir la floración de las plantas de arroz, los científicos del IRRI estudiaron el problema mediante el uso de la variedad fotoperiódica sensible BPI-76(S). Se desarrollaron plantas bajo luz continua, durante 35 días. Dichas plantas se sometieron a varios ciclos de longitud diurna distinta, antes

de exponerlas nuevamente a la luz continua. Algunos de los resultados aparecen en la siguiente tabla.

Ciclos fotoinductivos requeridos para provocar la floración en la variedad BPI-76(9).

Fotoperíodo (horas)	Número de ciclos	Días para iniciarse la formación de las panojas
10	6	8
10	8	18
10	12	14
11	6	8
11	8	28
11	12	14
12	22	8
12	24	36
12	30	35

La tabla anterior indica que al alargarse el fotoperíodo se necesitaron más ciclos para iniciar la floración. Mientras que con fotoperíodos de 10 ó 11 horas se necesitaron solamente 8 ciclos, con fotoperíodos de 12 horas fueron necesario 24 ciclos para que se iniciara la floración.

3. Los cultivos fuera de temporada florecen tarde e irregularmente

En las Filipinas, las variedades sensibles al fotoperíodo florecen tarde o irregularmente, cuando se



plantan al finalizar la estación seca, o bien, fuera de temporada. Las razones fundamentales para explicar este comportamiento en las siembras tardías o fuera de época, se examinaron experimentalmente en el IRRI. Una nueva variedad (BPI-76(S)), sensible al fotoperíodo, se cultivó en días largos, durante 25 días y, a continuación, se sometió a varios y diferentes ciclos fotoinductivos antes de pasarla de nuevo a los días largos. Los investigadores descubrieron que la floración ocurría en los renuevos que crecían antes de los tratamientos fotoinductivos. En los renuevos formados durante el tratamiento, algunos de ellos florecieron y otros no. Los renuevos formados después de los tratamientos fotoinductivos a que se sometieron las plantas, las panojas y las hojas con forma de bandera se hicieron más cortos y las plantas en general se asemejaron a las de la temporada regular (monzónica).

Estos resultados explican por qué las plantas fotoperiódicas florecen tarde e irregularmente cuando se plantan al final de la temporada seca. Bajo las condiciones del campo, los cultivos plantados fuera de temporada o a fines de la estación seca, están expuestos a fotoperíodos de duración creciente, a medida que progresa el crecimiento. En consecuencia, los primeros renuevos que se forman antes que los días se hagan críticamente largos, florecen normalmente,

debido a que se someten a días cortos. Los renuevos posteriores se exponen a menos días cortos y, por tanto, su floración se retrasa. Los renuevos formados después de que los días se alargan sobrepasando el fotoperiodo crítico, no florecen en absoluto. Las observaciones experimentales explican también las diferencias de aspecto en las plantas, entre cultivos regulares y cultivos fuera de temporada.

#### 4. El fotoperiodo afecta a la fase de crecimiento

Las variedades de arroz difieren en cuanto a la duración del crecimiento (de la siembra a la madurez). Estas diferencias son, en parte, resultado del efecto del fotoperiodo sobre la fase vegetativa retardada en el crecimiento de las plantas. La sensibilidad de la fase vegetativa retardada a los fotoperiodos cambia con las variedades. En las variedades muy fotoperiódicas, la duración de la fase vegetativa retardada aumenta considerablemente cuando se someten dichas variedades a fotoperiodos más largos que la longitud crítica diurna. La duración de la fase vegetativa retardada en las variedades poco fotoperiódicas no aumenta mucho, aunque dichas variedades se sometan a fotoperiodos largos. El efecto general de los fotoperiodos sobre la duración del crecimiento en las variedades muy fotoperiódicas es que la duración del crecimiento aumenta o disminuye, dependiendo de la longitud del fotoperiodo al que

se someten (ilustración 18).

Por otra parte, la duración del crecimiento en las variedades fotoperiódicas poco sensibles es más o menos constante, sea cual fuere la longitud del fotoperiodo al que se exponen.

#### **5. Los periodos cortos e intermitentes de luz pueden afectar la formación de panojas**

El comportamiento de las plantas de arroz está regido por la longitud del periodo continuo de obscuridad. En algunas de las variedades de arroz, periodos de luz muy cortos, de 3 a 15 minutos, durante los periodos oscuros, pueden afectar notablemente el tiempo de formación de las panojas. Para proporcionar iluminación suplementaria, o efectuar interrupciones, la luz roja es la más eficiente.

#### **6. La penumbra afecta mucho a las variedades sensibles**

Los estudios han demostrado que una total intensidad de iluminación diurna no es necesaria en las variedades muy sensibles, para impedir el comienzo de la formación de panojas. Estas variedades pueden reaccionar a grados luminicos de 1 a 100 luxs. Estas intensidades se encuentran justo por encima de la iluminación de la luna llena. Por consiguiente, la penumbra puede contribuir de manera significativa a la longitud del fotoperiodo en condiciones normales de luz diurna.