

Evaluación agronómica de la producción y requerimientos de agua del arroz

Por
Blanco, Federico

Tesis para optar al grado de Magister Scientiae en
Suelos y Riego

www.bdigital.ula.ve

CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO
INTEGRAL DE AGUAS Y TIERRAS
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
Mérida - Venezuela
1982

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY - NC - SA 3.0 VE)

DEDICATORIA

A mi esposa Ana María

y mis hijos

María Isabel y Guillermo

www.bdigital.ula.ve

AGRADECIMIENTO

Agradezco a las personas e instituciones que han hecho posible la culminación de los estudios efectuados, así como la realización de la presente tesis. Al Dr. Aldo Norero, Asesor Principal, bajo cuya dirección se realizó este trabajo. Al Dr. Carlos Grassi y a los Ings. Luis Rázuri R, y Bruno Añez por las sugerencias realizadas y la revisión del texto. Al personal directivo, docente, administrativo, de biblioteca, publicaciones y obrero del CIDIAT, por la colaboración prestada en todo momento.

Agradezco al Ministerio de Agricultura y Pesca de Uruguay y a la Organización de Estados Americanos, que con su apoyo económico hicieron posible mi participación en el postgrado.

Al Ing. Luis Alvarez, profesor de Arroz de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales "Ezequiel Zamora", por la valiosa información sobre la realidad arrocerá nacional.

A la Srta. Lina Ramírez, por su magnífica labor mecanográfica y a mis compañeros de estudio por su colaboración y amistad.

A todos, muchas gracias.

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Representación esquemática de las metodologías para el estudio de la problemática de producción de arroz en agricultura tradicional y moderna.....	5
2	Esquema del modelo para analizar y programar la producción de arroz.....	15
3	Temperaturas promedios del aire y del agua de inundación en Turén.....	22
4	Determinación del coeficiente de extinción de radiación por el follaje (K) para el fitotipo moderno (K= 0.4) y tradicional (K = 0.6).....	26
5	Densidad de área foliar (df/dz) e índice de área foliar (f) en función de la altura sobre la superficie del suelo.....	30
6	Determinación del peso de producto comercial por planta en ausencia de competencia (w_o).....	33
7	Evolución del desarrollo foliar	35
8	Evolución del cociente respiratorio (ρ).....	37
9	Efecto de la temperatura sobre la intensidad de desarrollo ($\frac{dx}{dt}$).....	39
10	Determinación de la temperatura mínima (v). Fitotipo moderno.....	41
11	Respuesta de los fitotipos de arroz al fotoperíodo.....	56
12	Respuesta del fitotipo moderno al fotoperíodo	58
13	Efecto de la temperatura y la radiación sobre la fotosíntesis.....	63
14	Evolución del índice de área foliar (F).....	66
15	Evolución de la producción de materia seca y absorción de nitrógeno, fósforo y potasio en dos variedades de arroz.....	77

LISTA DE FIGURAS (Continuación)

Figura		Página
16	Diagnóstico de fertilidad relativo al nivel máximo de fito-nutriente y a la etapa fenológica del cultivo.....	80
17	Evolución de la disponibilidad de nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio, en un suelo franco arcilloso sumergido.....	99
18	Curvas respuesta a elementos fertilizantes nitrógeno y fósforo. Fitotipo moderno, temporada húmeda.....	101
19	Evapotranspiración acumulada.....	111
20	Efecto de la disponibilidad de fósforo (P) en el ciclo de cultivo, sobre la biomasa.....	118
21	Influencia del tiempo y nivel de aplicación de nitrógeno (N), sobre la biomasa.....	119

www.bdigital.ula.ve

LISTA DE SIMBOLOS

Símbolo	Significado
A	=Fitonutriente absorbido o tasa máxima de desarrollo con temperatura óptima.
A_t	=Absorción de fitonutriente que realiza el "testigo"
A_{xK}	=Absorción de potasio para obtener la producción máxima
A_{xN}	= " " " nitrógeno " " " " "
A_{xP}	= " " " fósforo " " " " "
a	=Intercepto o coeficiente de ajuste o coeficiente de forma de la hoja
B	=Fotosíntesis bruta
b	=Pendiente o coeficiente de ajuste o eficiencia edafológica
C	=Carbono o respiración
C_h	=Respiración del follaje durante el día
C_s	= " de los tejidos no foliares durante el día
c	=Coeficiente de ajuste
df/dz	=Densidad de área foliar
dx/dt	=Intensidad de desarrollo
E_o	=Evaporación máxima
E_p	=Transpiración
E_{px}	=Transpiración máxima
E_v	=Evaporación del tanque "A"
E_w	=Evaporación del agua
E_x	=Evapotranspiración
F	=Fitotipo o fotoperíodo o índice de área foliar total o fertilizante
F_M	=Fitotipo moderno
F_T	= " tradicional

LISTA DE SIMBOLOS (Continuación)

Símbolo	Significado
F_x	= Índice foliar óptimo o dosis de fertilizante para obtener la producción máxima.
F_*	= " " crítico
f	= Función o índice de área foliar
G_T	= Biomasa total máxima del cultivo al alcanzar la madurez fisiológica
g	= Función o crecimiento
g_d	= Crecimiento neto diario
g_n	= Respiración total nocturna del cultivo
g_*	= Crecimiento máximo
H	= Temporada húmeda o altura total del cultivo
$H.R.$	= Humedad relativa
h_T	= Peso total del follaje formado
I	= Intensidad de luz dentro del follaje o coeficiente de ajuste
I_0	= " " " sobre el "
J	= Fitonutriente
K	= Potasio o coeficiente de extinción de radiación del follajeo conductividad hidráulica.
k	= Coeficiente de ajuste
$k_{\tilde{c}}$	= Conductividad calórica global de las plantas
$k_{\tilde{v}}$	= Conductividad global al vapor en las plantas
k_w	= " " hidráulica
L	= Ancho de la hoja
m	= Peso de la semilla
N	= Nitrógeno o duración del período u horas máximas posibles de sol
N_d	= Duración del período diario

RESUMEN

El arroz es un cultivo muy importante en la agricultura nacional y mundial. Venezuela tiene una alta potencialidad productora y exportadora.

El nivel de conocimiento actual, basado en experiencias internas y externas, y la integración sistemática de varias disciplinas a través del método científico, permite elaborar recomendaciones coherentes con aplicación general a un costo muy inferior que el de la agricultura tradicional. Por esta razón se propone el uso de modelos para analizar y programar la producción de arroz. Se aplica a Portuguesa por ser uno de los estados más productores del país.

Se destacan dos temporadas de siembra climáticamente diferentes. Una húmeda, donde los 4000 m³/ha, consumidos por evapotranspiración son cubiertos por la precipitación. Otra seca, donde este consumo aumenta a 7200 m³/ha y deben ser cubiertos principalmente por el riego.

Se comparan dos fitotipos diferentes. El moderno, cuya potencialidad productiva en grano es de 8000 kg/ha, está representado por las variedades actualmente bajo cultivo (Araure 1 y CICA 4). El tradicional, que es hipotético, está basado en variedades cultivadas en Asia (Peta, entre otras) y tiene una potencialidad productiva de 4500 kg/ha.

La cosecha comercial de cada fitotipo no varía mayormente con la temporada de siembra. Por el contrario, los requerimientos hídricos por concepto de evapotranspiración, están fuertemente afectados por la temporada de siembra y no por el fitotipo.

Se presentan las poblaciones de plantas necesarias, la cantidad de semilla para lograrlas y los requerimientos de abonos para alcanzar la producción económica por el uso de fertilizantes.

www.bdigital.ula.ve

LISTA DE SIMBOLOS (Continuación)

Símbolo	Significado
N_n	= Duración del período nocturno
n	= Insolación diaria efectiva o parámetro para estimar la densidad óptima de siembra o parámetro para estimar la producción en función de la fertilidad según la modalidad de siembra.
n_1	= Densidad de estomas en la cara superior
n_2	= " " " " " " inferior
n_0	= Concentración óptima de nitrógeno en los tejidos foliares al alcanzar la madurez.
P	= Fósforo o precipitación
P_{25}	= Precipitación con probabilidad de ocurrencia menor o igual al 25%
P_{50}	= " " " " " " " al 50%
P_{75}	= " " " " " " " al 75%
p	= Diámetro equivalente del poro estomático o fracción de la biomasa total seca que es producto cosechable
p_*	= Diámetro del poro estomático plenamente abierto
Q	= Contenido de fitonutriente en el suelo
Q_g	= Distribución de la radiación solar en la cubierta vegetal
Q_s	= Aporte de fitonutriente de las propias fuentes del suelo
Q_x	= " " " " " " " " " que corresponde a la máxima absorción (A_x) para producción potencial.
R	= Relación entre semilla de siembra directa y transplante
R_g	= Radiación solar global (onda corta)
R_L	= Radiación atmosférica (onda larga)
r	= Resistencia
r_a	= " total al flujo de gas carbónico
r_b	= " total de carácter bioquímico

LISTA DE SIMBOLOS (Continuación)

Símbolo	Significado
r_c	= Resistencia de la capa de aire estática
r_e	= " estomática
r_i	= " en la reacción fotolítica
r_m	= " al flujo difusivo de los tejidos internos
r_x	= " implícita en las reacciones de carboxilación
S	= Temporada seca o fotosíntesis neta
T	= Temperatura o duración en días del crecimiento total del cultivo
\bar{T}	= Temperatura efectiva
T_d	= Temperatura diurna
T_f	= Temperatura foliar
$T_{m\acute{a}x}$	= Temperatura máxima
$T_{m\acute{i}n}$	= " mínima
$T_{\bar{x}}$	= " promedio
T_w	= " del agua
T_n	= " nocturna
T_p	= " global de la cubierta vegetal
t	= Días de crecimiento autotrófico
t/T	= Grado de desarrollo del cultivo
T_i	= Días de germinación
t_M	= Duración del ciclo del cultivo hasta madurez de cosecha
U	= Utilidad
U_{10}	= Velocidad del viento a 10 m sobre el suelo
U_d	= " " " " " " " " " , diurna

LISTA DE SIMBOLOS (Continuación)

Símbolo	Significado
U_n	= Velocidad del viento a 10 m sobre el suelo, nocturna
V	= Presión de vapor (humedad del aire)
V_d	= " " " diurna
V_n	= " " " nocturna
w_o	= Peso de producto comercial por planta, en ausencia de competencia
X	= Número de estructuras al alcanzar la madurez
x	= Espaciamiento entre plantas
Y	= Producción potencial
Y_e	= " económica
Y_{exp}	= " máxima experimental
y	= " o rendimiento
Z_L	= Altura donde se inicia el follaje
Z_M	= " " la densidad foliar es máxima
α	= Albedo o precio del kilo de fitonutriente
α_N ó 1	Precio del kilo de nitrógeno
α_P ó 2	" " " " fósforo
α_p	= Albedo de las plantas
α_w	= " del agua
β	= Coeficiente de fotorespiración o precio del producto comercial co- sechado.
Δ	= Rango de temperatura
δ	= Densidad de plantas
δ_o	= " " " óptimas

LISTA DE SIMBOLOS (Continuación)

Símbolo	Significado
δ_t	= Densidad de plantas de transplante
ϵ	= Eficiencia de sobrevivencia de plantas
ϵ_c	= " de cosecha
ϵ_m	= " fisiológica mínima
ϵ_s	= " de germinación y establecimiento
ϵ_x	= " fisiológica máxima
ϵ_p	= Emisividad radiante de las plantas
ϵ_w	= " " del agua
γ	= Coeficiente foliar de extinción del viento
λ	= Desarrollo
λ_x	= " al culminar el crecimiento foliar
λ_*	= " al alcanzar el índice foliar crítico
L	= Calor latente de vaporización
L_p	= " " " " de las plantas
ρ	= Cociente respiratorio
θ	= Ángulo de inclinación de las hojas sobre la horizontal o contenido de humedad del producto comercial.
σ_s	= Dosis de semilla para siembra directa
σ_t	= Dosis de semilla para siembra por transplante
τ	= Duración del ciclo del cultivo o transmisibilidad a través de la hoja
τ_b	= Duración base del ciclo del cultivo
τ_o	= " óptima del ciclo del cultivo
v	= Temperatura mínima

CAPITULO I

INTRODUCCION

El cultivo de arroz en terrenos inundados es un sistema agrícola con más de 5000 años y aún hoy día sostiene a la población más densa del mundo (Grist, 1965 y Wrigley, 1970). El 90% de la producción mundial tiene su origen en el Asia Tropical (Sánchez, 1976 y Uchijima, 1976a). Dada la importancia que tiene como fuente alimenticia, su cultivo se ha extendido a otras regiones geográficas, tales como al noreste de China (50° de latitud norte), a Nueva Gales del Sur (Australia) y al Uruguay en América del Sur (35° de latitud Sur).

Crece en terrenos con cotas inferiores al nivel del mar (Kerala, India); al nivel del mar en la mayoría de las áreas de cultivo, y en elevaciones superiores a los 2000 m. en Kashmir y Nepal (Yoshida, 1977).

La superficie mundial es del orden de los 150 millones de hectáreas, con una producción de 400 millones de toneladas y un rendimiento promedio de aproximadamente 2700 kg/ha. En los últimos 10 años la superficie se incrementó en 8% y los rendimientos en 12% (FAO, 1978).

América Latina contribuye con el 4% de la producción mundial y los rendimientos se han incrementado en 3.6% en los últimos años, (Scobie y Posada, 1977).

En Venezuela la producción es del orden de 770 mil toneladas en una superficie de 250 mil hectáreas, con rendimientos de 3100 kg/ha. Los precios se han duplicado en los últimos 10 años, al igual que los rendimientos y la superficie cosechada, lo que explica un aumento superior a cuatro veces en la producción (Quevedo, 1981).

El consumo per cápita se encuentra entre 45 y 135 kg/año en países en desarrollo. En Venezuela se consumen 500 mil toneladas anuales por lo que existe un superavit superior a las 200 mil toneladas (Rodríguez, 1982). Este exceso se canaliza hacia la industria por ser de mala calidad culinaria. El país tiene alta potencialidad productora y exportadora por lo siguiente:

1. Existe una gran superficie de suelos impropios para otros cultivos (Sánchez, 1976) pero aptos para el arroz (Tabla 1).

2. Es posible incrementar los rendimientos hasta niveles del orden de los 8000 kg/ha, como se ha demostrado a nivel comercial en el Estado de Guárico (Anónimo, 1977).

3. El clima tropical es propicio, para obtener hasta tres cosechas al año (Menéndez, 1980 y Yoshida, 1977).

4. El recurso agua generalmente no es escaso, ya que en la temporada húmeda lo aportan las precipitaciones y en la temporada seca las fuentes superficiales y subterráneas (Alvarez, 1982 comunicación personal).^{1/}

5. Se prevé una demanda creciente, a nivel mundial, para los próximos años (Efferson, 1977).

6. La región del Caribe es importadora de arroz (Scobie y Posada, 1977).

Además, el aumento de producción cumpliría con los objetivos del V Plan de la Nación (Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, 1979).

^{1/} Ing. Luis Alvarez, Profesor de Arroz de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales "Ezequiel Zamora".

Tabla 1 Estados productores de arroz y su importancia relativa (Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, 1979).

ESTADO		SUPERFICIE COSECHADA
Nombre	Superficie (Km ²)	DE ARROZ (ha)
Portuguesa	15.200	más de 10.000
Guárico	64.986	" "
Cojedes	14.800	5.000 a 10.000
Barinas	35.200	1.000 a 5.000
Bolívar	238.000	" "
Monagas	28.900	" "
Zulia	63.100	100 a 1.000
Apure	76.500	" "
Carabobo	4.650	" "
Miranda	7.950	" "
Anzoátegui	43.300	" "
Delta Amacuro	42.200	" "

Para lograr una alta producción con calidad de exportación es necesario recurrir a fitotipos adecuados.

Hasta el presente, la producción de arroz se ha realizado siguiendo las normas de la agricultura tradicional que se basan en una experimentación agronómica de carácter inductivo, es decir, que va de lo particular a lo general. Se ha pretendido generalizar a partir de experiencias locales, basándose en métodos empíricos que lógicamente sólo tienen validez o aplicación local. Por lo general, se trata de experiencias agronómicas disciplinarias o por especialidades cuyos resultados no son susceptibles de aplicación inmediata hasta tanto no se consiga una reproducibilidad satisfactoria de los resultados. Este método consume naturalmente mucho tiempo y dinero y no siempre es fácil o sencillo armonizar los resultados derivados de las diferentes investigaciones disciplinarias (Fitotecnia, Fertilidad, Riego y Drenaje, etc.).

La integración de todos los resultados para proponer un "paquete" tecnológico, que resulta así de una sumatoria aproximada e intuitiva de los mejores esfuerzos experimentales de las distintas especialidades.

En nuestros países, con escasos recursos económicos, parece atractivo emplear el método deductivo, cuyo procedimiento consiste en pasar de lo general a lo particular, es decir, formular teorías basadas en principios y fundamentos y luego probarlas con experiencias integradoras de todas las variables que intervienen en la producción, aplicando el método científico, Figura 1.

Analizando las experiencias propias o de otras latitudes, se elaboran hipótesis, que permiten confeccionar modelos de producción para predecir resultados. Los modelos son una representación de la realidad, lo cual implica una

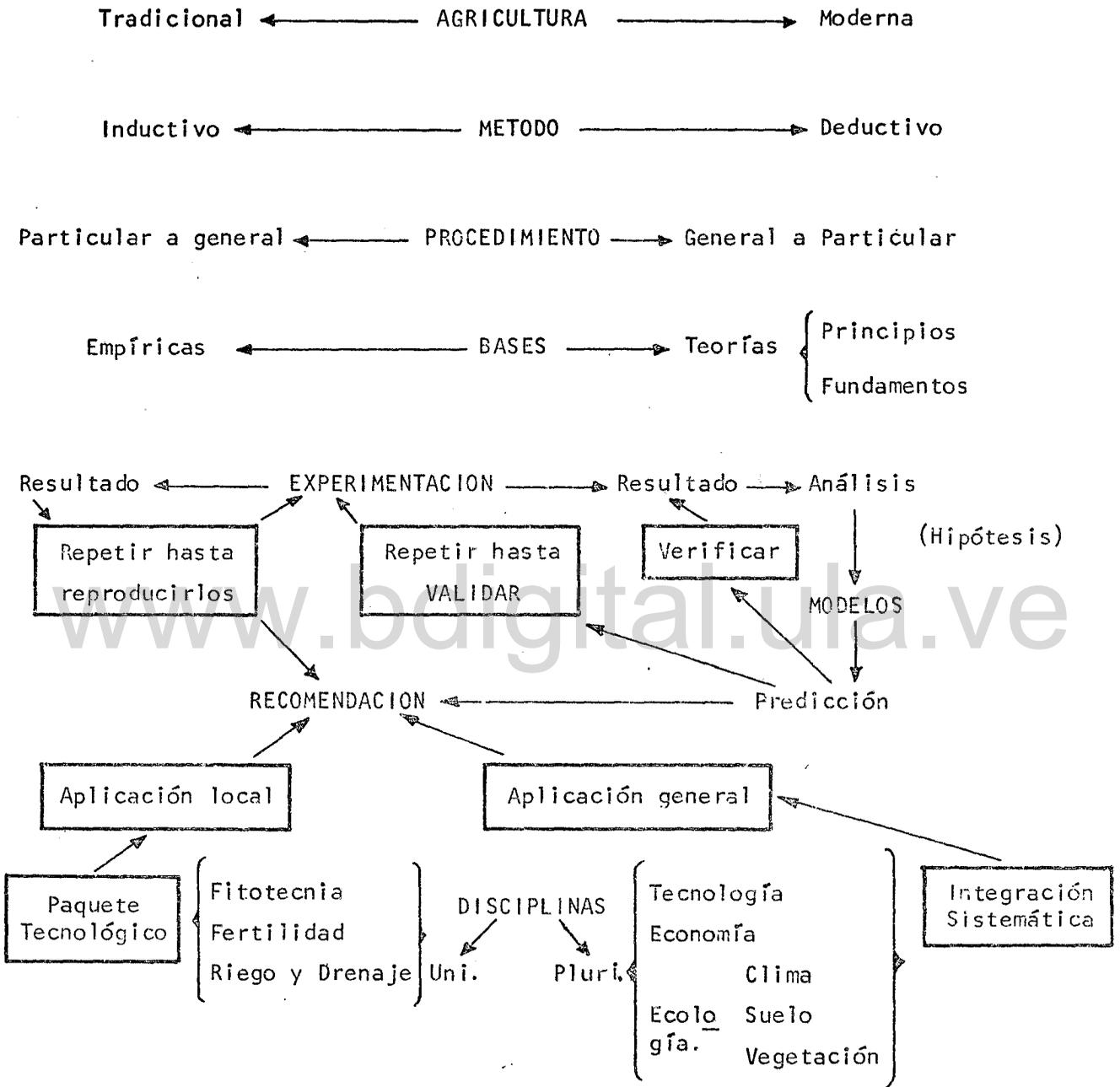


Figura 1. Representación esquemática de las metodologías para el estudio de la problemática de producción de arroz en agricultura tradicional y moderna.

idealización, con simplificación de detalles que nos permiten establecer conclusiones acerca de la misma, mediante el uso de un conjunto de ecuaciones matemáticas que representan la estructura y funcionamiento de un sistema de producción (Norero, 1982).

Las experiencias tienen por objeto validar el modelo, lo cual una vez conseguido, permite elaborar recomendaciones coherentes con aplicación general, fruto de la integración sistemática de varias disciplinas. Este carácter pluridisciplinario es el que integra grandes disciplinas, como la ecología agrícola, que abarca el clima, suelo y vegetación, la tecnología y la economía,

Figura 1. En definitiva la ingeniería agronómica moderna debe ser más cuantitativa y menos empírica que la actual (Norero, 1977a).

Objetivos

1. Elaborar un modelo para analizar y programar la producción de arroz.
2. Aplicar el modelo de producción al Estado Portuguesa.
3. Mediante el mismo modelo, evaluar los requerimientos hídricos de este cultivo.

CAPITULO II

REVISION DE LITERATURA

Dada la importancia que tiene el arroz como fuente alimenticia, las diversas disciplinas agronómicas le han prestado mucha atención en los últimos años (Uchijima, 1976a).

Los rendimientos en Japón, país tradicionalmente productor, se han incrementado más rápidamente en los últimos años, Tabla 2.

Mientras en mil años (del 900 a 1885) se duplicó la producción de 1 a 2 tm/ha, en menos de 100 años (de 1885 a 1965) se volvió a duplicar.

Tabla 2 Evolución del rendimiento en Japón (Ishizuka, 1969)

Años	Rendimiento (tm/ha)	Causa principal del Cambio
800 - 900	1.01	
1720	1.92	Introducción de Sistemas de Riego
1908-1917	2.64	Mejoramiento de variedades
1938-1942	2.99	Comienzo del uso de fertilizantes químicos.
1956-1965	3.95	Uso de fuertes dosis de N asociado al uso de plaguicidas y otras técnicas.

Este último cambio se atribuye a la inteligente intervención de los siguientes factores:

1. Nuevas variedades desarrolladas por el sistemático mejoramiento científico.

2. Progreso en las técnicas de cultivo
3. Uso de fertilizantes químicos, especialmente nitrógeno
4. Uso de fungicidas, insecticidas y herbicidas
5. Mejora de suelos (Ishizuka, 1969)

Los máximos rendimientos obtenidos en campos de cultivo son del orden de 10.5 tm/ha y el rendimiento potencial, estimado con una radiación solar de intensidad de $400 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{día}^{-1}$, es de 19.1 tm/ha (Murata y Matsushima, 1978).

Con el objetivo de acercarse a estas producciones, se está trabajando en el desarrollo de fitotipos más adecuados, es decir, aquellos que interactúan con el medio ambiente que los rodean (clima, suelo, agua y manejo), sean más rendidores.

Las características que diferencian al tipo de planta moderna (IR8, Araure 1, etc) del tradicional (Peta, etc), se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3 Características de los fitotipos moderno y tradicional de arroz.

Características	Moderno	Tradicional
Porte	bajo	alto
Macollaje	alto	bajo
Tallos y hojas	erectas	decumbentes
Resistencia al vuelco	alta	baja
Relación grano: paja	alta	baja
Respuesta a nitrógeno	Alta prod. de grano	alta prod. de paja
Respuesta a riego	alta	moderada

FUENTE: Yoshida, 1977; Evans, 1978; Cheaney, 1975; Panda y Mahapatra, 1972; Sánchez, 1976; O'Toole y Cruz, 1980).

Existen varias instituciones dedicadas a estudiar los problemas del arroz. Sobresale el IRRI (Instituto Internacional de Investigación del Arroz). Cuenta con más de 300 técnicos de alto nivel (IRRI, 1976) que cubren los siguientes campos:

1. Mejoramiento
2. Control y manejo de plagas
3. Manejo del agua y riego
4. Manejo del cultivo y suelo
5. Influencia del ambiente
6. Aplicación de nuevas tecnologías
7. Maquinaria
8. Sistemas de cultivo
9. Tecnología de la post-cosecha
10. Extensión
11. Actividad docente
12. Publicaciones y Seminarios

Está localizada en Filipinas, pleno corazón de la zona arroceras del mundo.

En América Latina, el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT, 1978), con sede en Colombia, se ocupa del cultivo en sus diferentes aspectos. A su vez, cada país productor tiene sus centros de Investigación y Extensión. En Venezuela, la Estación Experimental de Maracay ha creado la variedad CIARLLACEN 1 (Rico, 1978) y la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales "Ezequiel Zamora" cuenta con un sub-proyecto de arroz (Alvarez, 1979).

Varios libros tratan los diferentes aspectos del cultivo. Entre ellos se pueden citar:

1. "El Arroz", de Angladette, A., 1969
2. "Rice", de Grist, D.H., 1965
3. "Cultivo del Arroz, Manual de Producción", de la Universidad de Filipinas, 1975
4. "Rice in the United States: Varieties and Production", del Departamento de Agricultura, 1973.
5. "Rice: Production and Utilization", de Luh. B.S. 1980.

Algunas revistas especializadas son:

1. Rice Abstracts, de Gran Bretaña
2. Il Riso, de Italia
3. Lavoura Arroceira, de Brasil
4. Arroz, de Colombia
5. Japanese Journal of Crop Science, de Japón

Publicaciones sobre temas específicos:

1. "System Ecological Studies on Crop-Weather Relationships in Photosynthesis, Transpiration and Growth", de Horie T., 1981.
2. "A Study on the Agroclimatological Division of Paddy Rice in Taiwan", de Kwo W., Tseng W. y Young Ch., 1979.
3. "The preliminary study on the weather-yield relationships for the forecasting models of paddy rice production in Taiwan", de Kwo W., Tseng W., Young Ch., Chen S., 1980.

4. "Varietal differences of photosynthetic efficiency and dry matter production in Indica rice", de Ohno Y., 1976.

5. "Sulfur nutrition of wetland rice", del International Rice Research Institute, Research Paper Series; Blair, G.J.; Mamaril, C.P. y Momaut, E., 1978.

Capítulos de libros como:

1. "Microclimate of the rice crop", de Uchijima Z, 1976b
2. "Rice", de Yoshida S, 1977
3. "Engineering for Higher Yields", de Ishizuka Y, 1969
4. "Physiological Responses to Nitrogen in Plants", de Murata Y., 1969.
5. "Plant Morphology and Stand Geometry in Relation to Nitrogen", de Chandler R. Jr, 1969.
6. "Rice", de Murata Y and Matsushima S. 1978.
7. "Light Relations In Plant Communities", de Saeki T, 1967.
8. "The physiological basis of crop yield", de Evans L.T., 1978.
9. "Soil Management In Rice Cultivation Systems", de Sánchez P.A., 1976.
10. "Correlaciones Fenotípicas, Genotípicas y del Ambiente en Variedades de Arroz (*Oryza sativa* L)", de Nakanõ R, P.H.; Galvao, J.D; Silva, J.C.; Cardoso, A.A., 1980.

Sobre modelaje de crecimiento y fotosíntesis existen varios ejemplos:

1. "The Dynamics of Growth: Growth of Individual Plants & Growth of a Plant Community", de Leopold, A.C. y Kriedemann, P.E., 1975.
2. "A Graphical Method of Fitting Equations to Growth Curves", de Ricklefs, R.E. 1967.
3. "Influence of Photosynthetic Crown Structure on Potential Productivity of Vegetation, Based Primarily on Mathematical Models", de Jahnke, L.S y Lawrence, D.B., 1965.

En modelos de cultivos existen varios ejemplos:

1. Maíz: "Material de enseñanza elaborado para el curso de Modelos Agronómicos", de Norero, 1982.
2. Algodón: "Cotton; A computer simulation of cotton growth," de Stapleton, Buxton, Watson, Nolting and Baker, 1972.

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

La metodología del presente trabajo está basada en el material de enseñanza elaborado por el Dr. Aldo Norero para el curso "Modelos Agronómicos". En algunos aspectos específicos del cultivo de arroz fue necesario realizar ajustes de los modelos y de parámetros, por tratarse de un cultivo con características agronómicas propias no contempladas en dicha publicación.

Con objeto de investigar una amplia gama de respuestas y posibilidades relativas al cultivo, se proponen dos fitotipos contrastantes y dos condiciones climáticas extremas para el desarrollo del cultivo en Turén:

- a) El fitotipo que se denominará MODERNO, como lo son las variedades actuales bajo cultivo (ARAURE 1 y CICA 4).
- b) El que se identificará por TRADICIONAL: como las variedades cultivadas en Asia (Peta, Bengawan y Tjeremas).
- c) Una temporada que se llamará HUMEDA, coincidiendo con siembras en los primeros días de mayo y durante la cual se espera que los requerimientos hídricos sean suplidos básicamente por las precipitaciones.
- d) Una temporada SECA correspondiente a siembras en los primeros días de noviembre y durante la cual se espera que los requerimientos hídricos sean suplidos básicamente por el riego.

Para abreviar estas situaciones, se identifican como:

FM-H : Fitotipo moderno, temporada húmeda

FT-H : Fitotipo tradicional, temporada húmeda

FM-S : Fitotipo moderno, temporada seca

FT-S : Fitotipo tradicional, temporada seca

La estructura del modelo se esquematiza en la Figura 2.

Se inicia escogiendo una época de siembra para un fitotipo determinado. Con los datos climáticos, fitométricos y edafológicos se calcula la duración del ciclo del cultivo y por lo tanto se determinan las variables climáticas que deben intervenir en los cálculos de producción y requerimientos hídricos.

Luego se escoge un índice foliar, inicialmente en forma arbitraria, por ejemplo, igual a 1.

A través del balance de energía y del cálculo de la temperatura de la planta se puede determinar el gasto por concepto de evaporación, transpiración y/o la fotosíntesis bruta y la respiración.

Estas dos últimas determinan el crecimiento para el índice foliar escogido. Como se busca la máxima producción posible, se debe conseguir el máximo crecimiento, para lo cual debe lograrse el índice foliar óptimo (F_x). Por lo tanto se escoge una gama de índices foliares, por ejemplo 2, 3, ... 6, etc. y se repiten los cálculos hasta obtener una función de respuesta:

$$y = f(F)$$

Con esta función se precisa mejor el índice que redundará en la mayor producción. Al mismo tiempo se genera una función entre evapotranspiración e índice foliar:

$$E_x = g(F)$$

Una vez conseguidas éstas se determina el gasto de agua por concepto de evapotranspiración y la cosecha potencial.

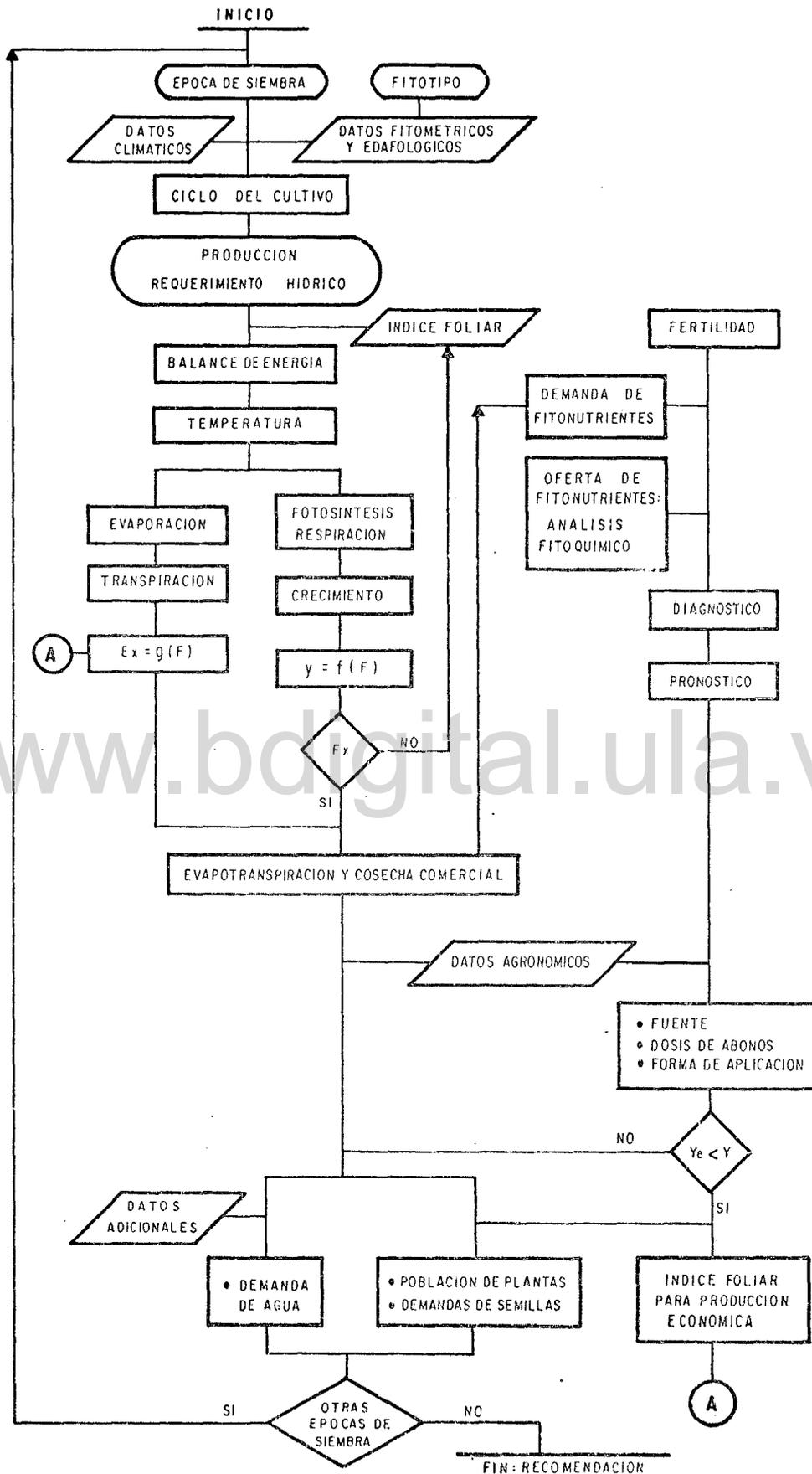


Figura. 2. Esquema del modelo para analizar y programar la producción de arroz.

Si a la evapotranspiración se le agregan datos adicionales del gasto hídrico (percolación, drenaje superficial y eficiencias de riego) y aportes por concepto de precipitación, se obtiene la demanda de agua de riego.

La cosecha potencial o máxima posible se logra con una población óptima de plantas, que para ser obtenidas requiere el conocimiento de ciertos datos agronómicos aportados por la experiencia local. Conocido el peso de la semilla se puede determinar su demanda, tanto para siembras por trasplante, como directas con semilla seca.

Otro submodelo que comprende el esquema es el de fertilidad. Se calcula la demanda de fitonutrientes para obtener la producción potencial. A su vez, mediante el análisis fitoquímico se determina el aporte natural que realiza la fitósfera, por lo que es posible diagnosticar la situación y calificarla de adecuada o deficitaria. Si esta última se presenta, se puede pronosticar cuál será la fuente del fitonutriente escaso, la dosis de fertilizante y su forma de aplicación.

Un ajuste final de carácter económico se requiere para determinar la mayor utilidad obtenible por la aplicación de abono. Esto puede modificar la meta productiva (producción económica), a la que corresponderá otra población de plantas, otra demanda de semillas y otro requerimiento de agua.

La población de plantas y la necesidad de semillas se recalculan directamente porque dependen de la nueva producción, mientras que los requerimientos hídricos, por concepto de evapotranspiración, dependen del nuevo índice foliar óptimo para producción económica y por lo tanto se deben recalcular nuevamente.

Luego de conseguir los requerimientos definitivos de agua, semilla y abono, se plantea si es posible contemplar otras épocas de siembra. Si la respuesta es afirmativa, se reinicia el proceso. Si la respuesta es negativa, la última demanda de agua, semilla y fertilizante obtenida constituye la recomendación.

Materiales

Datos climáticos (Tablas 4 y 5)

Cálculo de la radiación atmosférica (onda larga), K_L

La radiación atmosférica se calcula en función de:

1. Duración del período diurno (N)
2. Humedad del aire, (presión de vapor: V)
3. Insolación relativa (n/N) y
4. Temperatura del aire (T_d)

de acuerdo a la siguiente ecuación (Norero, 1976).

$$R_L = N(0.6 + 0.04 V^{1/2}) \left[1 + 0.18(1 - n/N)^2 \right] (0.45 + 0.0085 T) \quad (1)$$

Los valores obtenidos para las dos temporadas de siembra son:

- a) Húmeda: $426 \text{ cal.cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$
- b) Seca: $386 \text{ cal.cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$

Tabla 4 Datos climáticos promedios mensuales

Estación Colonia Agrícola Turén

Radiación solar global (R_g); Temperatura del aire diaria (T), nocturna (T_n), diaria (T_d) y del agua (T_w); Velocidad del viento a 10m sobre el suelo, diaria (U_{10}), diaria (U_d), nocturna (U_n) y Humedad relativa del aire.(H.R.)

MES	R_g $\text{cal.cm}^{-2}\text{día}^{-1}$	T $^{\circ}\text{C}$	T_n $^{\circ}\text{C}$	T_d $^{\circ}\text{C}$	T_w $^{\circ}\text{C}$	U_{10} m.seg^{-1}	U_d m.seg^{-1}	U_n m.seg^{-1}	H.R. %
Enero	391	26.0	23.6	27.8	26.0	2.0	2.4	1.7	68.8
Febrero	410	26.5	24.1	28.3	28.2	2.1	2.5	1.8	66.8
Marzo	388	27.3	24.9	29.1	29.6	2.4	2.8	2.0	64.0
Abril	327	27.3	24.9	29.1	29.5	2.3	2.7	1.9	65.9
Mayo	304	26.4	24.0	28.2	27.3	1.5	1.8	1.3	78.9
Junio	305	25.2	22.8	27.0	23.6	1.2	1.4	1.0	82.3
Julio	324	24.9	22.5	26.7	22.5	1.2	1.4	1.0	84.1
Agosto	323	25.0	22.6	26.8	23.4	1.1	1.3	0.9	84.0
Septiembre	327	25.5	23.1	27.3	24.7	1.1	1.3	0.9	82.8
Octubre	345	25.8	23.4	27.6	25.4	1.2	1.4	1.0	80.0
Noviembre	367	25.9	23.5	27.7	25.7	1.3	1.5	1.1	77.3
Diciembre	377	25.8	23.4	27.6	25.7	1.6	1.8	1.3	72.4
TOTAL	4188	311.6	282.8	333.2	311.6	19.0	22.3	15.9	907.3
PROMEDIO	349	26.0	23.6	27.8	26.0	1.6	1.9	1.3	75.3

Tabla 4 (Cont) Datos climáticos promedios mensuales
 Estación Colonia Agrícola Turén
 Humedad del aire, presión de vapor diaria (V), diurna (V_d), nocturna (V_n); Evaporación del tanque "A" (E_v); Precipitación promedio (P), con probabilidad de ocurrencia menor o igual al 25% (P_{25}), menor o igual al 50% (P_{50}), menor o igual al 75% (P_{75}); Insolación diaria.(n).

MES	V mb	V_d mb	V_n mb	E_v mm	P mm	P_{25} mm	P_{50} mm	P_{75} mm	n h/día
Enero	22.8	23.2	22.5	173	6.1	1.9	3.7	7.3	8.5
Febrero	22.8	23.2	22.5	195	5.5	0.8	2.0	5.2	9.1
Marzo	22.9	23.3	22.5	222	22.2	5.3	11.5	25.0	8.3
Abril	23.6	24.0	23.2	179	74.6	37.1	58.9	93.7	6.1
Mayo	26.8	27.2	26.4	139	188.1	146.2	179.6	220.5	5.3
Junio	26.0	26.4	25.6	117	282.7	222.6	271.0	329.8	5.3
Julio	26.1	26.5	25.7	127	235.3	197.3	229.8	267.6	6.0
Agosto	26.3	26.7	25.8	121	233.3	176.4	220.8	276.3	6.0
Septiembre	26.6	27.1	26.2	119	174.1	123.5	161.1	210.2	6.5
Octubre	26.2	26.6	25.8	131	130.9	89.7	119.6	159.4	6.8
Noviembre	25.5	26.0	24.9	124	79.8	49.8	70.2	98.8	7.5
Diciembre	23.7	24.1	23.3	145	31.8	16.5	25.6	39.9	7.9
TOTAL	299.3	304.3	294.4	1792	1464	1067	1354	1734	83.3
PROMEDIO	24.9	25.4	24.5	149	122	89	113	144	6.9

Tabla 5 Datos climáticos promedios del ciclo del cultivo.

Símbolo	Unidades	Mes de Siembra		Referencia	Observaciones ^{1/}
		Mayo	Noviembre		
Rg	cal.cm ⁻² .día ⁻¹	317	386	Menéndez, 1980	
RL	cal.cm ⁻² .día ⁻¹	426	386	Norero, 1982	Calculado
T	°C	25.4	26.1	Menéndez, 1980	
T _d	°C	27.2	27.9	" "	
T _n	°C	23.0	23.7	" "	
T _w	°C	24.3	26.4	Rose y Chapman, 1968.	Calculado
U ₁₀	m.seg ⁻¹	1.2	1.8	Menéndez, 1980	
U _d	m.seg ⁻¹	1.4	2.1	" "	
U _n	m.seg ⁻¹	1.0	1.5	" "	
H.R.	%	82.4	71.3	" "	
V	mb	26.4	23.7	" "	
V _d	mb	26.8	24.1	" "	
V _n	mb	25.9	23.3	" "	
E _v	mm.día ⁻¹	4.15	5.31	" "	
P	mm	1113.5	123.2	" "	
P ₂₅	mm	866.0	69.0	" "	
P ₅₀	mm	1062.3	101.5	" "	
P ₇₅	mm	1304.4	151.2	" "	
n	h.día ⁻¹	5.8	8.3	" "	
n/N _d	adim.	0.47	0.72	Norero, 1982	Calculado
N _d	h.día ⁻¹	12.3	11.6	Sellers, 1965	
N _d	min.día ⁻¹	738	696	Norero, 1982	Calculado
N _n	min.día ⁻¹	702	744	" "	Calculado

^{1/} Se describen los procedimientos de cálculo en Materiales y Métodos. En los otros casos el valor propuesto se tomó o estimó directamente de la fuente.

Determinación de la temperatura del agua (T_w)

El agua de inundación del cultivo de arroz varía cíclicamente a lo largo del año, de forma que el promedio anual es igual al promedio de la temperatura del aire. Sin embargo, la amplitud anual se ve incrementada en dos veces la amplitud anual de la temperatura del aire, de forma que la temperatura máxima del agua es igual a la temperatura máxima del aire más la amplitud anual de la temperatura del aire, y la temperatura mínima del agua es igual a la temperatura mínima del aire menos la amplitud anual de la temperatura del aire (Rose y Chapman, 1968; Gentilli, 1971).

De acuerdo a esto se graficó la evolución de las temperaturas promedio del aire y del agua para la zona de influencia de Turén (Figura 3).

Los datos utilizados son los siguientes:

$$\text{Temperatura promedio del aire: } T_{\bar{x}} = 26^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Temperatura máxima del aire: } T_{\text{máx}} = 27.3^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Temperatura mínima del aire: } T_{\text{mín}} = 24.9^{\circ}\text{C}$$

Amplitud de la temperatura

$$\text{del aire : } \Delta = 27.3 - 24.9 = 2.4^{\circ}\text{C}$$

Por lo tanto:

$$\text{Temperatura promedio del agua: } T_{w \bar{x}} = 26^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Temperatura máxima del agua : } T_{w \text{ máx.}} = 27.3 + 2.4 = 29.7^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Temperatura mínima del agua : } T_{w \text{ mín}} = 24.9 - 2.4 = 22.5^{\circ}\text{C}$$

Amplitud de la temperatura del

$$\text{agua : } \Delta_w = 29.7 - 22.5 = 7.2^{\circ}\text{C}$$

$$= 2.4 + 2(2.4) = 7.2^{\circ}\text{C}$$

Cálculo de la insolación relativa (n/N)

La insolación relativa es el cociente entre las horas efectivas de sol (n) y las horas máximas posibles de sol (N).

Los datos utilizados para el área en estudio fueron los siguientes:

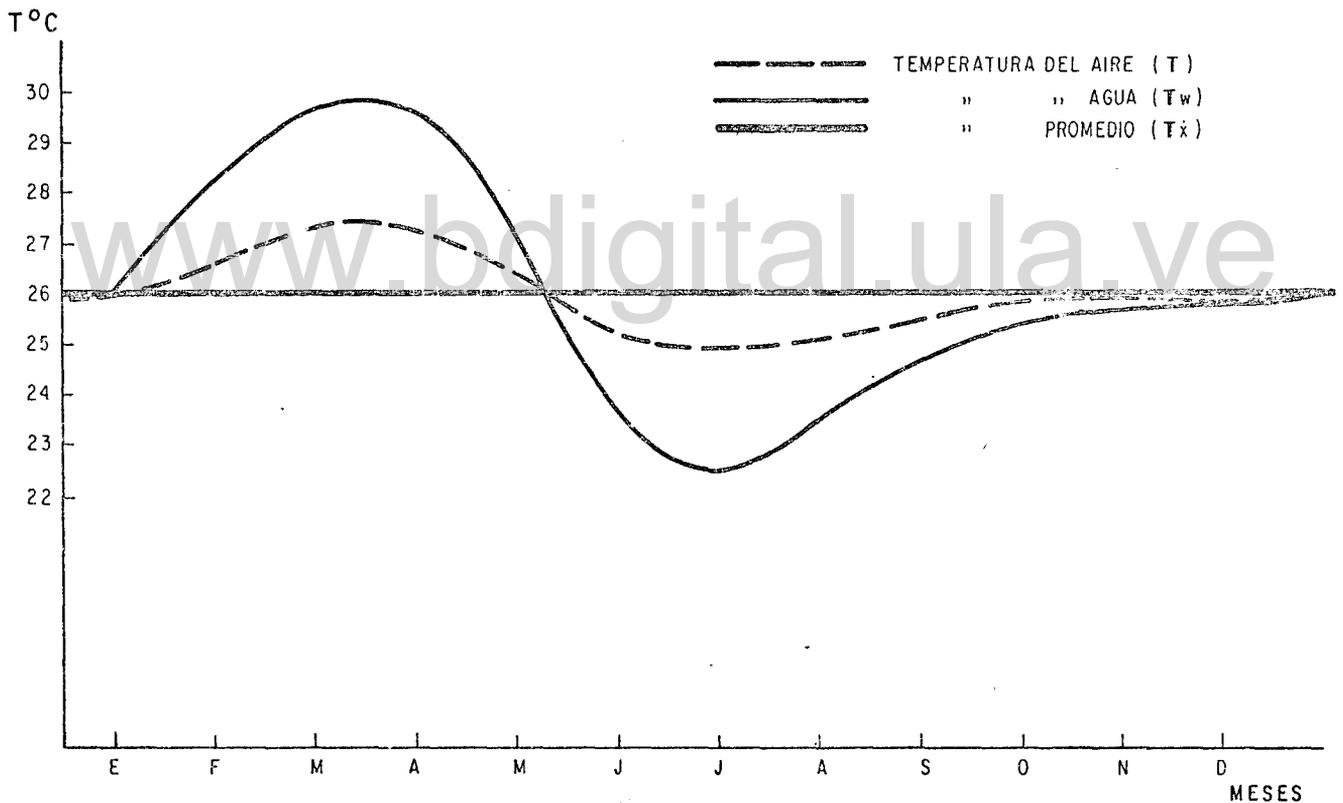


Figura. 3. Temperaturas promedio del aire y del agua de inundación en Turén (Elaborado en base a datos de Menéndez, 1980; Rose y Chapman, 1968, Gentilli, 1971).

<u>Parámetro</u>	<u>Temporada</u>		<u>Referencia</u>
	<u>Húmeda</u>	<u>Seca</u>	
n(h)	5.8	8.3	Menéndez, 1980
N(h)	12.3	11.6	Sellers, 1965
n/N	0.47	0.72	

Determinación de la duración de los períodos diurnos (Nd) y nocturno (Nn)

La duración del período diurno se determinó en base a las tablas climatológicas, que en función de la latitud (Turén: 09° 16' N), dan las horas máximas posibles de sol (Sellers, 1965). Los datos así obtenidos fueron:

Temporada húmeda: 12.3 h = 738 minutos = Nd

Temporada seca : 11.6 h = 696 minutos = Nd

La duración del período nocturno (Nn) se calculó por diferencia de la duración total del día (24 hs. x 60 min. = 1440 minutos):

Temporada húmeda: $N_n = 1440 - 738 = 702$ min

Temporada seca : $N_n = 1440 - 696 = 744$ min

Datos fitométricos (Tabla 6).

Cálculo del coeficiente de extinción de radiación del follaje (K)

El coeficiente de extinción de radiación mide la disminución de la intensidad de luz al penetrar en la comunidad de plantas, la que es debida a la intercepción de la luz por el follaje. Existe por lo tanto un gradiente de intensidad de luz, de la parte superior a la inferior, dentro de la cubierta

Tabla 6. Datos fitométricos.

Símbolo	Unidades	Fitotipo		Referencias	Observaciones ^{1/}
		Moderno	Tradicional		
C	%	43	43	Yamagishi, 1980	
C/N	adim.	45	45	Ishizuka, 1965 y Chaudhary, 1971	
C/P	adim.	335	335	Ishizuka, 1965 y Chaudhary, 1971	
C/K	adim.	35	35	Ishizuka, 1965 y Chaudhary, 1971	
H	cm.	100	150	Chandler, 1969; Angladette, 1969, CIAT, 1977	
K	adim.	0.40	0.60	Monteith, 1976 y Norero 1978, 1982	Calculado
L	cm.	1.5	2.5	Angladette, 1969	
Z _L	cm.	13	20	Monteith, 1976; Saeki, 1967	Calculado
Z _M	cm.	39	60	Monteith, 1967; Saeki, 1967	Calculado
a	adim.	0.80	0.80	Norero, 1982	
h _T /G _T	adim.	0.13	0.13	Ishizuka, 1965	
m	kg. s ⁻¹	22 x 10 ⁻⁶	25 x 10 ⁻⁶	Ishizuka, 1969; Tanaka, 1977	
n _o	adim.	0.02	0.02	Wallihan y Moomaw, 1967	
n ₁ + n ₂	Nº cm ⁻²	6500	6500	O'Toole y Cruz, 1980 y Horie, 1980	Calculado
p	adim.	0.29	0.29	Chandler, 1969; Sánchez, 1976	
P _s	cm.	8 x 10 ⁻⁴	8 x 10 ⁻⁴	Angladette, 1969	Calculado
w _o	kg. p ⁻¹	0.275	0.175	Mabbayad y Obordo, 1975	Calculado
α _p	adim.	0.17	0.17	Monteith, 1976; Singh y Pandya, 1971	
θ	grados	63.5	48.0	Chandler, 1969; Uchijima, 1976	
ε _p	adim.	0.90	0.90	Chang, 1971; Norero, 1982	
λ*	adim.	0.50	0.50	Monteith, 1976 y Vergara, 1975	Calculado
λ _x	adim.	0.66	0.66	Monteith, 1976, Kumbhar y Sonar 1979	Calculado
R	adim.	7.5	7.5	Martínez, 1980	
p	adim.	1.94	1.94	Norero, 1982	Calculado
v	°C	13.5	14.5	Chaudhary, 1971; Vergara, 1975	Calculado
Δ	°C	29	31	Norero, 1982; Vergara, 1975	
F	cm ² hoja/cm ² suelo.	2 a 9	2 a 9	Uchijima, 1970; Chandier, 1969	Calculado
Y	adim	1.5 a 7.0	2.0 a 8.8	Uchijima, 1970; y Norero, 1982	Calculado

^{1/} Se describen los procedimientos de cálculo en Materiales y Métodos. En los otros casos el valor propuesto se tomó o estimó directamente de la fuente.

vegetal. Este gradiente es el que determina la productividad de la comunidad de plantas (Saeki, 1967).

Elaborando datos aportados por la literatura (Uchijima, 1976a; Vergara 1975), se comprobó, para los dos fitotipos en consideración, que el logaritmo natural de la intensidad de luz relativa (I/I_0), decrece linealmente con el incremento del índice de área foliar (F), Figura 4.

Según la ley de Beer:

$$I/I_0 = \exp(-KF) \quad (2)$$

por lo tanto:

$$\ln(I/I_0) = -KF \quad (3)$$

donde:

I : es la intensidad de luz dentro del follaje

I_0 : es la intensidad de luz sobre el follaje

K : es el coeficiente de extinción de luz

La intercepción de luz depende fundamentalmente del ángulo de inclinación de las hojas sobre la horizontal (θ). El fitotipo moderno es de follaje más erecto que el tradicional, por lo que se adoptaron los siguientes valores:

Fitotipo moderno: $\theta = 63.5^\circ$

Fitotipo tradicional $\theta = 48^\circ$

Chartier (1966) propone la siguiente ecuación para el cálculo del coeficiente de extinción en función del ángulo de inclinación del follaje:

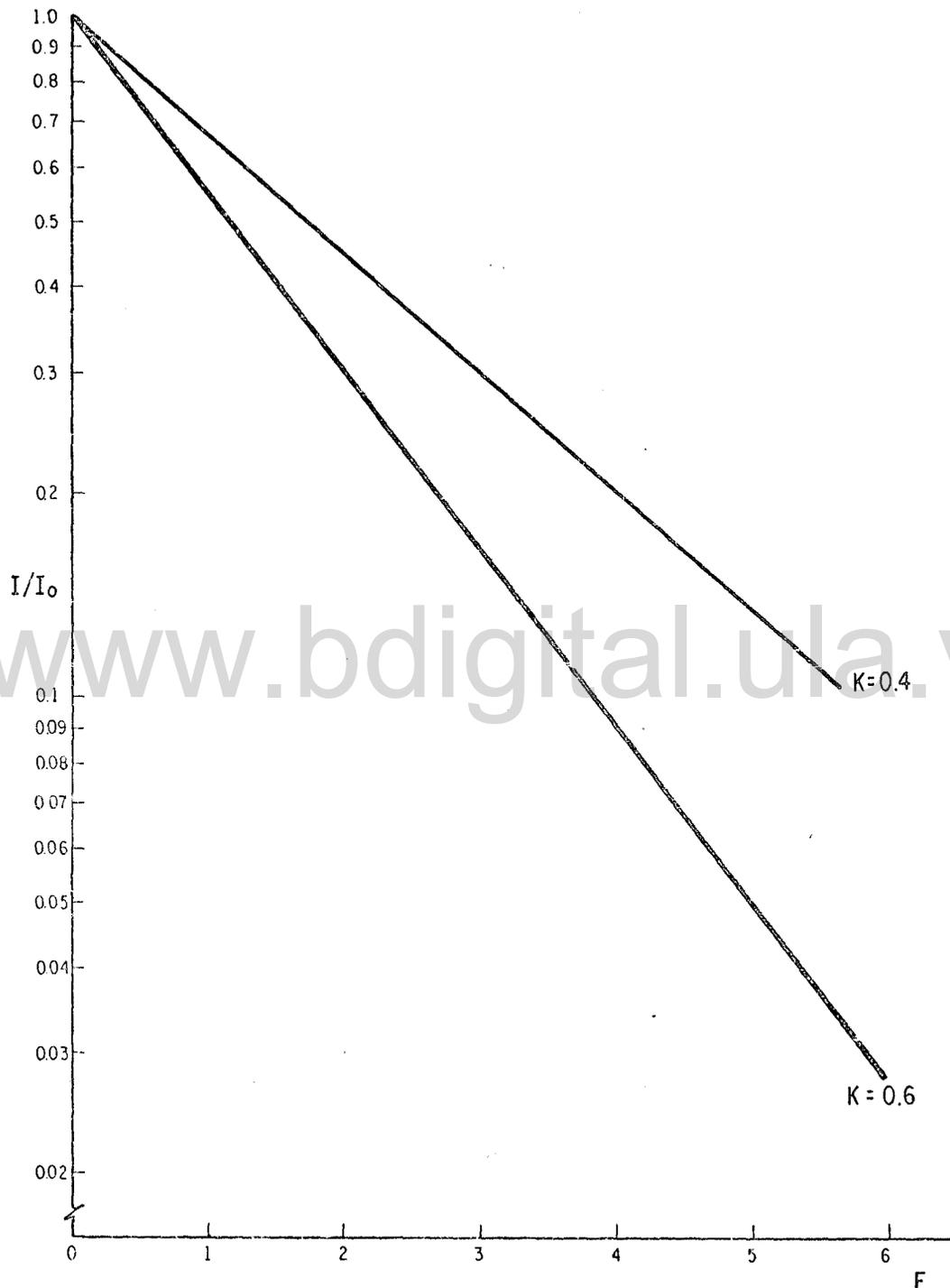


Figura. 4. Determinación del coeficiente de extinción de radiación por el follaje (K) para el fitotipo moderno (K=0.4) y tradicional (K=0.6). (Elaborado en base a datos ajustados de Uchijima, 1976a y Vergara, 1975).

$$K = (1-\tau) \cdot \cos \theta = 0.90 \times \cos \theta \quad (4)$$

τ : transmisibilidad a través de la hoja ≈ 0.10

De acuerdo a los valores propuestos para el ángulo de inclinación de las hojas, los valores de K obtenidos por la ley de Beer son:

Fitotipo moderno: $K = 0.90 \cdot \cos 63.5^\circ = 0.4$

Fitotipo tradicional: $K = 0.90 \cdot \cos 48^\circ = 0.6$

La literatura consultada confirma los valores de K así obtenidos (Uchijima, 1976a; Saeki, 1967).

Determinación de la altura donde se inicia el follaje (Z_L) y donde la densidad foliar es máxima (Z_M).

Se elaboraron datos proporcionados por la literatura (Saeki, 1967; Uchijima, 1976a) para diferentes fitotipos, obteniéndose los siguientes resultados en términos relativos:

$$Z_{L/H} = 0.13$$

$$Z_{M/H} = 0.39$$

Teniendo en cuenta que la altura total (H) para el fitotipo moderno es de 100 cm y para el fitotipo tradicional de 150 cm, estos parámetros quedan determinados así:

Fitotipo moderno: $Z_L = 13 \text{ cm}$

$$Z_M = 39 \text{ cm}$$

Fitotipo tradicional: $Z_L = 20 \text{ cm}$

$Z_M = 60 \text{ cm}$

En la Tabla 7 se presentan los datos absolutos y relativos y en la Figura 5, las densidades de área foliar (df/d_z) e índice de área foliar (f), en función de la altura sobre la superficie del suelo.

Cálculo del diámetro del poro estomático plenamente abierto (p^) y de la densidad de estomas en ambas caras de la hoja ($n_1 + n_2$).*

Según Angladette (1969) el tamaño del ostiolo u orificio del estoma totalmente abierto es de 22 micras de largo y tres micras de ancho, por lo que el diámetro equivalente^{1/} resulta:

$$p_* = \sqrt{22 \times 3} = 8.12\mu \approx 8 \times 10^{-4} \text{ cm}$$

La mínima resistencia estomática se logra cuando los estomas están completamente abiertos. Su valor es de aproximadamente $1.5 \times 10^{-2} \text{ min.cm}^{-1}$ (O' Toole y Cruz, 1980; Horie, 1980). Como este valor se ha obtenido con un porómetro que mide una sola cara de la hoja, para ambas caras es de $0.75 \times 10^{-2} \text{ min. cm}^{-1}$, debido a la disposición de estas resistencias en "paralelo".

Esta resistencia (r_e) es función del número de estomas ($n_1 + n_2$) y del diámetro equivalente del poro estomático (p), de acuerdo a la siguiente ecuación:

^{1/} Se define el diámetro equivalente como el que corresponde al de un círculo cuya área es la misma que el del poro estomático original.

Tabla 7. Distribución del Índice Foliar en Función de la Altura
(Elaborado en base a datos de Saeki, 1967)

Fitotipo	Altura		Masa Foliar		
	(cm)	(relativo)	(gr)	(relativo)	(Acumulado)
I	85	0.94	0.3	1.1	1.1
	75	0.83	1.1	4.0	5.1
	65	0.72	2.6	9.5	14.6
	55	0.61	4.1	15.0	29.6
	45	0.50	5.6	20.4	50.0
	35	0.39	6.3	23.0	73.0
	25	0.28	4.9	17.9	90.9
	15	0.17	2.1	7.7	98.6
	5	0.06	0.4	1.4	100.0
			27.4		
II	65	0.93	0.2	0.7	0.7
	55	0.79	1.8	6.5	7.2
	45	0.64	4.0	14.3	21.5
	35	0.50	7.5	26.9	48.4
	25	0.36	9.3	33.3	81.7
	15	0.21	4.1	14.7	96.4
	5	0.07	1.0	3.6	100.0
				27.9	

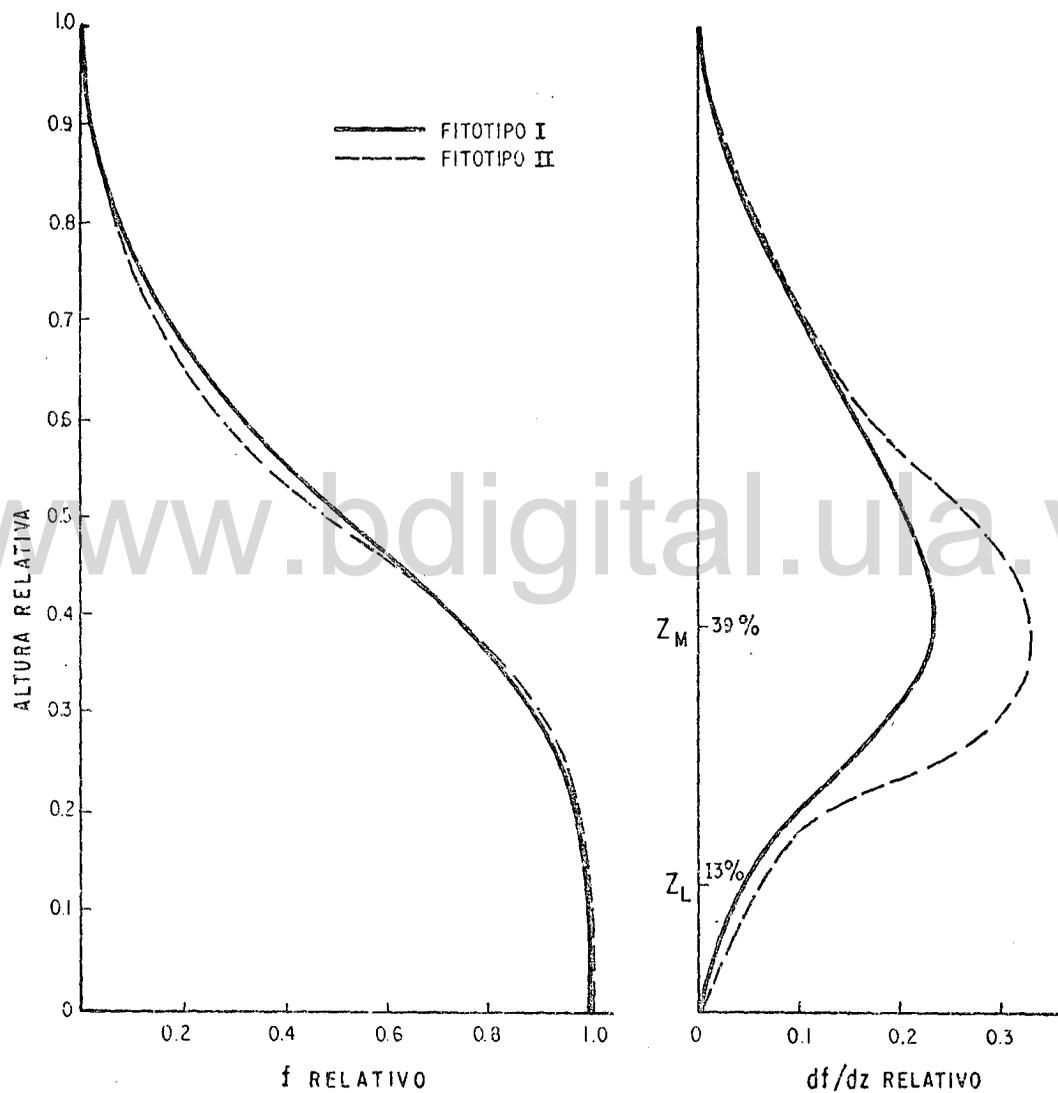


Figura. 5. Densidad de área foliar (df/dz) e índice de área foliar (f), en función de la altura sobre la superficie del suelo (Elaborado con los datos de Saeki, 1967).

$$re = \left[\frac{90 p^2 (n_1 + n_2)}{2 \times 10^{-3} + p} \right]^{-1} \quad \text{o también:} \quad re = \frac{2 \times 10^{-3} + p}{90 p^2 (n_1 + n_2)} \quad (5)$$

de donde:

$$(n_1 + n_2) = \frac{2 \times 10^{-3} + p}{90 p^2 \cdot re} = \frac{2 \times 10^{-3} + 8 \times 10^{-4}}{90 \times 64 \times 10^{-8} \times 0.75 \times 10^{-2}} = \frac{2.8 \times 10^{-3}}{4.32 \times 10^{-7}} \approx 6500 \quad (6)$$

La densidad de estomas por cm^2 , en la cara superior e inferior de la hoja, es de 6500.

Cálculo del peso de producto comercial por planta en ausencia de competencia (w_0).

Se presenta en la Tabla 8 del modelo de producción y en la Figura 6.

Determinación del grado de desarrollo del cultivo al alcanzar el índice de área foliar crítica (λ^) y al culminar el crecimiento foliar (λ_x).*

De acuerdo a datos suministrados por Uchijima (1976a) para dos fitotipos, Tabla 9, se elaboró el gráfico que se muestra en la Figura 7 en términos relativos. De él se desprende que la máxima intensidad de crecimiento se encuentra en la mitad del ciclo del cultivo ($\lambda^* = 0.50$), mientras que el desarrollo foliar culmina alrededor del 66% del ciclo ($\lambda_x = 0.66$). Estos datos son corroborados en la literatura por Vergara (1975); Kumbhar y Sonar (1979) y Chaudhary (1971).

Determinación del cociente respiratorio (ρ)

El cociente respiratorio expresa la relación entre las actividades res

Tabla 8. Relación entre rendimientos (y) y densidad de siembra (δ). Cálculo del peso de producto comercial por planta en ausencia de competencia (w_0) y del parámetro n para estimar la densidad óptima de siembra (δ_0). (Elaborado en base a datos de Mabbayad y Obordo, 1975).

FITOTIPO				
MODERNO			TRADICIONAL	
δ	y	δ/y	y	δ/y
(p.ha ⁻¹)	(kg.ha ⁻¹)	(p.kg ⁻¹)	(kg.ha ⁻¹)	(p.kg ⁻¹)
250000	6444	39	6172	41
111111	5733	19	5172	21
62500	4816	13	4466	14
40000	4649	9	3412	12

$$a = \frac{1}{w_0} \text{ (p.kg}^{-1}\text{)}$$

3.63

5.72

$$b = \frac{n-1}{n \cdot Y_{exp}}$$

 1.41×10^{-4} 1.40×10^{-4}

$$\frac{n-1}{n} = b \cdot Y_{exp}$$

0.909

0.864

 n

10.99

7.35

$$w_0 = \frac{1}{a} \text{ (kg.p}^{-1}\text{)}$$

0.275

0.175

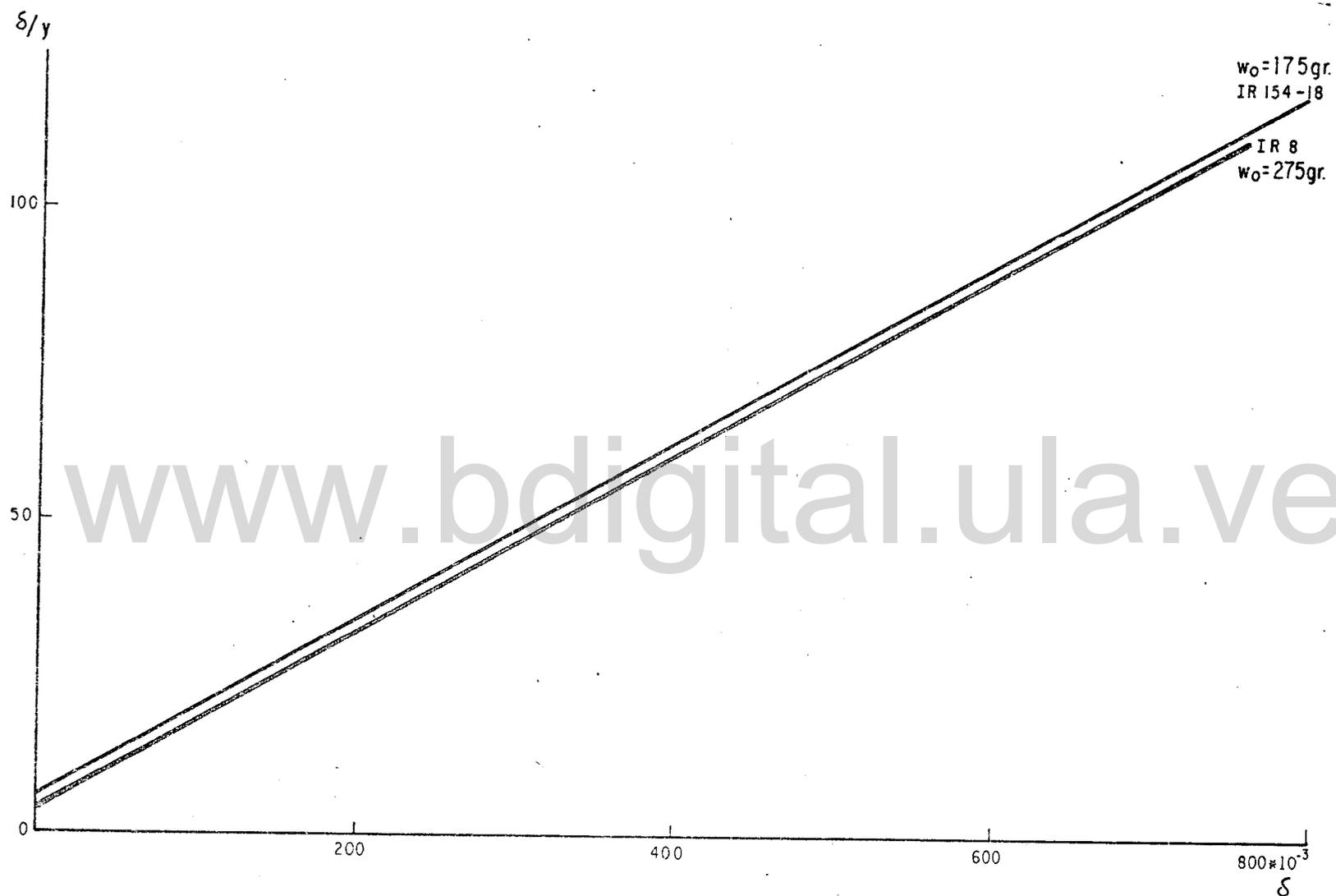


Figura. 6. Determinación del peso de producto comercial por planta en ausencia de competencia (w_0).
 -Elaborado en base a datos de Mabbayad y Obordo, 1975.

Tabla 9. Evolución del Desarrollo Foliar (Elaborado en base a Datos de Uchijima, 1976a).

Fitotipo	Desarrollo		Indice Foliar	
	(días)	(relativo)	(cm ² hoja/cm ² suelo)	(relativo)
A	0	0.00	0.0	0.00
	27	0.27	1.8	0.39
	43	0.43	3.7	0.80
	66	0.66	4.6	1.00
	86	0.86	3.3	0.72
	100	1.00	2.3	0.50
www.bdigital.ula.ve				
B	0	0.00	0.0	0.00
	4	0.04	0.1	0.02
	35	0.34	1.6	0.32
	66	0.65	5.0	1.00
	69	0.68	5.0	1.00
	96	0.94	2.6	0.52
	102	1.00	2.2	0.44

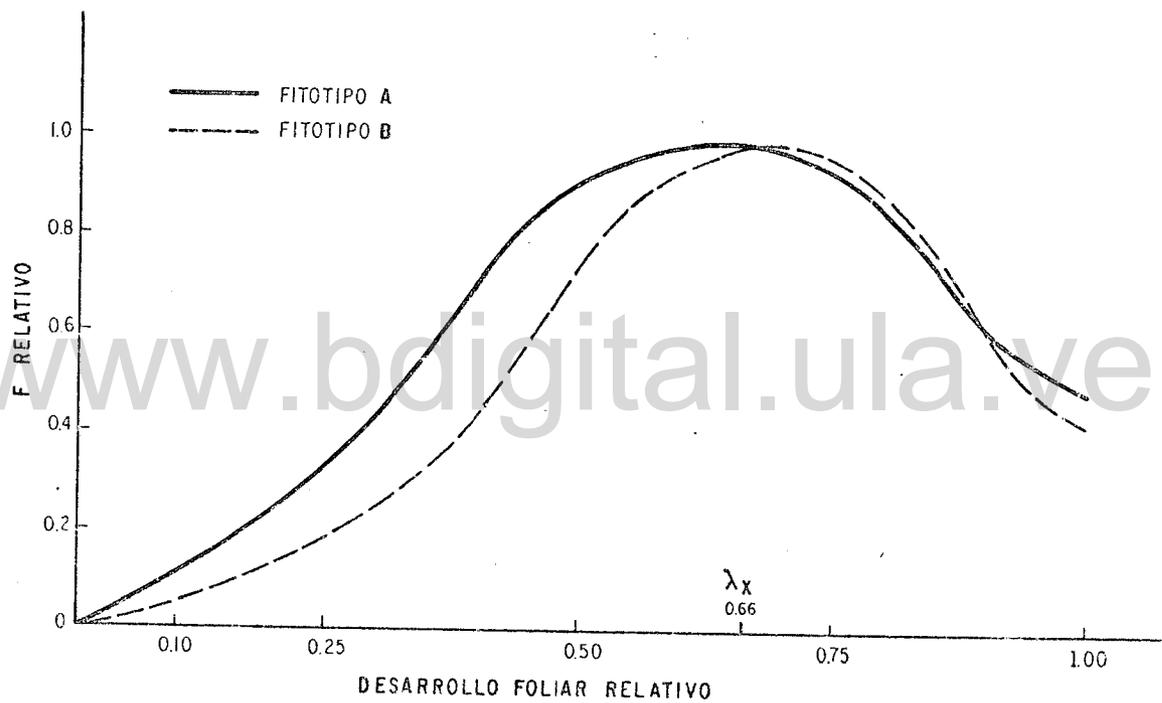


Figura. 7. Evolución del desarrollo foliar. (Elaborado en base a datos de Uchijima, 1976 a).

piratorias de las hojas y los tejidos no foliares (Norero, 1982).

Se estima en base a características del cultivo desarrollado normalmente, como son:

1. Relación carbono-nitrógeno del cultivo maduro: $C/N = 45$ (Ishizuka, 1965, Chaudhary, 1971).
2. Proporción de carbono en la biomasa total: $C = 0.43$ (Yamagishi, Okada, Hayashi, Kumura y Murata, 1981).
3. La proporción entre el peso total del follaje formado y el peso de todo el cultivo: $h_T/G_T = 0.13$ (Ishizuka, 1965).
4. La concentración óptima de nitrógeno en los tejidos foliares al alcanzar su madurez: $n_0 = 0.02$ (Wallihan y Moomaw, 1967).
5. El tiempo relativo en que termina de formarse el follaje $\lambda_x = 0.66$ (Vergara, 1975).

De acuerdo a la siguiente ecuación: (Norero, 1982)

$$P(t) = \frac{0.43}{(C/N) (h_T/G_T) n_0} \left[\frac{1 - \cos\left(\pi \cdot \frac{t}{T}\right)}{1 - \cos\left(\pi \cdot \frac{t}{\lambda_x T}\right)} \right] - 1 = 3.675 \cdot \left[\frac{1 - \cos\left(\pi \cdot \frac{t}{T}\right)}{1 - \cos\left(\pi \cdot \frac{t}{0.66T}\right)} \right] - 1 \quad (7)$$

donde:

t : días de crecimiento autótrofo

T : duración, en días, del crecimiento total del cultivo por lo que

$\frac{t}{T}$ expresa el grado de desarrollo del cultivo y es posible obtener el cociente respiratorio en las diferentes etapas fenológicas, Figura 8.

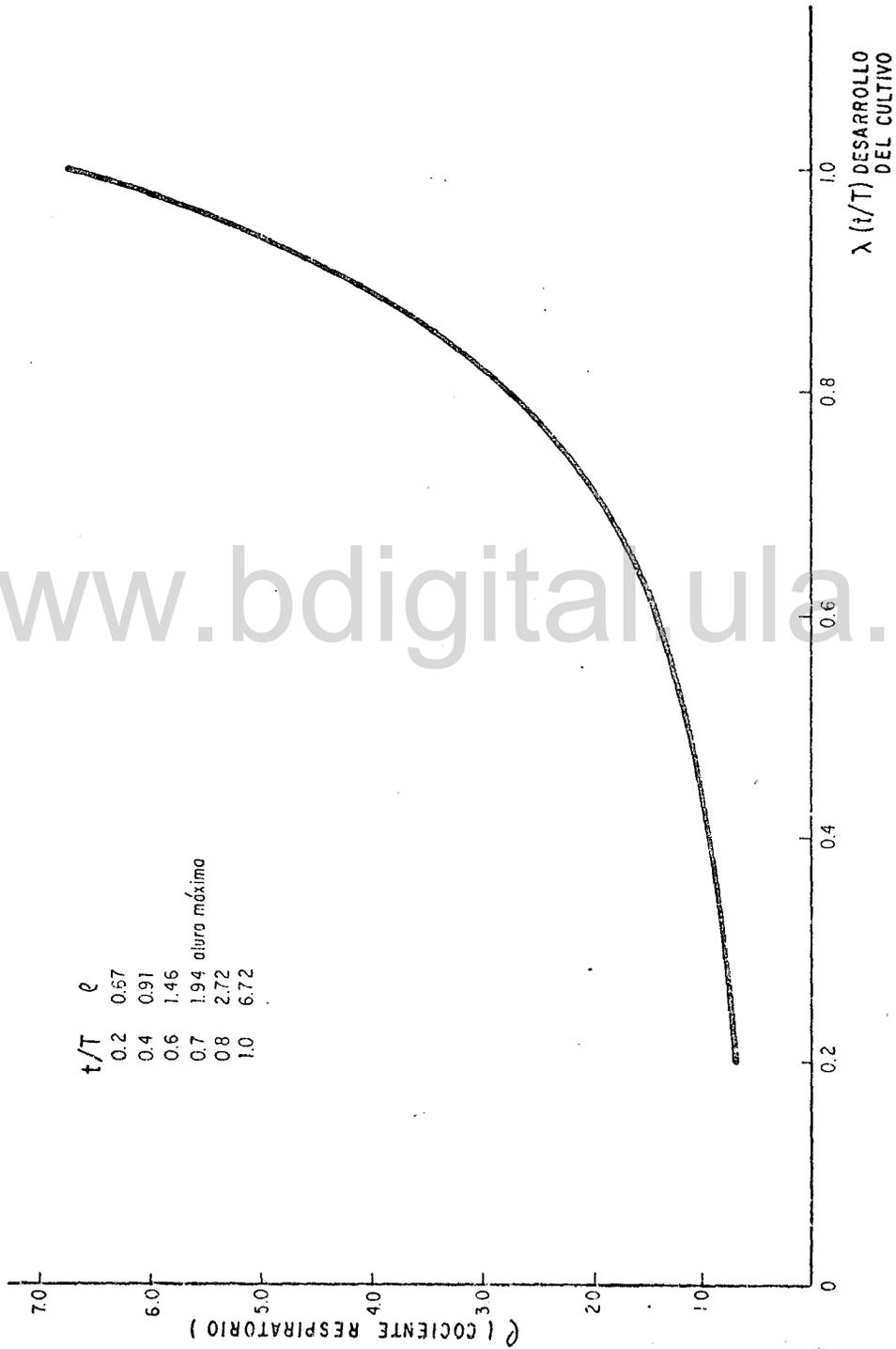


Figura. 8. Evolución del cociente respiratorio (ρ).

De acuerdo a Vergara (1975), la máxima altura se alcanza en el 70% del ciclo, donde el cociente respiratorio tiene un valor de 1.94. Este fue el dato utilizado para el cálculo de la respiración nocturna (g_n) y la intensidad respiratoria de los tejidos no foliares (C_s).

Determinación de las temperaturas cardinales

La temperatura afecta el tiempo en que el cultivo se desarrolla, cuando está comprendida entre las temperaturas cardinales. Estas son:

- a) Temperatura mínima (v), por debajo de la cual no hay desarrollo
- b) Temperatura máxima (T_{max}), por encima de la cual tampoco existe desarrollo.
- c) Temperatura óptima, (T_o) a la cual la tasa de desarrollo es máxima (A).

La intensidad de desarrollo ($\frac{dx}{dt}$) puede expresarse por la ecuación (8), (Norero, 1982):

$$\frac{dx}{dt} = \left[\frac{2A}{T_o - v} \right] (T-v) - \left[\frac{A}{(T_o - v)^2} \right] (T-v)^2 \quad (8)$$

Simplificando y haciendo:

$$a = \frac{2A}{(T_o - v)}$$

$$b = \frac{A}{(T_o - v)^2}$$

$$\bar{T} = T - v$$

se tiene:

$$\frac{dx}{dt} = a\bar{T} - b\bar{T}^2 \quad (9)$$

En la Figura 9 se expresan gráficamente las ecuaciones (8) y (9):

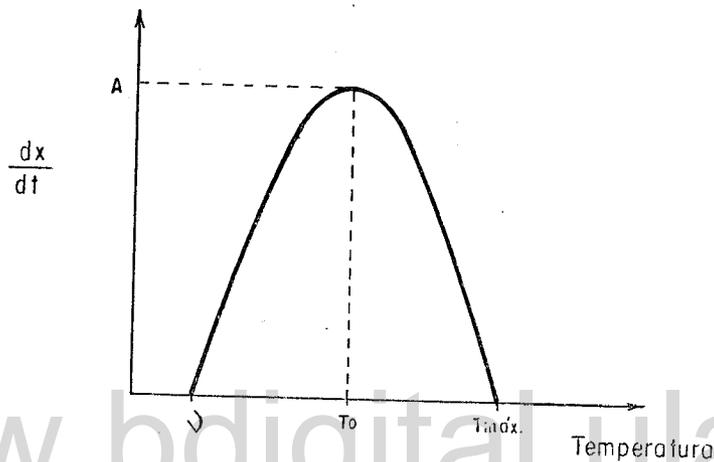


Figura 9. Efecto de la temperatura sobre la intensidad de desarrollo ($\frac{dx}{dt}$)

Si X es el número total de estructuras para alcanzar la madurez del cultivo y τ el tiempo requerido, en condiciones isotérmicas ($T = \bar{T}$), la ecuación (9) se transforma en (10):

$$X = (a\bar{T} - b\bar{T}^2) \tau \quad (10)$$

y sacando de factor común \bar{T} :

$$X = (a - b\bar{T}) \bar{T} \tau \quad (11)$$

Invirtiendo términos en la ecuación (11) se obtiene la expresión lineal (12):

$$\frac{1}{\bar{T} \tau} = \frac{a}{X} - \frac{b}{X} \cdot \bar{T} \quad (12)$$

En la Figura 10 se representa gráficamente la ecuación (12) - Con los datos experimentales, Tabla 10, obtenidos por Chaudhary y Ghildyal (1970) y Chaudhary (1971), se logró la temperatura mínima ($v = 13,5^{\circ}\text{C}$) que mejor ajusta para el fitotipo moderno.

De la misma se obtuvo la temperatura óptima ($T_0 = 28^{\circ}\text{C}$):

$$\frac{a}{b} = 2(T_0 - v) \quad (13)$$

$$T_0 = \frac{1}{2} \cdot \frac{a}{b} + v = \frac{1}{2} \cdot \frac{14.40 \times 10^{-4}}{0.5 \times 10^{-4}} + 13.5 = 27.9 \approx 28^{\circ}\text{C}$$

y la temperatura máxima ($T_{\text{máx}} = 42.5^{\circ}\text{C}$):

$$T_{\text{máx}} - v = 2(T_0 - v) \quad (14)$$

$$T_{\text{máx}} = 2(T_0 - v) + v = 2(28 - 13.5) + 13.5 = 42.5^{\circ}\text{C}$$

Usando el mismo procedimiento se obtuvo las temperaturas cardinales para el fitotipo tradicional.

Resultados:

	Fitotipo	
	Moderno	Tradicional
Temperatura mínima	13.5°	14.5°
Temperatura óptima	28.0°	30.0°
Temperatura máxima	42.5°	45.5°
Rango de temperatura	29.0°	31.0°

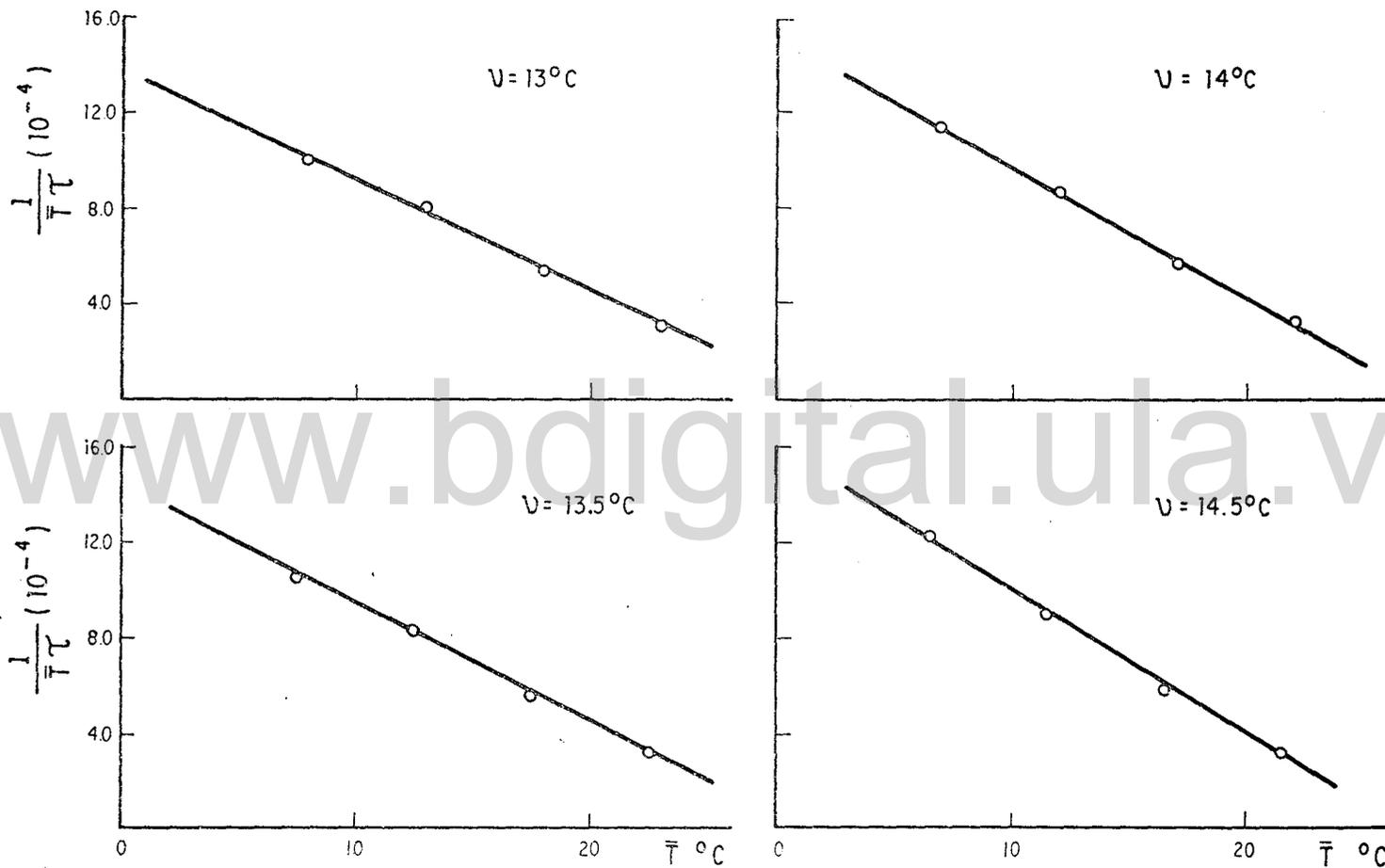


Figura. 10. Determinación de la temperatura mínima (V). Fitotipo moderno (Elaborado en base a datos de Chaudhary y Ghildyal, 1970; Chaudhary, 1971).

Tabla 10. Determinación de la Temperatura Mínima (v). Fitotipo Moderno (Elaborado en base a datos de Chaudhary Y Ghildyal, 1970; Chaudhary, 1971).

T	τ	v	\bar{T}	$\frac{1}{\bar{T} \tau}$	v	\bar{T}	$\frac{1}{\bar{T} \tau}$	v	\bar{T}	$\frac{1}{\bar{T} \tau}$	v	\bar{T}	$\frac{1}{\bar{T} \tau}$
°C	días	°C	°C	(10^{-4})	°C	°C	(10^{-4})	°C	°C	(10^{-4})	°C	°C	(10^{-4})
21	126	13	8	9.9	13.5	7.5	10.6	14	7	11.3	14.5	6.5	12.2
26	97		13	7.9		12.5	8.3		12	8.6		11.5	9.0
31	104		18	5.3		17.5	5.5		17	5.7		16.5	5.8
36	142		23	3.1		22.5	3.1		22	3.2		21.5	3.3
Ordenada al origen (10^{-4})				13.75		14.40			15.13			15.95	
Pendiente (10^{-4})				- 0.46		- 0.50			- 0.55			- 0.60	
Coeficiente de determinación (r^2)				0.997		0.999			0.998			0.997	
Coeficiente de variación (%)				2.69		1.85			2.02			3.38	

NOTA: Se adoptó la temperatura mínima de 13.5°C por ser la que presenta mayor coeficiente de determinación y menor coeficiente de variación.

Determinación del índice de área foliar (F).

El índice de área total alcanza valores máximos próximos a 12, pero cuando es mayor de 10 el cultivo se tiende (Tanaka y Yamaguchi, 1977). Los diferentes fitotipos desarrollan índices foliares característicos, siendo posible obtener crecimientos máximos con índice foliar de 8 para los fitotipos modernos y de 6 para los fitotipos tradicionales (Chandler, 1969). A su vez, los máximos rendimientos de grano se obtienen con índices foliares superiores a 5, para el fitotipo moderno, y entre 5 y 6 para el fitotipo tradicional, después de lo cual el cultivo vuelca, con la consiguiente merma de rendimiento (Yoshida citado por Chandler, 1969).

De acuerdo a estos antecedentes y pensando en cubrir una amplia gama de valores entre los que se encontrarán los índices de área foliar crítico (F_c) y máximo (F_x), se adoptaron índices entre 2 y 9, en el presente trabajo.

Cálculo del coeficiente foliar de extinción del viento (γ).

El coeficiente de extinción del viento por el follaje es función del ángulo de inclinación foliar sobre la horizontal (θ) y del índice de área foliar (F).

Norero (1982), propone la siguiente ecuación para el cálculo de este parámetro:

$$\gamma = (1.6 - 0.013 \theta) F \quad (15)$$

De acuerdo a los datos ya determinados para ambos fitotipos:

	Moderno	Tradicional
θ	63.5°	48°
F	2 a 9	2 a 9

se obtuvieron los siguientes valores para el coeficiente de extinción del viento:

F	Moderno	Tradicional
2	1.5	2.0
3	2.3	2.9
4	3.1	3.9
5	3.9	4.9
6	4.6	5.9
7	5.4	6.8
8	6.2	7.8
9	7.0	8.8

Este tipo de dato es muy escaso en la literatura y por eso difícil de comprobar. Pero Uchijima (1976a) cita, para un índice foliar de 3.6, un coeficiente de extinción del viento de 2.5 a 3 que concuerda con la estimación correspondiente antes presentada.

Datos edafológicos (Tabla 11)

Determinación del parámetro n , eficiencias fisiológicas máximas (ϵ_x) y mínimas (ϵ_m).

Su valor se determinó para nitrógeno, fósforo y potasio a partir de ex

Tabla 11. Datos Edafológicos y Agronómicos.

Símbolos	Unidades	Edafológicos	Referencias	Observaciones <u>1</u> /
K	mm. d ³ a ⁻¹	1.0	Israelsen, 1965, Sánchez, 1976	
n _K	adim.	3.33	Thom, Miller y Bowman, 1981	Calculado
n _N	adim.	1.74	Vlek, Hong y Youngdahl 1979	"
n _p	adim.	4.76	Singh y Singh, 1980	"
α _w	adim.	0.05	Milthorpe y Moorby, 1975; Bray, 1966	"
ε _{mK}	adim.	0.19	Thom, Miller y Bowman, 1981	Calculado
ε _{mN}	adim.	0.46	Vlek, Hong y Youngdahl, 1979	Calculado
ε _{mp}	adim.	0.10	Singh y Singh, 1980	Calculado
ε _{xK}	adim.	0.63	Thom, Miller y Bowman, 1981	Calculado
ε _{xN}	adim.	0.80	Vlek, Hong y Youngdahl 1979.	Calculado
ε _{xp}	adim.	0.48	Singh y Singh, 1980	Calculado
ε _w	adim.	0.90	Norero, 1982 y Chang, 1971	

		Agronómicos		
α _N	Bs. kg. ⁻¹	4.00	Alvarez, com. pers.	Calculado
α _p	Bs. kg. ⁻¹	7.50	Alvarez, com. pers.	Calculado
β	Bs. kg. ⁻¹	1.60	Alvarez, com. pers. Quevedo, 1981	
ε	adim.	0.70	Vergara, 1975, Tanaka, 1964	Calculado
ε _c	adim.	0.90	Segler, 1970; De Wit, 1960	
ε _s	adim	0.75	Alvarez, con pers.; Min de Agr. 1980.	Calculado

1 / Se describen los procedimientos de cálculo en Materiales y Métodos. - En los otros casos el valor propuesto se tomó o estimó directamente de la fuente.

periencias de fertilización, en las que se midió:

1. Absorción del fitonutriente (A)
2. Dosis de fertilizante (F)
3. Rendimiento del producto comercial (y)

Los cálculos se realizaron en términos relativos (y/Y), (A/A_x) para poder integrar:

- a) Años diferentes
- b) Experiencias de varios autores
- c) Diferentes fuentes fertilizantes
- d) Localidades diversas

En todos los casos se comprobó un buen ajuste del modelo hiperbólico que relaciona rendimientos con absorción del elemento nutritivo (Norero, 1976b).

$$y = \frac{n \cdot y \cdot A/A_x}{1+(n-1)A/A_x} \quad y/Y = \frac{n \cdot A/A_x}{1+(n-1)A/A_x} \quad (16)$$

Esta expresión se hace lineal para obtener la ecuación de la recta ajustada:

$$1 + (n-1) A/A_x = \frac{n \cdot A/A_x}{y/Y}$$

$$\frac{A/A_x}{y/Y} = \frac{1}{n} + \left(\frac{n-1}{n}\right) A/A_x \quad (17)$$

donde:

$\frac{A/A_x}{y/Y}$: es la variable dependiente

A/A_x : es la variable independiente

$\frac{1}{n}$: es el intercepto en el eje de las ordenadas

$\frac{n-1}{n}$: es la pendiente

La estimación del intercepto y la pendiente se hace por el método de mínimos cuadrados. Con ambos parámetros se calcula n .

Con los datos experimentales también se pueden definir y calcular las eficiencias fisiológicas mínimas (ϵ_m) y máximas (ϵ_x), de acuerdo a:

$$\epsilon_m = \frac{A_x - A_t}{F_x} \quad (18)$$

$$\epsilon_x = n \cdot \epsilon_m \quad (19)$$

donde:

A_x : es la absorción del fitonutriente considerado para obtener la producción máxima.

A_t : es la absorción del fitonutriente que realiza el "testigo"

F_x : es la dosis de fertilizante para obtener la producción máxima

El procedimiento de cálculo y los resultados se presentan a continuación, Tablas 12, 13 y 14, para nitrógeno, fósforo y potasio.

Tabla 12. Nitrógeno. Cálculo del parámetro que relaciona rendimiento (y) con el fitonutriente absorbido (A) por la planta (n); eficiencia fisiológica mínima (ϵ_m) y máxima (ϵ_x). (Elaborado en base a datos de Vlek, Hong y Youngdahl, 1979).

F (kg N/ha)	Datos		Computos		
	y (kg grano/ha)	A (kg N/ha)	A/A_x	y/Y	A/A_x y/Y
0	2900	34 (= At)	0,318	0,433	0,734
100	5100	62	0,579	0,761	0,761
	6000	71	0,664	0,896	0,741
	6100	79	0,738	0,910	0,811
160	6100	83	0,776	0,910	0,853
	6200	107	1,000	0,925	1,081
(Y =)	6700	107 (= Ax)	1,000	1,000	1,000
0	4200	40 (= At)	0,360	0,438	0,822
100	7700	74	0,667	0,802	0,832
	7500	82	0,739	0,781	0,946
	7600	86	0,775	0,792	0,979
160	8600	96	0,865	0,896	0,965
	9300	97	0,874	0,969	0,902
	9000	105	0,946	0,938	1,009
220 (Y =)	9600	111 (= Ax)	1,000	1,000	1,000

$$\frac{n-1}{n} = 0,425$$

$$\frac{1}{n} = 0,575$$

$$C.V = 7,25 \%$$

$$n = \frac{1}{0,575} = 1,74$$

$$\epsilon_m = \frac{A_x - A_t}{F_x} = \frac{107 - 34}{160} = 0,46$$

$$\epsilon_x = n \cdot \epsilon_m = 1,74 \times 0,46 = 0,80$$

Resultados: $n = 1,74$

$$\epsilon_m = 0,46$$

$$\epsilon_x = 0,80$$

Tabla 13. Fósforo. Cálculo del parámetro que relaciona rendimiento (y) con el fitonutriente absorbido (A) por la planta (n); eficiencia fisiológica mínima (ϵ_m) y máxima (ϵ_x). (Elaborado en base a datos de Singh y Singh, 1980).

Datos			Cómputos		
F	y	A	A/A _x	Y/Y	A/A _x y/Y
(mg P/maceta)	(gr grano/maceta)	(mg P/maceta)			
0	11,5	54,2	0,542	0,885	0,612
	10,2	59,2	0,592	0,785	0,754
100	12,3	64,9	0,649	0,946	0,686
	11,7	75,1	0,751	0,900	0,834
200	12,9	79,2	0,792	0,992	0,798
	12,4	89,2	0,892	0,954	0,935
400	13,6	89,4	0,894	1,046	0,855
	12,5	101,2	1,012	0,962	1,052
	($y =$) 13,0	100,0 (= A _x)			

$$\frac{n-1}{n} = 0,79$$

$$\frac{1}{n} = 0,21$$

$$n = \frac{1}{0,21} = 4,76$$

$$CV = 6,37 \%$$

$$\epsilon_m = \frac{A_x - A_t}{F_x} = \frac{100 - 59,2}{400} = 0,102 \approx 0,10$$

$$\epsilon_x = n \cdot \epsilon_m = 4,76 \times 0,10 = 0,476 \approx 0,48$$

$$\text{Resultados: } n = 4,76$$

$$\epsilon_m = 0,10$$

$$\epsilon_x = 0,48$$

Tabla 14. Potasio. Cálculo del parámetro que relaciona rendimiento (y) con el fitonutriente absorbido (A) por la planta (n); eficiencia fisiológica mínima (ϵ_m) y máxima (ϵ_x). (Elaborado en base a datos de Thom, Miller y Bowman, 1981).

Año	Datos			Cómputos		
	F (kg K/ha)	y (kg grano/ha)	A (kg K/ha)	A/Ax	y/Y	A/Ax y/Y
1976	0	5860	130	0,985	0,977	1,008
	3,6	5608	121	0,917	0,935	0,981
	7,2	5331	115	0,871	0,889	0,980
	10,4	5110	132	1,000	0,852	1,173
	(y =)	6000	132 (= Ax)			
1977	0	5915	124	0,984	1,003	0,981
	3,6	6046	120	0,952	1,025	0,979
	5,2	5134	105	0,833	0,870	0,957
	7,2	5665	109	0,865	0,960	0,901
	10,4	5662	112	0,889	0,960	0,926
(y =)	5900	126 (= Ax)				
1978	0	7086	170	0,988	0,945	1,046
	3,6	7529	172	1,000	1,004	0,996
	7,2	7506	189	1,099	1,001	1,098
	10,4	7354	176	1,023	0,981	1,043
	(y =)	7500	172 (= Ax)			

$$\frac{n-1}{n} = 0,70$$

$$n = \frac{1}{0,30} = 3,33$$

$$\frac{1}{n} = 0,30$$

$$C.V. = 5,52\%$$

$$\text{Resultados: } n = 3,33$$

$$\epsilon_m = 0,19$$

$$\epsilon_x = 0,63$$

$$\epsilon_m = \frac{Ax - At}{Fx} = \frac{132 - 130}{10,4} = 0,19$$

$$\epsilon_x = n \cdot \epsilon_m = 3,33 \times 0,19 = 0,63$$

Datos agronómicos (Tabla 11).*Determinación del costo del kilo de fitonutrientes (α)*

De acuerdo al costo de la tonelada del fertilizante en el comercio, más los costos adicionales de flete hasta el campo de cultivo, almacenaje, aplicación, seguros, etc, se determinó el costo del kilo de nitrógeno (N) y de fósforo (P).

Se contempló como fuente de nitrógeno, la urea con 45% de fitonutriente. Su costo total es actualmente de 1800 bolívares la tonelada, por lo cual:

1000 kg ————— 450 kg de N ————— Bs. 1800

1 kg de N ————— α_N

$$\alpha_N = \frac{1 \times 1800}{450} = 4 \text{ Bs/kg de N}$$

El superfosfato triple, con 20% de fósforo aprovechable, se consideró como fuente fosforada. El costo total es ahora de 1500 bolívares la tonelada por lo que:

1000 kg ————— 200 kg de P ————— Bs. 1500

1 kg de P ————— α_P

$$\alpha_P = \frac{1 \times 1500}{200} = \text{Bs. } 7.50/\text{kg de P}$$

Cálculo de las eficiencias de germinación y establecimiento (ϵ_s) y de sobrevivencia de plantas (ϵ)

El porcentaje de germinación mínimo, aceptado por los standard de certificación de semillas es de 80% (Beachell y Barker, 1975; Ministerio de Agricultura, 1980).

Por su parte el porcentaje de establecimiento de plántulas es muy variable, 37 a 50% (De Wit, 1960) a 93.4 y 95.6% (Garg y Singh, 1971).

En el presente trabajo se adoptó el 75% como eficiencia de germinación y establecimiento.

La sobrevivencia de plantas se asimió al porcentaje de macollos que alcanzan a llegar a la cosecha; esta cifra varía entre 58 y 88% (Vergara, 1975) y 45% (Tanaka, 1964), dependiendo del fitotipo considerado.

En la metodología empleada se unificó en 70%, por lo que:

$$\epsilon_s = 0.75$$

$$\epsilon = 0.70$$

Métodos

Submodelo de desarrollo del cultivo

El desarrollo se define como la sucesión de diferenciaciones cualitativas que experimenta la planta en el curso de su crecimiento (Norero, 1982).

El orden en que se suceden los componentes básicos de la estructura vegetal (raíces, hojas, tallos, inflorescencias y semillas) y su crecimiento relativo, revela la existencia de un patrón genético. No obstante, en términos cuantitativos, el tiempo total del ciclo del cultivo y de cada una de sus estructuras varía con la temperatura y el fotoperíodo (Vergara, Puranabhavung y Lilis, 1965).

Patrón Térmico

El arroz, como toda planta estival, tiene requerimientos de temperatura muy diferente a las plantas invernales. Su cultivo se realiza en regiones tropicales especialmente, y en zonas templadas se limita a latitudes donde las temperaturas primaverales u otoñales frenan sensiblemente su crecimiento (Ishizuka, 1969; Yoshida, 1977). Varios autores, que han estudiado el efecto térmico, dan valores de temperaturas mínimas, óptimas y máximas para el desarrollo de las diferentes estructuras del vegetal y para las diferentes etapas (Owen, 1971; Yoshida, 1977; Murata y Matsushima, 1978; Angladette, 1969; Chaudhary y Ghildyal, 1970). Estos están comprendidos entre los siguientes valores:

Temperatura mínima: 9 a 18°C

Temperatura óptima: 25 a 33°C

Temperatura máxima: 35 a 45°C

Cuando el cultivo se desarrolla a temperatura óptima la duración del crecimiento es menor que con mayores o menores temperaturas (Norero, 1982; Chaudlary, 1971). Generalmente se acepta que el cultivo necesita determinada cantidad de calor durante su vida para completar su crecimiento (Chang, 1971). Este requerimiento es conocido como grados.días y se cumple para temperaturas comprendidas entre la óptima y la mínima.

A medida que la temperatura media es menor, la duración del crecimiento se alarga (Panda y Mahapatra, 1972; Sánchez, 1976; Coly, 1980). Esta propiedad es particularmente útil para fijar la estación de crecimiento, fecha de siembra y de cosecha (Norero, 1982; Vamadevan, 1971; Owen, 1971).

El concepto básico de grados.días tiene un significado más realista cuando se considera por encima de un umbral o temperatura base (temperatura mínima) a partir de la cual comienza el crecimiento (Asakuma y Langridge, citados por Owen, 1971). Esta temperatura se determina experimentalmente y para 30 variedades su rango fue de 9° a 18°C (Asakuma, citado por Yoshida, 1977).

Sustrayendo la temperatura base de la media diaria, para el período siembra-floración, los grados.días fluctuaron de 600° a 1000°C, dependiendo del fitotipo considerado (Yoshida, 1977).

Para determinar la duración del ciclo del cultivo de los dos fitotipos en consideración se usó la siguiente ecuación (Norero, 1982).

$$\tau = \frac{X/A}{\text{sen} \left[\frac{\pi}{\Delta} (T - v) \right]} \quad (20)$$

donde:

- τ : es el período en días en que se cumple el desarrollo total del cultivo.
- X : es el número total de estructuras, determinado genéticamente, que se deben formar para completar el desarrollo.
- A : es la tasa máxima de desarrollo que ocurre cuando la temperatura es la óptima.
- Δ : es la gama de temperaturas cardinales extremas entre las cuales ocurre el desarrollo.
- T : es la temperatura promedio del ciclo del cultivo.
- v : es la temperatura cardinal mínima

De acuerdo a esto, $X/A = \tau_0$ representa la duración mínima del ciclo del cultivo que se conseguiría si siempre estuviese bajo condiciones de óptima temperatura.

Patrón Fotoperiódico

El largo del día (horas de luz o fotoperíodo) también afecta la duración del ciclo del cultivo, de forma que al aumentar las horas de luz aumentan los días necesarios para florecer. En casos extremos, de variedades fuertemente fotosensibles, éstas no florecen después de 200 días de crecimiento, cuando el largo del día supera las 12 horas de luz. Por el contrario, las variedades insensibles no ven modificado sustancialmente su duración de crecimiento. Entre

tanto las variedades débilmente sensibles presentan un comportamiento intermedio (Vergara, Puranabhavung y Lilis, 1965; Yoshida, 1977; Coly, 1980).

Estas situaciones se esquematizan en la Figura 11.

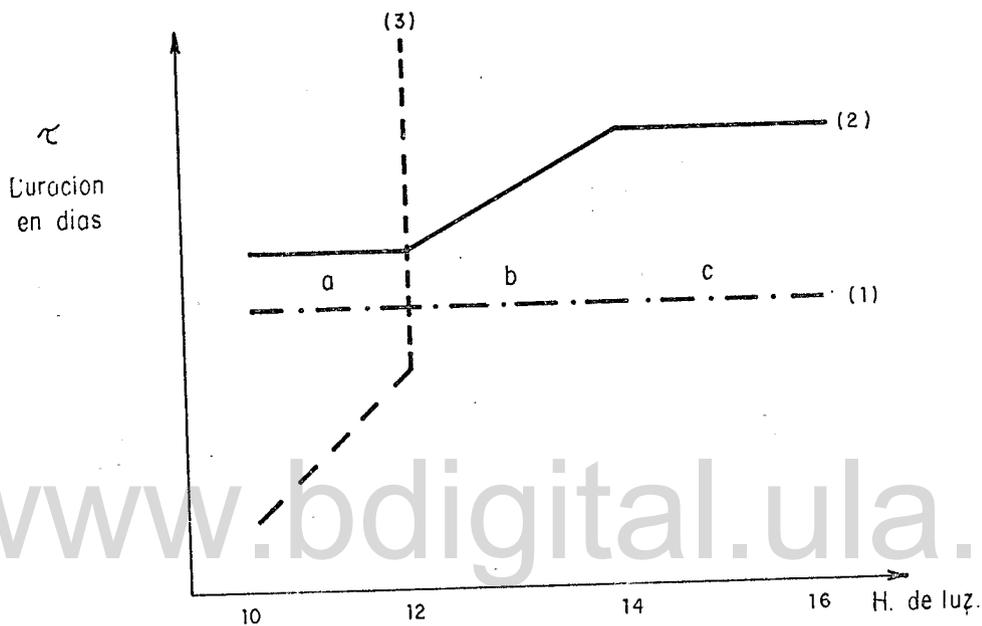


Figura 11. Respuesta de los fitotipos de arroz al fotoperíodo.

Se presentan 3 situaciones de fotoperíodo:

- a) entre 10 y 12 horas de luz
- b) entre 12 y 14 horas de luz
- c) más de 14 horas de luz

para los 3 tipos de respuestas al fotoperíodo:

1. Variedad insensible:

- a) $\tau = \tau_b$ (duración base)
- b) $\tau = \tau_b$
- c) $\tau = \tau_b$

2. Variedad débilmente sensible:

a) $\tau = \tau_b$

b) $\tau = \tau_b + b (F-12)$ (21)

c) $\tau = \tau_b + 2b$

3. Variedad fuertemente sensible

a) $\tau = \tau_b + b (F-10)$

b) $\tau = \infty$

c) $\tau = \infty$

donde:

τ_b : es la duración base del ciclo del cultivo

b : es la pendiente de la recta, en la condición fotosensible

F : es el fotoperíodo

Los fitotipos modernos y tradicionales considerados, son débilmente sensibles.

Los datos y cálculos se presentan a continuación:

Como fitotipo moderno se adoptó la variedad Araure 1, ampliamente difundida en el Estado Portuguesa.

DATOS:

Epoca de siembra:	MAYO	NOVIEMBRE
Ciclo siembra-cosecha:	140 días	120 días
Temperatura media	: 25.4°C	26.05°C
Duración media del día:	12.3 h	11.6 h

COMPUTOS:

Duración óptima: τ_o con temperatura óptima: $T_o = 28^\circ\text{C}$

$$\tau_o = \frac{X/A}{\text{sen}\left[\frac{\pi}{29}(T_o - v)\right]} \implies \frac{X}{A} = \tau \times \text{sen}\left[\frac{\pi}{29}(T - 13.5)\right]$$

$$= 120 \times \text{sen}\left[\frac{\pi}{29}(26.05 - 13.5)\right] = 117.3 \text{ días}$$

Duración con 25.4°C y fotoperíodo menor de 12 h :

$$\tau = \frac{117.3}{\text{sen}\left[\frac{\pi}{29}(25.4 - 13.5)\right]} = 122 \text{ días}$$

Duración con 25.4°C y fotoperíodo de 12.3 h . = 140 días

En la Figura 12 se representa la respuesta del fitotipo moderno al fotoperíodo.

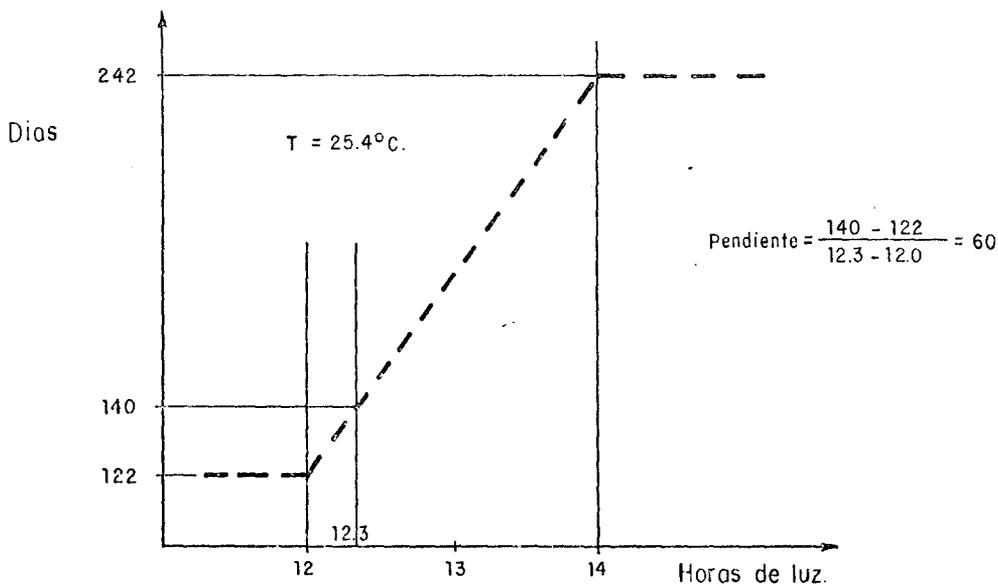


Figura 12. Respuesta del fitotipo moderno al fotoperíodo.

Situaciones

	Condición	Duración del ciclo	
1.	$F < 12 \text{ h}$:	$\tau = \frac{117.3}{\text{sen} \left[\frac{\pi}{29} (T - 13.5) \right]}$	(22)

2.	$12 < F < 14 \text{ h}$:	$\tau = \frac{117.3}{\text{sen} \left[\frac{\pi}{29} (T - 13.5) \right]} + 60(F-12)$	(23)
----	---------------------------	---	------

3.	$F > 14 \text{ h}$:	$\tau = \frac{117.3}{\text{sen} \left[\frac{\pi}{29} (T - 13.5) \right]} + 60(14-12)$	(24)
----	----------------------	--	------

F : fotoperíodo (horas de luz)

T : temperatura promedio durante el ciclo en °C

Como ejemplo de fitotipo tradicional se adoptó la variedad Peta, ampliamente difundida en Asia.

Situaciones:

	Condición	Duración del ciclo	
1.	$F < 12 \text{ h}$	$\tau = \frac{120}{\text{sen} \left[\frac{\pi}{31} (T - 14.5) \right]}$	(25)

2.	$12 < F < 14 \text{ h}$.	$\tau = \frac{120}{\text{sen} \left[\frac{\pi}{31} (T - 14,5) \right]} + 36(F-12)$	(26)
----	---------------------------	---	------

3.	$F > 14 \text{ h}$	$\tau = \frac{120}{\text{sen} \left[\frac{\pi}{31} (T - 14,5) \right]} + 36(14-12)$	(27)
----	--------------------	--	------

Epoca de Siembra	Mayo	Noviembre
Temperatura media (T)	25.4°C	26.05°C
Duración media del día (F)	12.3 h	11.6 h
Ciclo siembra-cosecha(τ)	145 días	130 días

Submodelo de producción

La cosecha de un cultivo es una fracción de la biomasa o crecimiento total del cultivo. El crecimiento, o sea, el aumento de materia vegetal seco por unidad de terreno, es la diferencia entre la fotosíntesis bruta y la respiración total del cultivo (Norero, 1982).

Si se representa por g al crecimiento, por B a la fotosíntesis bruta y por C a la respiración total del cultivo, la relación entre ellas queda expresada por la ecuación (28):

$$g = B - C \quad (28)$$

La fotosíntesis se realiza durante el período diurno mientras que la respiración ocurre durante todo el día. Los limbos de las hojas son los órganos principales que contribuyen a la fotosíntesis. Los restantes órganos (raíces, tallos, vainas e inflorescencias) respiran día y noche, contribuyendo muy poco a la captación de gas carbónico de la atmósfera. Por lo tanto se pueden establecer las siguientes relaciones:

$$g = B - C_h - C_s - g_n \quad (29)$$

$$g = S - C_s - g_n \quad (30)$$

$$g = g_d - g_n \quad (31)$$

donde:

C_h : es la respiración del follaje durante el día

C_s : es la respiración de los tejidos no foliares durante el día

g_n : es la respiración total nocturna del cultivo

S : es la fotosíntesis neta, diferencia entre la fotosíntesis bruta y la respiración foliar diurna: $S = B - C_h$ (32)

g_d : es el crecimiento neto diurno, diferencia entre la fotosíntesis neta y la respiración diurna de los tejidos no foliares:

$$g_d = S - C_s \quad (33)$$

En este estudio se adoptó la metodología en la cual se supone que el clima afecta el crecimiento del cultivo, a través de los factores meteorológicos que afectan la fotosíntesis y la respiración en los distintos estratos foliares de las plantas.

Para el caso particular del arroz fue necesario ajustar, en el modelo de fotosíntesis presentado por Norero, los parámetros siguientes:

r_a , resistencia total que presenta la hoja al flujo de gas carbónico y dentro de ella r_m , resistencia al flujo difusivo en los tejidos internos y hasta las células de los cloroplastos. De forma tal que:

$$r_a = r_c + r_e + r_m \quad (34)$$

y

$$r_m = 0.03 \text{ min.cm}^{-1} \quad (\text{Horie, 1980})$$

r_c : es la resistencia de la capa de aire estática

r_e : es la resistencia en los estomas

r_b , resistencia total de carácter bioquímico que se plantea en la fijación del gas carbónico, previa conversión a compuestos orgánicos, y dentro de ella r_x , resistencia implícita en las reacciones de carboxilación.

$$r_b = r_x + r_i \quad (35)$$

$$r_b = 2 \times 10^{-2} \exp \left(\frac{20000}{273+T_f} - 68.2 \right) + r_i \quad (36)$$

r_i : es la resistencia en la reacción fotolítica

Otra particularidad del cultivo de arroz es que fotorespira, por lo que fue necesario calcular el coeficiente de fotorespiración (β) con la ecuación siguiente: (Norero, 1982).

$$\beta = \left(\frac{0.1 Q_g}{1 + Q_g} \right) \cdot \exp (0.0693 T_f) \quad (37)$$

donde:

Q_g : es la distribución de la radiación solar en la cubierta vegetal ($\text{cal. cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$).

T_f : es la temperatura de las hojas en determinado estrato foliar ($^{\circ}\text{C}$)

La validez del modelo puede apreciarse en relación con los datos experimentales, Figura 13, (Horie, 1980):

La tasa de crecimiento alcanzará su intensidad máxima (g_x), cuando se maximiza la diferencia entre la fotosíntesis bruta (B) y la respiración total del cultivo (C).

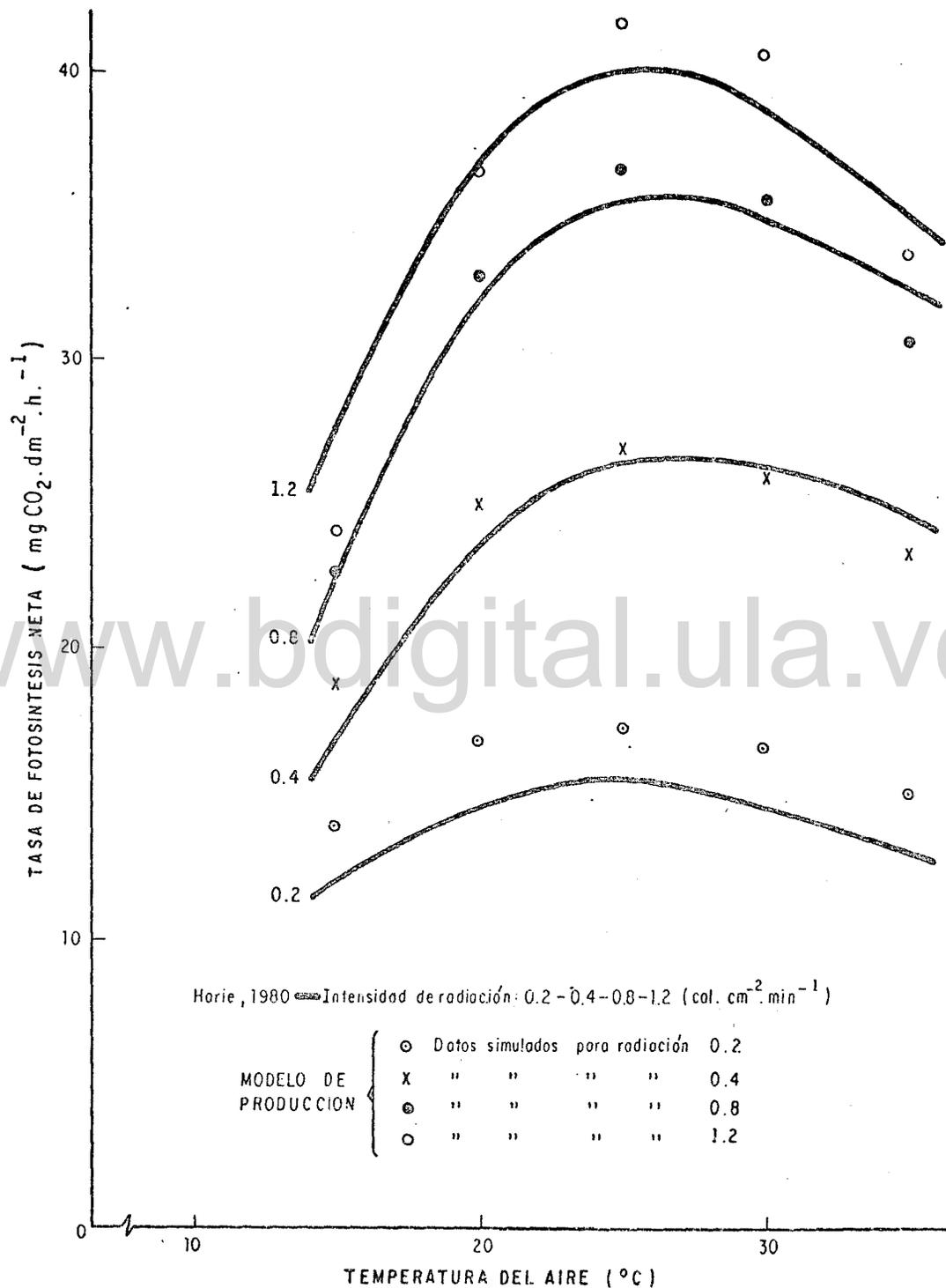


Figura. 13. Efecto de la temperatura del aire y la radiación sobre la fotosíntesis. Comparación de los datos obtenidos del modelo de producción y de Horie (1980).

De acuerdo a la metodología empleada, se calculó el crecimiento con distintos índices de área foliar (F) para las cuatro alternativas (Tablas A.1, 2, 3, 4). Luego se procedió al ajuste de estos valores.

El primer paso consistió en calcular la fotosíntesis bruta y ajustarla a una función de rendimientos decrecientes como la ecuación de Mitscherlich, respecto al índice foliar (Tabla 15 y Figuras A. 1, 2, 3, y 4).

El segundo paso fue ajustar los resultados de la respiración total diaria del cultivo a una función potencial, respecto al índice foliar (Tabla 15 y Figuras A. 1, 2, 3 y 4).

En ambos casos el ajuste se hizo por el método de mínimos cuadrados. Los coeficientes resultantes del ajuste se presentan en la Tabla 15.

La estimación del índice de área foliar crítico (F_*), se calculó en función del índice que maximiza el crecimiento (g_*), lo que se consiguió diferenciando la función del crecimiento con respecto al índice de área foliar e igualando la primera derivada a cero (Tabla 15).

El índice foliar óptimo, al culminar el desarrollo foliar del cultivo (F_x), es mayor que el índice foliar crítico. Este es el que permite al cultivo realizar la mejor utilización de la energía solar y del gas carbónico y se logra en la mitad del desarrollo del cultivo ($\lambda_* = 0.50$), pero luego el follaje continúa creciendo hasta alcanzar su desarrollo final ($\lambda_x = 0.66$), cuando se logra el índice foliar óptimo (Figura 14). Por lo tanto su cálculo se realiza en función de estos parámetros, así:

$$F_x = \frac{2F_*}{\left[1 - \cos \pi \left(\frac{\lambda_*}{\lambda_x} \right)\right]} \quad (38)$$

Tabla 15. Coeficientes de ajuste de la fórmula de fotosíntesis bruta (A, I, c) y de respiración total (k, b) y valores del crecimiento máximo (g*) y del índice foliar crítico (F*).

Coeficiente	ALTERNATIVAS			
	FM - H	FT - H	FM - S	FT - S
A	72.00	51.50	77.00	56.65
I	- 0.1343	- 0.3331	0.1800	- 0.2014
c	0.3225	0.3804	0.4515	0.4115
k	7.545	8.109	7.631	7.866
b	1.063	1.046	1.055	1.068
g* (gr.M.S/m ² /día)	23.96	18.32	29.40	19.85
F* (cm ² hoja/cm ² suelo)	2.69	1.30	3.49	1.89

$$\text{Fotosíntesis bruta: } B = A \left[1 - \exp (I - cF) \right]$$

$$\text{Respiración total: } C = k \cdot F^b$$

FM: Fitotipo moderno

H: Temporada húmeda

FT: Fitotipo tradicional

S: Temporada seca

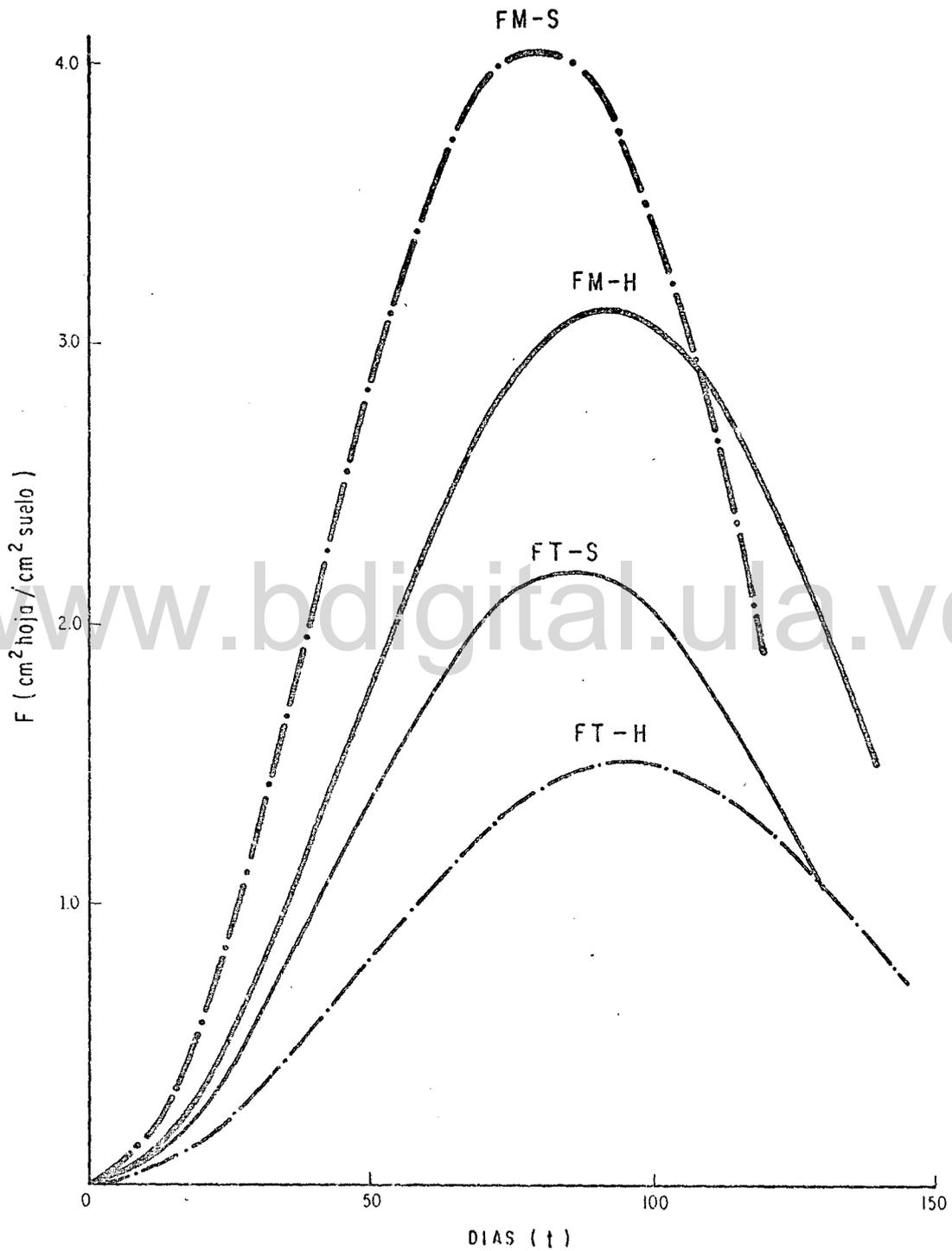


Figura. 14. Evolución del índice de área foliar (F).

Este crecimiento total es el que permitirá la mayor producción posible por su proporcionalidad con la cosecha. Es por esta razón que el parámetro F_x se denomina "índice foliar óptimo".

La cosecha del cultivo es una fracción de la biomasa o crecimiento total. A su vez, el producto cosechado tiene un cierto grado de humedad y parte de él se pierde durante la recolección, por lo que se puede estimar la producción comercial máxima (Y , en $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Y = \frac{10 \cdot \epsilon_c \cdot p \cdot G_T}{1 - \theta} \quad (39)$$

donde:

ϵ_c : es la eficiencia de cosecha

p : es la fracción de la biomasa total seca que es producto cosechable.

G_T : es la biomasa total máxima del cultivo al alcanzar su madurez fisiológica.

θ : es la fracción de humedad en el producto comercial.

A su vez la biomasa es la integración de las tasas de crecimiento diarias, desde que se inicia el crecimiento autotrófico del cultivo (luego de terminada la germinación, t_i), hasta que se alcanza la madurez de cosecha. Por lo tanto la biomasa total máxima (G_T , en $\text{gr} \cdot \text{m}^{-2}$), se puede calcular así:

$$G_T = \frac{2g_* (t_M - t_i)}{\pi} \quad (40)$$

donde:

g_* : es la máxima tasa de crecimiento diario

$(t_M - t_i)$: es la duración en días, del crecimiento autotrófico del cultivo.

Para obtener la producción máxima es necesario conseguir la densidad óptima de plantas (δ_0) que proporcione el índice foliar óptimo. Su valor se dedujo de resultados de ensayos agronómicos que relacionan la producción del cultivo con densidades de siembra, sin importar que éstos hayan sido realizados en sitios distintos a la localidad de interés, con tal de que se trate del mismo fitotipo. Estas experiencias pueden ajustarse a una hipérbola rectangular del tipo:

$$y = \frac{\delta}{a + b\delta} \quad (41)$$

donde:

y : es la producción en $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$

δ : es la densidad de plantas ($\text{p} \cdot \text{ha}^{-1}$)

a : es un coeficiente de ajuste que desde el punto de vista matemático representa la tangente en el origen de la función y vs δ ; y desde el punto de vista biológico es genético, ya que representa el recíproco de la máxima producción por planta aislada sin competencia (w_0).

b : es un coeficiente de ajuste que representa la curvatura de la función y vs δ

Como esta función no limita el rendimiento, lo cual no es posible biológicamente, se propone la siguiente ecuación:

$$y = \frac{n Y_{\text{exp}} \cdot \delta / \delta_0}{1 + (n-1) \delta / \delta_0} \quad (42)$$

válida para: $\delta \leq \delta_0$

$y \leq Y_{\text{exp}}$

reagrupando términos:

$$y = \frac{(n \cdot Y_{\text{exp}} / \delta_0) \delta}{1 + (n-1) \delta / \delta_0}$$

se llega a:

$$y = \frac{\delta}{\frac{1}{w_0} + \frac{n-1}{n \cdot Y_{\text{exp}}}} \cdot \delta \quad (43)$$

donde:

w_0 : es la cosecha máxima por planta aislada, sin competencia. Es de carácter fundamentalmente genético.

$\frac{n-1}{n} \cdot \frac{1}{Y_{\text{exp}}}$: es una expresión que refleja la influencia ambiental, y en la cual:

Y_{exp} : es la máxima producción del fitotipo en determinado ambiente, o máxima producción experimental.

n : es un parámetro que representa la modalidad de siembra.

En la Tabla 8 se presentan los datos experimentales de rendimiento y densidad de siembra y los parámetros resultantes del ajuste, luego de linealizar la ecuación:

$$\frac{\delta}{y} = \frac{1}{w_0} + \frac{n-1}{n \cdot Y_{\text{exp}}} \cdot \delta \quad (44)$$

Conseguidos los parámetros básicos de la relación y vs. δ , las densidades óptimas de siembra (δ_0) para cada alternativa, se pueden calcular con la ecuación:

$$\frac{\delta_0}{Y} = \frac{1}{w_0} + \frac{n-1}{n} \cdot \frac{1}{Y} \cdot \delta_0 \quad (45)$$

donde:

Y : es la producción potencial, en $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$

w_0 : es el peso del producto comercial por planta, en ausencia de competencia.

$\frac{n-1}{n}$: es un parámetro de ajuste asociado al método de siembra

y reagrupando:

$$\begin{aligned}\frac{1}{w_0} &= \frac{\delta_0}{Y} - \frac{n-1}{n} \cdot \frac{1}{Y} \delta_0 \\ \frac{1}{w_0} &= \frac{\delta_0}{Y} \left(1 - \frac{n-1}{n}\right) = \frac{\delta_0}{Y \cdot n} \\ \delta_0 &= \frac{n \cdot Y}{w_0}\end{aligned}\tag{46}$$

La densidad óptima de siembra también se puede expresar en función del espaciamiento entre plantas (x), considerando el sistema de siembra de transplante (origen de los datos experimentales presentados antes). Si la distribución es en cuadrado:

$$\delta_0 = 10.000 \left(\frac{100}{x}\right)^2\tag{47}$$

Por lo que igualando ambas expresiones, se puede despejar el espaciamiento (x), así:

$$\frac{n \cdot Y}{w_0} = \frac{10^8}{x^2} \quad x = \sqrt{\frac{10^8 \cdot w_0}{n \cdot Y}}\tag{48}$$

Para obtener la densidad óptima de plantas, se deben transplantar una cantidad superior de plántulas para compensar las que no sobreviven. Por lo tanto la densidad de transplante (δ_t) será:

$$\delta_t = \frac{\delta_o}{\epsilon} \quad (49)$$

donde:

ϵ : es la eficiencia de sobrevivencia de plantas

La siembra del almácigo, asociada a la población óptima de plantas y teniendo en cuenta la eficiencia de germinación y establecimiento, debe ser:

$$\sigma_t = \frac{\delta_t \cdot m}{\epsilon_s} \quad (50)$$

donde:

σ_t : dosis de semilla asociada a la densidad óptima de población, en kg.ha^{-1}

m : peso de la semilla, en kg.s^{-1}

ϵ_s : eficiencia de germinación y establecimiento

Si el sistema de siembra es directo, con semilla seca en suelo seco, la cantidad de semilla que se pierde y plántulas que no llegan a establecerse es muy grande. Esto se debe al efecto de predadores (aves, roedores, etc), semillas muy enterradas, falta de humedad, etc.

Generalmente se considera un amplio rango de necesidad de semilla para siembra en seco, que varía entre 100 y 300 kg.ha^{-1} . En el presente trabajo se usa una relación (R) de 7.5 veces (Martínez, 1980), para calcular las necesidades de semilla en siembra en seco (σ_s):

$$\sigma_s = \sigma_t \cdot R \quad (51)$$

Submodelo de evaluación de la fertilidad

Con frecuencia se recurre al análisis de tierra para realizar el diagnóstico de la fertilidad del suelo y estimar el requerimiento de abono de los cultivos. Pero en este caso (arroz), se propone evaluar la fertilidad a través del análisis de planta entera, como una medida de la extracción total de elemento disponible en el suelo. Las razones para adoptar este criterio son las siguientes:

1. La química de los suelos inundados es diferente a la de los suelos expuestos a humedecimiento y secado (Sánchez, 1980; Sánchez, 1976; Garavito, 1975; Savant y Kibe, 1971).
2. La disponibilidad de elementos nutritivos generalmente es mayor y variable en el tiempo (Islam y Ullah, 1973, Islam, 1970; García Lagos, 1968; Termán, Allen y Engelstad, 1970).
3. La exploración radicular del arroz es pequeña comparada con otros cultivos. Sin embargo, esto se ve compensado con una solución nutritiva más rica (Grist, 1965; Angladette, 1969; Vlamis y Davis, 1943; Black, 1977). Estos tres puntos hacen imposible la extrapolación de los patrones de diagnósticos habituales propuestos para cultivos en general.
4. La planta es en todo caso la que mejor expresa la fertilidad del suelo (Walsh y Beaton, 1973).
5. Los valores críticos a nivel suelo, para el caso del arroz, no están tan bien establecidos como para otros cultivos (Chapman, 1973; Shukla, 1973; Chirinos, 1975), y en el caso particular del nitrógeno, prácticamente no existen referencias analíticas.

Lo primero es establecer la absorción necesaria (A_x), de los elementos nutritivos investigados, para asegurar la cosecha máxima (Y). Esto se basa en:

- La biomasa total prevista (G_T)
- La relación carbono: elemento nutritivo (C/J) típica del cultivo con relación nutritiva equilibrada.
- Porcentaje de carbono (C) en la planta. La ecuación (52) relaciona estas tres variables:

$$A_x = \frac{C \cdot G_T}{C/J} \quad (52)$$

donde:

A_x : es la absorción de un fitonutriente (J) o requerimiento fisiológico para lograr el crecimiento potencial (G_T), previamente calculado.

Los datos son los siguientes:

$$C = 0.43 \text{ (Yamagishi, T. et al., 1980)}$$

Relación C/J	J		
	N	P	K
	45	335	35

(Ishizuka, 1965; Chaudhary y Ghildyal, 1971)

Biomasa (kg/ha), G_T	ALTERNATIVAS			
	FM-H	FT-H	FM-S	FT-S
	20280	16090	21150	15540

de donde los requerimientos fisiológicos de nitrógeno, fósforo y potasio, para las cuatro alternativas deberán ser las siguientes:

A L T E R N A T I V A S				
A_x	FM-H	FT-H	FM-S	FT-S
N_x (kg/ha)	194	154	202	148
P_x (kg/ha)	26	21	27	20
K_x (kg/ha)	249	198	260	191

Resultados que se encuentran comprendidos entre los presentados por Tanaka (citado por Sánchez, 1980) y los de Kumbhar y Sonar (1979).

El curso de la absorción de nitrógeno y potasio generalmente se realiza con un acopio anticipado al desarrollo, expresado éste como acopio de materia seca total. Esto es conveniente para un óptimo crecimiento y la situación deseable es la que coincide con el patrón de desarrollo foliar (Norero, 1982), así:

$$\Sigma N_{px} = (F/F_x) N_x \quad (53)$$

$$\Sigma K_{px} = (F/F_x) K_x \quad (54)$$

donde:

ΣN_{px} : es la acumulación de nitrógeno asociada al crecimiento potencial desde los inicios del crecimiento hasta que el índice foliar es F.

ΣK_{px} : es la acumulación de potasio asociada al crecimiento potencial, desde los inicios del crecimiento hasta que el índice foliar es F.

F/F_x : evolución relativa del índice de área foliar.

N_x : requerimiento total de nitrógeno para obtener la producción potencial.

K_x : requerimiento total de potasio para obtener la producción potencial.

Esto se cumple para $F/F_x \leq 1$, es decir que cuando se completa el desarrollo foliar ($F=F_x$), la acumulación total de estos elementos debe igualar al requerimiento fisiológico (N_x o K_x).

Se puede admitir un límite mínimo o crítico del patrón de absorción que seguiría la evolución del acopio de materia seca total (G/G_T). De esta forma el nitrógeno y potasio acumulado se expresa así:

$$\Sigma N_{pc} = (G/G_T) N_x \quad (55)$$

$$\Sigma K_{pc} = (G/G_T) K_x \quad (56)$$

donde:

ΣN_{pc} : es la acumulación de nitrógeno asociada al crecimiento potencial desde los inicios del crecimiento hasta que la biomasa es G.

ΣK_{pc} : es la acumulación de potasio asociada al crecimiento potencial desde los inicios del crecimiento hasta que la biomasa es G.

G/G_T : evolución relativa del crecimiento.

Entonces, para obtener el crecimiento potencial, el nitrógeno y potasio absorbidos hasta un determinado momento del desarrollo se deben encontrar

entre estos dos límites (Norero, 1982). De lo contrario quedaría manifestada una situación deficitaria. Es frecuente observar que el fósforo sigue estrechamente el segundo patrón de absorción señalado, es decir:

$$\Sigma P_{pc} = (G/G_T) P_x \quad (57)$$

donde:

ΣP_{pc} : es la acumulación de fósforo asociada al crecimiento potencial desde los inicios del crecimiento hasta que la biomasa es G.

P_x : requerimiento total de fósforo para obtener la producción potencial.

Figura 15. Kumbhar y Sonar, 1979.

En la Tabla 16 y en las Figuras C. 1,2,3,4 se presenta la evolución de la demanda de nitrógeno, fósforo y potasio para las cuatro alternativas propuestas.

Una absorción de fitonutrientes que se realiza a una tasa menor que ΣA_{pc} , se interpreta como indicativa de déficit y, será un indicio de que no se logrará el crecimiento potencial. Si es superior a ΣA_{px} , se producirá superávit, o consumo superfluo, sin mayores consecuencias en la capacidad productiva.

Por su parte, la evolución relativa del crecimiento foliar se representa de acuerdo a la ecuación (58):

$$F/F_x = \frac{1}{2} \left(1 - \cos \pi \frac{t}{0.66 t_M} \right) \quad (58)$$

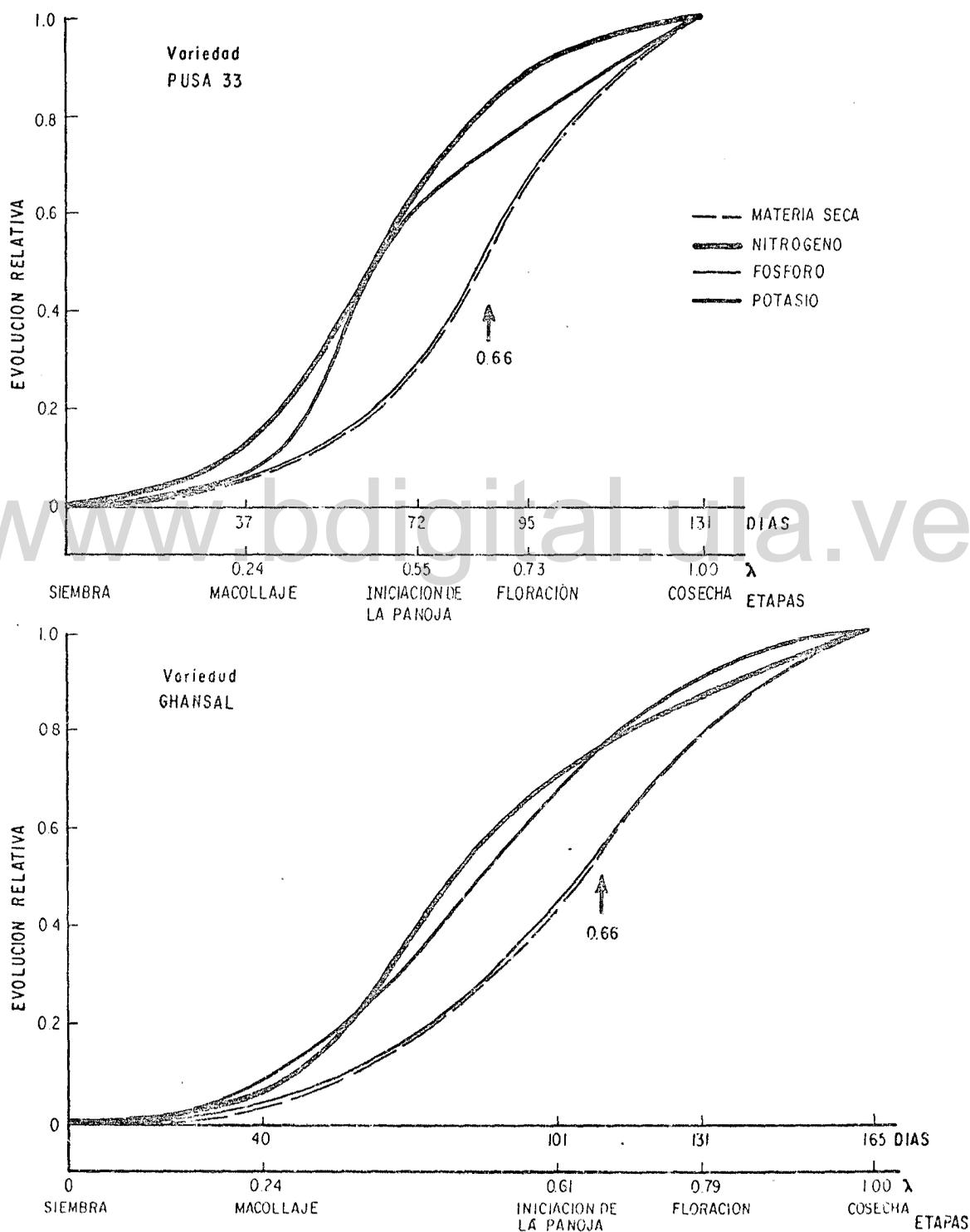


Figura. 15. Evolución de la producción de materia seca y absorción de N, P y K en dos variedades de arroz (Elaborado en base a datos de Kumbhar y Sonar, 1979).

Tabla 16. Evolución de las demandas de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en kg. ha⁻¹, en relación al crecimiento (G/G_T) y al desarrollo foliar (F/F_x), para dos fitotipos en dos temporadas de siembra.

Alternativas		Días (t)														
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	145
FM-H	F/F_x	0,03	0,11	0,24	0,40	0,56	0,73	0,86	0,96	1,00	-	-	-	-	-	-
	G/G_T	0,01	0,05	0,11	0,19	0,28	0,39	0,50	0,61	0,72	0,81	0,89	0,95	0,99	1,00	-
	ΣN_{px}	6	22	47	78	109	142	167	186	194	-	-	-	-	-	-
	ΣN_{pc}	2	10	21	37	54	76	97	118	140	157	173	184	192	194	-
	ΣP_{pc}	0,26	1,3	3	5	7	10	13	16	19	21	23	25	26	-	-
	ΣK_{px}	7	27	60	100	139	182	214	239	249	-	-	-	-	-	-
	ΣK_{pc}	2	12	27	47	70	97	125	152	179	202	222	237	247	249	-
FT-H	F/F_x	0,03	0,10	0,22	0,37	0,54	0,69	0,83	0,94	0,99	1,00	-	-	-	-	-
	G/G_T	0,01	0,05	0,10	0,18	0,27	0,37	0,47	0,58	0,69	0,78	0,86	0,93	0,97	0,99	1,00
	ΣN_{px}	5	15	34	57	83	106	128	145	152	154	-	-	-	-	-
	ΣN_{pc}	2	8	15	28	42	57	72	89	106	120	132	143	149	152	154
	ΣP_{pc}	0,2	1,1	2,1	3,8	5,7	7,8	9,9	12,2	14,5	16,4	18,1	19,5	20,4	20,8	21,0
	ΣK_{px}	6	20	44	73	107	137	164	186	196	198	-	-	-	-	-
	ΣK_{pc}	2	10	20	36	53	73	93	115	137	154	170	184	192	196	198
FM-S	F/F_x	0,04	0,15	0,31	0,51	0,70	0,86	0,97	1,00	-	-	-	-	-	-	-
	G/G_T	0,02	0,07	0,15	0,25	0,37	0,50	0,53	0,75	0,85	0,93	0,98	1,00	-	-	-
	ΣN_{px}	8	30	63	103	141	174	196	202	-	-	-	-	-	-	-
	ΣN_{pc}	4	14	30	51	75	101	127	152	172	188	198	202	-	-	-
	ΣP_{pc}	0,5	1,9	4,1	6,8	10,0	13,5	17,0	20,3	23,0	25,1	26,5	27,0	-	-	-
	ΣK_{px}	10	39	81	133	182	224	252	260	-	-	-	-	-	-	-
	ΣK_{pc}	5	18	39	65	96	130	164	195	221	242	255	260	-	-	-
FT-S	F/F_x	0,03	0,13	0,27	0,45	0,63	0,79	0,92	0,99	1,00	-	-	-	-	-	-
	G/G_T	0,01	0,06	0,13	0,22	0,32	0,44	0,56	0,68	0,78	0,87	0,94	0,99	1,00	-	-
	ΣN_{px}	4	19	40	67	93	117	136	147	148	-	-	-	-	-	-
	ΣN_{pc}	1,5	9	19	33	47	65	83	101	115	129	139	147	148	-	-
	ΣP_{pc}	0,2	1,2	2,6	4,4	6,4	8,8	11,2	13,6	15,6	17,4	18,8	19,8	20,0	-	-
	ΣK_{px}	6	25	52	86	120	151	176	189	191	-	-	-	-	-	-
	ΣK_{pc}	2	11	25	42	61	84	107	130	149	166	180	190	191	-	-

La evolución relativa del crecimiento general se representa con la fórmula siguiente:

$$G/G_T = \frac{1}{2} \left(1 - \cos \pi \frac{t}{t_M} \right) \quad (59)$$

Diagnóstico de Fertilidad

El procedimiento que se propone consiste en cosechar la parte aérea de superficies conocidas del cultivo en el área problema. Según el grado de desarrollo (G/G_T), que corresponde a determinada etapa fenológica, la materia seca (M.S.) producida hasta el momento se compara con la que correspondería con el crecimiento potencial.

$$\begin{array}{ccc} \text{MUESTRA} & & \text{ESTIMADA} \\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \text{ de M.S.} \times \frac{\text{m}^2}{\text{ha}} = \frac{\text{kg}}{\text{ha}} & \leq & \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \quad G - R \end{array}$$

Si la biomasa producida es menor que la estimada puede presumirse como probable causa la deficiencia de uno o más fitonutrientes.

El segundo paso es determinar cuál o cuáles elementos son escasos. Para esto se realiza el análisis químico de la muestra. Se comparará la cantidad absorbida de cada nutriente con la que debería tener de acuerdo al grado de desarrollo y exigencias potenciales.

En la Figura 16 se representan las tres situaciones que podrán encontrarse:

- I : el elemento es deficitario
- II : el elemento se encuentra en un nivel adecuado
- III : el elemento está en exceso

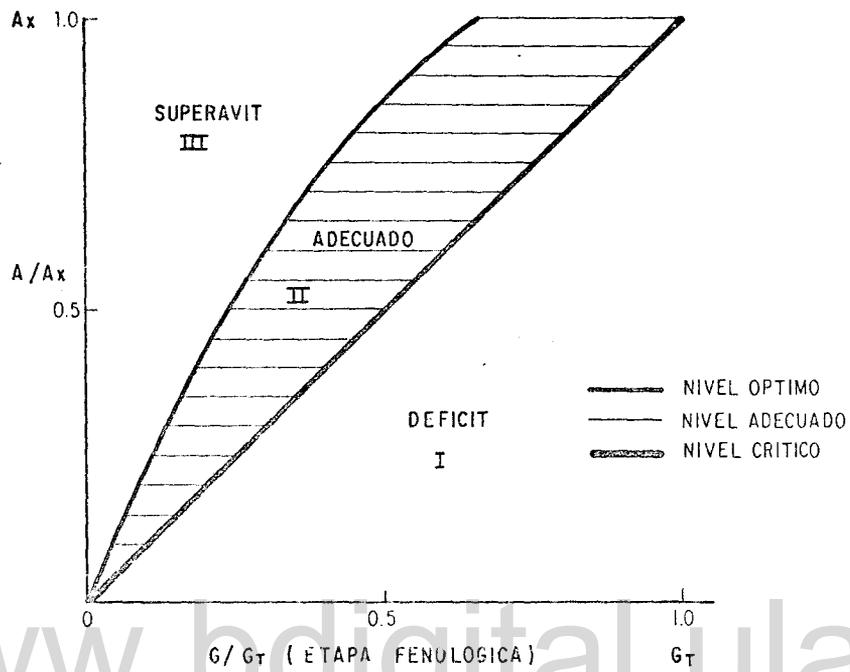


Figura. 16. Diagnóstico de fertilidad relativo al nivel máximo de fitonutriente y a la etapa fenológica del cultivo.

Los niveles críticos de nitrógeno, fósforo y potasio siguen el crecimiento general y se expresan así:

$$N_x \quad (G/G_T)$$

$$P_x \quad (G/G_T)$$

$$K_x \quad (G/G_T)$$

Los niveles anticipados u óptimos de absorción de nitrógeno y potasio coinciden con el patrón del crecimiento foliar. Si A es cualquiera de estos dos elementos, su expresión es la siguiente:

$$A = \frac{1}{2} A_x \left(1 - \cos \pi \frac{t}{0.66 t_M} \right) \quad (60)$$

Esto también se puede expresar en términos del crecimiento general (G/G_T), si se despeja $\frac{t}{t_M}$ y se sustituye en la ecuación (60)

$$G/G_T = \frac{1}{2} \left(1 - \cos \pi \frac{t}{t_M} \right)$$

$$1 - 2 (G/G_T) = \cos \pi \frac{t}{t_M}$$

$$\frac{t}{t_M} = \frac{1}{\pi} \cos^{-1} (1 - 2 G/G_T)$$

$$A = \frac{1}{2} A_x \left\{ 1 - \cos \left[\frac{\pi}{0.66} \cdot \frac{1}{\pi} \cdot \cos^{-1} (1 - 2 G/G_T) \right] \right\} \quad (61)$$

De esta forma pueden expresarse matemáticamente los niveles adecuados de nitrógeno, potasio y fósforo. Ellos son los que están comprendidos entre los siguientes límites:

$$N_x (G/G_T) \leq N \leq \frac{1}{2} N_x \left\{ 1 - \cos \left[\frac{\cos^{-1}}{0.66} (1-2 G/G_T) \right] \right\} \quad (62)$$

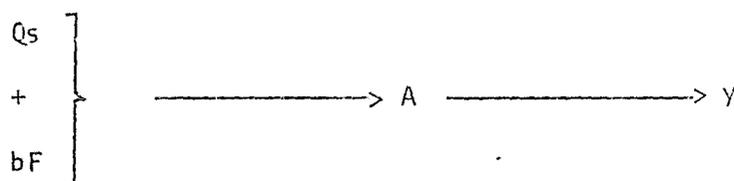
$$K_x (G/G_T) \leq K \leq \frac{1}{2} K_x \left\{ 1 - \cos \left[\frac{\cos^{-1}}{0.66} (1-2 G/G_T) \right] \right\} \quad (63)$$

$$P_x (G/G_T) \leq P \quad (64)$$

Prescripción de Abonos

Eficiencia fisiológica. El nivel de extracción de un fitonutriente (A), determinado anteriormente, para conseguir una producción y, guarda una estrecha relación con el contenido aprovechable (Q) de ese elemento en el suelo. A su vez este contenido está dado por lo que naturalmente aportan las propias fuentes del suelo (Qs), y por una fracción derivada del fertilizante (bF).

Estas relaciones se pueden esquematizar así:



Elemento total aprovechable en el SUELO.

Elemento total absorbido por la PLANTA

PRODUCCION conseguida cuando el elemento limitante es A

$$Q = Q_s + bF, \quad \text{de donde} \quad b = \frac{Q - Q_s}{F} \quad (65)$$

b es un parámetro que expresa una eficiencia edafológica, es decir la parte o proporción lábil del fertilizante que puede ser aprovechado por la planta. Es sabido que ningún cultivo utiliza la totalidad de un abono, aún los más solubles.

Así como Q se corresponde a A en la planta, sin el agregado de fertilizantes, el contenido natural del suelo Q_s se corresponderá con lo que debe absorber el "testigo"^{1/} (A_t).

Por lo tanto la eficiencia fisiológica (ϵ) del fertilizante, es decir, el grado de aprovechamiento del abono que hace el cultivo, queda expresada por la ecuación (66).

$$\epsilon = \frac{A - A_t}{F} \quad (66)$$

De aquí se sigue que el requerimiento de fertilizante para lograr un nivel dado de elemento A en la planta, será:

$$F = \frac{A - A_t}{\epsilon} \quad (67)$$

La eficiencia edafológica (b) puede considerarse constante para determinado suelo y fuente fertilizante, mientras que la eficiencia fisiológica (ϵ) es variable con el nivel de fertilidad que se trata de satisfacer. Tiene un valor máximo (ϵ_x) en el caso extremo de deficiencia en el suelo, cuando el fertilizante debe aportar todo el fitonutriente absorbible por la planta (A), es decir cuando la fertilidad natural del suelo equivale a: $Q_s = 0$. Su valor es mínimo (ϵ_m) cuando el fertilizante aporta comparativamente muy poco, es decir, que el suelo es naturalmente muy fértil o cuando se está alcanzando el nivel de fertilización que permite absorber a la planta la cantidad máxima requerida (A_x). (Norero 1977b, 1982).

^{1/} Término corrientemente empleado para designar un cultivo no abonado al compararsele con el mismo cultivo que ha recibido abono.

Interesa determinar como varía la eficiencia fisiológica en función de la fertilidad:

$$\epsilon = f (A/A_x) \quad (68)$$

ya que esto determinará la cantidad de fertilizante requerida para alcanzar determinada producción y eventualmente la ventaja económica de hacerlo.

Sustituyendo F, ecuación (67) en (65), se tiene:

$$b = \frac{Q - Q_s}{\left(\frac{A - A_t}{\epsilon}\right)} = \frac{Q - Q_s}{A - A_t} \cdot \epsilon \quad (69)$$

que relaciona las dos eficiencias.

Si se admite que para obtener el rendimiento potencial (Y), la planta debe absorber (A_x) y el suelo poner a su disposición (Q_x), debe cumplirse por (69) que:

$$b = \left(\frac{Q_x - Q_s}{A_x - A_t}\right) \cdot \epsilon \quad (70)$$

En el caso extremo particular en que el suelo es absolutamente deficitario, es decir:

$$Q_s = 0$$

y por lo tanto:

$$A_t = 0$$

La ecuación (70) queda así:

$$b = \frac{Q_x}{A_x} \cdot \epsilon \quad (71)$$

donde: $\epsilon = \epsilon_x$

A su vez, en general:

$$A = \frac{n \cdot A_x \cdot Q}{Q_x + mQ} \quad (\text{Norero, 1977b}) \quad (72)$$

de donde, en el caso particular de $Q = Q_s$

$$A_t = \frac{n \cdot A_x \cdot Q_s}{Q_x + m Q_s} \quad (73)$$

por lo que:

$$Q_s = \frac{Q_x \cdot A_t}{n A_x - m A_t} \quad (74)$$

Sustituyendo (74) en (70) se tiene:

$$b = \frac{Q_x \left(1 - \frac{A_t}{n A_x - m A_t} \right)}{A_x - A_t} \cdot \epsilon \quad (75)$$

igualando (71) y (75) y generalizando para cualquier valor de A :

$$\frac{Q_x}{A_x} \cdot \epsilon_x = \frac{Q_x \cdot \left(1 - \frac{A}{n A_x - m A} \right)}{A_x - A} \cdot \epsilon$$

de donde el valor de eficiencia máxima (ϵ_x) es:

$$\epsilon_x = \left(\frac{1 - \frac{A}{n A_x - m A}}{1 - A/A_x} \right) \cdot \epsilon \quad (76)$$

y como $m = n - 1$, el valor de la eficiencia fisiológica (ϵ) queda en función de:

1. El nivel de fertilidad (A/A_x), determinado por el análisis químico de planta entera.

2. El elemento nutritivo de que se trate (n), y

3. La eficiencia máxima (ϵ_x). Relaciones que quedan explícitas al reordenar(76) :

$$\epsilon = \left[1 - \left(\frac{n-1}{n} \right) \cdot A/A_x \right] \cdot \epsilon_x \quad (77)$$

Cuando $y = Y$, la eficiencia fisiológica es mínima (ϵ_m) y $A/A_x = 1$, de donde se desprende que n expresa la relación entre la eficiencia máxima y la mínima:

$$n = \frac{\epsilon_x}{\epsilon_m} \quad (78)$$

Necesidad de Fertilizantes. La producción "y" depende del nivel nutricional de la planta A/A_x (reflejo del nivel de fertilidad del suelo: Q/Q_x), del rendimiento potencial (Y) y del fitonutriente en consideración (n), de acuerdo a la ecuación (79) (Norero 1977b).

$$y = \frac{n \cdot Y \cdot A/A_x}{1 + (n-1) A/A_x} \quad (79)$$

de donde:

$$A/A_x = \frac{1}{[n(Y/y - 1) + 1]} \quad (80)$$

$$A = \frac{A_x}{[n(Y/y - 1) + 1]} \quad (81)$$

Si en la ecuación (67) se sustituye A por su valor en (81), ϵ por su valor (77) y dentro de ésta A/A_x por (80), se tendrá una expresión para el requerimiento de fertilizante F (elemento fitonutriente), en función de:

1. La producción esperada (y), con el agregado de abono, en kg/ha.
2. La producción máxima estimada (Y), en kg/ha, donde $Y > y$
3. La absorción del elemento nutritivo (A_x) para obtener la producción Y
4. La absorción del elemento nutritivo (A_t) que realiza el "testigo"
5. El fitonutriente en cuestión (n)
6. La máxima eficiencia fisiológica (ϵ_x)

Según la ecuación (82):

$$F = \frac{\frac{A_x}{n(Y/y - 1) + 1} - A_t}{\left\{1 - \frac{n-1}{n[n(Y/y-1)+1]}\right\} \epsilon_x} \quad (82)$$

Submodelo de requerimiento de agua

La evapotranspiración del campo de cultivo comprende la vaporización de agua de los tejidos vegetales y de la superficie del agua de inundación. El arroz cultivado pasa la mayor parte de su ciclo con una capa de agua, de profundidad variable (5 a 20 cm), sobre el suelo y que cubre la base de la planta.

La transpiración y la evaporación varían continuamente en el tiempo y en el espacio. Varían en el tiempo porque los factores climáticos y botánicos que las afectan son cambiantes. Varía en el espacio, dentro del volumen ocupa

do por el cultivo, porque las hojas en los distintos estratos foliares de la cubierta vegetal están expuestos a diferentes condiciones microclimáticas (Norero, 1982).

Se determinaron los requerimientos de agua para las cuatro alternativas propuestas y dentro de ellas para ocho índices de área foliar ($F = 2$ a 9).

Los cálculos comprendieron tres grupos:

1. Los generales dentro y fuera de la cubierta vegetal. Interesa considerar, principalmente, la capa de agua de inundación más que las propiedades físicas del suelo.

2. Los cálculos estratificados dentro de la cubierta vegetal. Debido a la marcada anisotropía dentro de la vegetación, en lo que respecta a procesos físicos y fisiológicos se dividió arbitrariamente la cubierta vegetal, en 10 intervalos con el mismo porcentaje de área foliar. Así, por ejemplo, los estomas están plenamente abiertos al no existir limitante hídrica y por lo tanto la transpiración alcanza su máxima intensidad. Su magnitud queda determinada solamente por la interacción de los factores ambientales con las propiedades agrofísicas de la vegetación, en los distintos estratos foliares.

3. Los cálculos que finalizan con el cálculo del requerimiento hídrico. La temperatura de las hojas y del agua de inundación son variables de la ecuación de difusión. Es necesario evaluar integralmente las condiciones radiantes y aerodinámicas de la fitósfera para estimar las demandas de agua de la vegetación (transpiración) o el consumo máximo de agua del campo cultivado (evapotranspiración).

La temperatura del agua tiene más influencia en los procesos fisiológicos de la planta que la temperatura del suelo (Uchijima, 1976b; Owen, 1971; Chapman, 1969; Moriwaki, 1979; Herath y Ormrod, 1965; Vamadevan, 1971).

El método del balance de calor usado para la estimación de la evapotranspiración, es el recomendado por la literatura (Seo y Yamaguchi, 1968; Uchijima, 1976b).

En este caso particular la temperatura del agua no se calcula, sino que entra como dato, debido a que varía cíclicamente a lo largo del año, al igual que la temperatura del aire (Rose y Chapman, 1968). Con ella, y la expresión que integra el balance de energía, el flujo de vapor y de calor en la superficie vegetal, se calcula por tanteo la temperatura de la planta (T_p), de acuerdo a la siguiente igualdad:

$$\begin{aligned} & \left[N \tilde{k}_c + 2 \times 0.0075 N (1 - e^{-KF}) \right] T_p + \sum N \tilde{k}_v 6.11 \exp \left(\frac{17.27 T_p}{237 + T_p} \right) = \\ & = N \tilde{k}_c T + \sum N \tilde{k}_v V + [(1 - \alpha_p) (1 + \alpha_w e^{-KF}) R_g + R_L + 0.4N + 0.0075 N T_w - \\ & - 2 \times 0.4N] (1 - e^{-KF}) \end{aligned} \quad (83)$$

donde:

N : es la duración del período diurno, en min. día^{-1}

\tilde{k}_c : es la conductividad calórica global de las plantas, en $\text{cal. cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$

\tilde{k}_v : es la conductividad global al vapor en las plantas, en $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mb}^{-1}$

K : es el coeficiente de extinción de radiación del follaje (adim.)

- F : es el índice foliar total acumulado, en $\text{cm}^2 \text{hojas} \cdot \text{cm}^{-2}$ de suelo
- T_p : es la temperatura global de la cubierta vegetal, en °C
- T : es la temperatura del aire durante el día, en °C
- T_w : es la temperatura global del agua, en °C
- L : es el calor latente de vaporización, en $\text{cal} \cdot \text{cm}^{-3}$
- α_p : es el albedo del follaje (adim.)
- α_w : es el albedo del agua (adim.)
- V : es la humedad del aire (presión de vapor) durante el día, en mb
- R_g : radiación solar global (onda corta), en $\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$
- R_L : es la radiación atmosférica (onda larga), en $\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$

Una vez evaluadas las temperaturas del agua y de la planta se procede al cálculo de las presiones de vapor a saturación en las plantas (V_p) y en la superficie libre de agua de inundación (V_w), con las cuales se estiman los flujos de vapor desde la vegetación (transpiración) y superficie de agua (evaporación). La suma de ambas constituye la evapotranspiración.

La transpiración ocurre durante el período diurno, cuando los estomas están plenamente abiertos (al no existir déficit hídrico). Durante la noche se cierran, debido a la oscuridad, por lo que la transpiración nocturna es prácticamente nula (la epidermis es un aislante muy eficaz). La evaporación, sin embargo, ocurre tanto durante el día como la noche, no obstante el gasto nocturno es muy pequeño (Norero, 1982), por lo que en el presente trabajo no se tuvo en cuenta.

Los datos simulados obtenidos se ajustaron en función del índice foliar, de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$E_p = E_{p_x} [1 - \exp(-bF)] \quad (84)$$

$$E_w = E_o \cdot \exp(-cF) \quad (85)$$

$$E_x = E_p + E_w \quad (86)$$

donde:

E_p : es la transpiración ajustada

E_{p_x} : es la máxima transpiración

b : es el coeficiente de ajuste de la transpiración

F : es el índice de área foliar

E_w : es la evaporación

E_o : es la máxima evaporación

c : es el coeficiente de ajuste de la evaporación

E_x : es la evapotranspiración

El ajuste de los datos simulados se realiza con la finalidad de darle carácter general a la relación entre requerimientos hídricos e índice de área foliar, para estas condiciones climáticas particulares.

En el modelo de producción se vio la evolución del índice de área foliar, para cada alternativa, Figura 14, por lo que es posible obtener la evolución de la transpiración, evaporación y evapotranspiración ajustada. Para esto se integran las ecuaciones de transpiración y evaporación con la que calcula el índice de área foliar:

$$E_p = E_{p_x} [1 - \exp(-bF)]$$

y

$$F = \frac{1}{2} F_x \left[1 - \cos \left(\pi \cdot \frac{t}{0.66 t_M} \right) \right]$$

sustituyendo F en Ep:

$$E_p = E_{p_x} \left(1 - \exp \left\{ - b \cdot \frac{F_x}{2} \left[1 - \cos \left(\pi \frac{t}{0.66 t_M} \right) \right] \right\} \right) \quad (87)$$

A su vez:

$$E_w = E_o \cdot \exp(-cF) \quad \text{y sustituyendo F}$$

se tiene:

$$E_w = E_o \cdot \exp \left\{ - c \cdot \frac{F_x}{2} \left[1 - \cos \left(\pi \frac{t}{0.66 t_M} \right) \right] \right\} \quad (88)$$

Conocidas las demás variables, la transpiración y evaporación se calcula en función del tiempo, así:

$$E_p = f(t) \quad \text{y} \quad E_w = f(t)$$

donde:

F_x : es el índice foliar óptimo al culminar el desarrollo foliar

t_M : son los días transcurridos al producirse la madurez fisiológica

CAPITULO IV
RESULTADOS Y DISCUSION

Las estimaciones realizadas por la metodología empleada fueron avaladas por la literatura y los datos reales obtenidos para la zona arrocera de los Estados Portuguesa y Guárico.

Desarrollo

Los resultados correspondientes a la duración del ciclo de desarrollo del cultivo, son los siguientes:

Tabla 17. Parámetros de la duración del ciclo del cultivo, para el fitotipo moderno y tradicional.

Parámetro	FITOTIPO	
	Moderno	Tradicional
Duración óptima, en días	117.3	120
Temperatura mínima, en °C	13.5	14.5
Temperatura óptima, en °C	28.0	30.0
Temperatura máxima, en °C	42.5	45.5
Rango de temperatura, en °C	29.0	31.0
Pendiente ^{1/} en días	60.0	36.0
Temporada húmeda, en días	140	145
Temporada seca, en días	120	130

^{1/}La pendiente se refiere al fotoperíodo, entre 12 y 14 horas y representa los días en que se alarga el ciclo al aumentar una hora la luz del día.

Estos valores están comprendidos entre los aportados por la literatura para temperatura (Owen, 1971; Murata y Matsushima, 1978; Chaudhary y Ghildyal, 1970) y duración del día (Yoshida, 1977; Coly, 1980).

Ambos fitotipos pueden clasificarse como débilmente sensibles (Vergara Puranabhavung y Lilis, 1965). En las condiciones tropicales del área arroce-
ra de Turén, la duración del ciclo del cultivo va a variar de 4 meses en la
temporada seca, a 5 meses en la temporada húmeda, para los dos fitotipos. Esto
permite clasificarlos como de ciclo medio (Agricultural Research Service, U.S.
Department of Agriculture, 1973).

Producción

El submodelo de producción se basa en la determinación del crecimiento. En las Tablas A. 1,2,3,4 del apéndice se muestran los datos preliminares de crecimiento para las cuatro alternativas y ocho índices foliares ($F = 2$ a 9); mientras que en las Tablas A. 5 a 12, se encuentran, a modo de ejemplo, los cálculos básicos estratificados para el fitotipo moderno en la temporada húmeda. Los resultados finales que no requieren estratificación se presentan en las Tablas A.1,2,3,4. Estos se basan en las determinaciones de fotosíntesis bruta y respiración.

Del ajuste de estos valores se obtuvo el índice foliar crítico, que corresponde al crecimiento máximo, Tabla 15.

En las Figuras A. 1,2,3,4 se presentan los datos simulados, producto de la aplicación del modelo de crecimiento y los ajustados, evidenciándose una estrecha relación.

La literatura cita valores algo superiores para la tasa de crecimiento

máximo de ambos fitotipos (Chandler, 1969; Ishizuka, 1969), lo que es posible en condiciones de mayor luminosidad. El índice foliar crítico se corresponde con el índice foliar óptimo o de máxima producción, que se consigue al culminar el desarrollo foliar, Figura 14. De acuerdo a esto, se obtuvo la biomasa total que se corresponde con la producción comercial potencial, Tabla 19. Esta biomasa total, para las cuatro alternativas, se encuentra comprendida entre los valores citados por la literatura:

1100 gr.m⁻² (Leihner y Cock, 1977)

2500 gr.m⁻² (Milthorpe y Moorby, 1975)

La producción potencial simulada ha sido obtenida en el Estado Guárico (Anónimo, 1977) y está comprendida entre los valores citados por la literatura (Yoshida, 1977; Murata, 1969; Milthorpe y Moorby, 1975).

Para obtener la máxima producción posible fue necesario calcular la densidad óptima de plantas, la densidad de transplante y la cantidad de semilla a sembrar, para lo cual se adoptó una distribución regular de plantas en cuadrado.

Como la práctica común en el Estado Portuguesa es realizar siembras directas en seco, con semilla seca, se consideró un gasto de 7.5 veces superior de semillas para siembras directas respecto a transplante, de acuerdo a lo establecido por la literatura (Martínez, 1980; Chandler, 1969; Mogdal y Sebastián 1971).

Resultados experimentales del Instituto Internacional de Investigación en arroz establece que no existe diferencia de producción entre siembra directa y transplante (Wrigley, 1970).

Tabla 18. Modelo de producción. Cálculo del índice foliar óptimo (F_x); biomasa total (G_T); producción potencial (Y); espaciamiento (x); densidad óptima (δ_o) y de transplante (δ_t); dosis de semilla para siembra de transplante (σ_t) y directa en seco (σ_s).

PARAMETROS		ALTERNATIVAS			
Símbolo	Unidades	FM - H	FT - H	FM - S	FT - S
F_x	área foliar/área suelo	3.12	1.51	4.05	2.19
G_T	gr.m ⁻²	2028	1609	2115	1554
Y	kg.ha ⁻¹	8100	4800	8500	4600
x	cm	17.5	22.0	17.0	23.0
δ_o	p.ha ⁻¹	325000	200000	340000	195000
δ_t	p.ha ⁻¹	465000	285000	485000	280000
σ_t	kg.ha ⁻¹	13.6	9.5	14.2	9.3
σ_s	kg.ha ⁻¹	102	71	106	70

FM : Fitotipo moderno

FT : Fitotipo tradicional

H : Temporada húmeda

S : Temporada seca

En la Tabla 18, se presentan los resultados de densidad óptima de plantas, espaciamento, densidad de transplante, dosis de semilla para transplante y siembra directa en seco. Estos resultados concuerdan con los citados por la literatura (De Wit, 1960) y los obtenidos para el Estado Portuguesa (Alvarez, com. per.) siempre y cuando se haga una cuidadosa preparación de la cama para la semilla y de la siembra.

Fertilidad

Para una situación agroecológica, la fertilización puede definirse en función de la producción esperada:

$$F = f(y)$$

Los restantes factores pueden asumirse constantes. Las producciones y absorciones máximas fueron determinadas para cada alternativa. También se asignaron valores a los parámetros de respuesta y eficiencia máxima para cada elemento nutritivo. El valor de la absorción de fitonutrientes por el cultivo sin fertilizar, es decir, con la provisión natural del suelo, se estimó de ensayos de fertilización en campo realizados con un fitotipo moderno, en la temporada húmeda, en la región de interés (Ministerio de Agricultura y Cría, 1966).

En la serie de suelos Algodonal, típico suelo arrocero de la zona, se consiguieron 2700 kg/ha de grano en tratamiento "testigos". Con el agregado de fertilizantes nitrogenados se elevó el rendimiento a 3200 kg/ha. Para obtener mayores producciones fue necesario agregar simultáneamente nitrógeno y fósforo. El potasio no mostró ser un fitonutriente deficitario, lo cual se explicaría por lo siguiente:

1. El potasio de intercambio (lábil) en el suelo es del orden de los 0.20 m.e./100gr. de suelo, lo cual se considera como valor medio para cultivos más exigentes que el arroz (Chirinos, 1975 y Sánchez, 1980).

2. Con la práctica de inundación, la disponibilidad de potasio se incrementa hasta 20 veces a las 9 semanas (Islam e Islam, 1973; Islam y Ullah, 1973 y Garavito, 1975) Figura 17.

3. Del campo de cultivo se retira menos del 20% del total absorbido con el grano, es decir, la mayor parte de lo extraído del suelo por la planta es devuelta con la paja y las raíces (Chaudhary y Ghildyal, 1971 y Frissel, 1978).

4. El agua de riego puede ser otra fuente no despreciable de este nutriente (García Lagos, 1966 y Sánchez, 1976).

Producción esperada sin fertilizar

De acuerdo a los citados ensayos el fitonutriente más limitante a la producción es nitrógeno. Si no se aplica fertilizante nitrogenado el rendimiento de grano del "testigo" es:

$$y_N = 2700 \text{ Kg/Ha}$$

Con la suplementación exclusiva de nitrógeno es posible elevar la producción hasta que el fósforo comienza a ser limitante. Este nivel de interacción (N-P) se manifiesta desde:

$$y_p = 3200 \text{ Kg/Ha}$$

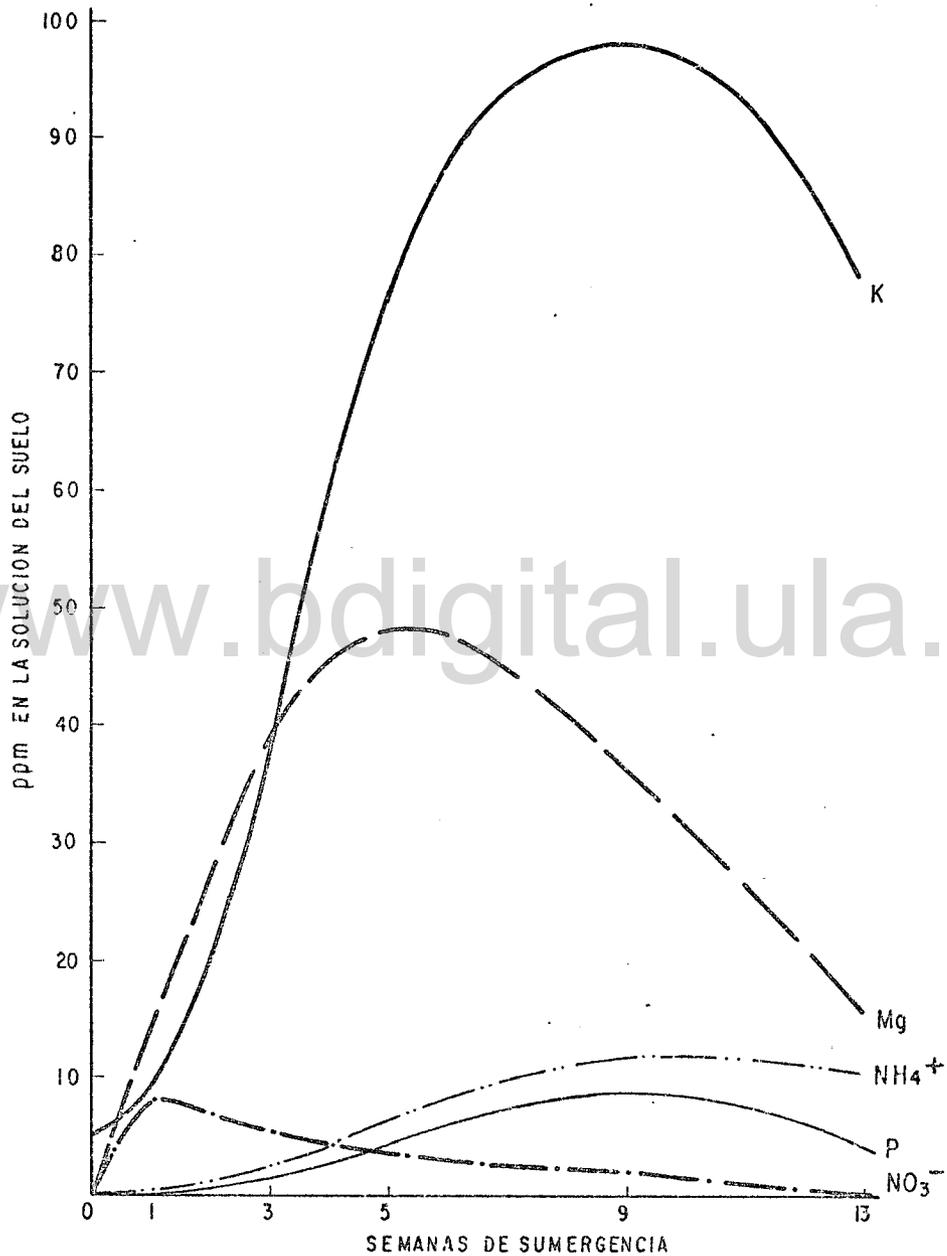


Figura. 17. Evolución de la disponibilidad de nitrógeno (NH_4^+ y NO_3^-), fósforo (P), potasio (K) y magnesio (Mg), en un suelo franco - arcilloso (Ruptali) sumergido (elaborado en base a datos de Islam, A y W., 1973).

Los restantes elementos nutritivos (potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro, manganeso, etc,) no son deficitarios, por lo que permiten satisfacer el requisito mineral de la producción potencial. Esta situación puede representarse así:

$$Y_K = Y_{Ca} = Y_{Mg} = Y_S = Y_{Fe} = Y_{Mn} = Y$$

Entonces, matemáticamente, el orden jerárquico de las deficiencias es:

$$N^{\circ} \quad 1 \quad 2 \quad 3$$

$$Y = Y_N < Y_P < Y_K = Y_{Ca} = Y_{Mg} = Y_S = Y_{Fe} = Y_{Mn} = Y$$

De las relaciones discutidas antes, ecuaciones (80) y (81), y los datos experimentales, puede deducirse la disponibilidad de elementos nutritivos a nivel de extracción por el cultivo. Para el fitotipo moderno, en la temporada húmeda, el rendimiento de 2700 kg/ha, significa que:

1. El nivel de fertilidad N/N_x es del 22,3%
2. El nitrógeno absorbido por la planta, a la cosecha, debe por lo tanto estimarse en 43 kg/ha. Esto contrasta marcadamente con los 194 kg/ha necesarios para el rendimiento de 8100 kg/ha. posibles.

El rendimiento de 3200 kg/ha, corresponde a un valor de $P/P_x = 12\%$, es decir, se puede estimar en 3.14 kg/ha el aporte natural de fósforo del suelo ($0.12 \times P_x$).

En la Figura 18, se presenta la relación entre rendimiento y requerimiento de nitrógeno y fósforo para el fitotipo moderno en la temporada húmeda.

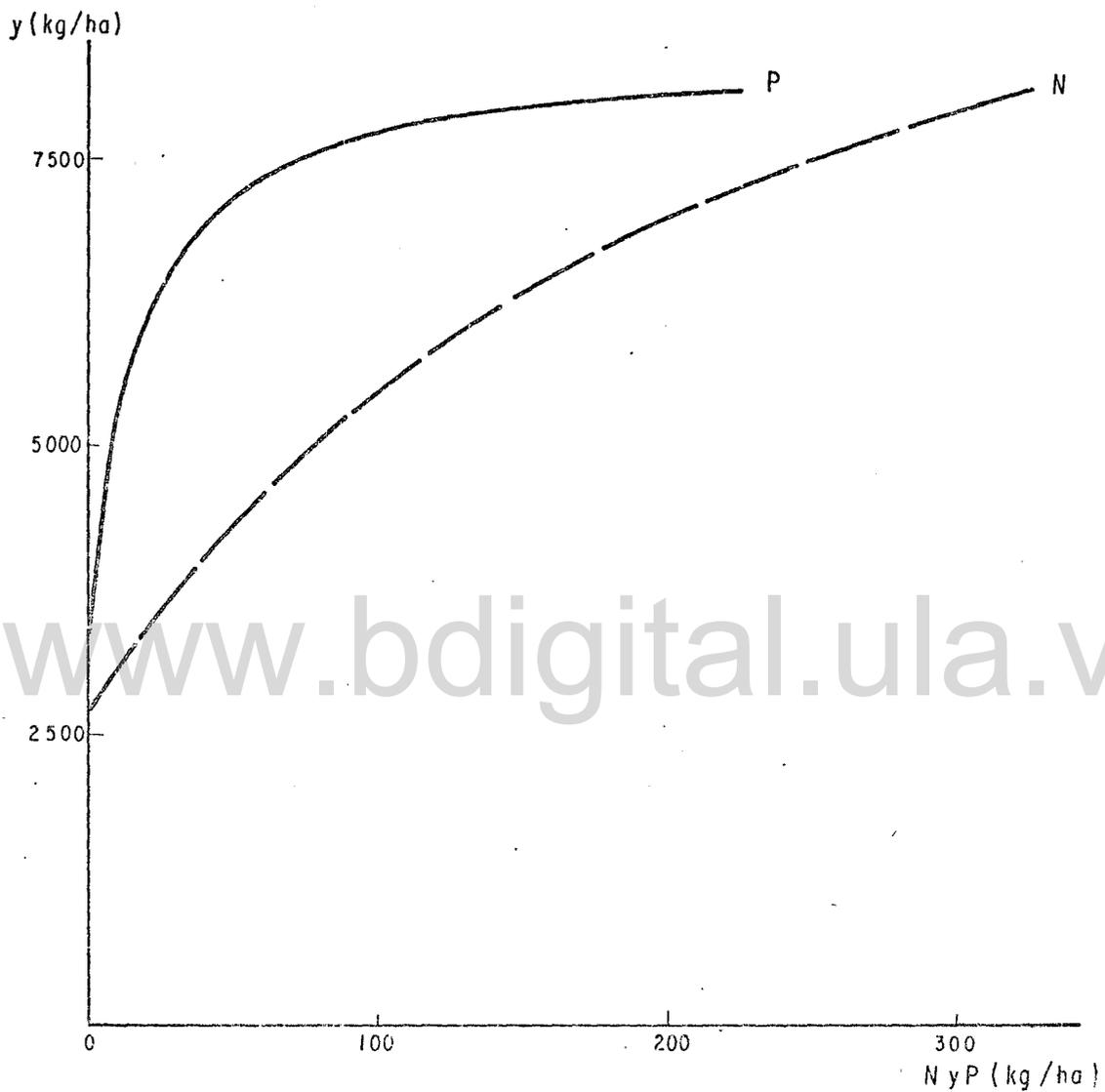


Figura. 18. Curvas respuesta a elementos fertilizantes nitrógeno (N) y fósforo (P).
Fitotipo moderno, temporada húmeda.

Fórmula de fertilizante para máximo rendimiento y para la producción económica.

De acuerdo a lo expuesto, en la zona estudiada será necesario fertilizar con nitrógeno y fósforo para obtener incremento en los rendimientos, en las cuatro alternativas propuestas. En las Tablas 19, 20, 21 y 22 se presenta:

1. Las producciones (y) que podrían obtenerse en el tramo $Y-y_N$, divididas arbitrariamente cada 300 kg.
2. La combinación equilibrada de abonos que corresponderá a cada nivel de producción escogida, según el principio del elemento limitante. (Calculada con la ecuación (82)). Cada elemento es función del nivel de fertilidad (A/A_x) y de una eficiencia variable en el uso del fertilizante (ϵ).
3. La utilidad (U), que se obtiene por el particular incremento de producción considerado ($y-y_N$), menos el costo de las unidades de fertilizante empleado, según la ecuación (89) (Norero, 1982).

$$U = \beta (y - y_N) - \alpha_1 N - \alpha_2 P \quad (89)$$

donde:

β : es el precio unitario del producto comercial cosechado, que para el grano de arroz es de 1,60 Bs./kilo.

$y-y_N$: es el incremento de producción sobre el "testigo".

N, P : son los kilos de nitrógeno y fósforo requeridos para lograr la producción " y "

α_1, α_2 : representan los costos de fertilizar con un kilo de nitrógeno o

Tabla 19. Fórmulas fertilizantes y utilidades para diversas producciones.
Fitotipo moderno, temporada húmeda.

Datos: $Y = 8100$ kg/ha

$Ax_1 = 194$ kg/ha de N.

$Ax_2 = 26$ kg/ha de P.

Y (kg/ha)	N (kg de elemento/ha)	P	U ₁ / (Bs./ha)
2700	0	0	0
3000	8	0	448
3300	17	0	892
3600	26	1	1329
3900	36	3	1754
4200	46	4	2186
4500	58	6	2603
4800	70	8	3020
5100	84	10	3429
5400	98	12	3838
5700	114	16	4224
6000	132	20	4602
6300	151	25	4969
6600	173	31	5316
6900	197	41	5625
7200	224	54	5899
7500	254	76	6094
7800	289	118	6119 Producción económica
8100	328	227	5626 Producción máxima es- perada.

Producción máxima (Y): N = 328 kg/ha (729 kg/ha de urea)

P = 227 kg/ha (1135 kg/ha de superfosfato triple)

Producción económica: $Y_e = 7800$ kg/ha; N = 289 kg/ha (642 kg/ha de urea)

P = 118 kg/ha (590 kg/ha de superfosfato triple)

1 / Esta es la utilidad estrictamente por fertilizar, por eso no hay utilidad cuando $F = 0$.

Tabla 20. Fórmulas fertilizantes y utilidades para diversas producciones. Fito tipo tradicional, temporada húmeda.

Datos: $Y = 4800$ kg/ha.

$Ax_1 = 154$ kg/ha de N.

$Ax_2 = 21$ kg/ha de P.

Y (kg/ha)	N (kg de elemento/ha)	P (kg de elemento/ha)	U (Bs./ha)	
2700	0	0	0	
3000	51	0	276	
3300	70	10	605	
3600	93	15	956	
3900	120	23	1268	
4200	152	37	1515	
4500	192	67	1610	Producción económica
4800	241	177	1069	Producción máxima esperada

Producción máxima (Y): $N = 241$ kg/ha (536 kg/ha de urea)

$P = 177$ kg/ha (885 kg/ha de superfosfato triple)

Producción económica: $Y_e = 4500$ kg/há: $N = 192$ kg/ha (427 kg/ha de urea)

$P = 67$ kg/ha (335 kg/ha de superfosfato triple)

Tabla 21. Fórmulas fertilizantes y utilidades para diversas producciones
Fitotipo moderno, temporada seca.

Datos: $Y=8500$ kg/ha

$Ax_1 = 202$ kg/ha de N

$Ax_2 = 27$ kg/ha de P

Y (kg/ha)	N (kg de elemento/ha)	P	U (Bs./ha)	
2700	0	0	0	
3000	7	0	452	
3300	15	0	900	
3600	24	1	1336	
3900	34	2	1769	
4200	44	3	2202	
4500	55	5	2623	
4800	66	7	3044	
5100	79	9	3457	
5400	92	11	3870	
5700	107	14	4267	
6000	123	17	4661	
6300	140	21	5043	
6600	160	26	5405	
6900	181	32	5756	
7200	205	41	6073	
7500	231	54	6351	
7800	260	74	6565	
8100	294	108	6654	Producción económica
8400	332	185	6405	
8500	346	237	6119	Producción máxima esperada

Producción máxima (\bar{Y}): N = 346 kg/ha (769 kg/ha de urea)

P = 237 kg/ha (1185 kg/ha de superfosfato triple)

Producción económica: $Y_e = 8100$ kg/ha: N = 294 kg/ha (653 kg/ha de urea)

P = 108 kg/ha (540 kg/ha de superfosfato triple)

Tabla 22. Fórmulas fertilizantes y utilidades para diversas producciones.
Fitotipo tradicional, temporada seca.

Datos: $Y = 4600$ kg/ha

$Ax_1 = 148$ kg/ha de N

$Ax_2 = 20$ kg/ha de P

y (kg/ha)	N (kg de elemento/ha)	P	U (Bs/ha)	
2700	0	0	0	
3000	54	0	264	
3300	75	11	578	
3600	99	17	917	
3900	129	28	1194	
4200	165	48	1380	Producción económica
4500	211	109	1219	
4600	228	167	876	Producción máxima esperada

Producción máxima (Y): N = 228 kg/ha (507 kg/ha de urea)

P = 167 kg/há (835 kg/há de superfosfato triple)

Producción económica: $Y_e = 4200$ kg/ha: N = 165 kg/ha (367 kg/ha de urea)

P = 48 kg/ha (240 kg/ha de superfosfato triple)

fósforo respectivamente. Incluyen precio, flete, almacenaje, aplicación, seguros, etc.

$$\alpha_1 = 4,00 \text{ Bs/kg (base urea con 45\% de nitrógeno)}$$

$$\alpha_2 = 7.50 \text{ Bs/kg (base superfosfato triple con 20\% de fósforo)}$$

Por ejemplo: para el fitotipo moderno en la temporada húmeda, Tabla 19, cuando se plantea una producción de $y = 3000 \text{ kg/ha}$, se prevé la necesidad de fertilizar con nitrógeno solamente ($N = 8 \text{ kg/ha}$) y por lo tanto:

$$U = 1.60 (3000-2700) - 4(8) - 7.50(0) = 448 \text{ Bs/ha}$$

Por otra parte, para:

$$y = 7200 \text{ kg/ha}$$

$$N = 224 \text{ kg/ha}$$

$$y_N = 2700 \text{ kg/ha}$$

$$P = 54 \text{ kg/ha}$$

$$U = 1.60 (7200-2700) - 4(224) - 7.50(54) = 5899 \text{ Bs./ha}$$

Los datos comunes a las cuatro alternativas, para la aplicación de la ecuación (82) son los siguientes:

$$\text{Nitrógeno: } A_t = 43 \text{ kg/ha}$$

$$\text{Fósforo: } A_t = 3.14 \text{ kg/ha}$$

$$n = 1.74$$

$$n = 4.76$$

$$\epsilon_x = 0.80$$

$$\epsilon_x = 0.46$$

Requerimiento hídrico

El submodelo de requerimiento hídrico comprende tres tipos de resultados:

- a) Básicos (Tablas B. 1,2,3,4.).
- b) Estratificados (a modo de ejemplo se presentan las correspondientes al fitotipo moderno en la temporada húmeda, en las Tablas B.5 a 12 del Apéndice).
- c) Finales (Tablas B. 1,2,3,4.).

Los datos simulados por el modelo fueron ajustados por las fórmulas de transpiración y evaporación.

En la Tabla 23, se presentan los datos usados en estos cálculos. Los valores de b y c , ecuaciones (84) y (85), también llamados coeficientes de atenuación (Uchijima, 1976b), tienen un valor característico para cada fitotipo, próximo a 0.53 para el moderno y 0.75 para el tradicional. Estos valores son similares al coeficiente de extinción de radiación (K), lo que indica que la estructura evaporativa del cultivo está estrechamente ligada al régimen de radiación (Seo y Yamaguchi, 1968).

Los resultados, producto del ajuste se muestran en las Figuras B. 1,2,3,4 al igual que los datos simulados. En las Figuras B.5,6,7,8 se observa la evolución de las tasas de transpiración y evaporación. En todos los casos, a la máxima transpiración corresponde la mínima evaporación y viceversa, lo que evidencia una compensación entre ambas, de forma de consumir toda la energía recibida. De la integración de ambas tasas se obtuvo el gasto acumulado para todo el ciclo del cultivo por concepto de transpiración y evaporación, Tabla 24,

Tabla 23. Datos usados en el ajuste de la transpiración y la evaporación

Parámetro	A L T E R N A T I V A			
	FM - H	FT - H	FM - S	FT - S
E_{p_x} (mm)	4.01	3.57	6.13	5.34
b	0.564	0.775	0.546	0.780
E_o (mm)	1.43	1.51	5.87	5.45
c	0.513	0.754	0.515	0.710
F_x ($\frac{\text{cm}^2 \text{ hoja}}{\text{cm}^2 \text{ suelo}}$)	3.12	1.51	4.05	2.19
t_M (días)	140	145	120	130

FM : Fitotipo moderno

FT : Fitotipo tradicional

H : Temporada húmeda

S : Temporada seca

de cuya suma resultó la evapotranspiración, (Figura 19).

Tabla 24. Transpiración, Evaporación y Evapotranspiración acumuladas en todo el ciclo del cultivo.

	TEMPORADA			
	HUMEDA		SECA	
	Fitotipo Moderno	Fitotipo Tradicional	Fitotipo Moderno	Fitotipo Tradicional
Transpiración (mm)	328	241	477	400
Evaporación (mm)	89	119	259	320
Evapotranspiración (mm)	417	360	736	720

Del análisis de la Figura 19 y la Tabla 24 se observa una marcada influencia de la temporada de siembra. La temporada seca casi duplica a la húmeda en el gasto de evapotranspiración.

La transpiración del fitotipo moderno es superior al tradicional en las dos temporadas. La situación inversa se da respecto a la evaporación, en donde el fitotipo tradicional presenta el gasto mayor. Esto evidencia que la radiación se consume totalmente, y que el fitotipo con su estructura foliar decide la proporción destinada a transpiración y evaporación (Uchijima, 1976b).

Este tipo de respuesta se observa para los dos fitotipos en la temporada seca, es decir que dependiendo del índice de área foliar del cultivo, lo que no se gasta en evaporación, se gasta en transpiración, Figuras B.2.3.

Otra situación diferente se presenta en la temporada húmeda, Figuras B.1,2, donde la evapotranspiración crece logarítmicamente con el índice de área foliar (Stern, citado por Chang, 1971). Después de alcanzar un índice fo

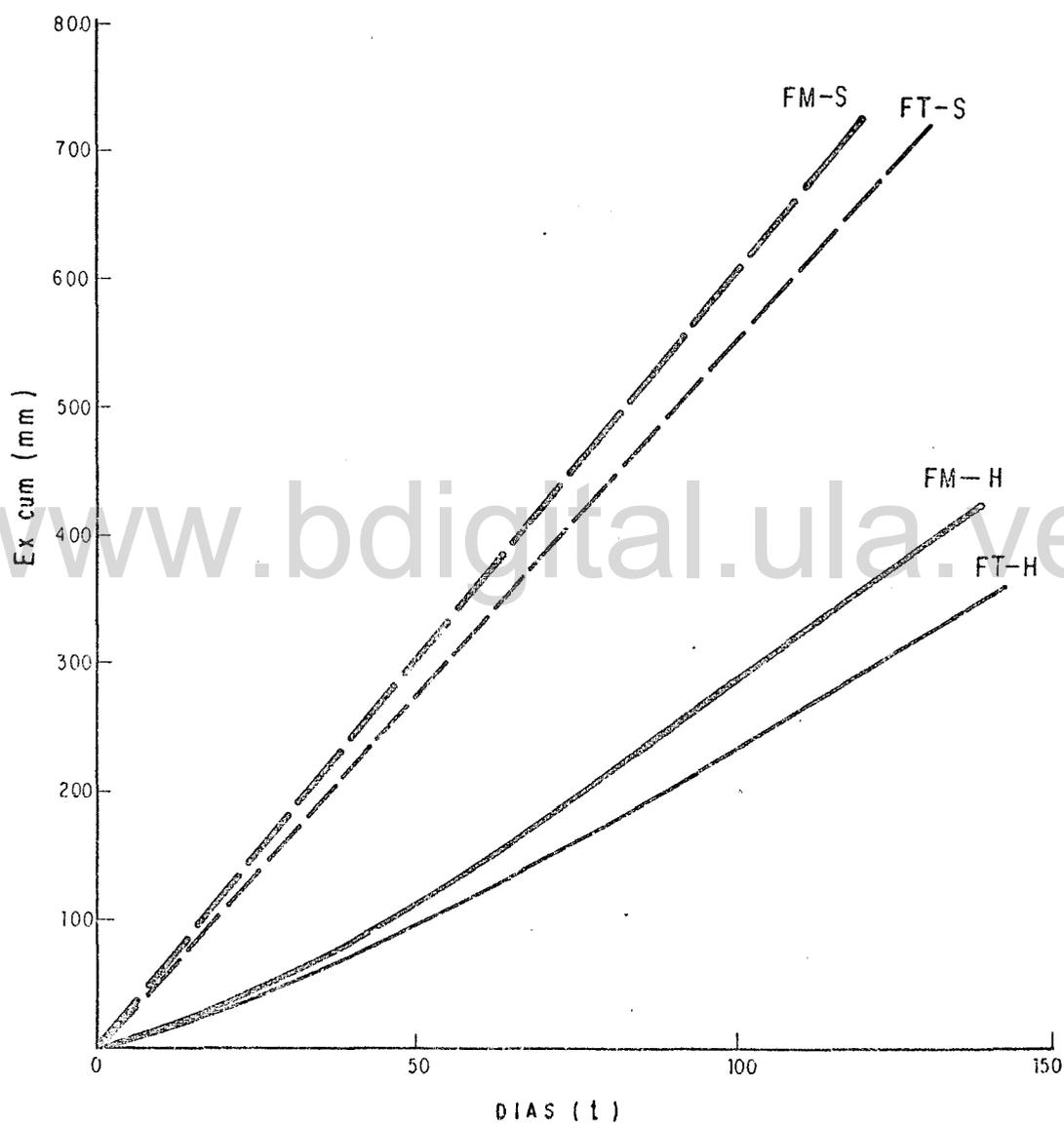


Figura. 19. Evapotranspiración acumulada.

liar de aproximadamente cuatro, la evapotranspiración se mantiene casi constante porque el cultivo intercepta más del 80% de la radiación recibida.

En general, la relación entre evapotranspiración y evaporación del tanque "A" es próxima a 1. Algo inferior en la temporada húmeda y un poco superior en la temporada seca, Tabla 25.

Tabla 25. Relación entre evapotranspiración y evaporación del tanque "A"

	TEMPORADA			
	HUMEDA		SECA	
	Fitotipo Moderno	Fitotipo Tradicional	Fitotipo Moderno	Fitotipo Tradicional
Evapotranspiración acumulada (mm)	417	360	736	720
Ciclo del cultivo (días)	140	145	120	130
Tasa de evapotranspiración promedio (mm.día ⁻¹)	2.98	2.48	6.13	5.54
Evaporación del tanque "A" (mm.día ⁻¹)	4.15	4.15	5.13	5.13
Relación evapotranspiración: $\frac{\text{tanque "A"}}{\text{tanque "A"}}$	0.72	0.60	1.15	1.04

El submodelo de requerimiento hídrico hace una buena estimación de la evapotranspiración para la región de Turén. La literatura concuerda con estos valores (Buther y Prescott, citados por Chang, 1971; Evans, 1971; Lenka, 1980).

El requerimiento de agua, de transpiración, para formar un gramo de materia seca de la biomasa, es menor en la temporada húmeda, Tabla 26, lo

que evidencia una mayor eficiencia en el uso del agua cuando la demanda atmosférica es menor.

Estos resultados son algo inferiores a los citados por la literatura:

446 cm³ de agua/gr.de M.S: (Matsushima, citado por Grist, 1965

250 a 600cm³ de agua/gr. de M.S. (Angladette, 1969).

Tabla 26. Eficiencia en el uso del agua de transpiración.

	T E M P O R A D A			
	HUMEDA		SECA	
	Fitotipo Moderno	Fitotipo Tradicional	Fitotipo Moderno	Fitotipo Tradicional
Transpiración (l/m ²)	328	241	477	400
Biomasa (gr./m ²)	2028	1609	2115	1554
Eficiencia (cm ³ de H ₂ O/gr M.S)	162	150	226	257

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY - NC - SA 3.0 VE)

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El modelo elaborado permite analizar y programar la producción de arroz en los siguientes aspectos:

1. Cosecha comercial
2. Población de plantas
3. Dosis de semilla para siembra por transplante y directa en seco.
4. Necesidad de abonos, en lo que respecta a fuentes, dosis y formas de aplicación.
5. Requerimientos hídricos por concepto de evapotranspiración.

En la Tabla 28 se observa el resumen de resultados. La producción potencial está determinada por las condiciones climáticas de la temporada de siembra y por el fitotipo elegido. Sin embargo, este último tiene un peso mayor, lo que indica que se debe elegir muy bien la variedad a plantar. Resultados experimentales (Alvarez, com. per.) y producciones comerciales (Anónimo, 1977) confirman que es posible lograr estos niveles de producción en las áreas arroceras venezolanas.

La óptima población de plantas es de fundamental importancia para lograr la producción final, aunque debido a su capacidad de macollaje, la planta de arroz compensa en parte la pérdida de plántulas. Un espaciamiento de 20 x 20 cms. parece ser el ideal para ambos fitotipos. La literatura concuerda con estos valores (Yoshida, 1977 ; Chandler, 1969; Mabbayad y Obordo, 1975), no habiendo conseguido datos locales para la región de Turén.

Tabla 27. Resumen de resultados. Cosecha comercial, población de plantas, requerimientos de semilla para siembra directa y transplante, necesidades hídricas por concepto de evapotranspiración, dosis y tipos de abonos y utilidad conseguida por su aplicación.

		ALTERNATIVAS			
		Temporada	Húmeda	Temporada	Seca
	Unidades	Fitotipo moderno	Fitotipo tradicional	Fitotipo moderno	Fitotipo tradicional
Producción potencial	kg.ha ⁻¹	8100	4800	8500	4600
Población óptima de plantas	p. ha ⁻¹	325000	200000	340000	195000
Semilla para transplante	kg.ha ⁻¹	13,6	9,5	14,2	9,3
Semilla para siembra directa	kg.ha ⁻¹	102	71	106	70
Evapotranspiración	m ³ .ha ⁻¹	4170	3600	7360	7200
Abono: Urea	kg.ha ⁻¹	642	427	653	367
Superfosfato triple	kg.ha ⁻¹	590	335	540	240
Utilidad	Bs.ha ⁻¹	6119	1610	6654	1380
Producción económica	kg.ha ⁻¹	7800	4500	8100	4200
Población ajustada	p. ha ⁻¹	312000	189000	325000	176000
Transplante ajustado	kg.ha ⁻¹	13,1	9,0	13,6	8,4
Siembra directa ajustada	kg.ha ⁻¹	98	68	102	63
Evapotranspiración ajustada	m ³ .ha ⁻¹	4100	3500	7250	7100

La dosis de semilla necesaria depende del método de plantación. En transplante se gasta entre 5 a 10 veces menos que en siembras directas en seco, con semilla seca (Modgal y Sebastián, 1971; Chandler, 1969; Martínez, 1980), por lo cual es un método muy promisorio para usar cuando la semilla es escasa o de muy buena calidad (multiplicación) o la mano de obra no es limitante. En siembras directas el gasto es similar (De Wit, 1960) y aún un poco superior (Alvarez, com. per.; Martínez, 1980).

En general, los suelos son deficitarios en nitrógeno y fósforo, por lo que es necesario suplementar con estos fitonutrientes para alcanzar la producción esperada (Ministerio de Agricultura y Cría, 1966). Luego de realizado el análisis químico de planta entera y determinado el nivel de fertilidad para cada fitonutriente, se podrán dar recomendaciones de fertilizantes para corregir las deficiencias en el próximo cultivo.

En el caso del fósforo, la planta lo debe tener disponible desde el inicio hasta el final de su desarrollo para lograr el rendimiento potencial. Este cae a niveles de 15 a 20 % si el fósforo es deficitario durante el pri-mer cuarto del ciclo del cultivo (Bannister, 1976.), Figura 20. El nitrógeno puede estar deficitario hasta el 25% del ciclo. Si luego se eleva su nivel, mediante fertilizaciones adecuadas, se puede lograr el rendimiento potencial. Lo mismo se consigue con un nivel alto desde el inicio y hasta el 40% del ciclo, aunque después sea deficitario. Esto confirma la absorción anticipada al desarrollo de este elemento, que realiza la planta (Thenabadu, 1972), Figura 21.

En las cuatro alternativas, la producción económica por el agregado de abonos, es inferior a la producción potencial. Esa es la meta productiva

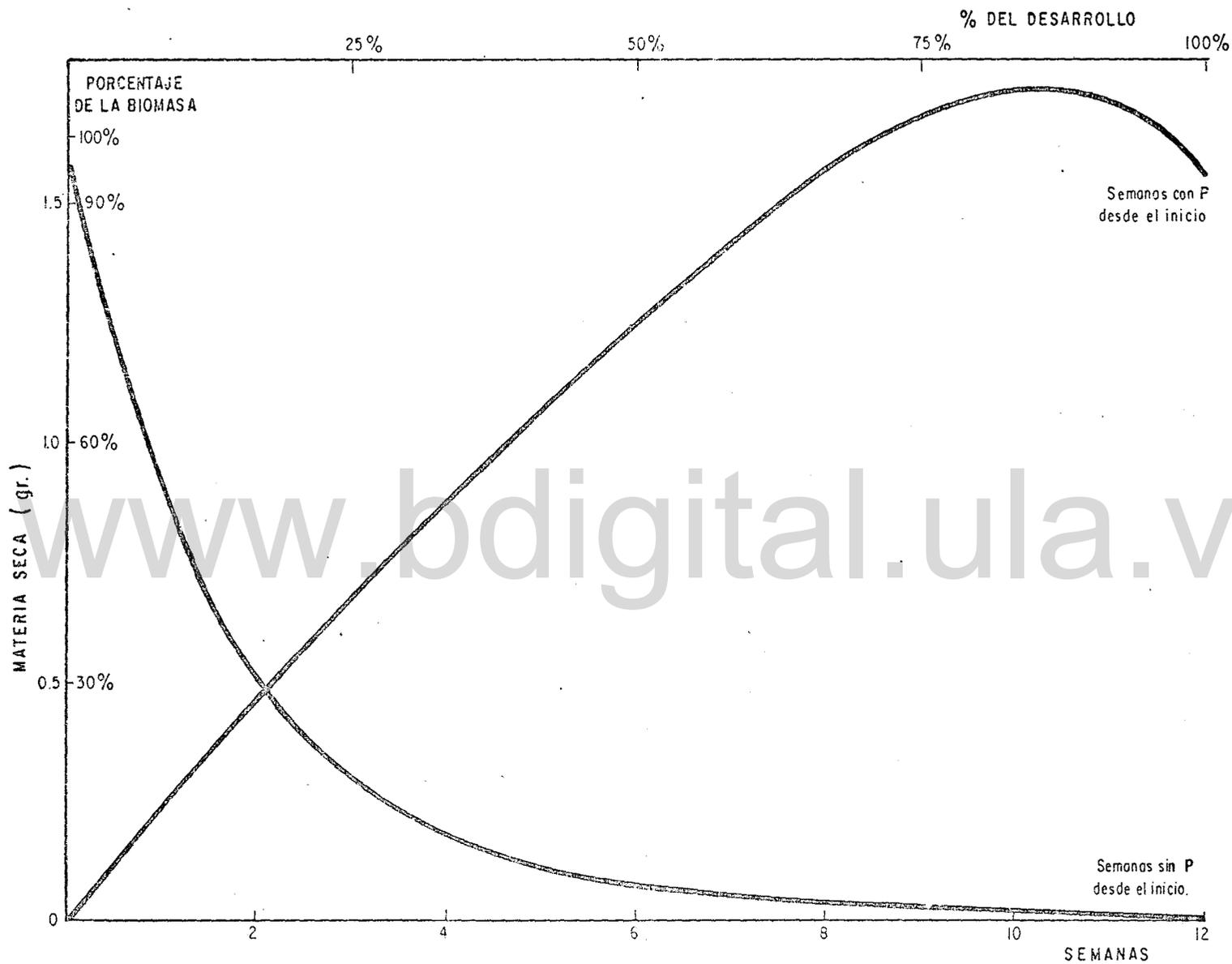


Figura. 20. Efecto de la disponibilidad de fósforo (P) en el ciclo del cultivo, sobre la biomasa. (Elaborado en base a datos de Bannister, P. 1976).

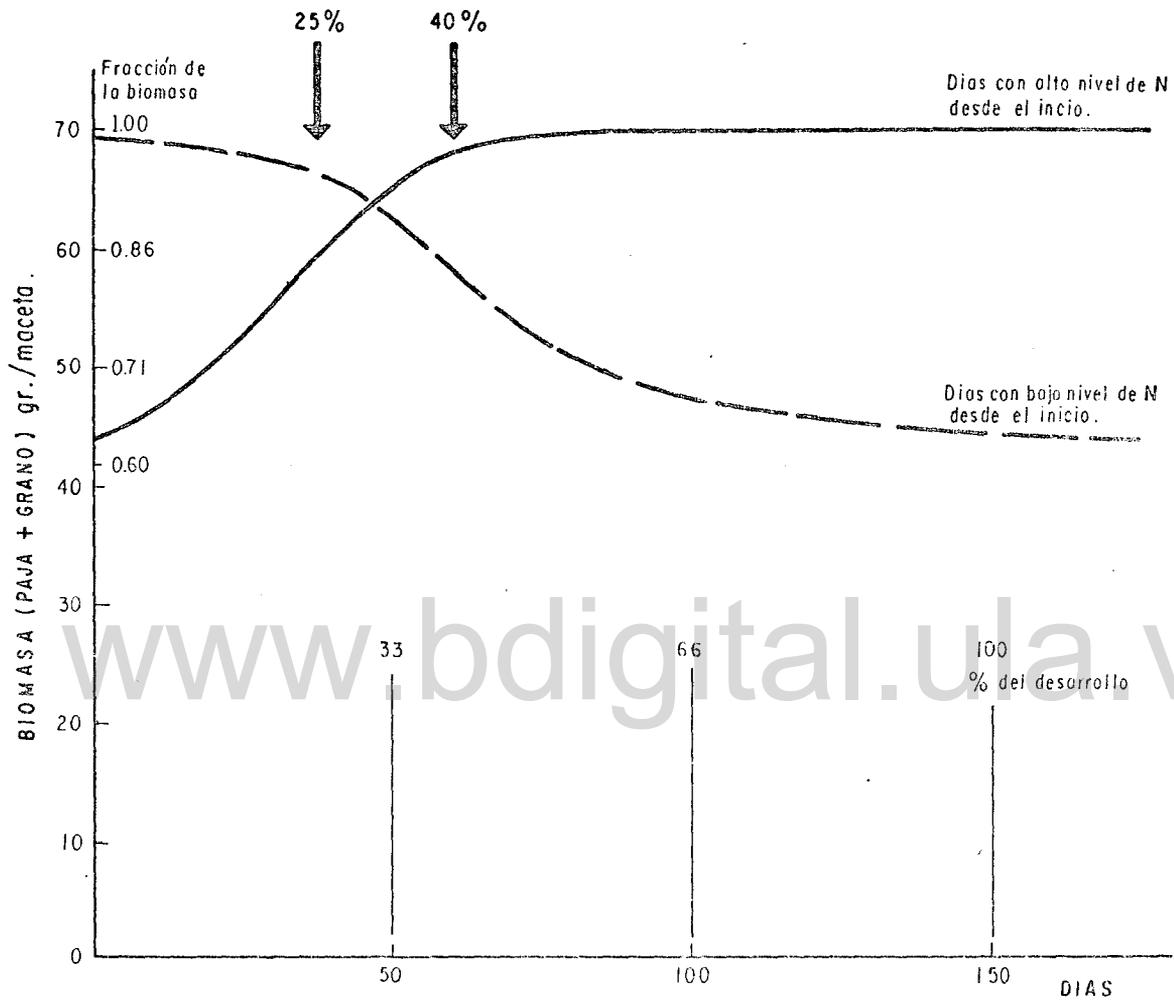


Figura. 21. Influencia del tiempo y nivel de aplicación de nitrógeno (N), sobre la biomasa.
 -Elaborado en base a datos de Thenabadu, M.W., 1972 .

que se propone con el objeto de lograr una mayor productividad. Es por esta razón que se recalculan las necesidades de semilla y agua, las cuales son ahora un poco inferior.

El gasto por concepto de evapotranspiración tiene una marcada influencia de la temporada de siembra. Si a él se suma el gasto por percolación, aproximadamente 1 mm/día, común en suelos pesados de arroz, (Israelsen y Hansen, 1965, Sánchez, 1976, Yoshida, 1977), los requerimientos hídricos son cubiertos por la precipitación en la temporada húmeda, aún cuando la lluvia tiene una probabilidad de ocurrencia del 25% ($P_{25} = 866$ mm contra evapotranspiración más percolación igual a 560 mm). Por el contrario, en la temporada seca, la evapotranspiración no es cubierta por la precipitación aún cuando tenga una probabilidad de ocurrencia del 75% ($P_{75} = 151$ mm).

Esto es confirmado por la realidad arrocera de Portuguesa. Las siembras de abril y mayo cubren sus requerimientos hídricos con las precipitaciones y por lo tanto al campo no se le hacen bordos para riego. Las siembras de octubre, noviembre y diciembre requieren contar con el riego como un insumo más de la agricultura arrocera.

Por otra parte, la literatura cita valores similares para la evapotranspiración (Van de Goor y Zijlstra, 1968; Grist, 1965, Angladette, 1969, Uchijima, 1976a), lo que se confirma también si se tiene en cuenta la relación entre evapotranspiración y evaporación del tanque "A", próximo a uno (Evans, 1971; Chang, 1971, Lenka, 1980).

En el estado Portuguesa es posible plantar arroz durante todo el año. La única limitante es la alta precipitación en la época de cosecha, lo que ocurre en los meses de junio, julio y agosto (Alvarez, com. per.; Menéndez, 1980).

Las cosechas comerciales de las restantes temporadas serán intermedias a las planteadas acá, para cada fitotipo, ya que se consideraron condiciones extremas, desde el punto de vista climático.

Para completar el modelo de producción de arroz es necesario considerar otros submodelos que no se han contemplado en el presente trabajo, tales como:

- Balance hídrico, que contemple otros componentes, ya que acá se hace énfasis en la evapotranspiración (Jana y Ghildyal, 1971, 1972; Pacardo, 1978).
- Plan de operaciones, que tenga en cuenta diferentes alternativas en el uso de maquinaria, preparación del suelo para siembra, mano de obra, etc. (IRRI, 1976; Agricultural Research Service, 1973; Sánchez, 1976).
- Control de pestes, tales como enfermedades, insectos, roedores, aves, malezas (Cheaney, 1975; Mian y Al-Mamun, 1970; Universidad de Las Filipinas, 1975). Si bien el presente modelo no los tiene en cuenta, el resultado de la experimentación puede ser aplicado directamente. La decisión consiste en contraponer el daño causado (cosecha perdida), con el costo del tratamiento y la efectividad del control.
- Manejo de cosecha y postcosecha, como épocas de recolección, secado del grano y almacenaje, (Nangju y De Datta, 1970; IRRI, 1976).

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY - NC - SA 3.0 VE)

www.bdigital.ula.ve

APENDICE A

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Tabla A.1. Crecimiento. Cálculo de la respiración nocturna del cultivo (g_n); calor latente de vaporación en las plantas (L_p); radiación emitida por la superficie del agua (R_w) y plantas (R_p); radiación neta del cultivo (R); respiración foliar (C_f); fotosíntesis neta del cultivo (S); intensidad respiratoria de los tejidos no foliares (C_g); crecimiento diurno (g_d) y diario (g) del cultivo; respiración total (C) y fotosíntesis bruta (B) diaria del cultivo. Fitotipo moderno en la temporada húmeda.

PARAMETROS		INDICE FOLIAR TOTAL: F(cm ² hoja/cm ² suelo)							
Símbolos	Unidades	2	3	4	5	6	7	8	9
g_n	gr.m ⁻² .N ⁻¹	6.884	10.326	13.767	17.209	20.651	24.093	27.535	30.977
L_p	cal. cm ⁻³	583	583	582	582	582	582	582	582
R_p	cal. cm ⁻² .N ⁻¹	442	442	443	444	445	445	445	446
R_w	cal. cm ⁻² .N ⁻¹	431	431	431	431	431	431	431	431
R	cal. cm ⁻² .N ⁻¹	249	249	248	247	245	245	245	244
C_h	gr. m ⁻² . N ⁻¹	3.059	4.654	6.109	8.409	10.334	12.231	14.082	15.829
S	gr. m ⁻² .N ⁻¹	33.975	43.791	49.132	51.491	52.576	52.930	52.928	52.823
C_s	gr.m ⁻² .N ⁻¹	5.93	9.03	12.55	16.31	20.05	23.73	27.32	30.71
g_d	gr. m ⁻² . N ⁻¹	28.05	34.76	36.58	35.18	32.53	29.20	25.61	22.09
g	gr. m ⁻² . día ⁻¹	21.17	24.43	22.81	17.97	11.88	5.11	-1.93	-8.89
C	gr. m ⁻² . día ⁻¹	15.87	24.01	32.79	41.93	51.04	60.05	68.94	77.52
B	gr.m ⁻² . día ⁻¹	37.03	48.45	55.60	59.90	62.91	65.16	67.01	68.65

Tabla A.2. Crecimiento. Cálculo de la respiración nocturna del cultivo (g_n); calor latente de vaporación en las plantas (L_p); radiación emitida por la superficie del agua (R_w) y plantas (R_p); radiación neta del cultivo (R); respiración foliar (C_h); fotosíntesis neta del cultivo (S); intensidad respiratoria de los tejidos no foliares (C_s); crecimiento diurno (g_d) y diario (g) del cultivo; respiración total (C) y fotosíntesis bruta (B) diaria del cultivo.
Fitotipo tradicional en la temporada húmeda.

PARAMETROS		INDICE FOLIAR TOTAL: F (cm ² hojas/cm ² suelo)							
Símbolos	Unidades	2	3	4	5	6	7	8	9
g_n	gr.m ⁻² . N ⁻¹	6.884	10.326	13.767	17.209	20.651	24.093	27.535	30.977
L_p	cal. cm ⁻³	582	582	582	582	582	582	582	582
R_p	cal. cm ⁻² . N ⁻¹	446	447	448	449	449	450	450	449
R_w	cal.cm ⁻² .N ⁻¹	431	431	431	431	431	431	431	431
R	cal.cm ⁻² . N ⁻¹	246	244	243	241	241	239	239	240
C_h	gr.m ⁻² . N ⁻¹	3.28	5.25	7.26	9.16	10.97	12.56	— ^{1/}	—
S	gr.m ⁻² . N ⁻¹	30.21	34.98	36.39	36.75	36.70	36.37	—	—
C_s	gr.m ⁻² . N ⁻¹	6.36	10.18	14.08	17.77	21.28	24.36	—	—
g_d	gr.m ⁻² . N ⁻¹	23.85	24.81	22.31	18.98	15.42	12.01	—	—
g	gr.m ⁻² . día ⁻¹	16.97	14.48	8.54	1.77	- 5.23	-12.08	—	—
C	gr.m ⁻² . día ⁻¹	16.52	25.76	35.11	44.14	52.90	61.01	—	—
B	gr.m ⁻² . día ⁻¹	33.49	40.23	43.65	45.91	47.67	48.93	—	—

1/ Cálculos interrumpidos por ser evidentemente superfluos.

Tabla A.3. Crecimiento. Cálculo de la respiración nocturna del cultivo (g_n); calor latente de vaporación en las plantas (L_p); radiación emitida por la superficie del agua (R_w) y plantas (R_p); radiación neta del cultivo (R); respiración foliar (C_h); fotosíntesis neta del cultivo (S); intensidad respiratoria de los tejidos no foliares (C_s); crecimiento diurno (g_d) y diario (g) del cultivo; respiración total (C) y fotosíntesis bruta (B) diaria del cultivo.
Fitotipo moderno en la temperatura seca

PARAMETROS		INDICE FOLIAR TOTAL: F(cm ² hoja/cm ² .suelo)							
Símbolos	Unidades	2	3	4	5	6	7	8	9
g_n	gr.m ⁻² .N ⁻¹	8.120	12.180	16.241	20.301	24.361	28.421	32.481	36.541
L_p	cal.cm ⁻³	583	583	583	583	583	583	583	583
R_p	cal.cm ⁻² .N ⁻¹	438	438	438	439	440	441	441	441
R_w	cal.cm ⁻² .N ⁻¹	417	417	417	417	417	417	417	417
R	cal.cm ⁻² .N ⁻¹	275	273	272	270	268	267	266	266
C_h	gr.m ⁻² .N ⁻¹	2.71	4.03	5.53	7.23	8.95	10.81	—	—
S	gr.m ⁻² .N ⁻¹	37.20	49.02	56.42	60.14	61.72	62.37	—	—
C_s	gr.m ⁻² .N ⁻¹	5.27	7.82	10.72	14.03	17.37	20.97	—	—
g_d	gr.m ⁻² .N ⁻¹	31.93	41.19	45.70	46.11	44.35	41.40	—	—
g	gr.m ⁻² .día ⁻¹	23.81	29.01	29.46	25.81	19.99	12.98	—	—
C	gr.m ⁻² .día ⁻¹	16.10	24.03	32.49	41.56	50.68	60.20	—	—
B	gr.m ⁻² .día ⁻¹	39.91	53.05	61.95	67.37	70.67	73.18	—	—

Tabla A.4. Crecimiento. Cálculo de la respiración nocturna del cultivo (g_n); calor latente de vaporación en las plantas (L_p); radiación emitida por la superficie del agua (R_w) y plantas (R_p); radiación neta del cultivo (R); respiración foliar (C_h); fotosíntesis neta del cultivo (S); intensidad respiratoria de los tejidos no foliares (C_s); crecimiento diurno (g_d) y diario (g) del cultivo; respiración total (c) y fotosíntesis bruta (B) diaria del cultivo.

Fitotipo tradicional en la temporada seca

PARAMETROS		INDICE FOLIAR TOTAL: F(cm ² hoja/cm ² suelo)							
Símbolos	Unidades	2	3	4	5	6	7	8	9
g_n	gr.m ⁻² .N _n ⁻¹	8.120	12.180	16.241	20.301	24.361	28.421	32.481	36.541
L_p	cal.cm ⁻³	583	582	582	582	582	582	582	582
R_p	cal.cm ⁻² .N ⁻¹	442	443	445	445	446	446	446	446
R_w	cal.cm ⁻² .N ⁻¹	417	417	417	417	417	417	417	417
R	cal.cm ⁻² .N ⁻¹	270	267	264	263	261	261	261	261
C_h	gr.m ⁻² .N ⁻¹	2.83	4.47	6.32	8.13	9.84	11.48	—	—
S	gr.m ⁻² .N ⁻¹	33.73	40.51	42.69	43.29	43.42	43.10	—	—
C_s	gr.m ⁻² .N ⁻¹	5.48	8.67	12.26	15.78	19.09	22.28	—	—
g_d	gr.m ⁻² .N ⁻¹	28.25	31.84	30.43	27.51	24.33	20.82	—	—
g	gr.m ⁻² .día ⁻¹	20.13	19.66	14.19	7.21	- 0.03	-7.60	—	—
C	gr.m ⁻² .día ⁻¹	16.43	25.32	34.82	44.21	53.29	62.18	—	—
B	gr.m ⁻² .día ⁻¹	36.56	44.98	49.01	51.42	53.26	54.58	—	—

Tabla A.5 Intensidad de crecimiento. Fitotipo moderno en la temperatura húmeda. Cálculo de la respiración foliar (C_h); fotosíntesis neta (S); distribución de la radiación neta en la cubierta vegetal (Q); temperatura de las hojas en determinado estrato foliar (T_f); resistencia al flujo de anhídrido carbónico en las hojas (r_a); intensidad respiratoria en las hojas (C_f); resistencia bioquímica al flujo de CO_2 en las hojas (r_b); coeficiente de fotorespiración (β) e intensidad de fotosíntesis neta en las hojas (S_f). Índice foliar (F): 2.

Estrato f/F	Q	T_f	r_a (10^{-2})	C_f (10^{-7})	r_b (10^{-2})	β	S_f (10^{-6})
0	0.135	26.46	4.734	3.10	6.789	0.188	4.42
0.1	0.125	26.52	4.844	3.12	7.307	0.179	4.16
0.2	0.115	26.45	4.956	3.10	7.892	0.168	3.94
0.3	0.106	26.35	5.073	3.08	8.517	0.157	3.74
0.4	0.0980	26.27	5.196	3.06	9.194	0.147	3.55
0.5	0.0905	26.19	5.322	3.05	9.927	0.137	3.36
0.6	0.0835	26.09	5.460	3.03	10.72	0.128	3.18
0.7	0.0771	26.01	5.597	3.01	11.60	0.119	3.00
0.8	0.0712	25.92	5.738	2.99	12.54	0.111	2.82
0.9	0.0657	25.85	5.873	2.98	13.52	0.104	2.66
1.0	0.0606	26.00	6.092	3.01	14.58	0.0980	2.47

$$C_h = 3.059 \text{ gr.m}^{-2} \cdot \text{N}^{-1}$$

$$S = 33.975 \text{ gr.m}^{-2} \cdot \text{N}^{-1}$$

Tabla A.6. intensidad de crecimiento. Fitotipo moderno en la temperatura húmeda. Cálculo de la respiración foliar (C_f); fotosíntesis neta (S); distribución de la radiación neta en la cubierta vegetal (Q); temperatura de las hojas en determinado estrato foliar (T_f); resistencia al flujo de anhídrido carbónico en las hojas (r_a); intensidad respiratoria en las hojas (C_f); resistencia bioquímica al flujo de CO_2 en las hojas (r_b); coeficiente de fotorespiración (β) e intensidad de fotosíntesis neta en las hojas (S_f). Índice foliar (F): 2.

Índice foliar: 3

Estrato f/F	Q	T_f	r_a (10^{-2})	C_f (10^{-7})	r_b (10^{-2})	β	S_f (10^{-6})
0	0.135	26.46	4.734	3.10	6.789	0.188	4.42
0.1	0.120	26.53	4.903	3.12	7.592	0.173	4.04
0.2	0.106	26.41	5.084	3.09	8.510	0.158	3.72
0.3	0.0942	26.29	5.283	3.07	9.539	0.143	3.43
0.4	0.0835	26.15	5.500	3.04	10.71	0.129	3.16
0.5	0.0741	26.03	5.733	3.01	12.02	0.116	2.89
0.6	0.0657	25.88	5.995	2.98	13.52	0.104	2.65
0.7	0.0583	26.04	6.652	3.02	15.18	0.0949	2.37
0.8	0.0517	26.47	7.864	3.11	17.01	0.0882	2.08
0.9	0.0458	27.03	9.663	3.23	18.99	0.0829	1.80
1.0	0.0406	27.76	12.35	3.39	21.37	0.0782	1.50

$$C_h = 4.654 \text{ gr.m}^{-2} \cdot \text{N}^{-1}$$

$$S = 43.791 \text{ gr.m}^{-2} \cdot \text{N}^{-1}$$

Tabla A.7. Intensidad de crecimiento. Fitotipo moderno en la temperatura húmeda. Cálculo de la respiración foliar (C_h); fotosíntesis neta (S); distribución de la radiación neta en la cubierta vegetal (Q); temperatura de las hojas en determinado estrato foliar (T_f); resistencia al flujo de anhídrido carbónico en las hojas (r_a); intensidad respiratoria en las hojas (C_f); resistencia bioquímica al flujo de CO_2 en las hojas (r_b); coeficiente de fotorespiración (β) e intensidad de fotosíntesis neta en las hojas (S_f). Índice foliar (F): 2.

Índice foliar: 4

Estrato f/F	Q	T_f	r_a (10^{-2})	C_f (10^{-7})	r_b (10^{-2})	β	S_f (10^{-6})
0	0.134	26.45	4.734	3.10	6.790	0.188	4.42
0.1	0.115	26.54	4.966	3.12	7.883	0.169	3.92
0.2	0.0976	26.39	5.226	3.09	9.180	0.148	3.51
0.3	0.0832	26.21	5.525	3.05	10.70	0.129	3.14
0.4	0.0709	26.02	5.866	3.01	12.53	0.112	2.79
0.5	0.0604	25.97	6.411	3.00	14.58	0.0978	2.46
0.6	0.0515	26.50	8.000	3.11	17.01	0.0884	2.07
0.7	0.0439	27.28	10.72	3.28	19.76	0.0813	1.69
0.8	0.0374	28.16	15.52	3.49	23.11	0.0749	1.32
0.9	0.0318	28.81	22.72	3.65	26.86	0.0682	1.01
1.0	0.0271	29.30	33.49	3.78	31.52	0.0608	0.748

$$C_h = 6.469 \text{ gr. m}^{-2} \cdot \text{N}^{-1}$$

$$S = 49.132 \text{ gr. m}^{-2} \cdot \text{N}^{-1}$$

Tabla A.8. intensidad de crecimiento. Fitotipo moderno en la temperatura húmeda. Cálculo de la respiración foliar (C_h); fotosíntesis neta (S); distribución de la radiación neta en la cubierta vegetal (Q); temperatura de las hojas en determinado estrato foliar (T_f) resistencia al flujo de anhídrido carbónico en las hojas (r_a); intensidad respiratoria en las hojas (C_f); resistencia bioquímica al flujo de $^{14}CO_2$ en las hojas (r_b); coeficiente de fotorespiración (β) e intensidad de fotosíntesis neta en las hojas (S_f). Índice foliar (F): 2.

Índice foliar: 5

Estrato f/F	Q	T_f	r_a (10^{-2})	C_f (10^{-7})	r_b (10^{-2})	β	S_f (10^{-6})
0	0.134	26.45	4.734	3.10	6.790	0.188	4.42
0.1	0.110	26.53	5.031	3.12	8.178	0.164	3.80
0.2	0.0897	26.34	5.382	3.08	9.910	0.139	3.31
0.3	0.0735	26.12	5.804	3.03	12.01	0.117	2.86
0.4	0.0602	26.01	6.470	3.01	14.58	0.0981	2.44
0.5	0.0492	26.69	8.600	3.15	17.61	0.0867	1.96
0.6	0.0403	27.75	12.98	3.39	21.37	0.0782	1.49
0.7	0.0330	28.70	20.88	3.62	25.86	0.0700	1.08
0.8	0.0270	29.32	34.33	3.78	31.52	0.0609	0.744
0.9	0.0221	29.57	54.38	3.85	38.41	0.0515	0.507
1.0	0.0181	29.53	81.00	3.84	46.89	0.0425	0.347

$$C_h = 8.409 \text{ gr.m}^{-2} \cdot \text{N}^{-1}$$

$$S = 51.491 \text{ gr.m}^{-2} \cdot \text{N}^{-1}$$

Tabla A.9. Intensidad de crecimiento. Fitotipo moderno en la temperatura húmeda. Cálculo de la respiración foliar (C_h); fotosíntesis neta (S); distribución de la radiación neta en la cubierta vegetal (Q); temperatura de las hojas en determinado estrato foliar (T_f); resistencia al flujo de anhídrido carbónico en las hojas (r_a); intensidad respiratoria en las hojas (C_f); resistencia bioquímica al flujo de CO_2 en las hojas (r_b); coeficiente de fotorespiración (β) e intensidad de fotosíntesis neta en las hojas (S_f). Índice foliar (F): 2.

Índice foliar: 6

Estrato f/F	Q	T_f	r_a (10^{-2})	C_f (10^{-7})	r_b (10^{-2})	β	S_f (10^{-6})
0	0.133	26.43	4.734	3.10	6.792	0.188	4.42
0.1	0.104	26.49	5.100	3.11	8.501	0.158	3.69
0.2	0.0822	26.27	5.555	3.06	10.70	0.130	3.11
0.3	0.0646	25.99	6.125	3.00	13.51	0.105	2.61
0.4	0.0508	26.54	8.140	3.12	17.00	0.0886	2.05
0.5	0.0400	27.77	13.07	3.40	21.37	0.0783	1.48
0.6	0.0315	28.87	23.24	3.67	26.85	0.0684	0.999
0.7	0.0247	29.49	41.82	3.83	34.08	0.0572	0.635
0.8	0.0195	29.67	70.96	3.87	43.26	0.0463	0.399
0.9	0.0153	29.51	108.62	3.83	55.00	0.0365	0.256
1.0	0.0120	29.18	158.28	3.74	69.75	0.0284	0.163

$$C_h = 10.334 \text{ gr. m}^{-2} \cdot \text{N}^{-1}$$

$$S = 52.576 \text{ gr. m}^{-2} \cdot \text{N}^{-1}$$

Tabla A.10. Intensidad de crecimiento. Fitotipo moderno en la temperatura húmeda. Cálculo de la respiración foliar (C_h); fotosíntesis neta (S); distribución de la radiación neta en la cubierta vegetal (Q); temperatura de las hojas en determinado estrato foliar (T_f); resistencia al flujo de anhídrido carbónico en las hojas (r_a); intensidad respiratoria en las hojas (C_f); resistencia bioquímica al flujo de CO_2 en las hojas (r_b); coeficiente de fotorespiración (β) e intensidad de fotosíntesis neta en las hojas (S_f). Índice foliar (F): 2.

Índice foliar: 7

Estrato f/F	Q	T_f	r_a (10^{-2})	C_f (10^{-7})	r_b (10^{-2})	β	S_f (10^{-6})
0	0.133	26.43	4.734	3.10	6.792	0.188	4.42
0.1	0.100	26.50	5.173	3.11	8.821	0.154	3.58
0.2	0.0759	26.22	5.745	3.05	11.57	0.121	2.92
0.3	0.0573	26.19	6.878	3.05	15.17	0.0959	2.32
0.4	0.0433	27.35	11.01	3.30	19.76	0.0817	1.66
0.5	0.0327	28.75	21.17	3.63	25.86	0.0703	1.07
0.6	0.0247	29.55	42.10	3.84	34.08	0.0575	0.632
0.7	0.0187	29.74	77.93	3.89	45.03	0.0448	0.365
0.8	0.0141	29.55	128.15	3.84	59.55	0.0339	0.214
0.9	0.0107	29.17	186.93	3.74	78.59	0.0252	0.129
1.0	0.00808	28.67	247.99	3.61	104.13	0.0185	0.0746

$$C_h = 12.231 \text{ gr.m}^{-2} \cdot \text{N}^{-1}$$

$$S = 52.930 \text{ gr.m}^{-2} \cdot \text{N}^{-1}$$

Tabla A.11. Intensidad de crecimiento. Fitotipo moderno en la temperatura húmeda. Cálculo de la respiración foliar (C_h); fotosíntesis neta (S); distribución de la radiación neta en la cubierta vegetal (Q); temperatura de las hojas en determinado estrato foliar (T_f) resistencia al flujo de anhídrido carbónico en las hojas (r_a); intensidad respiratoria en las hojas (C_f); resistencia bioquímica al flujo de CO_2 en las hojas (r_b); coeficiente de fotorespiración (β) e intensidad de fotosíntesis neta en las hojas (S_f). Índice foliar (F): 2.

Índice foliar: 8

Estrato f/F	Q	T_f	r_a (10^{-2})	C_f (10^{-7})	r_b (10^{-2})	β	S_f (10^{-6})
0	0.133	26.43	4.734	3.10	6.792	0.188	4.42
0.1	0.0964	26.51	5.250	3.11	9.167	0.149	3.47
0.2	0.0700	26.18	5.954	3.04	12.51	0.113	2.74
0.3	0.0508	26.62	8.227	3.14	16.99	0.0891	2.03
0.4	0.0369	28.27	16.04	3.52	23.10	0.0754	1.29
0.5	0.0268	29.46	34.95	3.82	31.51	0.0615	0.733
0.6	0.0195	29.82	71.74	3.91	43.32	0.0467	0.394
0.7	0.0141	29.63	128.71	3.86	59.54	0.0341	0.213
0.8	0.0103	29.23	198.50	3.76	81.89	0.0244	0.117
0.9	0.00745	28.71	268.68	3.62	112.75	0.0172	0.0607
1.0	0.00541	28.08	329.39	3.47	155.20	0.0120	0.0214

$$C_h = 14.082 \text{ gr. m}^{-2} \cdot \text{N}^{-1}$$

$$S = 52.928 \text{ gr. m}^{-2} \cdot \text{N}^{-1}$$

Tabla A.12. Intensidad de crecimiento. Fitotipo moderno en la temperatura húmeda. Cálculo de la respiración foliar (C_h); fotosíntesis neta (S); distribución de la radiación neta en la cubierta vegetal (Q); temperatura de las hojas en determinado estrato foliar (T_f) resistencia al flujo de anhídrido carbónico en las hojas (r_a); intensidad respiratoria en las hojas (C_f); resistencia bioquímica al flujo de CO_2 en las hojas (r_b); coeficiente de fotorespiración (β) e intensidad de fotosíntesis neta en las hojas (S_f). Índice foliar (F): 2.

Índice foliar: 9

Estrato f/F	Q	T_f	r_a (10^{-2})	C_f (10^{-7})	r_b (10^{-2})	β	S_f (10^{-6})
0	0.132	26.41	4.734	3.09	6.795	0.187	4.42
0.1	0.0923	26.50	5.330	3.11	9.516	0.145	3.36
0.2	0.0644	26.13	6.184	3.03	13.49	0.106	2.57
0.3	0.0449	27.19	10.23	3.26	18.98	0.0838	1.74
0.4	0.0313	28.98	23.61	3.69	26.85	0.0690	0.986
0.5	0.0219	29.81	55.63	3.91	38.40	0.0523	0.496
0.6	0.0153	29.76	110.35	3.90	54.98	0.0371	0.251
0.7	0.0106	29.33	188.93	3.78	78.58	0.0255	0.127
0.8	0.00742	28.76	270.08	3.64	112.74	0.0173	0.0599
0.9	0.00518	28.15	359.87	3.49	161.65	0.0116	0.0150
1.0	0.00361	27.49	422.67	3.33	232.01	0.00777	-0.0195

$$C_h = 15.829 \text{ gr. m}^{-2} \cdot \text{N}^{-1}$$

$$S = 52.823 \text{ gr. m}^{-2} \cdot \text{N}^{-1}$$

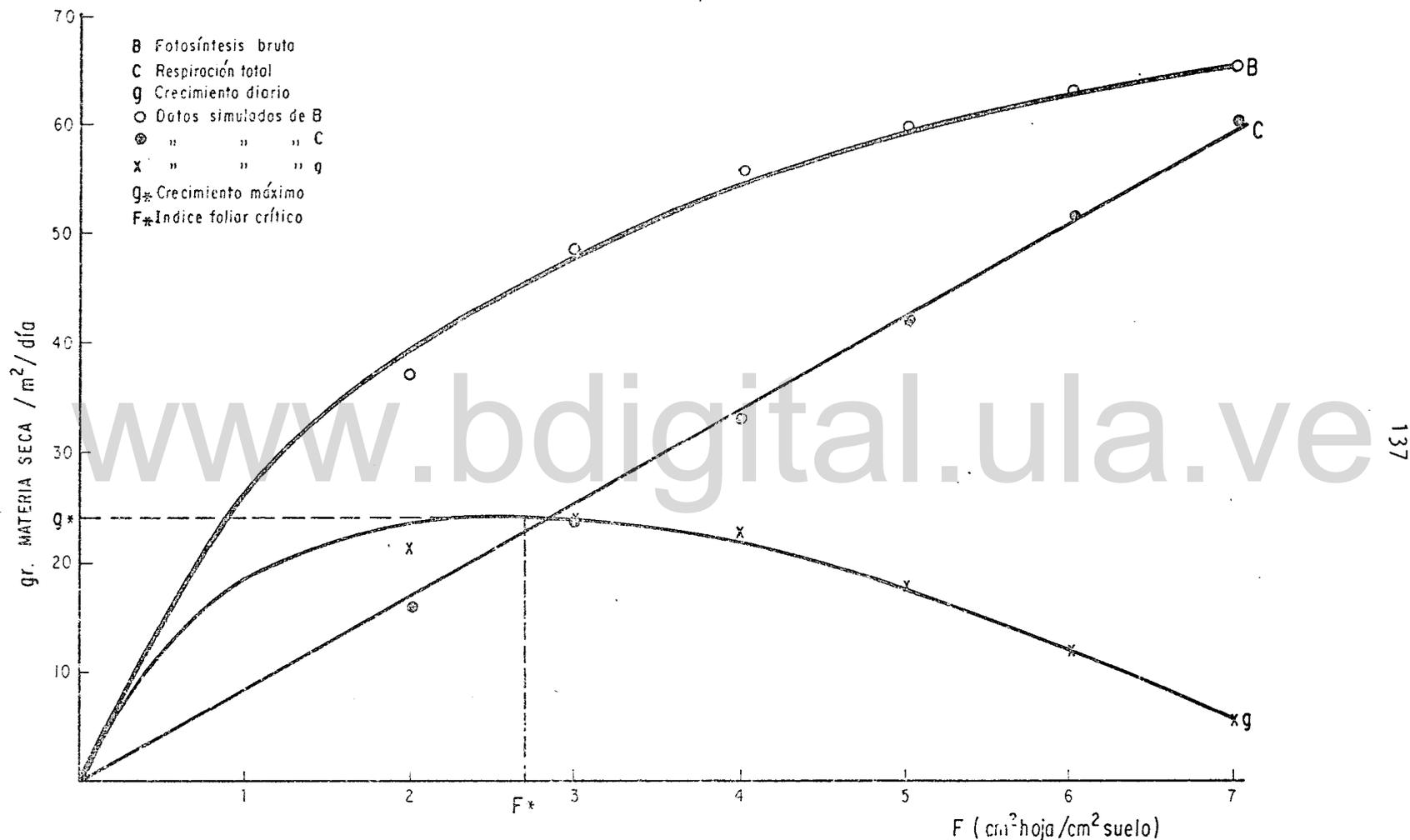


Figura A. 1. Representación del crecimiento diario (g), en función del índice de área foliar (F) y como diferencia entre la fotosíntesis bruta (B) y la respiración total del cultivo (C). Fitotipo moderno, temporada húmeda.

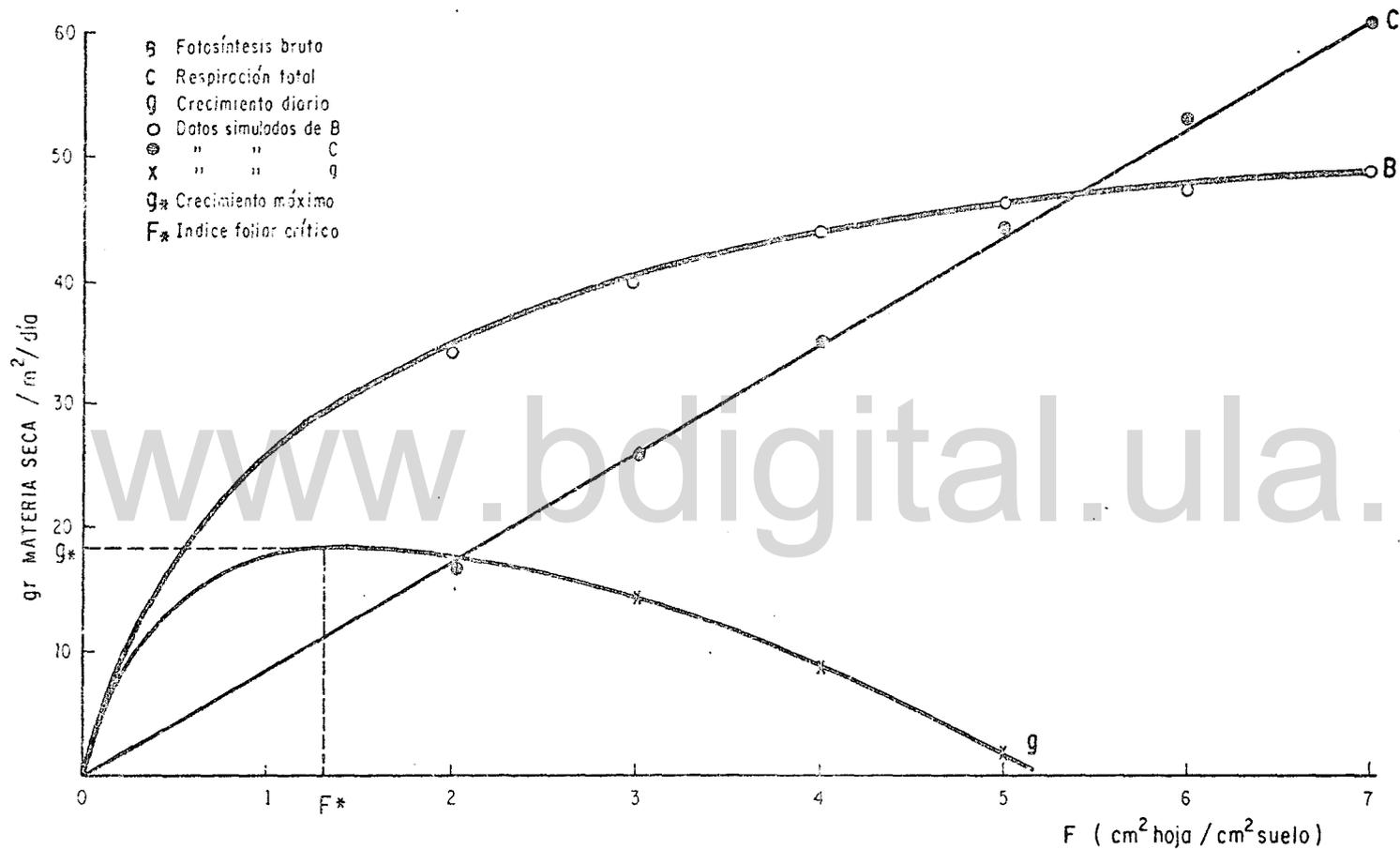


Figura. A. 2 . Representación del crecimiento diario (g), en función del índice de área foliar (F) y como diferencia entre la fotosíntesis bruta (B) y la respiración total del cultivo (C). Fitotipo tradicional, temporada húmeda.

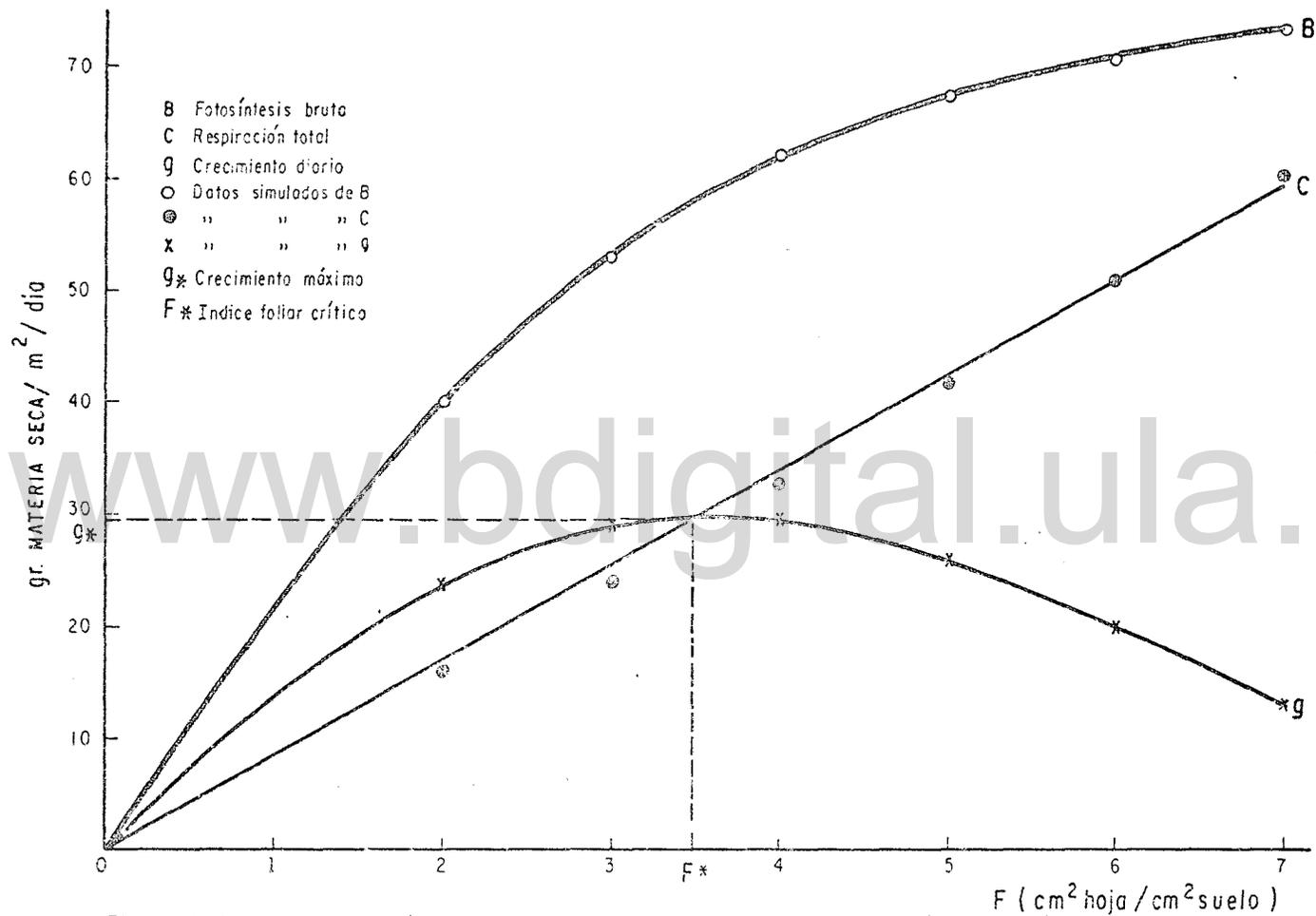


Figura A.3 - Representación del crecimiento diario (g), en función del índice de área foliar (F) y como diferencia entre la fotosíntesis bruta (B) y la respiración total del cultivo (C). Fitotipo moderno, temporada seca.

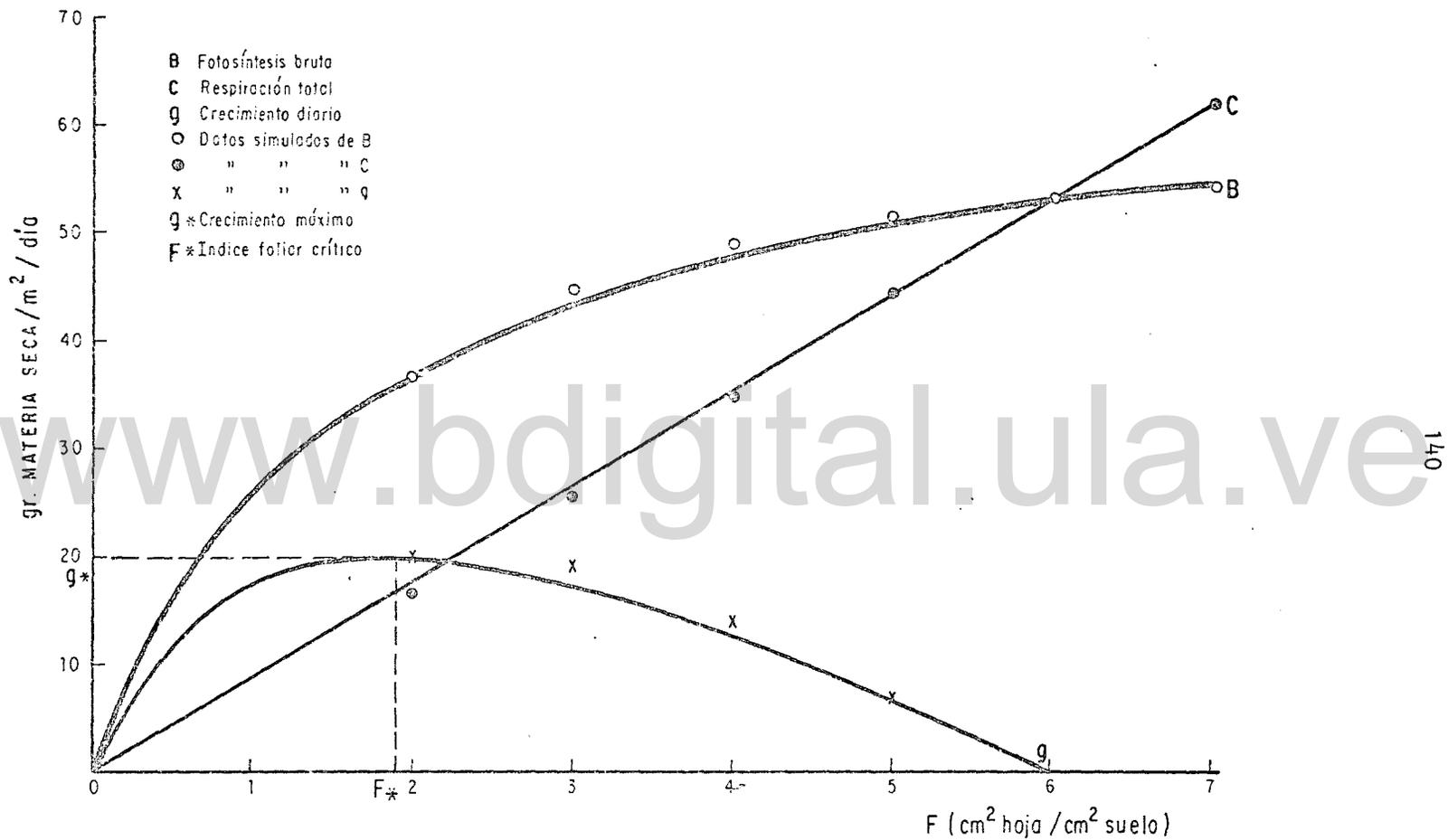


Figura A.4 Representación del crecimiento diario (g), en función del índice de área foliar (F) y como diferencia entre la fotosíntesis bruta (B) y la respiración total del cultivo (C). Fitotipo tradicional, temporada seca.

www.bdigital.ula.ve

APENDICE B

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Tabla B.1. Requerimiento de agua. Cálculo de calor latente de vaporización (\mathcal{L}): velocidad del viento a la altura del cultivo (U_H); resistencia de la capa atmosférica sobre el cultivo al intercambio de calor y vapor (r); coeficiente de extinción del viento (γ); resistencia total de la capa atmosférica en el follaje al intercambio de calor y vapor (r_o); resistencias en la superficie del suelo al flujo calórico (r_{cs}) y de vapor (r_{vs}); conductividad estimada a nivel del suelo del calor (k_{cs}) y del vapor (k_{vs}); conductividad global de las plantas al calor ($k\tilde{c}$) y al vapor ($k\tilde{v}$); temperatura global de la cubierta vegetal (T_p) y del agua (T_w); presión de vapor a saturación en las plantas (V_p) y en el agua (V_w); transpiración (E_p), evaporación (E_w) y evapotranspiración (E_x) máximas.

Fitotipo moderno en la temporada húmeda

PARAMETROS		INDICE FOLIAR TOTAL: F (cm ² hoja/cm ² suelo)							
Símbolos	Unidades	2	3	4	5	6	7	8	9
\mathcal{L}	cal. cm ⁻³	582	582	582	582	582	582	582	582
U_H	m. seg. ⁻¹	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
r (10^{-2})	min. cm ⁻¹	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
γ	adim.	1.5	2.3	3.1	3.9	4.6	5.4	6.2	7.0
r_o (10^{-2})	min. cm ⁻¹	1.23	1.65	2.00	2.34	2.62	2.94	3.27	3.60
r_{cs} (10^{-2})	min. cm ⁻¹	2.20	4.53	9.30	19.11	35.89	73.73	151.47	311.18
r_{vs} (10^{-2})	min. cm ⁻¹	1.80	3.68	7.56	15.53	29.16	59.90	123.07	252.84
k_{cs} (10^{-4})	cal. cm ⁻² min ⁻¹	67.48	41.71	24.35	13.36	7.59	3.86	1.93	0.95
k_{vs} (10^{-6})	cm ³ cm ⁻² min ⁻¹ mb ⁻¹	18.58	11.83	7.09	3.97	2.29	1.17	0.59	0.29
$k\tilde{c}$ (10^{-2})	cal. cm ⁻² min ⁻¹ °C ⁻¹	2.387	3.076	3.573	3.906	4.146	4.270	4.337	4.369
$k\tilde{v}$ (10^{-5})	cm ³ cm ⁻² min ⁻¹ mb ⁻¹	4.889	5.944	6.199	6.235	6.287	6.263	6.220	6.211
T_p	°C	26.19	26.27	26.48	26.64	26.74	26.82	26.88	26.92
T_w	°C	24.30	24.30	24.30	24.30	24.30	24.30	24.30	24.30
V_p	mb	34.07	34.23	34.66	34.99	35.19	35.36	35.49	35.57
V_w	mb	30.45	30.45	30.45	30.45	30.45	30.45	30.45	30.45
E_p	mm. N ⁻¹	2.62	3.26	3.60	3.77	3.89	3.96	3.99	4.02
E_w	mm. N ⁻¹	0.50	0.32	0.19	0.11	0.06	0.03	0.02	0.01
E_x	mm. N ⁻¹	3.12	3.58	3.79	3.88	3.95	3.99	4.01	4.03

Tabla B.2. Requerimiento de agua. Cálculo de calor latente de vaporización (L); velocidad del viento a la altura del cultivo (U_H); resistencia de la capa atmosférica sobre el cultivo al intercambio de calor y vapor (r); coeficiente de extinción del viento (γ); resistencia total de la capa atmosférica en el follaje al intercambio de calor y vapor (r_a); resistencias en la superficie del suelo al flujo calórico (r_{cs}) y de vapor (r_{vs}); conductividad estimada a nivel del suelo del calor (k_{cs}) y del vapor (k_{vs}); conductividad global de las plantas al calor ($k\tilde{c}$) y al vapor ($k\tilde{v}$); temperatura global de la cubierta vegetal (T_p) y del agua (T_w); presión de vapor a saturación en las plantas (V_p) y en el agua (V_w); transpiración (E_p), evaporación (E_w) y evapotranspiración (Ex) máximas.

Fitotipo Tradicional en la temporada húmeda

PARAMETROS		INDICE FOLIAR TOTAL: F (cm ² hojas/cm ² suelo)							
Unidades	Símbolos	2	3	4	5	6	7	8	9
cal. cm ⁻³	L	582	582	582	582	582	582	582	582
m. seg ⁻¹	U_H	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
min. cm ⁻¹	$r (10^{-3})$	7.99	7.99	7.99	7.99	7.99	7.99	7.99	7.99
adim.	γ	2.0	2.9	3.9	4.9	5.9	6.8	7.8	8.8
min. cm ⁻¹	$r_a (10^{-2})$	1.33	1.70	2.07	2.42	2.78	3.11	3.48	3.86
min. cm ⁻¹	$r_{cs} (10^{-2})$	5.19	11.66	28.67	70.52	173.44	389.88	958.96	2358.66
min. cm ⁻¹	$r_{vs} (10^{-2})$	4.21	9.47	23.29	57.29	140.92	316.78	779.15	1916.41
cal. cm ⁻² . min ⁻¹ . °C ⁻¹	$k_{cs} (10^{-4})$	40.83	21.13	9.50	4.06	1.69	0.76	0.31	0.13
cm ³ . cm ⁻² . min ⁻¹ . mb ⁻¹	$k_{vs} (10^{-6})$	11.76	6.24	2.86	1.24	0.52	0.23	0.096	0.039
cal. cm ⁻² . min ⁻¹ . °C ⁻¹	$k\tilde{c} (10^{-2})$	2.332	2.985	3.416	3.699	3.874	3.986	4.032	4.044
cm ³ . cm ⁻² . min ⁻¹ . mb ⁻¹	$k\tilde{v} (10^{-5})$	4.363	4.602	4.650	4.627	4.608	4.614	4.628	4.692
°C	T_p	26.98	27.28	27.46	27.58	27.64	27.66	27.67	27.64
°C	T_w	24.30	24.30	24.30	24.30	24.30	24.30	24.30	24.30
mb	V_p	35.69	36.33	36.71	36.97	37.10	37.15	37.17	37.10
mb	V_w	30.45	30.45	30.45	30.45	30.45	30.45	30.45	30.45
mm. N ⁻¹	E_p	2.86	3.24	3.40	3.47	3.50	3.52	3.54	3.57
mm. N ⁻¹	E_w	0.32	0.17	0.08	0.03	0.01	0.01	0.003	0.001
mm. N ⁻¹	Ex	3.18	3.41	3.48	3.50	3.51	3.53	3.54	3.57

Tabla B.3. Requerimiento de agua. Cálculo de calor latente de vaporización (\mathcal{L}): velocidad del viento a la altura del cultivo (U_H); resistencia de la capa atmosférica sobre el cultivo al intercambio de calor y vapor (r); coeficiente de extinción del viento (γ); resistencia total de la capa atmosférica en el follaje al intercambio de calor y vapor (r_o); resistencias en la superficie del suelo al flujo calórico (r_{cs}) y de vapor (r_{vs}); conductividad estimada a nivel del suelo del calor (k_{cs}) y del vapor (k_{vs}); conductividad global de las plantas al calor ($k\tilde{c}$) y al vapor ($k\tilde{v}$); temperatura global de la cubierta vegetal (T_p) y del agua (T_w); presión de vapor a saturación en las plantas (V_p) y en el agua (V_w); transpiración (E_p), evaporación (E_w) y evapotranspiración (E_x) máximas.^p

Fitotipo Moderno en la temporada seca

PARAMETROS		INDICE FOLIAR TOTAL: F(cm ² hojas/cm ² suelo)							
Símbolos	Unidades	2	3	4	5	6	7	8	9
\mathcal{L}	cal. cm ⁻³	582	582	582	582	582	582	582	582
U_H	m. seq ⁻¹	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
r (10 ⁻³)	min. cm ⁻¹	6.77	6.77	6.77	6.77	6.77	6.77	6.77	6.77
γ	adim	1.5	2.3	3.1	3.9	4.6	5.4	6.2	7.0
r_o (10 ⁻²)	min. cm ⁻¹	0.80	1.05	1.29	1.50	1.68	1.89	2.10	2.31
r_{cs} (10 ⁻²)	min. cm ⁻¹	1.47	3.02	6.20	12.74	23.92	43.15	100.98	207.46
r_{vs} (10 ⁻²)	min. cm ⁻¹	1.19	2.45	5.04	10.35	19.44	39.94	82.05	168.56
k_{cs} (10 ⁻⁴)	cal. cm ⁻² . min ⁻¹ . °C ⁻¹	101.74	62.90	36.65	20.08	11.40	5.80	2.89	1.43
k_{vs} (10 ⁻⁶)	cm ³ . cm ⁻² . min ⁻¹ . mb ⁻¹	28.06	17.84	10.68	5.97	3.44	1.76	0.88	0.44
$k\tilde{c}$ (10 ⁻²)	cal. cm ⁻² . min ⁻¹ . °C ⁻¹	3.268	4.202	4.854	5.293	5.595	5.757	5.838	5.865
$k\tilde{v}$ (10 ⁻⁵)	cm ³ . cm ⁻² . min ⁻¹ . mb ⁻¹	6.189	8.163	8.822	8.969	8.932	8.884	8.931	8.928
T_p	°C	25.60	25.48	25.63	25.81	25.96	26.06	26.10	26.14
T_w	°C	26.40	26.40	26.40	26.40	26.40	26.40	26.40	26.40
V_p	mb	32.90	32.67	32.96	33.31	33.61	33.81	33.89	33.97
V_w	mb	34.50	34.50	34.50	34.50	34.50	34.50	34.50	34.50
E_p	mm. h ⁻¹	3.79	4.87	5.44	5.75	5.91	6.01	6.09	6.13
E_w	mm. h ⁻¹	2.03	1.29	0.77	0.43	0.25	0.13	0.06	0.03
E_x	mm. h ⁻¹	5.82	6.16	6.21	6.18	6.16	6.14	6.15	6.16

Tabla 8.4. Requerimiento de agua. Cálculo de calor latente de vaporización (L): velocidad del viento a la altura del cultivo (U_H); resistencia de la capa atmosférica sobre el cultivo al intercambio de calor y vapor (r); coeficiente de extinción del viento (γ); resistencia total de la capa atmosférica en el follaje al intercambio de calor y vapor (r_o); resistencias en la superficie del suelo al flujo calórico (r_{cs}) y de vapor (r_{vs}); conductividad estimada a nivel del suelo del calor (k_c) y de vapor (k_v); conductividad global de las plantas al calor ($k\tilde{c}$) y al vapor ($k\tilde{v}$); temperatura global de la cubierta vegetal (T) y del agua (T_w); presión de vapor a saturación en las plantas (V_p) y en el agua (V_w); transpiración (E_p), evaporación (E_w) y evapotranspiración (E_x) máximas.^P

Fitotipo tradicional en la temporada seca

PARAMETROS		INDICE FOLIAR TOTAL : F(cm ² hojas/cm ² suelo)							
Símbolos	Unidades	2	3	4	5	6	7	8	9
L	cal. cm ⁻³	582	582	582	582	582	582	582	582
U_H	m. seg. ⁻¹	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
$r(10^{-3})$	min. cm ⁻¹	5.33	5.33	5.33	5.33	5.33	5.33	5.33	5.33
γ	adim.	2.0	2.9	3.9	4.9	5.9	6.8	7.8	8.8
$r_o(10^{-2})$	min. cm ⁻¹	0.85	1.09	1.33	1.56	1.79	2.00	2.24	2.48
$r_{cs}(10^{-2})$	min. cm ⁻¹	3.46	7.77	19.11	47.01	115.63	259.92	639.31	1572.44
$r_{vs}(10^{-2})$	min. cm ⁻¹	2.81	6.31	15.53	38.20	93.95	211.19	519.44	1277.61
$k_{cs}(10^{-4})$	cal.cm ⁻² .min ⁻¹ .°C ⁻¹	61.67	31.84	14.28	6.10	2.54	1.14	0.47	0.19
$k_{vs}(10^{-6})$	cm ³ .cm ⁻² .min ⁻¹ .mb ⁻¹	17.79	9.42	4.30	1.86	0.78	0.35	0.14	0.059
$k\tilde{c}(10^{-2})$	cal.cm ⁻² .min ⁻¹ .°C ⁻¹	3.135	4.001	4.569	4.936	5.159	5.299	5.355	5.369
$k\tilde{v}(10^{-5})$	cm ³ .cm ⁻² .min ⁻¹ .mb ⁻¹	5.956	6.562	6.589	6.583	6.649	6.510	6.492	6.520
T_p	°C	26.24	26.50	26.76	26.91	26.95	27.06	27.08	27.08
T_w	°C	26.40	26.40	26.40	26.40	26.40	26.40	26.40	26.40
V_p	mb	34.17	34.70	35.24	35.55	35.63	35.86	35.90	35.90
V_w	mb	34.50	34.50	34.50	34.50	34.50	34.50	34.50	34.50
E_p	mm. N ⁻¹	4.18	4.84	5.11	5.25	5.33	5.33	5.33	5.36
E_w	mm. N ⁻¹	1.29	0.68	0.31	0.13	0.06	0.03	0.01	0.004
E_x	mm. N ⁻¹	5.47	5.52	5.42	5.38	5.39	5.36	5.34	5.36

Tabla B.5. Requerimiento de agua. Fitotipo moderno en la temporada húmeda. Cálculo de la conductividad calórica global de las plantas ($k\bar{c}$); conductividad global al vapor de agua en las plantas ($k\bar{v}$), y en diferentes estratos foliares (f/F) de la altura relativa en función del área foliar (Z/H); altura (Z); distribución de la radiación solar en la cubierta vegetal (Q_g); distribución de la apertura estomática (p); distribución de la velocidad del viento; resistencia interfoliar (r_f); resistencia foliar al flujo de calor (r_c); resistencia foliar al flujo de vapor (r_v); conductividad calórica en la cubierta vegetal (k_c) y conductividad al vapor de agua en la cubierta vegetal (k_v). Índice foliar (F): 2

Estrato f/F	f	Z/H	Z	Q_g	P (10^{-4})	U_z	r_f (10^{-2})	r_c (10^{-2})	r_v (10^{-2})	k_c (10^{-2})	k_v (10^{-5})
0	0	1	100	0.430	8.0	0.6181	0	0.697	1.30	1.75	3.24
0.1	0.2	0.77	77	0.397	8.0	0.5046	0.189	0.771	1.36	1.52	2.92
0.2	0.4	0.67	67	0.366	8.0	0.4183	0.280	0.847	1.42	1.40	2.76
0.3	0.6	0.60	60	0.338	8.0	0.3497	0.348	0.926	1.48	1.31	2.64
0.4	0.8	0.54	54	0.312	8.0	0.2946	0.411	1.01	1.55	1.23	2.52
0.5	1.0	0.48	48	0.288	8.0	0.2505	0.479	1.09	1.62	1.16	2.41
0.6	1.2	0.44	44	0.266	8.0	0.2129	0.527	1.19	1.69	1.10	2.32
0.7	1.4	0.39	39	0.245	8.0	0.1831	0.592	1.29	1.77	1.04	2.22
0.8	1.6	0.34	34	0.226	8.0	0.1587	0.663	1.37	1.84	0.98	2.13
0.9	1.8	0.28	28	0.209	8.0	0.1395	0.761	1.47	1.92	0.92	2.03
1.0	2.0	0.13	13	0.193	6.93	0.1326	1.116	1.50	2.16	0.83	1.75

$$k\bar{c} = 2.387 \times 10^{-2} \text{ cal. cm}^{-2} \text{ min}^{-1} \text{. } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$k\bar{v} = 4.889 \times 10^{-5} \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-2} \text{. min}^{-1} \text{. mb}^{-1}$$

Tabla B.6. Requerimiento de agua. Fitotipo moderno en la temporada húmeda. Cálculo de la conductividad calórica global de las plantas ($k\tilde{c}$); conductividad global al vapor de agua en las plantas ($k\tilde{v}$), y en diferentes estratos foliares (f/F) de la altura relativa en función del área foliar (Z/H); altura (Z); distribución de la radiación solar en la cubierta vegetal (Q_g) distribución de la apertura estomática (p); distribución de la velocidad del viento; resistencia interfoliar (r_f); resistencia foliar al flujo de calor (r_c); resistencia foliar al flujo de vapor (r_v); conductividad calórica en la cubierta vegetal (k_c) y conductividad al vapor de agua en la cubierta vegetal (k_v).

Índice foliar: 3

Estrato f/F	f	Z/H	Z	Q_g	P (10^{-4})	U_z	r_f (10^{-2})	r_c (10^{-2})	r_v (10^{-2})	k_c (10^{-2})	k_v (10^{-5})
0	0	1	100	0.430	8.0	0.6181	0	0.697	1.30	1.75	3.24
0.1	0.3	0.77	77	0.381	8.0	0.4560	0.283	0.811	1.39	1.42	2.79
0.2	0.6	0.67	67	0.338	8.0	0.3442	0.415	0.934	1.49	1.27	2.57
0.3	0.9	0.60	60	0.300	8.0	0.2631	0.513	1.07	1.60	1.15	2.40
0.4	1.2	0.54	54	0.266	8.0	0.2034	0.600	1.21	1.72	1.06	2.25
0.5	1.5	0.48	48	0.236	8.0	0.1594	0.693	1.37	1.84	0.975	2.11
0.6	1.8	0.44	44	0.209	8.0	0.1250	0.759	1.55	1.98	0.902	2.00
0.7	2.1	0.39	39	0.185	5.96	0.0997	0.846	1.73	2.63	0.835	1.67
0.8	2.4	0.34	34	0.164	4.02	0.0804	0.940	1.93	4.04	0.772	1.25
0.9	2.7	0.28	28	0.146	2.86	0.0663	1.066	2.13	6.31	0.712	0.894
1.0	3.0	0.13	13	0.129	2.08	0.0614	1.508	2.21	9.96	0.634	0.601

$$k\tilde{c} = 3.076 \times 10^{-2} \text{ cal. cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$$

$$k\tilde{v} = 5.944 \times 10^{-5} \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mb}^{-1}$$

Tabla B.7. Requerimiento de agua. Fitotipo moderno en la temporada húmeda. Cálculo de la conductividad calórica global de las plantas ($k\tilde{c}$); conductividad global al vapor de agua en las plantas ($k\tilde{v}$), y en diferentes estratos foliares (f/F) de la altura relativa en función del área foliar (Z/H); altura (Z); distribución de la radiación solar en la cubierta vegetal (Q_g); distribución de la apertura estomática (p); distribución de la velocidad del viento; resistencia interfoliar (r_f); resistencia foliar al flujo de calor (r_c); resistencia foliar al flujo de vapor (r_v); conductividad calórica en la cubierta vegetal (k_c) y conductividad al vapor de agua en la cubierta vegetal (k_v).

Índice foliar: 4

Estrato	f	Z/H	Z	Q_g	P (10^{-4})	U_z	r_f (10^{-2})	r_c (10^{-2})	r_v (10^{-2})	k_c (10^{-2})	k_v (10^{-5})
f/F											
0	0	1	100	0.430	8.0	0.6181	0	0.697	1.30	1.75	3.24
0.1	0.4	0.77	77	0.366	8.0	0.4120	0.376	0.853	1.43	1.34	2.66
0.2	0.8	0.67	67	0.312	8.0	0.2831	0.547	1.03	1.57	1.16	2.39
0.3	1.2	0.60	60	0.266	8.0	0.1979	0.672	1.23	1.73	1.03	2.19
0.4	1.6	0.54	54	0.226	8.0	0.1404	0.782	1.46	1.91	0.921	2.02
0.5	2.0	0.48	48	0.193	6.93	0.1015	0.898	1.72	2.33	0.826	1.77
0.6	2.4	0.44	44	0.164	4.02	0.0734	0.978	2.02	4.11	0.747	1.23
0.7	2.8	0.39	39	0.140	2.56	0.0542	1.084	2.35	7.52	0.674	0.780
0.8	3.2	0.34	34	0.119	1.72	0.0407	1.197	2.71	13.64	0.609	0.473
0.9	3.6	0.28	28	0.102	1.25	0.0315	1.345	3.09	22.27	0.550	0.305
1.0	4.0	0.13	13	0.0867	0.94	0.0284	1.850	3.25	33.67	0.491	0.205

$$k\tilde{c} = 3.573 \times 10^{-2} \text{ cal. cm}^{-2} \text{ min}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$k\tilde{v} = 6.199 \times 10^{-5} \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-2} \text{ min}^{-1} \text{ mb}^{-1}$$

Tabla B.8. Requerimiento de agua. Fitotipo moderno en la temporada húmeda. Cálculo de la conductividad calórica global de las plantas ($k\tilde{c}$); conductividad global al vapor de agua en las plantas ($k\tilde{v}$), y en diferentes estratos foliares (f/F) de la altura relativa en función del área foliar (Z/H); altura (Z); distribución de la radiación solar en la cubierta vegetal (Q_g); distribución de la apertura estomática (p); distribución de la velocidad del viento; resistencia interfoliar (r_f); resistencia foliar al flujo de calor (r_c); resistencia foliar al flujo de vapor (r_v); conductividad calórica en la cubierta vegetal (k_c) y conductividad al vapor de agua en la cubierta vegetal (k_v).

Índice foliar: 5

Estrato f/F	f	Z/H	Z	Q_g	P (10^{-4})	U_z	r_f (10^{-2})	r_c (10^{-2})	r_v (10^{-2})	k_c (10^{-2})	k_v (10^{-5})
0	0	1	100	0.430	8.0	0.6181	0	0.697	1.30	1.75	3.24
0.1	0.5	0.77	77	0.352	8.0	0.3723	0.469	0.898	1.46	1.26	2.55
0.2	1.0	0.67	67	0.288	8.0	0.2329	0.679	1.13	1.65	1.06	2.24
0.3	1.5	0.60	60	0.236	8.0	0.1488	0.830	1.42	1.88	0.919	2.01
0.4	2.0	0.54	54	0.193	6.93	0.0969	0.962	1.76	2.36	0.803	1.73
0.5	2.5	0.48	48	0.158	3.59	0.0646	1.099	2.15	4.78	0.703	1.09
0.6	3.0	0.44	44	0.129	2.08	0.0431	1.194	2.64	10.30	0.619	0.600
0.7	3.5	0.39	39	0.106	1.35	0.0295	1.317	3.19	19.96	0.543	0.336
0.8	4.0	0.34	34	0.0867	0.94	0.0206	1.447	3.82	34.12	0.478	0.205
0.9	4.5	0.28	28	0.0710	0.70	0.0150	1.616	4.47	50.42	0.422	0.141
1.0	5.0	0.13	13	0.0581	0.55	0.0132	2.171	4.77	65.88	0.377	0.109

$$k\tilde{c} = 3.906 \times 10^{-2} \text{ cal. cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$$

$$k\tilde{v} = 6.235 \times 10^{-5} \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mb}^{-1}$$

Tabla B.9. Requerimiento de agua. Fitotipo moderno en la temporada húmeda. Cálculo de la conductividad calórica global de las plantas ($k\tilde{c}$); conductividad global al vapor de agua en las plantas ($k\tilde{v}$), y en diferentes estratos foliares (f/F) de la altura relativa en función del área foliar (Z/H); altura (Z); distribución de la radiación solar en la cubierta vegetal (Q_g); distribución de la apertura estomática (p); distribución de la velocidad del viento; resistencia interfoliar (r_f); resistencia foliar al flujo de calor (r_c); resistencia foliar al flujo de vapor (r_v); conductividad calórica en la cubierta vegetal (k_c) y conductividad al vapor de agua en la cubierta vegetal (k_v).

Índice foliar: 6

Estrato f/F	f	Z/H	Z	Q_g	P (10^{-4})	U_z	r_f (10^{-2})	r_c (10^{-2})	r_v (10^{-2})	k_c (10^{-2})	k_v (10^{-5})
0	0	1	100	0.430	8.0	0.6181	0	0.697	1.30	1.75	3.24
0.1	0.6	0.77	77	0.338	8.0	0.3364	0.550	0.944	1.50	1.20	2.45
0.2	1.2	0.67	67	0.266	8.0	0.1916	0.794	1.25	1.74	0.981	2.11
0.3	1.8	0.60	60	0.209	8.0	0.1120	0.968	1.64	2.05	0.828	1.86
0.4	2.4	0.54	54	0.164	4.02	0.0669	1.120	2.12	4.19	0.705	1.19
0.5	3.0	0.48	48	0.129	2.08	0.0411	1.276	2.70	10.35	0.601	0.593
0.6	3.6	0.44	44	0.102	1.25	0.0253	1.383	3.44	22.55	0.514	0.301
0.7	4.2	0.39	39	0.0801	0.83	0.0161	1.521	4.32	40.70	0.438	0.173
0.8	4.8	0.34	34	0.0630	0.60	0.0105	1.666	5.35	60.70	0.374	0.118
0.9	5.4	0.28	28	0.0495	0.47	0.0071	1.851	6.50	77.60	0.320	0.0932
1.0	6.0	0.13	13	0.0390	0.38	0.0061	2.447	7.01	91.48	0.286	0.0790

$$k\tilde{c} = 4.146 \times 10^{-2} \text{ cal. cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$$

$$k\tilde{v} = 6.287 \times 10^{-5} \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mb}^{-1}$$

Tabla B.10. Requerimiento de agua. Fitotipo moderno de la temporada húmeda. Cálculo de la conductividad calórica global de las plantas ($k\tilde{c}$); conductividad global al vapor de agua en las plantas ($k\tilde{v}$), y en diferentes estratos foliares (f/F) de la altura relativa en función del área foliar (Z/H); altura (Z); distribución de la radiación solar en la cubierta vegetal (Q_g); distribución de la apertura estomática (p); distribución de la velocidad del viento; resistencia interfoliar (r_f); resistencia foliar al flujo de calor (r_c); resistencia foliar al flujo de vapor (r_v); conductividad calórica en la cubierta vegetal (k_c) y conductividad al vapor de agua en la cubierta vegetal (k_v).

Índice foliar 7

Estrato f/F	f	Z/H	Z	Q_g	P (10^{-4})	U_z	r_f (10^{-2})	r_c (10^{-2})	r_v (10^{-2})	k_c (10^{-2})	k_v (10^{-5})
0	0	1	100	0.430	8.0	0.6181	0	0.697	1.30	1.75	3.24
0.1	0.7	0.77	77	0.325	8.0	0.3039	0.644	0.994	1.54	1.13	2.34
0.2	1.4	0.67	67	0.245	8.0	0.1576	0.927	1.38	1.85	0.903	1.98
0.3	2.1	0.60	60	0.185	5.96	0.0842	1.128	1.89	2.75	0.744	1.53
0.4	2.8	0.54	54	0.140	2.56	0.0462	1.302	2.55	7.67	0.616	0.751
0.5	3.5	0.48	48	0.106	1.35	0.0262	1.480	3.38	20.12	0.511	0.332
0.6	4.2	0.44	44	0.0801	0.83	0.0148	1.601	4.50	40.85	0.422	0.173
0.7	4.9	0.39	39	0.0605	0.57	0.0087	1.756	5.87	64.43	0.347	0.112
0.8	5.6	0.34	34	0.0457	0.43	0.0053	1.918	7.52	84.18	0.287	0.0861
0.9	6.3	0.28	28	0.0346	0.35	0.0034	2.123	9.39	98.25	0.239	0.0740
1.0	7.0	0.13	13	0.0261	0.30	0.0028	2.762	10.35	107.35	0.212	0.0675

$$k\tilde{c} = 4.270 \times 10^{-2} \text{ cal. cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$$

$$k\tilde{v} = 6.263 \times 10^{-5} \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mb}^{-1}$$

Tabla. B.11. Requerimiento de agua. Fitotipo moderno en la temporada húmeda. Cálculo de la conductividad calórica global de las plantas ($k\check{c}$); conductividad global al vapor de agua en las plantas ($k\tilde{v}$), y en diferentes estratos foliares (f/F) de la altura relativa en función del área foliar (Z/H); altura distribución de la radiación solar en la cubierta vegetal (Q_g); distribución de la apertura estomática (p); distribución de la velocidad del viento; resistencia interfoliar (r_f); resistencia foliar al flujo de calor (r_c); resistencia foliar al flujo de vapor (r_v); conductividad calórica en la cubierta vegetal (k_c) y conductividad al vapor de agua en la cubierta vegetal (k_v).

Índice foliar 3

Estrato f/F	f	Z/H	Z	Q_g	P (10^{-4})	U_z	r_f (10^{-2})	r_c (10^{-2})	r_v (10^{-2})	k_c (10^{-2})	k_v (10^{-5})
0	0	1	100	0.430	8.0	0.6181	0	0.697	1.30	1.75	3.24
0.1	0.8	0.77	77	0.312	8.0	0.2746	0.738	1.05	1.58	1.07	2.25
0.2	1.6	0.67	67	0.226	8.0	0.1297	1.061	1.52	1.96	0.834	1.86
0.3	2.4	0.60	60	0.164	4.02	0.0633	1.287	2.18	4.23	0.669	1.15
0.4	3.2	0.54	54	0.119	1.72	0.0319	1.486	3.07	13.92	0.538	0.457
0.5	4.0	0.48	48	0.0867	0.94	0.0167	1.686	4.25	34.46	0.432	0.202
0.6	4.8	0.44	44	0.0629	0.60	0.0087	1.822	5.87	61.12	0.345	0.117
0.7	5.6	0.39	39	0.0457	0.43	0.0048	1.995	7.91	84.48	0.275	0.0857
0.8	6.4	0.34	34	0.0332	0.34	0.0027	2.173	10.54	100.81	0.219	0.0721
0.9	7.2	0.28	28	0.0241	0.29	0.0016	2.397	13.69	111.71	0.175	0.0651
1.0	8.0	0.13	13	0.0175	0.26	0.0013	3.081	15.19	117.95	0.156	0.0615

$$k\check{c} = 4.337 \times 10^{-2} \text{ cal. cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$$

$$k\tilde{v} = 6.220 \times 10^{-5} \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mb}^{-1}$$

Tabla B.12. Requerimiento de agua. Fitotipo moderno en la temporada húmeda. Cálculo de la conductividad calórica global de las plantas ($k\tilde{c}$); conductividad global al vapor de agua en las plantas ($k\tilde{v}$), y en diferentes estratos foliares (f/F) de la altura relativa en función del área foliar (Z/H); altura (Z); distribución de la radiación solar en la cubierta vegetal (Q_g); distribución de la apertura estomática (p); distribución de la velocidad del viento; resistencia interfoliar (r_f); resistencia foliar al flujo de calor (r_c); resistencia foliar al flujo de vapor (r_v); conductividad calórica en la cubierta vegetal (k_c) y conductividad al vapor de agua en la cubierta vegetal (k_v).

Índice foliar 9

Estrato f/F	f	Z/H	Z	Q_g	P (10^{-4})	U_z	r_f (10^{-2})	r_c (10^{-2})	r_v (10^{-2})	k_c (10^{-2})	k_v (10^{-5})
0	0	1	100	0.430	8.0	0.6181	0	0.697	1.30	1.75	3.24
0.1	0.9	0.77	77	0.300	8.0	0.2481	0.832	1.10	1.62	1.02	2.16
0.2	1.8	0.67	67	0.209	8.0	0.1067	1.195	1.68	2.09	0.771	1.74
0.3	2.7	0.60	60	0.146	2.86	0.0476	1.451	2.51	6.62	0.603	0.825
0.4	3.6	0.54	54	0.102	1.25	0.0220	1.671	3.69	22.75	0.470	0.295
0.5	4.5	0.48	48	0.0710	0.70	0.0106	1.894	5.32	51.10	0.365	0.139
0.6	5.4	0.44	44	0.0495	0.47	0.0051	2.045	7.67	78.53	0.280	0.0919
0.7	6.3	0.39	39	0.0346	0.35	0.0026	2.236	10.74	99.33	0.214	0.0731
0.8	7.2	0.34	34	0.0241	0.29	0.0014	2.431	14.64	112.47	0.166	0.0647
0.9	8.1	0.28	28	0.0168	0.25	0.0008	2.676	19.36	122.95	0.130	0.0592
1.0	9.0	0.13	13	0.0117	0.23	0.0006	3.405	22.36	128.63	0.112	0.0564

$$k\tilde{c} = 4.369 \times 10^{-2} \text{ cal. cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$$

$$k\tilde{v} = 6.211 \times 10^{-5} \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mb}^{-1}$$

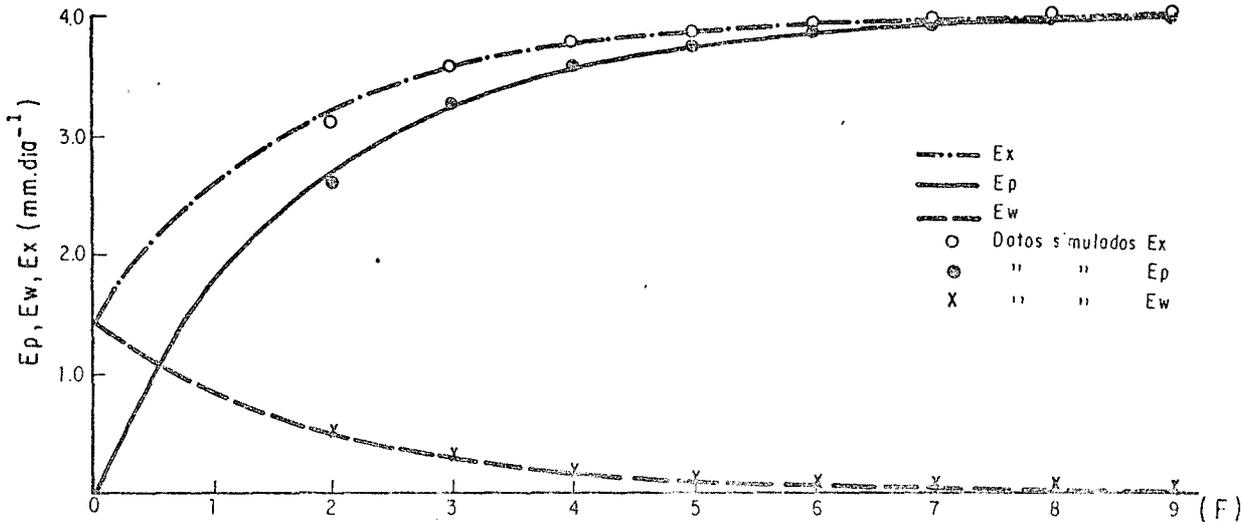


Figura B.1 - Relación entre índice de área foliar (F) y Evapotranspiración (Ex), Transpiración (Ep) y Evaporación (Ew). Fitotipo moderno, temporada húmeda.

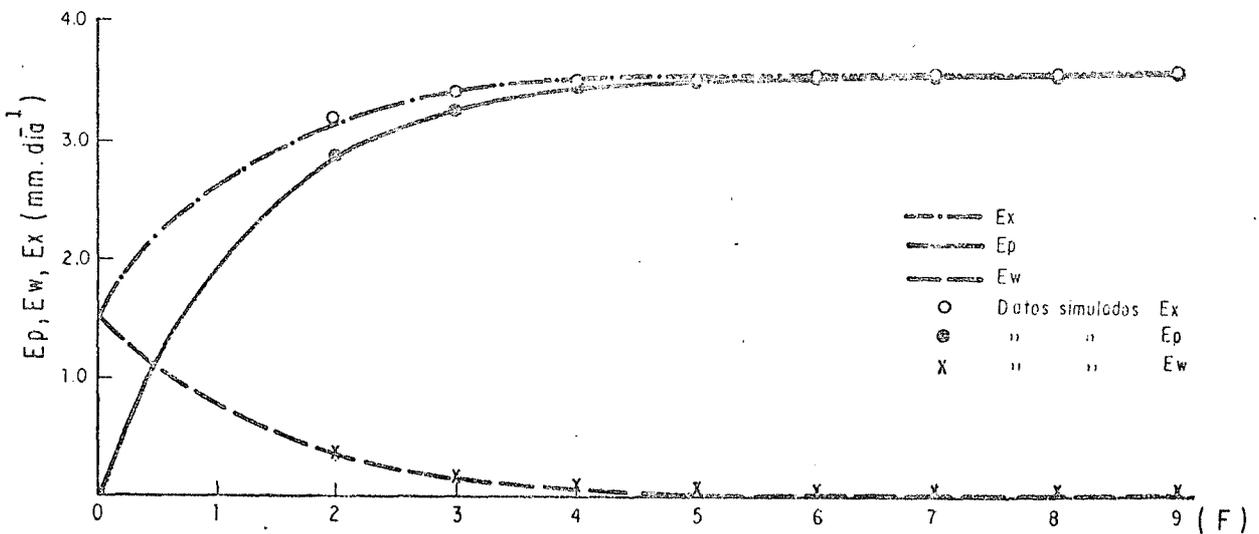


Figura B.2 - Relación entre índice de área foliar (F) y Evapotranspiración (Ex), Transpiración (Ep) y Evaporación (Ew). Fitotipo tradicional, temporada húmeda.

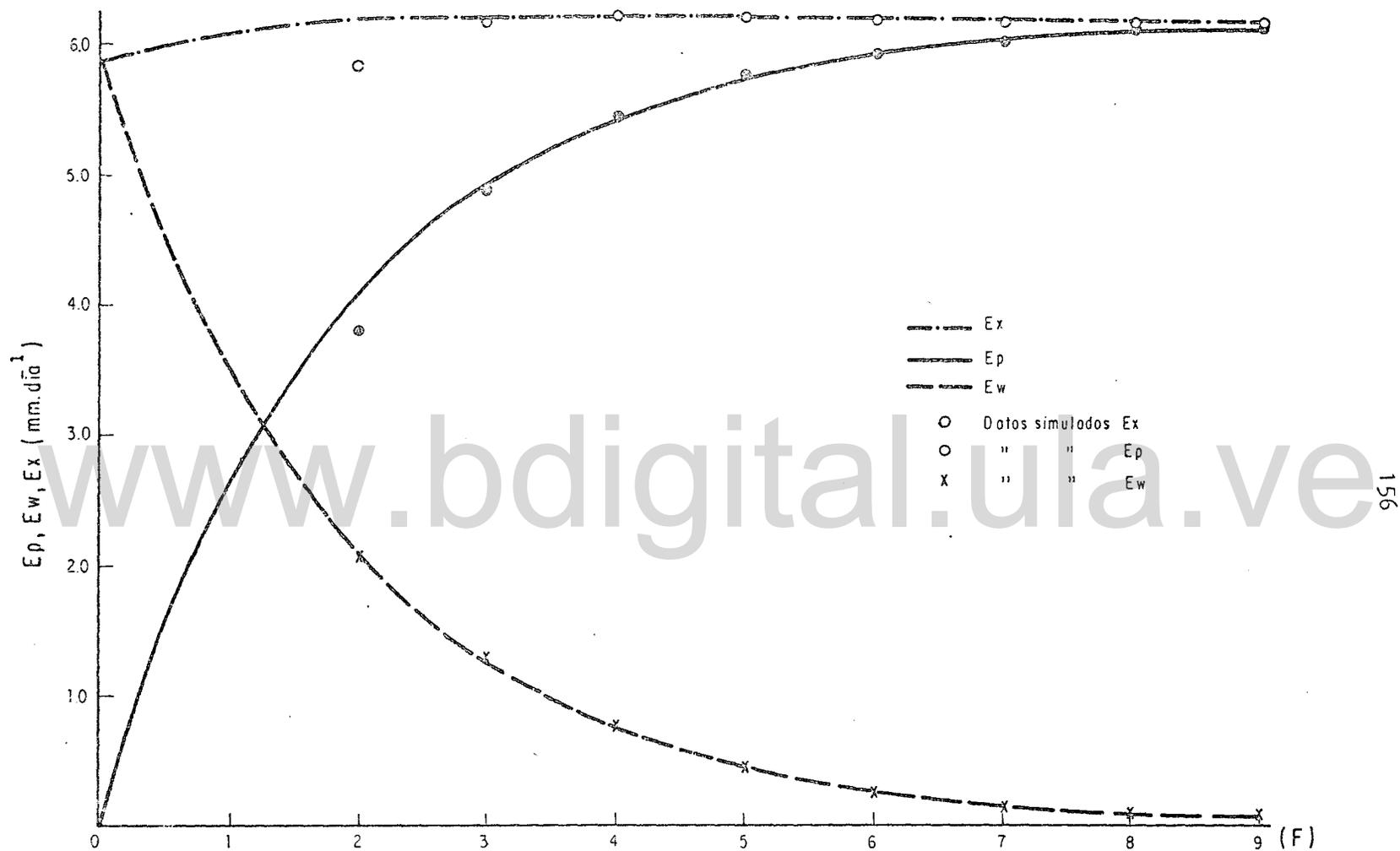


Figura.B.3 - Relación entre índice de área foliar (F) y Evapotranspiración (Ex), Transpiración (Ep) y Evaporación (Ew).
Fitotipo moderno, temporada seca.

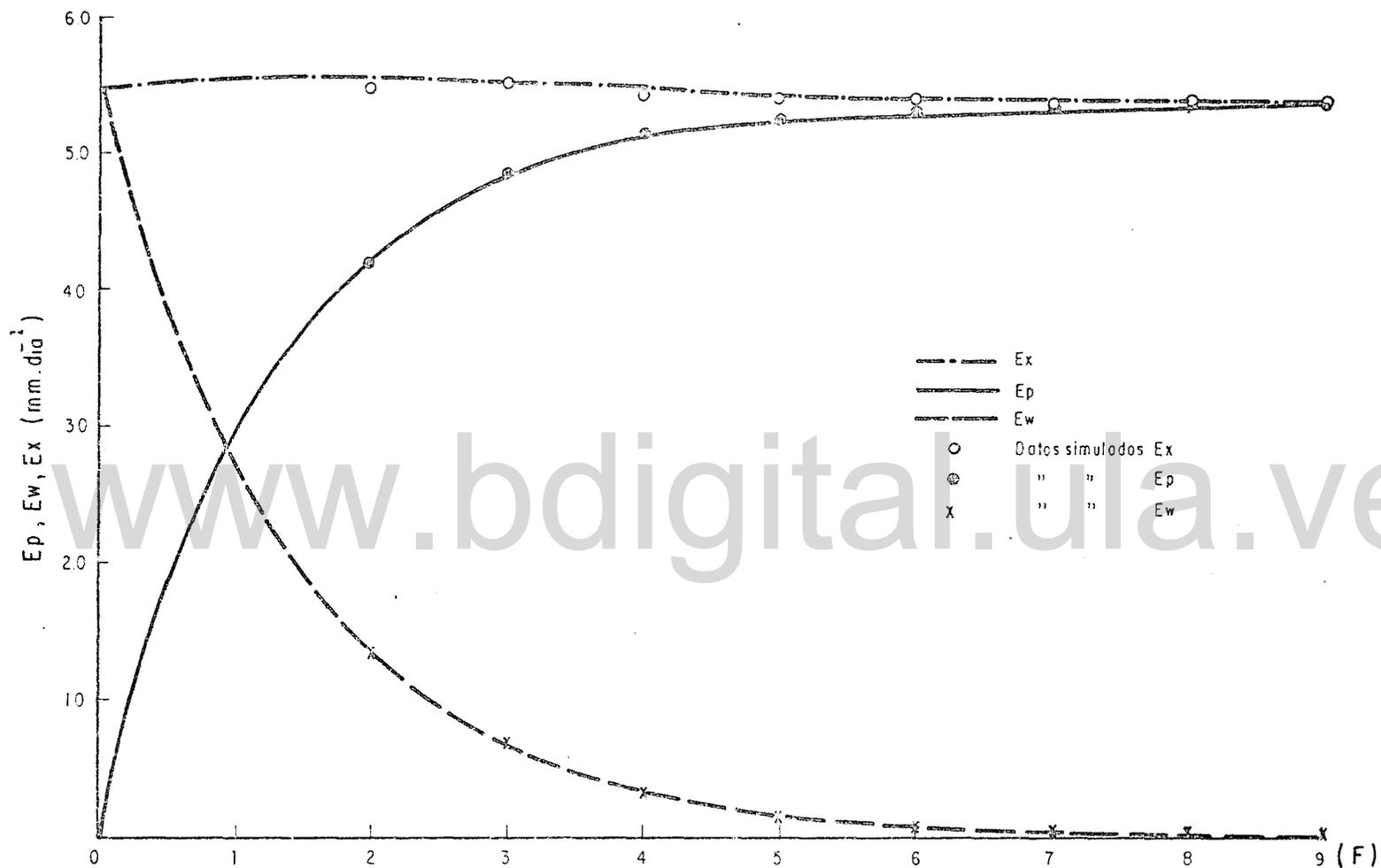


Figura.B.4. Relación entre índice de área foliar (F), Evaporación (Ew), Evapotranspiración (Ex) y Transpiración (Ep).
Fitotipo tradicional, temporada seca.

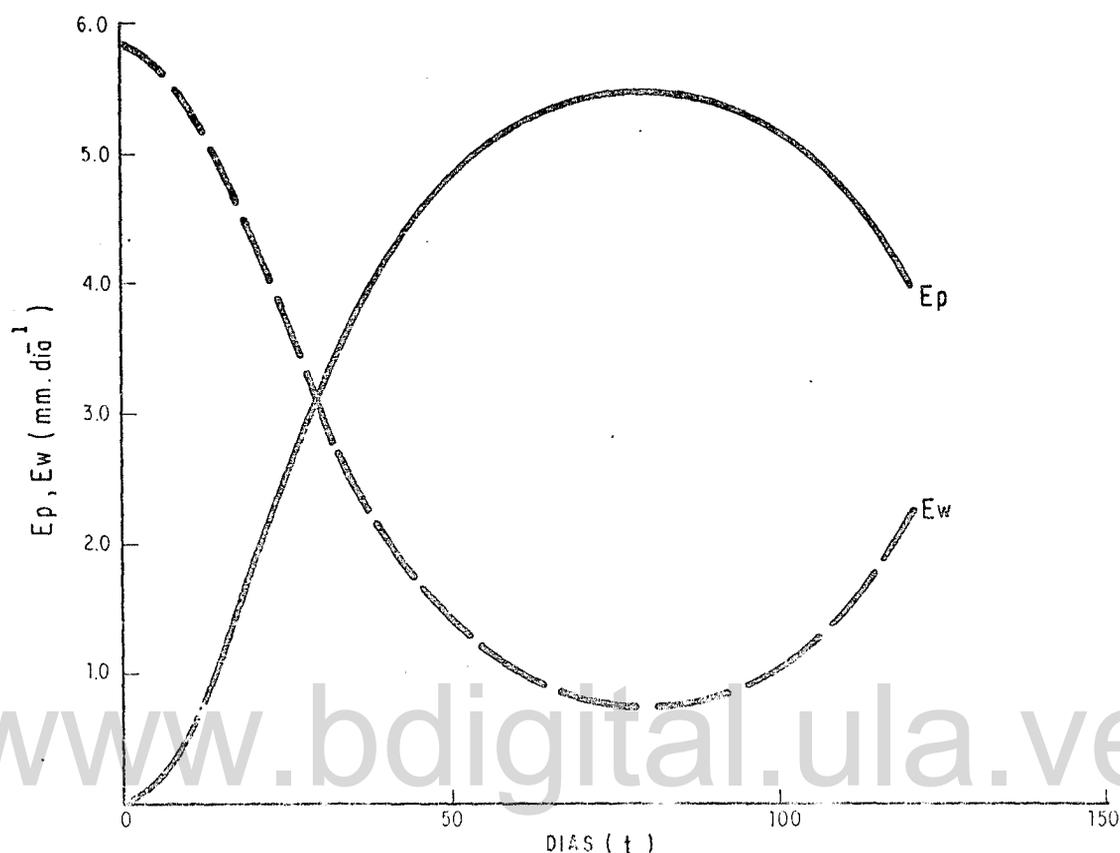


Figura B.7. Evolución de las tasas de Transpiración (E_p) y Evaporación (E_w).
Fitotipo moderno, temporada seca.

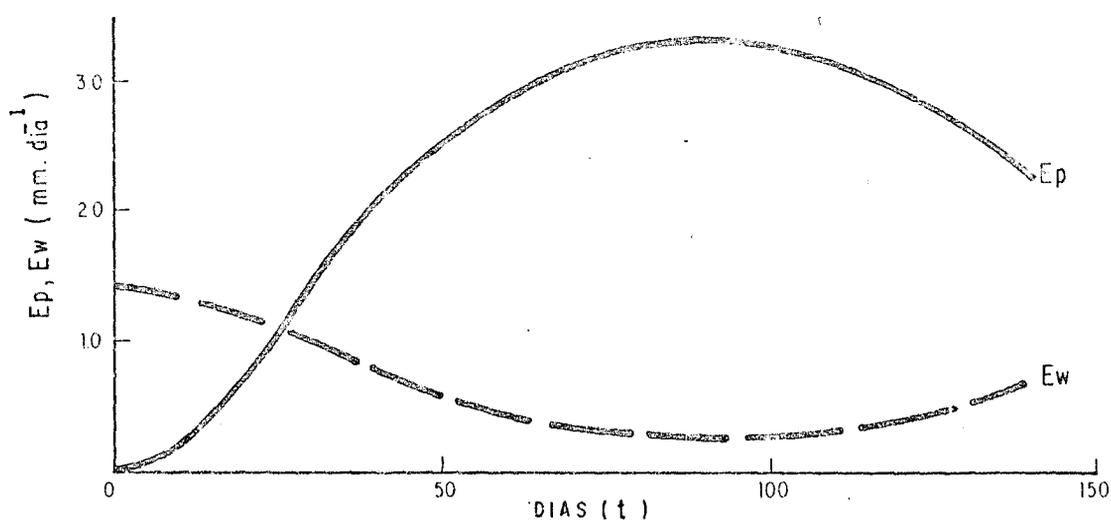


Figura B.5. Evolución de las tasas de Transpiración (E_p) y Evaporación (E_w).
Fitotipo moderno, temporada húmeda.

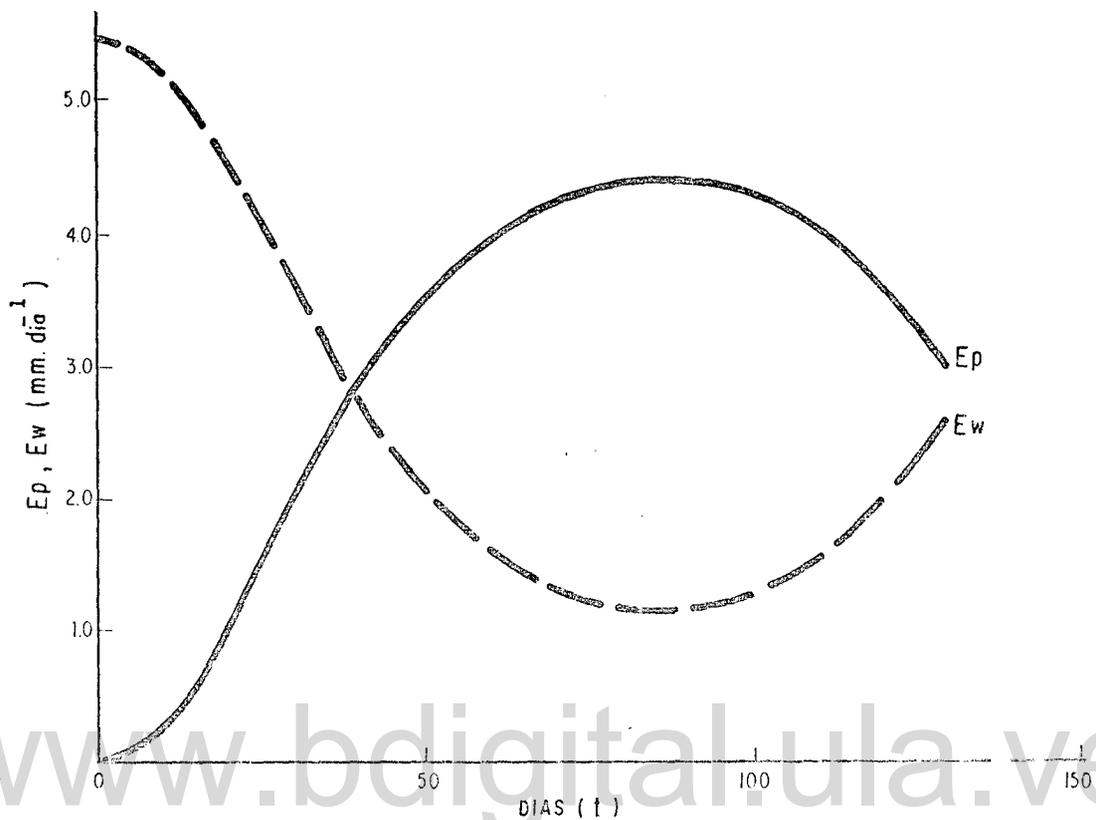


Figura B.8 . Evolución de las tasas de Transpiración (E_p) y Evaporación (E_w) .
Fitotipo tradicional, temporada seca .

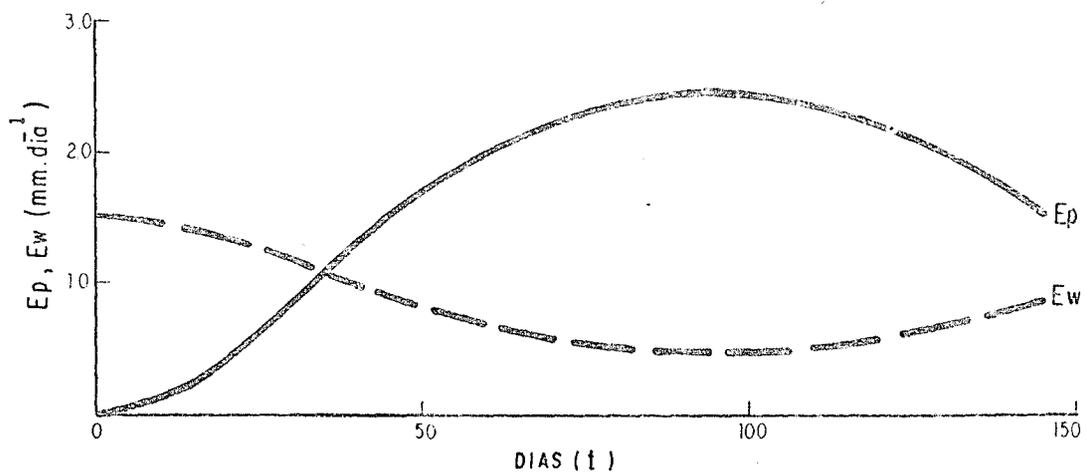


Figura B.6 . Evolución de las tasas de Transpiración (E_p) y Evaporación (E_w) .
Fitotipo tradicional, temporada húmeda .

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY - NC - SA 3.0 VE)

www.bdigital.ula.ve

APENDICE C

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY - NC - SA 3.0 VE)

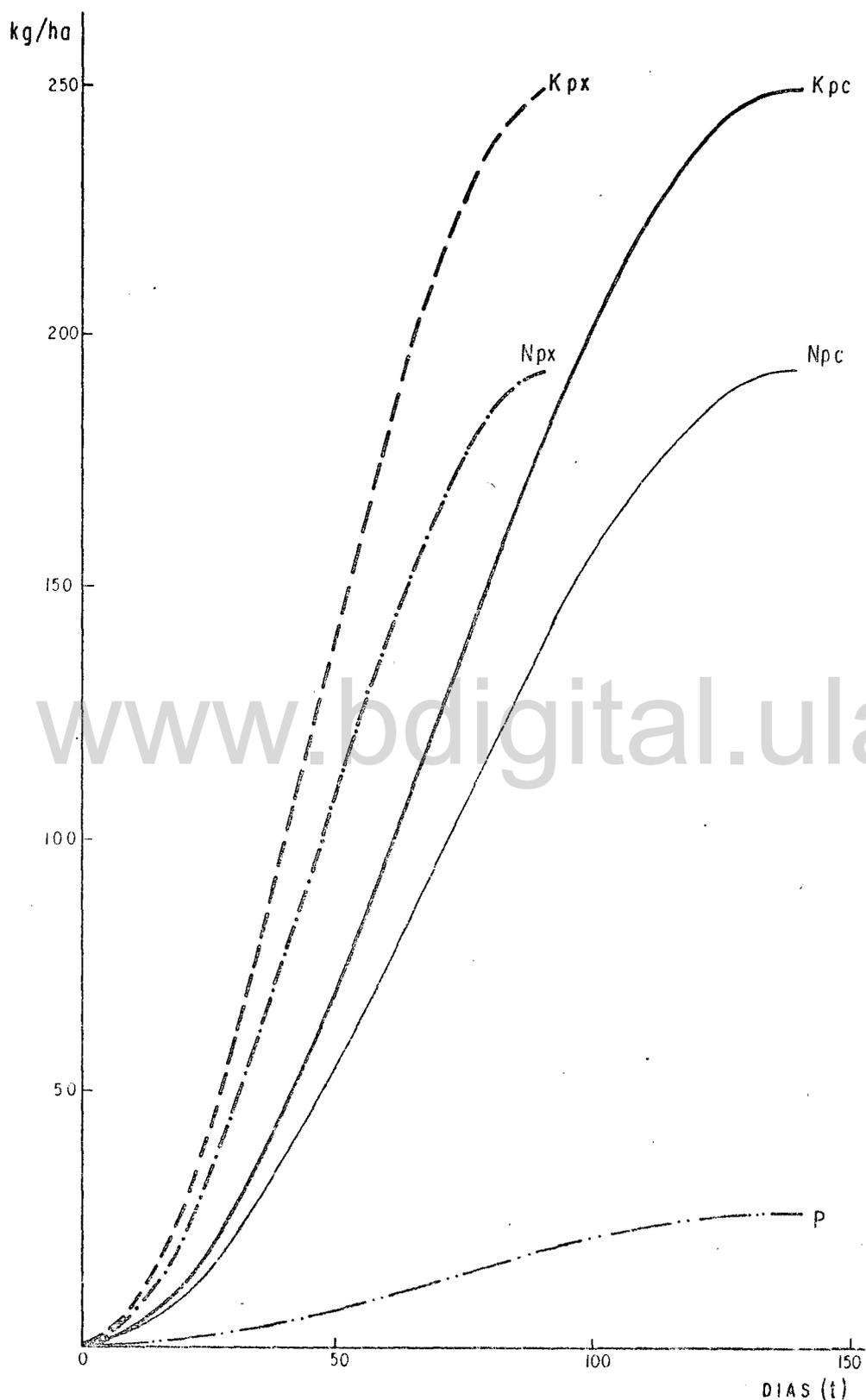


Figura.C.1. Evolución de las demandas de Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K) en relación al crecimiento (pc) y al desarrollo foliar (px). Fitolipo moderno, temporada húmeda.

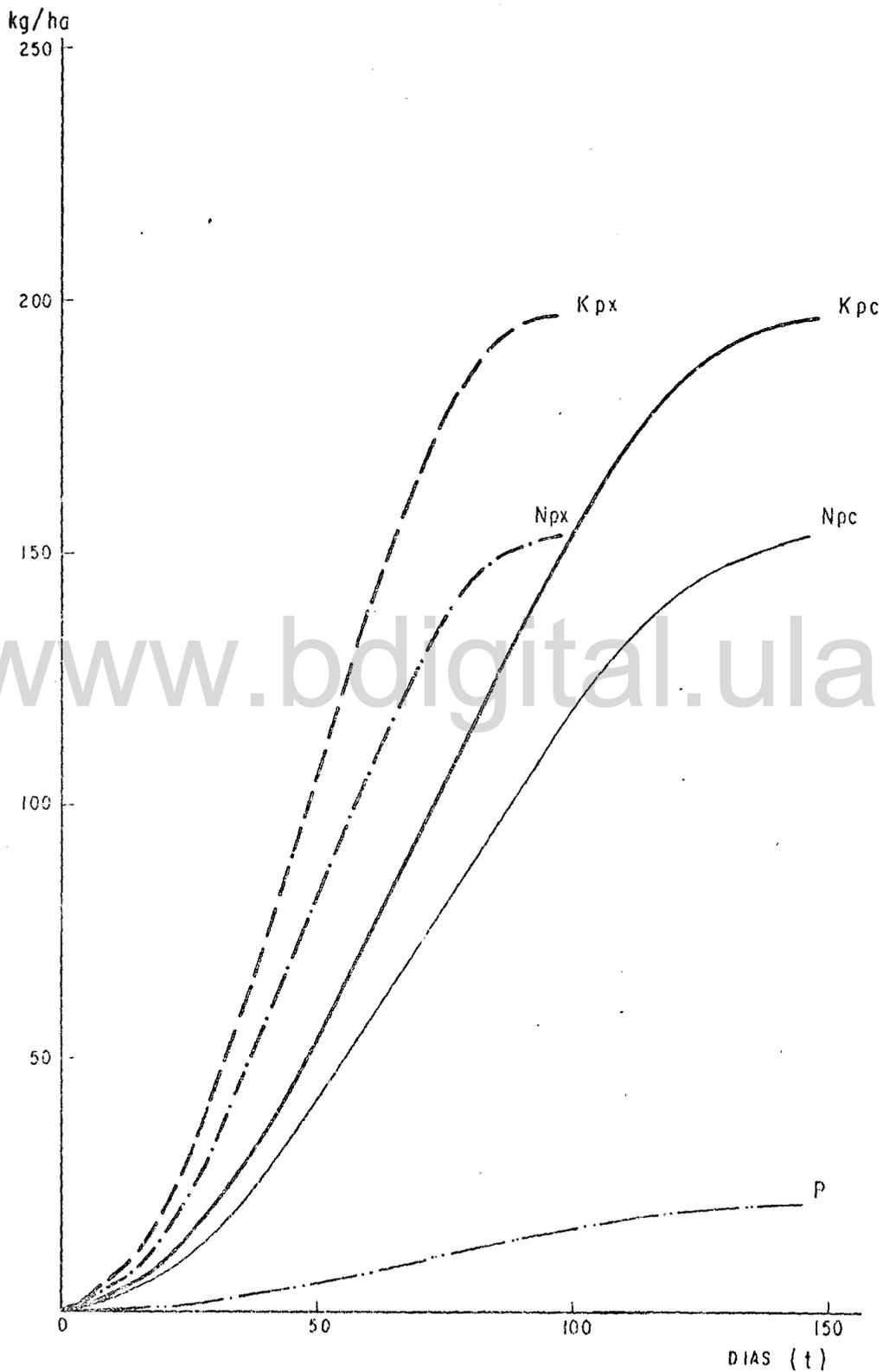


Figura.C.2 _Evolución de las demandas de Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K) en relación al crecimiento (pc) y al desarrollo foliar (px). Fitotipo tradicional, temporada húmeda.

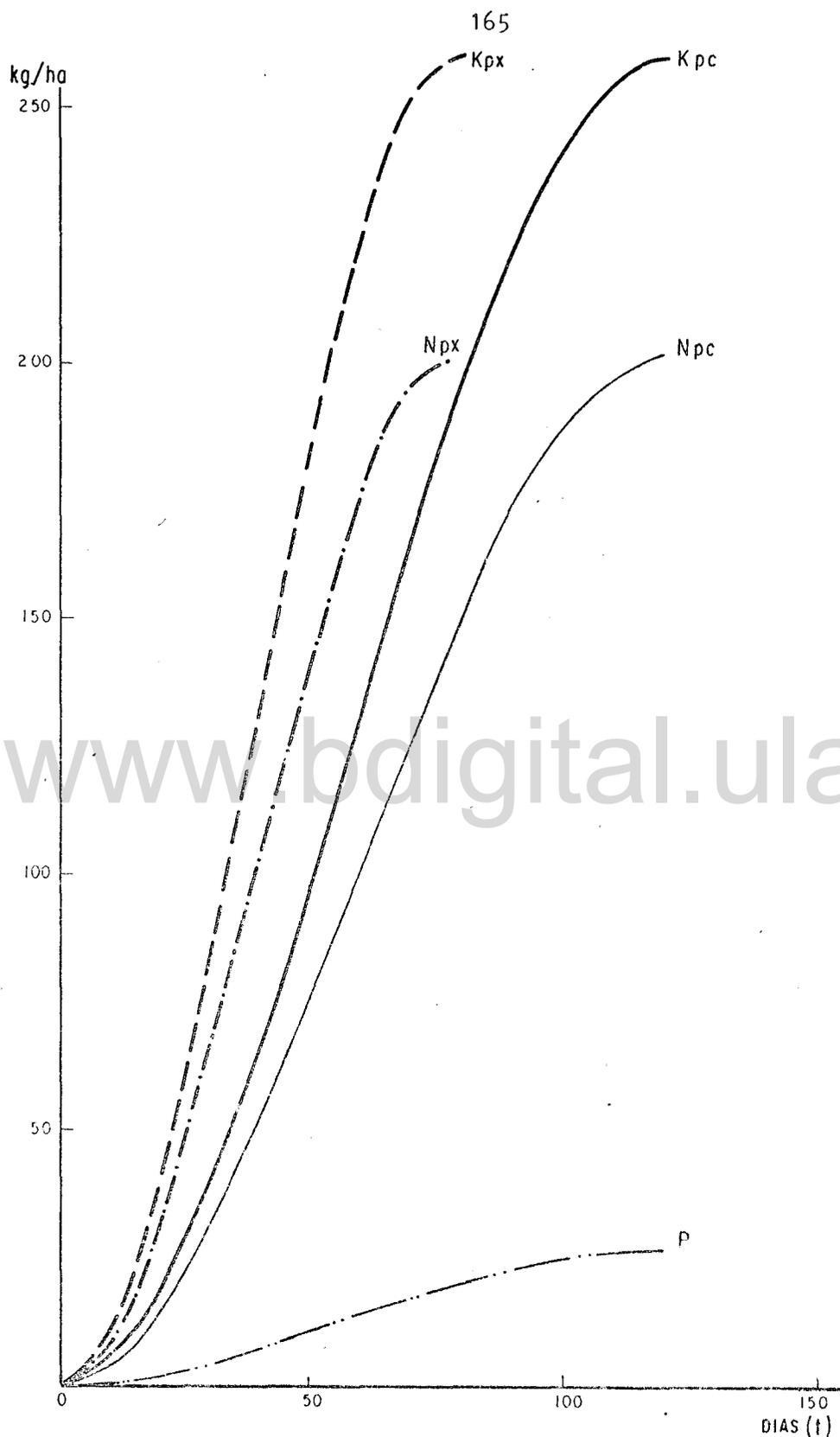


Figura C. 3 - Evolución de las demandas de Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K), en relación al crecimiento (pc) y al desarrollo foliar (px). Fitotipo moderno, temporada seca.

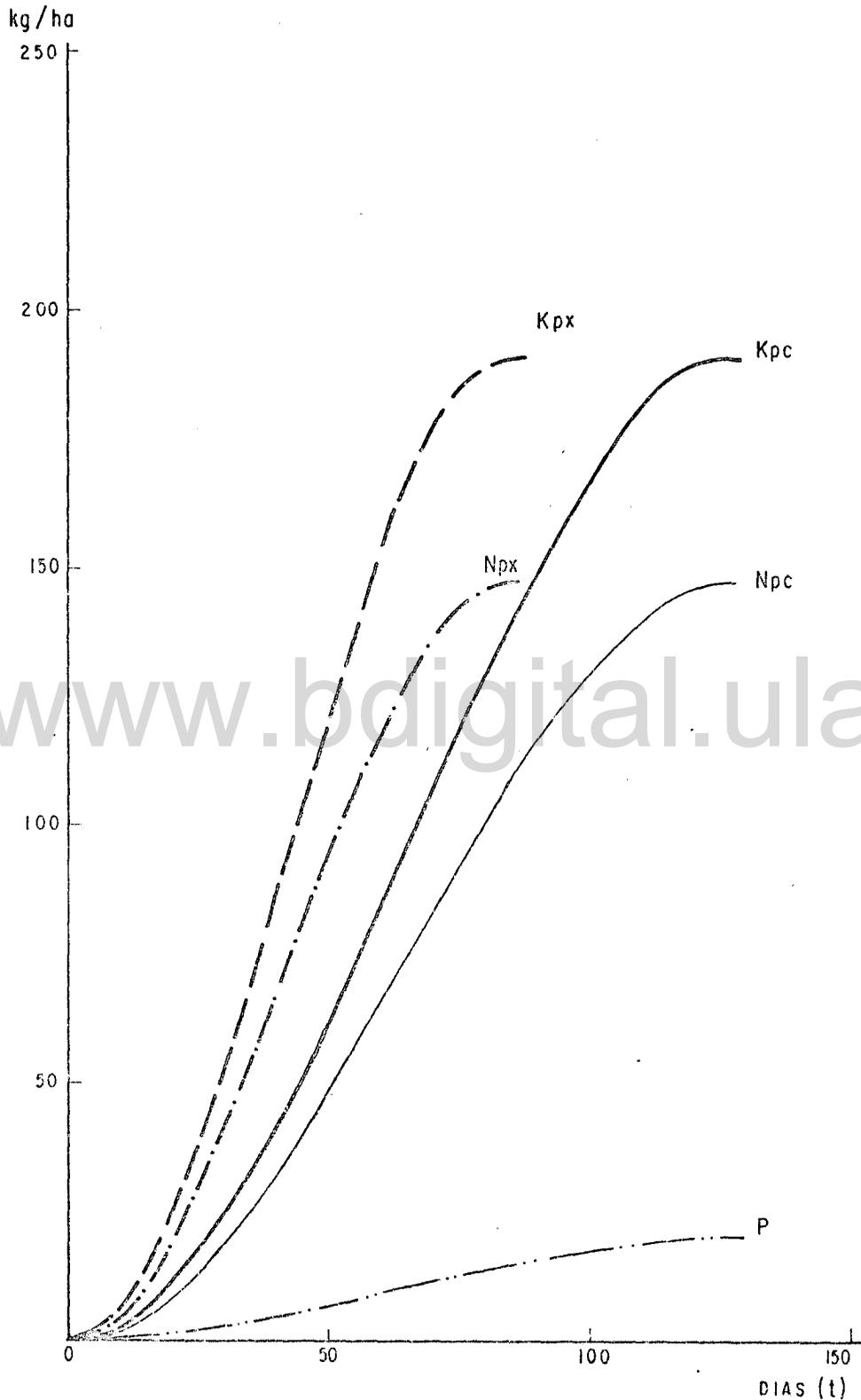


Figura.C.4_Evolución de las demandas de Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K) en relación al crecimiento (pc) y al desarrollo foliar (px). Fitotipo tradicional, temporada seca.

LITERATURA CITADA

- Agricultural Research Service. U.S. Department of Agriculture. 1973. Rice in the United States: Varieties and Production. Agriculture Handbook N° 289. Washington, D.C. 154 p.
- Alvarez, L. 1979. Material de enseñanza del Curso de Arroz. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales "Ezequiel Zamora" 75 p.
- Angladette, A. 1969. El arroz. Editorial Blume. Barcelona, España. 725 p.
- Anónimo, 1977. Agricultura de las Américas, 1977. Producen tres toneladas por hombre, a base de maquinaria y métodos modernos. Mayo: 28-32.
- Bannister, P. 1976. Introduction to physiological plant ecology. Oxford, Blackwell. 273 p.
- Beachel, H.M. y Barker, R. 1975. Producción, germinación y manejo de semillas. p. 65-74. En Universidad de las Filipinas (Ed). Cultivo del arroz. Manual de Producción. 1975. Limusa - México.
- Black, S.W. 1977. Riego Ud., no espere. Agricultura de las Américas. Agosto 1977. 18 p.
- Blair, G.J. Mamaril C.P. and Momaut E., 1978. Sulfur Nutrition of Wetland Rice. IRRI Research papers N° 21. 29 p.
- Bray, J.R. Sanger, J.E. y Archer, A.L. 1966. The visible albedo of surfaces in Central Minnesota. Ecology, 47(4): 524-531.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1978. Informe anual 1977. Cali (Colombia) p. D 1-17.
- Coly, A. 1980. Response of some rice varieties grown in west Africa to photoperiod. Japan, Jour. Crop. Sci. 49(3): 428-431.
- Chandler, R.F. 1969. Plant morphology and stand geometry in relation to nitrogen. p. 265-285. En Eastin J.D. (Ed). Physiological aspects of crop yield. 1969. Am. Soc. of Agr. Madison. Wis. U.S.A.
- Chang, J.H. 1971. Climate and agriculture. An ecological survey. Ed. Aldine. Chicago. 304 p.
- Chapman, A.L. 1969. The thermal environment in clear and turbid water in the Darwin region of Northern Australia in relation to the water seeding of rice. Agr. Meteorol., 6 : 231-243.

- Chapman, A.L. 1973. Diagnostic criteria for plants and soils. Chapman A.L. (Ed). Riverside. California. U.S.A. 753 p.
- Chartier, Ph. 1966. Etude du microclimat lumineux dans la végétation. Ann. Agron. 17(5): 571-602.
- Chaudhary, T.N. 1970. Influence of sumerged soil temperature regimes on growth. Agronomy Journal. 62(2): 281-285.
- Chaudhary, T.N. 1971. Temperature of sumerged soil as an edaphic factor in rice growth II Riso. 20(4); 309-319.
- Chaudhary, T.N. y Ghildyal B.P. 1970. Effect of temperature associated with levels of bulk density on rice seedling emergence. Plant and Soil 33: 87-91.
- Chaudhary, T.N. y Ghildyal B.P. 1971. Germination response of rice seeds to constant and alternating temperatures. Agronomy Journal. 61(2): 328-330.
- Cheaney, R.L. 1975. El manejo del cultivo de arroz. Presentado en un curso de Postgraduados de Técnicos de Suelos del CIDIAT. Mérida-Venezuela 16 p.
- Chirinos, A.V. 1975. Aspectos básicos de un programa de análisis de suelos con fines de fertilidad. CENIAP. Maracay - Venezuela. 76 p.
- De Wit, P. 1960. The Wageningen rice proyect in Surinam. Univ. Wageningen. Holland. 175 p.
- Evans, G.N. 1971. Evaporation from rice at Griffith, New SouthWales - Agr. Meteorol 8(2): 117-127.
- Evans L.T. 1978. Crops and world food supply and the physiological basis of crop yield. 349 p. En Evans L.T. (Ed). Crop Physiology. Some case histories. 1978. Cambridge University Press. London.
- Efferson, N.J. 1977. La producción de arroz: batió el record Por tercera vez Agricultura de las Américas. Enero, 1977: 24-26.
- Frissel, M.J. 1978. Cycling of mineral nutrients in agricultural ecosystems. Elsevier. Amsterdam. 178 p.
- Garavito, F. 1975. Cambios físico-químicos en suelos inundados. Arroz, Bogotá (Colombia) 24(255): 32-35.
- García, R.L. 1968. La físico química de los suelos inundados y la nutrición del arroz. IV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. México. 443-466 p.

- Garg, O.K. and Singh, B.P. 1971. Physiological significance of ascorbic acid in relation to drought resistance in rice. *Plant and Soil*. 34: 219-223.
- Gericke, W.F. 1929. Plant food requirement of rice. *Soil Sci.* 29: 207 - 219.
- Ghildyal, B.P. y Jana, R.K. 1967. Agro-meteorological environments affecting rice yield. *Agronomy Journal*, 59: 286-287.
- Grist, D.H. 1965. *Rice*. 4^a Ed. Longmans. Gran Bretaña. 548 p.
- Herath, W. y Ormrod D.P. 1965. Some effects of water temperature on the growth and development of rice seedlings. *Agr. Journal*. 57: 373-376.
- Hesketh, J. y Baker D. 1967. Light and carbon assimilation by plant communities. *Crop Science* 7: 285-325.
- Horie, T. 1981. System ecological studies on crop weather relationships in photosynthesis, transpiration and growth. *Bulletin of the National Institute of Agricultural Sciences*. Series A. N° 28.
- Horie T. 1980. Studies on photosynthesis and primary production of rice plants in relation to meteorological environments. III. A model for the simulation of net photosynthesis, transpiration and temperature of a leaf and a test of its validity. (*J. Agr. Met*) 35(4): 201-213.
- International Rice Research Institute, 1975. Nuevas variedades de arroz. 399-403 p. En Universidad de las Filipinas (Ed). *Cultivo del arroz. Manual de producción*. Limusa. México.
- International Rice Research Institute, 1976. Annual report for 1975. Los Baños. Philippines. 479 p.
- Ishizuka Y. 1965. Nutrients uptake at different stages of growth 206-210 p. En "The mineral nutrition of the rice plant". *Proc. Symps. IRRI*. John Hopkins Press. Baltimore.
- Ishizuka Y. 1969. Engineering for higher yields. 15-26 p. En Eastin, J.D. (Ed) *Physiological aspects of crop yield*. 1969. Am. Soc. of Agr. Madison Wis. U.S.A.
- Islam, A. 1970. Transformation of inorganic phosphorus in flooded soil under rice cropping. *Plant and Soil*, 33: 533-544.
- Islam, A and Ullah, S.M. 1973. Chemistry of submerged soils and growth and Yield of rice. *Plant and Soil* 39(3): 567-579.
- Israelsen O.W. y Hansen, V.E. 1965. *Principios y aplicaciones del riego* Ed. Reverté. Barcelona - España. 370 p.

- Jahnke L.S. and Lawrence, D.B. 1965. Influence of photosynthetic crown structure on potential productivity of vegetation, based primarily on mathematical models. *Ecology* 46(3): 319-326.
- Jana R.K. and Ghildyal, B.P. 1971. Effect of varying soil water regimes during the different growth phases on the yield of rice under different atmospheric evaporative demands. *II Riso*, 20(1): 31-37.
- Jana, R.K. and Ghildyal, B.P. 1972. Effect of varying soil water regimes during the different growth phases on the yield of winter rice. *II Riso* 21(1): 93-95.
- Kumbhar, D.D. and Sonar, K.R. 1979. Performance of rice (*Oryza sativa* L). Varieties grown under upland conditions. Dry matter accumulation and N, P, K, uptake and Fe and Mn, uptake, *Journal of Maharashtra Agricultural Universities*, 4(2): 182-190.
- Kuo, W.S. Tseng, W.P. and Young, Ch.Y. 1979. A study on the Agroclimatological division of paddy rice in Taiwan. *Meteorological Bulletin* 25(3): 1-10.
- Kuo W.S, Tseng WP, Young CH. Y. and Chen SH, 1980 The preliminary on the weather yield relationships for the forecasting models of paddy rice production in Taiwan. *Meteorological Bulletin* 26(1,2): 71-76.
- Luh B.S, 1980 Rice: Production and Utilization. AVI; Westport, Conn, 925 p.
- Leopold, A.C. and Kriedemann P.E. 1975. The Dynamics of Growth. 77-105 p. En Leopold; A.C.(Ed). *Plant growth and development*. 1975. Mc Graw Hill. New York.
- Leihner, D.E. y Cock J.H. Causes for anomalous wet dry season yield differences in lowland rice. *Crop. Science* 17(3): 391-395.
- Lenka D. 1978. Evapotranspiration and crop. Coefficient in rice. *Indian Journal of Agronomy* 23(4): 351-354. Orissa, India.
- Mabbayad, B.B y Obordo R.A. 1975. Preparación de las tierras. 99-102 p. En Universidad de las Filipinas (Ed). *Cultivo del arroz. Manual de producción*. Limusa - México.
- Martínez, C.P. 1980. Distribución y mantenimiento de variedades mejoradas de arroz. *Arroz, Bogotá (Colombia)* 29(307): 9-12.
- Menéndez, R.G. 1980. Identificación de alternativas de producción agrícola y determinación de sus requerimientos hídricos y minerales en la subregión de Portuguesa. Tesis para optar al grado de Magister Scientiae en Suelos y Riego. CIDIAT-ULA. Mérida. 109 p.

- Mian A.L. and Al-Mamun, A. 1970. A nonselective weedkiller as a substitute for tillage in production of Aman rice. *Agronomy Journal*, 62: 189-192.
- Milthorpe, F.L. y Moorby, J. 1975. *An introduction crop physiology*. Cambridge University Press. London.
- Ministerio de Agricultura, 1980. Normas para la certificación de Semilla de Arroz. *Arroz*, Bogotá 29(307): 29-32.
- Ministerio de Agricultura y Cría. 1966. Resultados experimentales de abonamiento en algunos cultivos y suelos de Venezuela. Dirección de Investigación. Centro de Investigaciones Agronómicas. Sección Suelos. Maracay Venezuela. 61 p.
- Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. 1979. Atlas de Venezuela. Dirección General de Información e Investigación del Ambiente. Dirección de Cartografía Nacional. 2da. Edición.
- Modgal, S.C. and Sebastián. 1971. Effect of seeding and transplanting up on the performance of three rice varieties. *El Riso* 20(2): 183-187.
- Monteith, J.L. 1969. Light interception and radiative exchange 102-110 p. En Eastin J.D. (Ed) *Physiological aspects of crop yield*, 1969. Am. Soc. of Agr. Madison. Wis. U.S.A.
- Moriwaki T. 1979. Effects of soil temperature on the vegetative growth of rice. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 13(1): 16-21.
- Murata, Y. 1969. Physiological responses to nitrogen in plants. 235-259 p. En Eastin J.D. (Ed) *Physiological aspects of crop yield*. 1969. Am. Soc. of Agr. Madison. Wis. U.S.A.
- Murata and Matsushima. 1978. Rice. 73-99 p. En Evans L.T. (Ed) *Crop Physiology. Some Case Histories*. Cambridge University Press. London.
- Norero, A. 1976. La evapotranspiración de los cultivos. Aspectos agrofísicos CIDIAT. Mérida. 80 p.
- _____ 1977a. La fitósfera: el ambiente físico de las plantas. *Ciencia e Investigación Agraria* 4(4): 263-272.
- _____ 1977b. Modelo para la interpretación cuantitativa de la relación entre la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos. CIDIAT Mérida. 16 p.
- _____ 1978. Fórmula para estudiar la influencia de la humedad del suelo en la productividad de los cultivos. CIDIAT - Mérida. 49 p.

- Norero, A. 1982. Material de enseñanza elaborado para el curso modelos agronómicos. CIDIAT. Mérida.
- Nakano, P.H., Galvão J.D., Silva J.C. y Cardoso A.A. 1980. Correlações fenotípicas, genotípicas e de ambiente en variedades de arroz. Revista Ceres 27(150): 188-195.
- Nangju D. and Datta de, S.K. 1970. Effect of time of harvest and nitrogen level on yield and grain breakage in transplanted rice. Agr. J. 62: 468-473.
- Ohno Y. 1976. Varietal differences of photosynthetic efficiency and dry matter production in Indica Rice. Technical Bulletin N° 9.
- Organización para la Agricultura y la Alimentación. 1978. Anuario de producción. Vol. 32.
- O'Toole J.C. and Cruz R.T. 1980. Response of leaf water potential, stomatal resistance, and leaf rolling to water stress. Plant Physiol. (65): 428-432.
- Owen P.C. 1971. The effects of temperature on the growth and Development of rice. Field crop abstracts, 24(1): 1 a 8.
- Pacardo, E.P. 1978. The effect of soil water stresses on selected rice varieties corn and sorghum. The Philippine Journal of Science 107(1-2): 33-39.
- Panda y Mahapatra I.C. 1972. Growth and development of rice plant. II Riso. 21(4): 315-334.
- Quevedo, R.I. 1981. Arroz. Superficie de cosecha, producción, rendimiento y precios. Años 1971-1981. 2-4 p. Caracas.
- Ricklefs R.E. 1967. A grafical method of fitting equations to growth curves. Ecology 48(6): 978-983.
- Rico G. 1978. CIARLLACEN I: Una nueva variedad de arroz. Agronomía Tropical 28(5): 509.
- Rodríguez de O.F., Chohaku S.G., Vieira M. y Borges P.J. 1979. Temperatura do solo, a 2 cm de profundidade, como resposta a temperatura do A R Revista Ceres. 26(144): 205-215.
- Rose C.W. and Chapman A.L. 1968. A physical analysis of diurnal temperature regimes in clear and turbid water layers: A problem in rice culture. Agr. Meteorol (5) 391-409.
- Saeki, T. 1967. Light relations in plant communities. 79-92 p. En Evans L.T (Ed). Environmental control of plant growth Academi press. New York.

- Sánchez P.A. 1976. Soil management in rice cultivation systems 413-477 p.
En Sánchez, P.A. (Ed) Properties & Management of Soil in the Tropics.
- Sánchez, L.F. 1980. Aspectos sobre suelos y fertilización del arroz de riego con énfasis en Colombia. Arroz, Bogotá (Colombia) 29(309): 22-31.
- Savant. N.K. and Kibe M.M. 1971. Influence of continuous submergence on pH exchange acidity and p.H. dependent acidity in rice soils. Plant and Soil 35 (1) 205-208.
- Scobie G.M. and Posada R. 1977. El impacto de variedades de arroz con altos rendimientos en América Latina con énfasis especial en Colombia. Cali. CIAT. 167. p.
- Sellers W.D. 1965. Physical climatology. Chicago Press, University of Chicago. 272 p.
- Seo T. and Yamaguchi, N 1968. A note on the evapotranspiration from a paddy field. Berichte des Ohara Instituts für Landwirtschaftliche Biologie. Bd. 14(3): 133-143.
- Shukla G.C. 1973. Effectiveness of different sources of phosphorus and phosphorus content of bluebelle rice. Plant and Soil. 39(2): 447-455.
- Singh P.M. and Pandya A.C. 1971. Study of spectral characteristics of intact rice leaves under controlled environment. Il Riso 20(4): 351-355.
- Singh M. and Singh S.P. 1980. Yield of submerged paddy and uptake of Zn, P and N as affected by liming and Zn fertilizers. Plant and Soil 56(1): 81-92.
- Stapleton H.N, Buxton D.R., Watson F.L. Nolting D.J. and Baker D.N. 1972. COTTON: A computer simulation of cotton growth. 1 a 124 p.
- Tanaka, A and Yamaguchi J. 1977. Producción de Materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento del grano en Maíz. Rama de Botánica. Colegio de postgraduados. Chapingo, México. 124 p.
- Therman G.L. Allen, S.E. and Engelstad. 1970. Response by paddy rice and sources of applied phosphorus. Agronomy Journal, 62: 390-394.
- Thenabadu, M.W. 1972. Influence of time and lever of nitrogen application on growth and yield of rice. Plant and Soil 39(1): 15-29.
- Thom, W.O; Miller T.C. and Bowman D.H. 1981. Foliar Fertilization of rice after midseason. Agronomy Journal 73(3): 411-414.

- Uchijima Z. 1976a. Maíz and Rice. 33-64 p. En Monteith, J.L. (Ed) Vegetation and the Atmosphere. Case studies. Vol 2. Academic Press. London.
- Uchijima, Z. 1976b. Microclimate of the rice crop, 115-140 p. Reprinted from Climate and Rice, International Rice Research Institute. Los Baños, Philippines.
- Universidad de Filipinas. 1975. Cultivo del arroz. Manual de producción. México, Limusa. Escuela de Agricultura de la Universidad de Filipinas. 430 p.
- Vamadevan, V.K. 1971. Temperature regimes under different water depths and their effects on the growth and yield of rice. *II Riso* 20 (1): 21-29.
- Vamadevan, V.K. and Dastane, N.G. 1972. Effects of different moisture regimes at various stages of growth on the yield of rice. *II Riso* 21 (4): 335 - 339.
- Vergara, B.S., Puranabhayung S. and Lilis R. 1965. Factors determining the growth duration of rice varieties. *Phyton* 22 (2): 177-185.
- Vergara B.S. 1975. Crecimiento y desarrollo de la planta. 33-53p. En Universidad de las Filipinas (Ed). Cultivo del arroz. Manual de producción. Limusa. México.
- Viamis J. and Davis A.R. 1943. Germination, growth and respiration of rice and Barley seedling. at low oxygen pressures. *Plant Physiol.* 685-692 p.
- Vlek, P.L.G. Hong C.W. and Youngdahl. 1979. An analysis of N nutrition on yield and yield components for the improvement of rice fertilization in Korea. *Agronomy Journal.* 71(5): 829-833.
- Wallihan E.F. and Moomaw. 1967, Selection of index leaf for studying the critical concentration of N in rice plants. *Agronomy Journal* (59): 473-475.
- Walsh L.M. y Beaton, J.D. 1973. Soil testing and plant analysis. Madison, Soil Science Society of América. 491 p.

Wrigley G. 1970. La maleza un problema serio en el cultivo del arroz. La Hacienda. 65 (7) N.Y.

Yamagishi , T; Okada, K; Hayashi, T; Kumura, A y Murata, Y. 1980. Cycling of carbon in a paddy field. Organic matter production and solar energy utilization in a rice plant population. Japanese Journal of Crop Science 49(2).

www.bdigital.ula.ve

4

www.bdigital.ula.ve