

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA  
SUBDIRECCIÓN GENERAL ADJUNTA DE ENSEÑANZA  
PROGRAMA DE POSGRADO

INVESTIGACIÓN FÍSICO-BIOLÓGICA Y VALIDACIÓN  
DE UN MODELO DE CRECIMIENTO DE SOJA  
(*Glycine max* (L) Merr.)

Tesis sometida a la consideración del Comité Técnico Académico del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar al grado de

***MAGISTER SCIENTIAE***

por

VICENTE RISTER

CATIE  
Turrialba, Costa Rica  
1989

Esta tesis ha sido aceptada, en su presente forma, por la Coordinación del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales Renovables del CATIE, y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

COMITE ASESOR:



---

José Arze Borda, M.Sc.  
Profesor Consejero



---

Carlos Ramírez Martínez, Ph.D.  
Miembro del Comité

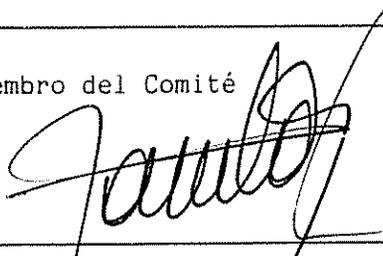


---

Donald L. Kass, Ph.D.  
Miembro del Comité

---

Miembro del Comité



---

Ramón Lastra Rodríguez, Ph.D.  
Coordinador, Programa de Estudios de Posgrado



---

Dr. José Luis Parisí  
Subdirector General Adjunto de Enseñanza



---

Vicente Rister  
Candidato

## DEDICATORIA

A mi esposa Delia Esther Lajetzky  
y  
a mis hijos Edgardo César y Silvana Mariné.

## RECONOCIMIENTO

Al INTA en nombre de Eugenio G. Imfeld y a la memoria de  
Vicente L. Torcasso.

A mi asesor principal de tesis José Arze Mag. Sc., por  
excelente guía y apoyo brindado.

Agradesco también a los miembros del Comité Asesor, Carlos  
Ramírez PhD. y Donald Kass PhD. por la colaboración  
brindada.

Al personal de la Estación Experimental de La Montaña.

Al personal del laboratorio de Fisiología Vegetal, por su  
apoyo y amistad.

A mis compañeros de estudios Roberto Valdivia y José Luis  
Russo.

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza  
(CATIE).

A directivos y personal de la Estación Experimental  
Diamantes. Guápiles.

## BIOGRAFIA

El autor nació en la localidad de J.J. Castelli (Chaco) en la República Argentina, el 12 de Septiembre de 1952.

Inició sus estudios primarios en la Escuela Nacional 255 en J.J. Castelli en 1958, concluyéndolos en 1964. Desde 1965 a 1969, desarrolla sus estudios secundarios como Bachiller con orientación pedagógica en la Escuela Nacional Nº 6 de J.J. Castelli.

En 1970 ingresa en la Facultad de Ciencias Agrarias (UNNE) de Corrientes, egresando como Ingeniero Agrónomo en 1976. Durante sus estudios, se desempeñó como docente, con el cargo de Auxiliar de Segunda Categoría.

En 1977-78 obtuvo una beca de Iniciación en la investigación (UNNE) desarrollando el trabajo "Abscisión de flores y frutos en tomate".

En 1978, ingresa al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) como Jefe de la Agencia de la Extensión Rural (AER), en Tres Isletas (Chaco).

En Septiembre de 1987, ingresó al Programa de Estudios de Posgrado del CATIE, egresando en Septiembre de 1989 con el grado de Magister Scientiae en Sistemas de Producción Agrícolas.

## CONTENIDO DE LA TESIS

RESUMEN	viii
SUMMARY	x
Lista de Cuadros	xii
Lista de figuras	xv
1. INTRODUCCION	1
1.1 Objetivos	3
1.2 Hipótesis	3
2. REVISION DE LITERATURA	
2.1 Soja	
2.1.1 Generalidades	4
2.1.2 Fenología del cultivo	5
2.1.2.1 Estados vegetativos	7
2.1.2.2 Estados reproductivos	8
2.2 Modelación	
2.2.1 Consideraciones generales sobre modelos	10
2.2.1.1 Definición e importancia de los modelos	10
2.2.1.2 Conceptos sobre calibración	11
2.2.1.3 Conceptos sobre validación	11
2.2.2 Modelos de simulación	
2.2.2.1 Generalidades	11
2.2.2.2 Modelos de simulación de soja	13
2.2.2.2.1 Modelo SOYGRO	14
3. MATERIALES Y METODOS	
3.1 Localización de la fase experimental en el campo	16
3.1.1 Etapa de calibración	16
3.1.2 Etapa de validación	16
3.2 Suelo	17
3.3 Descripción de los experimentos	
3.3.1 Material experimental	17
3.3.2 Tratamientos	17

3.3.3	Unidad experimental	19
3.3.4	Diseño experimental	20
3.4	Conducción de los experimentos	
3.4.1	Preparación del terreno	20
3.4.2	Siembra	21
3.4.3	Labores culturales	
3.4.3.1	Fertilización	22
3.4.3.2	Raleo	22
3.4.3.3	Deshierbe	22
3.4.3.4	Control fitosanitario	22
3.4.3.5	Cosecha	23
3.5	Recolección de la información	23
3.5.1	Clima	23
3.5.2	Suelos	24
3.5.2.1	Propiedades físicas	24
3.5.2.2	Propiedades químicas	25
3.5.3	Cultivos	
3.5.3.1	Estados vegetativos y reproductivos	25
3.5.3.2	Biomasa	25
3.6	Cultivares de soja	27
3.7	Análisis de los datos	28
3.8	Modelo SOYGRO	
3.8.1	Entrada y salida del modelo	28
3.8.2	Estructura del modelo	29
3.8.3	Descripción de las subrutinas principales	30
3.8.4	Estimación de los coeficientes genéticos	34
3.8.5	Propiedades de los perfiles de suelo	36
4.	RESULTADOS	
4.1	Componentes físico-biológicos	
4.1.1	Componentes físicos	
4.1.1.1	Clima	38
4.1.1.2	Suelo	42
4.1.1.2.1	Turrialba	
4.1.1.2.1.1	Características físicas	42
4.1.1.2.1.2	Características químicas	46

4.1.1.2.1.3	Perfiles de suelo	48
4.1.1.2.2	Guápiles	
4.1.1.2.2.1	Características físicas	51
4.1.1.2.2.2	Características químicas	56
4.1.2	Componentes biológicos	
4.1.2.1	Análisis de nitrógeno	56
4.1.2.2	Rendimiento de grano	58
4.2	Simulación y sistema real	64
4.2.1	Coefficientes genéticos	65
4.2.1.1	Variedad IAC-B	66
4.2.1.2	Variedad SIATSA 194-A	67
4.2.1.2.1	Tratamientos sin fertilización	68
4.2.1.2.2	Tratamientos con fertilización	68
4.2.2	Comprobación de la calibración	
4.2.2.1	Variedad IAC-B	68
4.2.2.2	Variedad SIATSA 194-A	71
4.3	Validación del modelo	74
5.	DISCUSION	
5.1	Clima	86
5.2	Suelo	88
5.3	Contenido de nitrógeno	89
5.4	Rendimientos de grano	90
5.5	Coefficientes genéticos	91
5.6	Calibración y validación	92
6.	CONCLUSIONES	94
7.	RECOMENDACIONES	95
8.	BIBLIOGRAFIAS CITADAS	96
9.	APENDICE	103

RISTER, V. 1989. Investigación físico-biológica y validación de un modelo de crecimiento de soja (*Glycine max* (L) Merr.). Tesis Mag. Sc., Turrialba, C.R., CATIE. 136 p.

Palabras claves: Soja, SOYGR0, calibración, validación, modelo, crecimiento, desarrollo y rendimiento.

### RESUMEN

Con el objetivo de calibrar y validar el modelo SOYGR0 usando las variedades IAC-8 y SIATSA 194-A, se llevaron a cabo cuatro experimentos de campo en las zonas de Turrialba (3) y Guápiles (1) en Costa Rica, durante el periodo de noviembre 1988 a junio de 1989.

En Turrialba, la información de 2 experimentos diseñados con tratamientos contrastantes: densidades (145000, 225000 y 320000 plantas/ha.) con y sin fertilización, se utilizó en la calibración del modelo para las variedades IAC-8 y SIATSA 194-A. En otros 2 experimentos realizados en Turrialba y Guápiles, se observó el comportamiento de las dos variedades con y sin fertilización a una densidad media (230000 plantas/ha.), para validar la información producida por el modelo.

Los coeficientes fototermales (VARTH 3, 4, 7 y 8), el área de una hoja (SIZELF) y la tasa de acumulación, de materia seca de vainas (SHVAR), fueron calculados por el IBSNAT con valores distintos para las dos variedades. Se modificó la tasa de llenado de granos (SDVAR) de 6 a 7,5 y vainas (SHVAR) de 11 y 13 a 15 para las variedades IAC-8 y SIATSA 194-A, respectivamente. El número de granos por vaina

Para ajustar las variaciones de la biomasa total y suplir la falta de la subrutina de nitrógeno, se modificó el coeficiente PHFAC3 de 1 a 1,03 en la variedad IAC-8 y de 1 a 1,05 y 1,15 para los tratamientos sin fertilizar y fertilizados de la variedad SIATSA 194-A, respectivamente.

Con la calibración de la variedades, el modelo simuló adecuadamente los rendimientos de grano, biomasa seca total y de hojas en condiciones contrastantes de densidad, fertilidad, épocas de siembra y bajo dos condiciones edafoclimáticas diferentes.

RISTER, V. 1989. Physical and biological investigation and validation of a model of soybean (*Glycine max* (L) Merr.) growth. M.S. thesis, Turrialba, C.R., CATIE. 136 p.

Keys words: Soybean, SOYGRO, calibration, validation, model, growth, development and yield.

#### SUMMARY

The objective of this work was to calibrate and validate the SOYGRO model using the IAC-8 and SIATSA 194-A varieties, four experiments were conducted in the areas of Turrialba (3) and Guápiles (1) of Costa Rica, during November 1988 and June 1989.

In Turrialba, the information from two experiments designed with contrasting treatments: densities (145000, 225000 and 320000 pl/ha.) with and without fertilisation, were utilised in the calibration of the model, for the varieties IAC-8 and SIATSA 194-A. In the other two experiments realised in Turrialba and Guápiles, observations were made on the performance of the two varieties with and without fertilisation at mean density (230000 pl/ha.), in order to validate the information produced by the model.

The photothermal coefficients (VARTH 3, 4, 7 and 8), the leaf area (SIZELF) and the rate of pod dry matter accumulation (SHVAR), were calculated by IBSNAT with distinct values for the two varieties. The rate of seed filling (SDVAR) was modified from 6 to 7,5 and pods (SHVAR) from 11 and 13 to 15 for varieties IAC-8 and SIATSA 194-A, respectively. The number of seeds per pods (SDPDVR) was modified in the variety SIATSA 194-A from 2,10 to 1,95.

In order to adjust the variations in total biomass and to substitute for the absence of subroutine nitrogen, the PHFAC3 coefficient was modified from 1 to 1,03 for the

variety IAC-8, and from 1 to 1,05 and 1,15 for the treatments without and with fertilisation of the variety SIATSA 194-A, respectively.

With the calibration of the varieties, the model adequately simulated: grain yields, total dry biomass and leaves, in contrasting conditions of density, fertility, sowing dates and under two different soil and climatic conditions.

## LISTA DE CUADROS

Cadro Nº

Página Nº

1. Estados vegetativos de la soja.....	7
2. Estados reproductivos de la soja.....	9
3. Tratamientos del experimento de calibración (Exp. 01) en Turrialba. Cultivar IAC8.....	18
4. Tratamientos del experimento de calibración (Exp. 02) en Turrialba. Cultivar SIATSA 194-A.....	18
5. Tratamientos de los experimentos de validación (Exp. 03 y 04).....	19
6. Entradas y variables calculadas para un perfil de suelo.....	36
7. Promedios diarios de temperatura mínima y máxima, radiación y precipitación mensual. Turrialba, Costa Rica.....	39
8. Promedios diarios de temperatura mínima y máxima, radiación y precipitación mensual. Diamantes, Guápiles, Costa Rica.....	39
9. Comparación de rendimientos observados y simulados (kg/ha), utilizando tres perfiles de suelo.....	49
10. Descripción de los umbrales de humedad y el factor de enraizamiento del perfil del suelo Turrialba Clay.....	49
11. Relación agua disponible y rendimiento simulado.....	50
12. Análisis de varianza del experimento de grano de la variedad IAC-8 (Exp. 01), en Turrialba.....	59
13. Análisis de varianza del rendimiento de grano de la variedad SIATSA 194-A (Exp. 02), en Turrialba.....	63
14. Análisis de varianza del rendimiento de grano del experimento de validación (Exp. 03), en Turrialba....	63
15. Análisis de varianza del rendimiento de grano del experimento de validación (Exp. 04), en Guápiles....	64

16. Resultados de la calibración de la variedad IAC-8 Turrialba.....	69
17. Calibración de la biomasa total y rendimiento de grano de la variedad IAC-8. Turrialba.....	70
18. Calibración de la variedad SIATSA 194-A, sin fertilización.....	72
19. Calibración de la variedad SIATSA 194-A, con fertilización.....	73
20. Biomasa seca de hojas y total, rendimiento de granos observados y simulados, en Turrialba (Exp. 03).....	75
21. Biomasa seca total y rendimiento de granos observados y simulados en Guápiles.....	76
22. Resultados observados y simulados en R8, para los experimentos de validación.....	85

#### APENDICE

1A. Datos diarios de radiación, precipitación, temperatura máxima y mínima. Turrialba.....	121
2A. Datos diarios de radiación, precipitación, temperatura máxima y mínima. Diamantes - Guápiles..	126
3A. Características físicas del perfil de suelo de Turrialba.....	129
4A. Características químicas del perfil de suelo de Turrialba.....	129
5A. Determinación del punto de marchitez permanente por el plato de presión, a 1500 kPa.....	130
6A. Determinación de la capacidad de campo por el método de presión, a 33 kPa.....	130
7A. Características físicas del perfil del suelo de la Estación de Guápiles.....	131
8A. Características químicas del perfil del suelo de la Estación de Guápiles.....	131

9A. Análisis de Nitrógeno de la parte aérea de la planta, de la variedad IAC-8.....	132
10A. Análisis de Nitrógeno de la parte aérea de la planta, de la variedad SIATSA 194-A.....	132
11A. Rendimiento final (kg/ha) de los experimentos de calibración. Turrialba.....	133
12A. Rendimiento final (kg/ha) de los experimentos de validación. Turrialba y Guápiles.....	133
13A. Resultados de las diferentes calibraciones de la variedad IAC-8.....	134
14A. Cálculo del SDVAR de la variedad IAC-8.....	135
15A. Calibración de la variedad SIATSA 194-A, sin fertilización.....	136
16A. Calibración de la variedad SIATSA 194-A, con fertilización.....	136
17A. Cálculo del SDVAR de la variedad SIATSA 194-A.....	135

## LISTA DE FIGURAS

Figura N<sup>o</sup>

Página N<sup>o</sup>

1. Variación de la temperatura máxima y mínima (°C) de los experimentos de validación de un modelo de soja (*Glycine max* (L) Merr.).....41
2. Precipitaciones acumuladas (mm) de los experimentos de calibración y validación de un modelo de soja (*Glycine max* (L) Merr.). Evolución de los estados vegetativos y reproductivos. Costa Rica.....43
3. Contenido de agua a saturación (PS), capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMF), determinados por el plato de presión. Turrialba.....44
4. Contenido de agua a saturación (PS), capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMF) para el suelo de Turrialba Clay. Turrialba, Costa Rica.....45
5. Contenido de materia orgánica, por estrato de suelo. Turrialba.....46
6. Contenido de nitrógeno total (gr/kg), amonio (ppm) y nitratos (ppm), por estrato de suelo. Turrialba, Costa Rica.....47
7. Relación entre el agua disponible para las plantas y el rendimiento simulado (kg/ha).....52
8. Contenido de arena, arcilla y limo por estratos de suelo. Diamantes, Guápiles, Costa Rica.....53
9. Contenido de agua por estratos de suelo. Estación Exp. Guápiles, Costa Rica.....54
10. Relación entre el contenido de agua disponible en el suelo (mm) y la evolución de los estados vegetativos y reproductivos de los experimentos de calibración y validación de soja (*Glycine max* (L) Merr.). Costa Rica.....55

11. Contenido de materia orgánica por estratos de suelo. Diamantes, Guápiles, Costa Rica.....	57
12. Contenido de Nitrógeno total (gr/kg), Amonio (ppm) y Nitratos (ppm) por estratos de suelo. Diamantes, Guápiles, Costa Rica.....	57
13. Contenido de nitrógeno en planta. Estado V4 de la variedad IAC-8.....	60
14. Contenido de nitrógeno en planta. Estado R4 de la variedad IAC-8.....	60
15. Contenido de nitrógeno en planta. Estado R8 de la variedad IAC-8.....	61
16. Contenido de nitrógeno en planta. Estado V4 de la variedad SIATSA 194-A.....	61
17. Contenido de nitrógeno en planta. Estado R4 de la variedad SIATSA 194-A.....	62
18. Contenido de nitrógeno en planta. Estado R8 de la variedad SIATSA 194-A.....	62
19. Resultados observados y simulados del tratamiento IAC-8, sin fertilización. Turrialba (Exp. 03).....	77
20. Resultados observados y simulados del tratamiento IAC-8, con fertilización. Turrialba (Exp. 03).....	78
21. Resultados observados y simulados del tratamiento SIATSA 194-A, sin fertilización. Turrialba (Exp. 03).....	79
22. Resultados observados y simulados del tratamiento SIATSA 194-A, con fertilización. Turrialba (Exp. 03).....	80
23. Resultados observados y simulados del tratamiento IAC-8, sin fertilización. Guápiles (Exp. 04).....	81
24. Resultados observados y simulados del tratamiento IAC-8, con fertilización. Guápiles (Exp. 04).....	82
25. Resultados observados y simulados del tratamiento SIATSA 194-A, sin fertilización. Guápiles (Exp. 04).....	83
26. Resultados observados y simulados del tratamiento SIATSA 194-A, con fertilización. Guápiles.....	84

## APENDICE

1A.	Programa principal del SOYGRO. Subrutina GRO.FOR.....	103
2A.	Diagrama de flujo de la subrutina CROP.FOR.....	107
3A.	Diagrama de flujo de la subrutina GPHEN.FOR.....	110
4A.	Diagrama de flujo de la subrutina PHOTO.FOR.....	117
5A.	Diagrama de flujo de la subrutina GROW.FOR.....	119

## 1. INTRODUCCION

La investigación agrícola, bajo el enfoque reduccionista, sufrió una especialización progresiva, materializándose a través de los "paquetes tecnológicos", que fueron una conjunción de técnicas de diferentes especialidades (Moreno, 1977; Bazan, 1976; Saravia, 1985).

La tecnología generada bajo el enfoque reduccionista, al no considerar diferencias existentes entre tipos de productores por la disponibilidad y accesibilidad de los recursos, realidad socioeconómica, etc., sus resultados en elevar la producción no fueron los esperados, salvo casos especiales (Piñeiro y Trigo, 1977; Moreno, 1977). Además, la investigación por programas presupone, cierta capacidad empresarial de los productores para realizar los ajustes necesarios al adoptar la nueva tecnología, con lo cual se introduce un sesgo en la transferencia hacia empresas que tengan esta capacidad de adaptación (Piñeiro y Trigo, 1977).

Otro problema que reduce los esfuerzos para mejorar los niveles de producción de cultivos alimenticios es la dificultad para integrar adecuadamente la información producida por las diferentes especialidades, limitando las posibilidades de ofrecer alternativas tecnológicas que favorezcan la producción sostenida sin destrucción de los recursos naturales, especialmente en aquella agricultura desarrollada bajo condiciones de marginalidad (Arze, 1987).

Conceptualizar e investigar la producción agrícola en forma de sistema, permite establecer las interacciones entre componentes, y por lo tanto, determinar cuáles son los factores que inciden mayormente en la calidad y cantidad de los productos (salidas del sistema). De esta manera es posible establecer un orden de prioridades en la investigación y transferencia (Moreno et al., 1976).

Tanto productores, investigadores, como los planificadores están interesados en predecir los rendimientos de los cultivos; así como, predecir el comportamiento que sufrirá el sistema ante algunos cambios.

La técnica de simulación se está usando cada vez más, por los beneficios que brinda a la investigación y transferencia, en el sentido que permite hacer comparaciones válidas entre múltiples alternativas, ya que al introducir cambios en las variables, permite estudiar su influencia sobre el conjunto del sistema.

Dada la creciente explosión demográfica, hace cada vez más notorio la necesidad de aumentar la producción de alimentos, en especial los proteínicos. El cultivo de la soja, constituye una alternativa para reducir la deficiencia proteínica. Esta leguminosa contiene todos los elementos nutritivos que el hombre necesita para vivir. El grano de soja contiene entre un 38 a 45% de proteína. Con la harina se elaboran diversos productos alimenticios, tales como carne, leche, pan, galletas, alimentos para infantes y otros, posibilitando un mejor balance alimenticio (Quesada Herrera, 1984).

SOYGRD, es un modelo de simulación del crecimiento y desarrollo de la soja para diferentes condiciones del medio ambiente, suelo y clima. El modelo validado en condiciones tropicales permitiría detectar áreas potenciales para este cultivo y desarrollar mejores y más confiables alternativas de manejo.

### 1.1 Objetivos

1) Calibrar el modelo SOYGRD para simular el crecimiento, desarrollo y rendimiento de grano de los cultivares IAC-8 y SIATSA 194-A, con los datos aportados en la etapa de investigación físico-biológica, en Turrialba (Costa Rica).

2) Validar el modelo SOYGRD bajo las condiciones edafoclimáticas de Turrialba y Guápiles, en Costa Rica.

### 1.2 Hipótesis

1) La información provista por la investigación físico-biológica permite calibrar el modelo.

2) El modelo predice con alta aproximación los datos observados para la variable rendimiento de grano, bajo las condiciones tropicales.

## 2. REVISION DE LITERATURA

### 2.1 Soja

#### 2.1.1 Generalidades

El cultivo de la soja constituye, una alternativa para reducir la deficiencia proteínica, porque contiene todos los elementos nutritivos que el hombre necesita para vivir. El grano de la soja provee entre un 38 a 45 % de proteína. Con la harina se elaboran diversos productos alimenticios tales como carne, leche, pan, galletas y otros, posibilitando un mejor balance alimenticio.

En Costa Rica el Ministerio de Agricultura y Ganadería, la Universidad de Costa Rica, la Misión China y CARE, desde 1968 ejecutaron programas de experimentación con el cultivo de la soja. El año 1979, es considerado como fecha inicial del cultivo comercial de la soja con 160 Has. y una producción de 1.1 a 1.6 toneladas por hectárea. Anualmente esta superficie se fue ampliando llegando en 1983 a sembrarse 1680 Has. con una producción de 2688 toneladas (Quesada Herrera, 1984).

El cultivo de la soja se presenta como una alternativa potencial para las áreas del trópico bajo húmedo, por ser una planta más tolerante que el frijol común y otras leguminosas a las condiciones propias de esta zona como son: altas precipitaciones y exceso de humedad en el suelo (Herrera, et, al., 1985).

En el CATIE se realizaron varios trabajos de tesis con el fin de estudiar el comportamiento de la soja en asocio con otros cultivos (Fuenmayor Fuenmayor, 1985; Morales

Gonzalez, 1987). Gomez Rodriguez (1988), evaluó el cultivo de maíz en monocultivo y asociados con soja, validando el modelo CERESN.

### 2.1.2 Fenología del cultivo

Durante el desarrollo de la planta, la soja está expuesta a diversos factores que pueden acelerar o retardar su desarrollo y productividad. La respuesta de la planta a las condiciones del medio ambiente, depende del estado de desarrollo. El fotoperiodo y la temperatura ejercen un fuerte control del desarrollo de la soja (Villalobos, 1984; Jones *et al.*, 1984).

La soja es una especie de "día corto", siendo la sensibilidad al fotoperiodo diferente entre los cultivares. Esta variabilidad en el requerimiento al fotoperiodo, determinan su clasificación en grupos de madurez. En Estados Unidos las variedades de soja se dividen en grupos que van desde 00 a X. El grupo 00 es el más precoz y el X el más tardío. Las variedades tardías son las que mejor se adaptan a las zonas tropicales. (Villalobos, 1984; Monge Villalobos, 1987; Madrigal Aguilar, 1983).

En Costa Rica (8° a 11°15' latitud Norte) la duración del día y de la noche es muy semejante y en el transcurso del año la variación es poca. Existen variedades de soja que no responden al fotoperiodo, por lo cual pueden sembrarse en cualquier época del año (Montero y Mata, 1988).

Los cultivares se diferencian por su hábito o tipo de crecimiento, originando diferencias importantes en el desarrollo de la planta. En general, se describen dos hábitos de crecimiento: determinado e indeterminado (Alfaro, 1984, Ferh y Caviness, 1977). En cambio, Villalobos 1984,

describe, además de los anteriores, el tipo semideterminado, presentando un patrón de crecimiento intermedio.

Los cultivares de crecimiento determinado crecen muy poco en altura después del inicio de la floración. Esta ocurre, aproximadamente, al mismo tiempo en todas partes de la planta, generando un desarrollo similar de vainas y semillas a lo largo de las plantas. Todas las hojas son del mismo tamaño. En el nudo terminal del tallo principal forma un largo racimo de flores que producen gran cantidad de semillas (Fehr y Caviness, 1977; Villalobos, 1984).

En cambio, los cultivares de hábitos indeterminado alcanzan menos de la mitad de su crecimiento cuando comienza la floración, produciéndose tallos, ramas, hojas, flores, vainas y semillas en forma simultánea. Sin embargo, el desarrollo de vainas y semillas avanza más rápido en la parte inferior de la planta. Las hojas, en la parte superior, son más pequeñas y tienen unas pocas vainas en el nudo terminal (Fehr y Caviness, 1977; Villalobos, 1984).

Para la determinación de los estados vegetativos o reproductivos, se requiere la identificación de los nudos, por ser un carácter permanente en el desarrollo de la planta. Un nudo es la parte donde se desarrolla la hoja. Los estados vegetativos y reproductivos de la soja han sido descritos por Fehr y Caviness en 1977. Este sistema de clasificación fue adoptado en el modelo SOYGRO. La etapa ENDSET, que corresponde a la última fecha en que nuevas vainas pueden producirse cuando la planta no está limitada por recursos, debió agregarse al modelo SOYGRO (Jones *et al.*, 1984).

### 2.1.2.1 Estados vegetativos

Los estados vegetativos se describen desde que la planta emerge del suelo. Se cuentan solamente los nudos sobre el tallo principal que tienen o han tenido una hoja completamente desarrollada. El nudo se cuenta, cuando la hoja del nudo inmediato superior se ha desarrollado suficientemente, de manera que los bordes de los foliolos no se tocan. En el cuadro 1, se presentan una descripción de los estados vegetativos de la soja (Fehr y Caviness, 1977):

Cuadro 1. Estados vegetativos de la soja

Código	Estado	Descripción
VE	Emergencia	Cotiledones encima de la superficie del suelo.
VC	Cotiledonar	Hojas unifoliadas suficientemente desarrolladas de manera que los bordes de las hojas no se tocan.
V1	Primer nudo	Hojas completamente desarrolladas en los unifoliados.
V2	Segundo nudo	Hojas completamente desarrollados en el nudo que está por encima de los nudos unifoliados.
V3	Tercer nudo	Tres nudos en el tallo principal con hojas completamente desarrollados, comenzando con los nudos unifoliados
.	.	.
Vn	Enésimo nudo	N nudos en el tallo principal con hojas completamente desarrollados, comenzando con los nudos unifoliados

### 2.1.2.2 Estados reproductivos

Los estados reproductivos están basados en la floración, desarrollo de vainas, semillas y madurez de la planta. En el cuadro 2, se describen los estados reproductivos para la soja (Fehr y Caviness, 1977). Los estados R1 y R2, pueden presentarse simultáneamente en los cultivos de crecimiento determinado, ya que la floración comienza en los nudos superiores de la planta.

Cuadro 2. Estados reproductivos de la soja

Código	Estado	Descripción
R1	Comienzo de floración	Una flor abierta en cualquier nudo del tallo principal.
R2	Plena floración	Flores abiertas en uno de los dos nudos superiores (con una hoja completamente desarrollada) del tallo principal.
R3	Comienzo de fructificación	Vainas de 5mm de longitud en uno de los 4 nudos superiores (con una hoja completamente desarrollada) del tallo principal.
R4	Plena fructificación	Vainas de 2 cm de longitud en uno de los 4 nudos superiores (con una hoja completamente desarrollada) del tallo principal.
R5	Comienzo de desarrollo de la semilla	Semilla de 3 mm de longitud en una vaina de los 4 nudos superiores (con una hoja completamente desarrollada) del tallo principal.
R6	Pleno desarrollo de la semilla	Vaina que contiene una semilla verde que llena su cavidad en uno de los 4 nudos superiores (con una hoja completamente desarrollada) del tallo principal.
R7	Comienzo de la madurez	Una vaina en el tallo principal que ha alcanzado su color normal a la madurez.
R8	Plena madurez	95% de las vainas han alcanzado su color normal a la madurez. Se requieren 5 a 10 días secos después de R8 para que la semilla tenga menos de 15% de humedad.

## 2.2 Modelación

### 2.2.1 Consideraciones sobre los modelos

#### 2.2.1.1 Definición e importancia de los modelos

En general se define a un modelo como una representación abstracta de la realidad. Es una simplificación del sistema real (Gordon, 1980; Odum, 1973; Hart, 1985).

Según los propósitos de los estudios, se pueden construir distintos modelos, enfatizando atributos diferentes según los objetivos del análisis. Un modelo es una forma útil de resumir el conocimiento actual de un sistema.

La investigación con sistemas se apoya en gran parte en el uso de modelos, tanto porque frecuentemente es muy difícil o impracticable el estudio del sistema real, como porque generalmente el objetivo es la formulación de nuevos sistemas, inexistentes para la realidad agropecuaria, volviéndose por lo tanto imprescindible el auxilio de modelos (Gastal, 1980; Gordon, 1980).

Además, las técnicas de modelado permiten formular las relaciones entre componentes de un modo inequívoco, destacar los aspectos más sobresalientes y permiten identificar aquellos que son suficientemente conocidos, de otros con deficiencia de conocimientos (Fassbender, 1984).

Mediante la elaboración de modelos diagramáticos, se puede conceptualizar un proceso o fenómeno de la realidad, por medio del cual se pueden efectuar predicciones. Para realizar un diagrama de flujo se deben: 1) Identificar los componentes del proceso. 2) Ordenarlos en secuencia lógica. 3) Establecer las relaciones que existen entre ellos. 4)

Usar símbolos de decisión para garantizar su adecuada ejecución. 5) Mantener canales de retroalimentación (Arze, 1978).

A través del continuo mejoramiento de los modelos alternativos, se disminuye los porcentajes de riesgo del productor, aumentando su credibilidad en las alternativas; lo cual permitirá la difusión escalonada y dinámica de las alternativas (Arze, 1978).

#### 2.2.1.2 Calibración

Se entiende por calibración de un modelo, introducir modificaciones en el programa computacional con el objeto de mejorar la calidad predictiva del mismo, en función de criterios lógicos y empíricos vinculados a las características relevantes del sistema real a simular (Romero del Valle, 1988).

#### 2.2.1.3 Validación

Por validación se entiende mostrar el alcance predictivo de un modelo en función de la aproximación de los datos simulados y observados, para evaluar su utilidad y relevancia (IBSNAT, 1986; Saravia, 1985).

### 2.2.2 Modelos de simulación

#### 2.2.2.1 Generalidades

Dentro de los modelos matemáticos dinámicos, una técnica específica que se ha llegado a identificar como simulación de sistemas, es aquella en que se resuelven simultáneamente todas las ecuaciones del modelo con valores continuamente crecientes en el tiempo. Por lo tanto, Gordon (1980), define la "simulación de sistemas" como la técnica de resolver problemas siguiendo los cambios en el tiempo de un modelo dinámico de un sistema. Ferrari (1978), afirma

que "simulación" significa experimentación con modelos por cambios en elementos o en relaciones para entender mejor el comportamiento del sistema o para comparar el significado y valores de las diferentes estrategias.

Los modelos de simulación matemática presentan una serie de ventajas, debido a que, por un lado acorta el volumen de experimentación en campo, la cual sólo se requiere en cantidades necesarias para calibrar y probar modelos, reduciendo no sólo los costos necesarios, sino también el tiempo requerido para dar recomendaciones a los sistemas productivos (Palacios, 1980).

Se han desarrollado modelos para simular la distribución de biomasa, fotosíntesis del dosel, respiración y crecimiento. Heer (1986), cita: ARID CROP (1976), el cual calcula la materia seca; SIMCOT y COTCROP (1970-1978) para algodón; SIMED y ALSIM (1975-1977) para alfalfa; SOYMOD y SOYGRO (1975-1980) para soja; SUBGRO(1973) para remolacha azucarera; SORGF (1984) para sorgo; y otros para tabaco (1973), tomate (1972) y trigo (1984). Para maíz, cita varios: ELCROS (1959-1965), NEBRASKA CORN (1974), CORNF (1980), SPAM (1969-1970), CORMOD (1976), SIMAIZ (1974), CSMP (1971) y CERES (1984).

El modelo CERES-maíz, es un modelo de simulación del crecimiento, desarrollo y rendimiento del maíz (Ritchie, 1986). Este modelo fue validado en Costa Rica, utilizando los cultivares Tuxpeño y Eladio Hernández en monocultivo y asociado con yuca, obteniendo una buena aproximación entre el rendimiento de granos observados y simulados, para el maíz en monocultivo (Heer, 1986). Gomez Rodriguez (1988), obtiene una mejor aproximación para el cultivar Tuxpeño y la población Maicito, en monocultivo y asociado con soja.

Romero del Valle (1988), obtuvo un buen ajuste entre los ~~los~~ resultados observados y simulados para el

crecimiento y desarrollo de los materiales CESDA-28 y Tusa Fina, en Costa Rica (Turrialba) y República Dominicana (Azua y Santo Domingo).

Castillo Gomez (1988), trabajando en Nicaragua, concluye que el modelo simuló adecuadamente la biomasa y el rendimiento de granos para los cultivares de maíz NB-3 y NB-6.

En los trabajos anteriores, realizados con los modelos de simulación, se obtuvo una buena aproximación entre los datos observados y simulados para diferentes cultivares, condiciones de manejo y lugares, lo cual demuestra la confiabilidad en el uso de esta herramienta para la investigación y transferencia.

#### 2.2.2.2 Modelos de simulación de soja

Se han desarrollado una serie de modelos para simular distintos procesos en el cultivo de la soja. Heileman *et. al.* (1977), desarrollaron ecuaciones para estimar la fotosíntesis bruta, respiración y acumulación de materia seca en soja, estimando la interceptación diaria de la radiación fotosintéticamente activa. Wann y Raper (1979), adaptaron un modelo dinámico de crecimiento vegetativo de la planta, calibrado para tomate, para simular el peso seco de plantas de soja, obteniendo buenos resultados. Hill *et. al.* (1979), desarrollaron un modelo para predecir rendimientos de soja en función de la disponibilidad de humedad durante cuatro periodos de crecimiento. Meyer *et al.* (1979), desarrollaron el modelo SOYMOD/OARDC. Este modelo reemplazó a las versiones anteriores SOYMOD I y II. El modelo SOYMOD/OARDC consiste básicamente en un sistema dinámico de ecuaciones diferenciales, que describen el balance de masa y energía de la planta. El modelo predice el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de la soja.

#### 2.2.2.2.1. Modelo SOYGRO

SOYGRO es un modelo de simulación del crecimiento y rendimiento de la soja, originalmente desarrollado por la Universidad de Florida para estudiar decisiones de manejo de riego y plagas (SOYGRO V 4.2), durante los años 1979-1983.

Fue probado con datos de 5 años, provenientes de dos localidades en Florida para dos cultivares, simulando rendimientos que difirieron entre un 10 a 15% con los resultados obtenidos a campo (Jones et al., 1984).

El modelo ha sido adoptado por la Red Internacional de Sitios para la Tranferencia Agrotecnológica (IBSNAT), como un programa de la AID, administrado por la Universidad de Hawaii, el cual establece una unión entre el modelo, los datos experimentales y otras aplicaciones del modelo.

En 1984, fue desarrollado una nueva versión del modelo, el SOYGRO V 5.0, para superar las limitaciones del modelo V 4.2. Un modelo de suelo desarrollado en Texas fue adoptado en esta nueva versión. Además, se agregó un submodelo para predecir las etapas vegetativas y reproductivas de cultivares de hábito de crecimiento determinado e indeterminado de soja (IBSNAT, 1985).

Posteriormente, se han encontrado dificultades para simular en distintos ambientes, introduciendo cambios al modelo para mejorar la predicción en diferentes climas y suelo. Concurrentemente, el proyecto IBSNAT definió para todos los modelos un formato común de entradas y salidas de suelo y clima. Esta estandarización permitió que los modelos puedan ser integrados en el Sistema de Soporte de las Decisiones para la Transferencia de Tecnología ó DSSAT (Jones, 1986 citado por Jones et al., 1989), facilitando el uso de los modelos de cultivo.

Actualmente, se encuentra disponible la versión SOYGRO V5.42 integrado al DSSAT.

SOYGRO V5.42 predice el crecimiento de la materia seca, índice de área foliar (LAI), desarrollo del cultivo y rendimiento final dependiendo de los datos de clima y suelo. Los parámetros de suelo describen la habilidad del suelo para almacenar y retener el agua basado en procesos de escorrentia, percolación y distribución del agua. El modelo requiere datos de clima, suelo y de manejo del cultivo, para predecir el crecimiento y desarrollo del cultivo.

Esta versión permite a los usuarios simular bajo diferentes climas, suelos y condiciones de manejo, graficando los resultados obtenidos y simulados. Además se puede realizar análisis de sensibilidad y riesgo del modelo. No están incluidas en el modelo los daños de plagas, ni el nivel nutricional de las plantas (Jones *et al.*, 1989).

Se realizaron análisis de sensibilidad con el modelo SOYGRO V5.41 para evaluar el efecto de la temperatura y el fotoperiodo sobre el crecimiento y rendimiento de grano, con 3 cultivares y datos de clima de 11 localidades entre 8 y 46 grados de latitud norte. El rendimiento de grano tuvo una respuesta curvilínea entre 12 a 38 °C, con un máximo de 24 °C. El rendimiento de grano, tamaño e índice de cosecha disminuyeron cuando la temperatura se incrementó de 24 a 38 °C. Además, el rendimiento fue dependiente del fotoperiodo (Boote *et al.*, 1987).

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Localización de la fase experimental de campo

Se realizaron dos tipos de experimentos, unos con el fin de calibrar el modelo y los otros para validarlo.

##### 3.1.1 Etapa de calibración

Se diseñaron dos experimentos (Exp. 01 y 02), los cuales difirieron en la variedad utilizada.

Ambos experimentos de calibración, fueron realizados en la Estación Experimental "La Montaña" del Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE), ubicado en Turrialba, Costa Rica, a 590 msnm, a 9°53' latitud Norte y 83°38' longitud Oeste.

##### 3.1.2 Etapa de validación:

Mediante dos experimentos (Exp. 03 y 04), se realizó la validación del modelo. Estos difirieron en el lugar de implantación.

El experimento 03, se realizó en Turrialba, en la Estación Experimental "La Montaña". En cambio, el experimento 04 se realizó en la Estación Experimental de Diamantes del Ministerio de Agricultura y Ganaderia (MAG). Diamantes se encuentra ubicado en Guápiles, Costa Rica, a 250 msnm, a 10°13' de latitud Norte y 83°47' de longitud Oeste.

### 3.2 Suelo

Las características del suelo en La Montaña (Exp. 01, 02 y 03) son (Aguirre Aste, 1971):

Serie: Instituto, fase normal

Orden: Inceptisol

Suborden: Tropept

Gran Grupo: Humitropept

Subgrupo: Typic Humitropet

Familia: Humitropept, fine, halloystic, isohiperthermic

En cambio, el suelo de la Estación Experimental de Diamantes (Exp. 04), no está clasificado.

En ambos lugares de experimentación, se realizaron análisis físico y químico del suelo.

### 3.3 Descripción de los experimentos

#### 3.3.1 Material experimental

Los cultivares IAC-8 y SIATSA 194-A, se usaron en ambas etapas de calibración y validación.

#### 3.3.2 Tratamientos

La calibración del modelo se llevó a cabo en dos experimentos: Exp. 01, con la variedad IAC-8 y el Exp. 02, con la variedad SIATSA 194-A. Ambos experimentos fueron

sembrados el 11-11-88 y estuvieron constituidos de seis tratamientos por la combinación de tres densidades de siembra (baja, media y alta) y dos niveles de fertilidad (con y sin fertilización). La descripción de los tratamientos para los respectivos experimentos se encuentran a continuación:

Cuadro 3. Tratamientos del experimento de calibración (Exp. 01) en Turrialba. Cultivar IAC-8

Trat. Nº	Densidad pl/Ha	Nivel de fertilidad
1	152000	Sin fert.
2	136500	Con fert.
3	233000	Sin fert.
4	248000	Con fert.
5	390000	Sin fert.
6	329000	Con fert.

Cuadro 4. Tratamientos del experimento de calibración (Exp. 02) en Turrialba. Cultivar SIATSA 194-A

Trat. Nº	Densidad pl/Ha	Nivel de fertilidad
1	149000	Sin fert.
2	153000	Con fert.
3	214000	Sin fert.
4	215000	Con fert.
5	319000	Sin fert.
6	291500	Con fert.

En la etapa de validación (Exp. 03 y 04), los tratamientos resultaron de la combinación de dos cultivares (IAC-8 y SIATSA 194-A) y dos niveles de fertilidad (con y sin fertilización):

Cuadro 5. Tratamientos de los experimentos de validación (Exp. 03 y 04).

Trat. Nº	Cultivar	Nivel de fertilidad
1	IAC-8	Sin fert.
2	IAC-8	Con fert.
3	SIATSA 194-A	Sin fert.
4	SIATSA 194-A	Con fert.

El experimento 03 (Turrialba) fue sembrado el 16-12-88, mientras que el experimento 04 (Guápiles) el 13-01-89. Ambos experimentos tuvieron una densidad de siembra intermedia (200 a 240.000 plantas por hectárea).

### 3.3.3 Unidad experimental

En los experimentos de calibración del modelo el área total por parcela fue de 50 m<sup>2</sup> (10 surcos, a 0,50 m entre surcos, y 10 m de largo). El área útil cosechada para la variable rendimiento fue de 12 m<sup>2</sup> y para la determinación de la biomasa en los diferentes muestreos, se utilizó un área de 20 m<sup>2</sup>.

En los experimentos para validar el modelo, el área por parcela fue distinta. En Turrialba (Exp. 03), las parcelas fueron de 75 m<sup>2</sup> (10 surcos, a 0,50 m entre surcos, y 15 m de largo), de los cuales se utilizó 24 m<sup>2</sup> para determinar el rendimiento de grano, y 32 m<sup>2</sup> para muestreos de biomasa. En Guápiles (Exp. 04), las parcelas fueron de 54 m<sup>2</sup> (9 surcos de 10 m de largo, y a 0,60 m entre surcos), de los cuales se utilizó 21 m<sup>2</sup> para rendimiento de grano, y 16 m<sup>2</sup> para muestreos de biomasa.

### 3.3.4 Diseño experimental

El arreglo de los experimentos de calibración fue un factorial  $3 \times 2$ , en bloques completos al azar con tres repeticiones.

Los experimentos de validación se arreglaron en un factorial  $2 \times 2$ , en bloques completos al azar y cuatro repeticiones.

## 3.4 Conducción de los Experimentos

### 3.4.1 Preparación del terreno

Las actividades cronológicas, realizadas en Turrialba en los experimentos de calibración (Exp. 01 y 02) fueron las siguientes:

17-10-88	Desmalezadora
25-10-88	Arado de discos
28-10-88	Primer rotovator
04-11-88	Segundo rotovator

El rastrojo de maíz de la cosecha anterior fue arrancado y sacado del ensayo.

En el experimento de validación (Exp. 03) realizado en Turrialba, las actividades fueron las siguientes:

06-12-88	Desmalezadora
07-12-88	Arado de discos
12-12-88	Rastra de discos
14-12-88	Rotavator

La vegetación anterior estuvo constituida, principalmente por gramíneas.

La preparación del terreno del experimento 04 (Guápiles), fue la siguiente:

10-08-88	Arado de discos
15-08-88	Rastra de discos
30-10-88	Rastra de discos
27-12-88	Rastra de discos
07-01-89	Rastra de dientes

El cultivo anterior fue arroz.

#### 3.4.2 Siembra

La siembra de los experimentos de calibración en Turrialba (Exp.01 y 02) fue el 11-11-88. Las fechas de siembra de los experimentos de validación, fueron las siguientes:

Exp. 03 (Turrialba)	16-12-88
Exp. 04 (Guápiles)	13-01-89

En todos los experimentos, previo a la siembra se realizó un surco de 10 cm. de profundidad en las parcelas con fertilizantes, tapándose posteriormente para proceder a la siembra. En las restantes parcelas se procedió a abrir un surco de 5 cm. de profundidad para la siembra. La siembra en todos los casos fue manual e inoculada la semilla.

La distribución de la semilla, en las parcelas con alta densidad, fue a chorrillo continuo. En las de baja a media densidad, se colocaron 2 a 3 semillas por golpe, a fin de lograr las densidades propuestas en los tratamientos.

La inoculación se realizó con cepas de *Bradyrhizobium japonicum* del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de Costa Rica. Previo a la siembra la semilla fue humedecida con una solución adhesiva (goma arábiga al 10 %) y mezclada con inoculante en la proporción de 1 Kg. de inoculante en 100 Kg. de semilla.

### 3.4.3 Labores Culturales

#### 3.4.3.1 Fertilización

En los experimentos ubicados en Turrialba, la fertilización se realizó, previo a la siembra, en surcos a 10 cm. de profundidad. En el experimento 04 (Guápiles), fue realizado una semana antes de la siembra, debido a dificultades en la germinación, por exceso de agua, se debió resembrar el ensayo.

En todos los experimentos se usó una proporción de 25-98-55 de NPK, aplicándose por hectárea una mezcla de superfosfato triple de calcio, fertilizante 10-30-10 y cloruro de potasio en la proporción de 50-250-50 Kg/ha de producto comercial.

#### 3.4.3.2 Raleo

A los 15 días de la siembra se realizó un raleo manual, tratando de obtener la densidad requerida y de uniformar la población de plantas.

#### 3.4.3.3 Deshierbe

En todos los experimentos, inmediatamente después de la siembra, se aplicó 0,92 Kg. i.a./ha de Alachlor.

Se realizó un deshierbe manual, aproximadamente a los 15, 45 y 70 días de la siembra.

#### 3.4.3.4 Control fitosanitario

Las vaquitas (*Diabrotica spp.*) fueron la principal plaga en todos los experimentos, requiriendo 4 a 5 aplicaciones de 0,6 kg i.a./ha de Metamidophos.

El experimento 03 (Turrialba) fue atacado por la Roya de la soja (*Pakopsora pachyrizae*) al comienzo de la

floración, provocando una necrosis foliar y una defoliación prematura, especialmente en el cultivar SIATSA 194-A. Para su control se aplicó 0,5 Kg i.a/ha de Benomyl y 0,75 Kg i.a/ha de Oxicarboxin, con 10 días de diferencia entre aplicaciones.

#### 3.4.3.5 Cosecha

La cosecha de grano, se realizó a los 111 y 116 días para los experimentos de calibración 02 (var. SIATSA 194-A) y 01 (var. IAC-B), respectivamente. Los experimentos de validación del modelo, fueron cosechados en diferentes periodos, según el experimento y la variedad, como se detalla a continuación:

Exp. 03	Var. IAC-B	126 Días
Exp. 03	Var. SIATSA 194-A	115 Días
Exp. 04	Var. IAC-B	123 Días
Exp. 04	Var. SIATSA 194-A	111 Días

Los rendimientos se expresaron a 14% de humedad.

### 3.5 Recolección de la información

Se utilizó la guía del conjunto de datos mínimos del DSSAT (IBSNAT, 1988), para las variables climáticas y fenológicas.

#### 3.5.1 Clima

Para los experimentos realizados en Turrialba (Exp 01, 02 y 03), se utilizó la información de la estación meteorológica de "La Montaña". En el experimento 04 (Guápiles), se utilizó la información de la estación meteorológica "Los Diamantes", dependiente del MAG de Costa Rica. Las variables empleadas fueron las siguientes:

- Temperatura máxima (°C)
- Temperatura mínima (°C)
- Radiación solar (cal/cm<sup>2</sup>/día)
- Precipitación (mm)
- Insolación (horas)

Este último parámetro fue utilizado para calcular la radiación efectiva diaria para Guápiles, en base a la fórmula de Angrston (Rietveld, 1978) :

$$R_g = R_a (a + (b * n / N))$$

donde:

- R<sub>g</sub>: Radiación global a nivel del suelo
- R<sub>a</sub>: Radiación global al límite de la atmósfera
- n: Duración del brillo solar
- N: Brillo solar teórico

a y b: Coeficientes calculados con datos de la Estación de Limón. a: 0.28 b: 0.40

### 3.5.2 Suelos

En todos los experimentos, se realizó una calicata al inicio del ensayo para determinar las características físicas y químicas del suelo. En el caso del suelo de "La Montaña", esta información sirvió de complemento a las descripciones realizadas con anterioridad sobre la Serie Instituto (Aguirre Aste, 1971).

#### 3.5.2.1 Propiedades físicas

- Textura. Se determinó de acuerdo al método de Bouyoucos, modificado por Hardy y Bazán (1975).
- Densidad aparente . Se realizó mediante el método del cilindro (Forsythe, 1975).
- Capacidad de campo. Se determinó mediante el plato a presión, a 33 kPa. (Forsythe, 1975).

- Punto de marchitez permanente. Se determinó a 1500 kPa. mediante el plato a presión (Forsythe, 1975).

- Contenido de agua a saturación. El contenido de agua a saturación se determinó utilizando dos muestras de suelo por capa, extraídas mediante anillos. Las muestras se saturaron con agua durante 24 horas determinándose, posteriormente el peso húmedo y seco (en estufa a 105 °C hasta peso constante). Por diferencias se obtuvo el contenido de humedad.

### 3.5.2.2 Propiedades químicas

- pH. Se determinó el pH en H<sub>2</sub>O y en KCl de acuerdo al método descrito por Peech (1965) y adaptado por Díaz-Romeau y Hunter (1978).

- Nitratos, amonio y nitrógeno total : Se determinaron volumétricamente mediante el método de micro kjeldahl (Müller, 1961).

- Fósforo y potasio: Mediante el método de Olsen modificado (Díaz-Romeau y Hunter, 1978) se determinaron los niveles de fósforo (colorimétricamente) y potasio (absorción atómica) .

### 3.5.3 Cultivos

#### 3.5.3.1 Estados vegetativos y reproductivos

Para la determinación de las fechas de aparición de los distintos estados vegetativos y reproductivos se tomaron 5 plantas al azar, realizándose un seguimiento durante todo el periodo del ensayo.

#### 3.5.3.2 Biomasa

En los experimentos de calibración del modelo (Exp. 01 y 02), se muestrearon 4 plantas al azar por parcela (15

plantas por tratamiento), durante los estados V4, R4, R5, R6, R7 y R8. Las plantas eran particionadas individualmente y puestas a secar en el horno a 65 °C hasta peso constante, determinándose según el estado las siguientes variables:

- Tallo (gr.)
- Pecíolo (gr.)
- Tallos secundarios (gr.)
- Hojas (gr.)
- Área foliar (cm<sup>2</sup>)
- Vainas (Nº y gr.)
- Semillas (Nº y gr.)

En el experimento 03 (Turrialba), se determinaron las variables mencionadas anteriormente, muestreándose un metro lineal de surco (0,5 m<sup>2</sup>) por parcela. Además, se contó el número de plantas.

En el experimento 04 (Guápiles), se determinaron en un metro lineal de surco (0,6 m<sup>2</sup>) por parcela, las variables mínimas requeridas por la guía del DSSAT (IBSNAT 1988) para correr el modelo. Estas fueron las siguientes:

- Número de plantas en los estados V4, R4, R5, R6, R7 y R8.
- Biomasa seca de la parte aérea (gr.), de los estados V4, R4, R5 y R6.

En los estados R7 y R8, se determinaron las mismas variables que en los experimentos de calibración.

### 3.6 Cultivares de soja

Los cultivares empleados en el experimento fueron: IAC-8 y SIATSA 194-A, cuyas características son las siguientes:

**SIATSA 194-A:** Es una variedad desarrollada en Honduras, en un cruce natural de Biloxi \* Hardee. Es una planta alta (80-90 cm), de hábito semideterminado, buena ramificación, maduración intermedia (100-120 días), vaina pequeña con 2 a 3 semillas grandes (19,5 gramos/100 semillas), es resistente a la dehiscencia natural y a la pústula bacteriana (*Xanthomonas phaseoli*), moderada resistencia al volcamiento, y el color del grano es crema (Madrigal Aguilar, 1983). Pertenece al IX grupo de madurez fisiológica (Montero, 1984).

Esta variedad ha demostrado buen rendimiento, junto a la variedad Papillón en un ensayo realizado en el campo experimental "La montaña" del CATIE (Herrera et al., 1985).

**IAC-8:** Es una variedad desarrollada en Brasil, producto de un cruzamiento entre Bragg \* F70-51 (Hill \* PL 240664), cuyas características principales son (Miranda et al., 1981):

Hábito de crecimiento.....	determinado
Altura de planta.....	95 cm
Altura inserción primer vaina.....	17 cm
Dehiscencia de vainas.....	resistente
Tenor de aceite.....	24,28%
Tenor de proteína.....	38,24%
Resistencia a enfermedades...	pústula bacteriana.

### 3.7 Análisis de los datos

El ordenamiento y procesamiento de los datos se realizó con varios programas de computación: análisis estadístico (SAE, MSTAT), bases de datos (LOTUS, QUATRO, DBASE), procesador de textos (WORD) y graficadores (QUATRO).

### 3.8 Modelo SOYGRO

#### 3.8.1 Entrada y salida del modelo

Para correr exitosamente el modelo, se necesita ingresar un conjunto mínimo de datos. El IBSNAT definió un conjunto mínimo de datos (MDS) para un sistema de análisis y simulación del cultivo. Datos diarios de clima, incluyendo radiación solar total diaria, temperatura máxima y mínima y precipitación total, son datos necesarios para calcular las funciones de las etapas del crecimiento y desarrollo del modelo. Además, es necesario una descripción del suelo en el cual se realizó el experimento. Se necesita determinar el contenido de agua en PMP, CC y saturación de cada horizonte.

El cálculo de los parámetros de los suelos es muy importante, especialmente si un stress de sequia es observado durante el periodo de cultivo, o si el modelo es usado para determinar estrategias de manejo en riego.

Es necesario definir el distanciamiento entre filas, plantas, densidad de plantación, fecha de plantación y cantidad, fecha y tipo de riego. Finalmente deben identificarse los cultivares.

Dado que el modelo simula las etapas fenológicas de crecimiento y desarrollo del cultivo, además la biomasa de las diferentes partes de las plantas, son necesarios datos experimentales para verificar que los resultados predichos sean exactos.

Rendimiento de semilla, número total de semilla y tamaño de semillas necesitan ser medidos a la cosecha. Así mismo deben registrarse el inicio de floración y madurez fisiológica. Información reciente indican, que las etapas vegetativas y reproductivas son requeridas para definir en forma correcta un conjunto de parámetros para los nuevos cultivares.

Análisis de muestreos de crecimiento, en los cuales el peso de hojas, tallo, vainas, y semillas y LAI son recolectados para definir los parámetros involucrados en la partición de biomasa y para verificar que las predicciones sean correctas. Especialmente cuando el modelo es usado para predecir el crecimiento y rendimiento de un nuevo cultivar, información inicial es necesaria para definir la sensibilidad del cultivar al fotoperiodo y temperatura. Cada modelo debe ser calibrado para un conjunto de condiciones ambientales; en cambio, menor cantidad de datos son necesarios para nuevas validaciones del modelo (Hoogenboon, 1987).

### 3.8.2 Estructura del modelo

### Modelo SOYGRO Versión 5.42

Programas:	GRO.FOR MAIN.BAS	NEWPLT.BAS
Subrutinas:	OPHARV.FOR CLEAR.FOR FREEZE.FOR IDWTH.FOR IPCROP.FOR IPFREQ.FOR IPTRT.FOR IRRIG.FOR OPECHO.FOR PHINIT.FOR WATBAL.FOR GROW.FOR VARTY.FOR VERIFY.FOR WCALC.FOR IPWTH.FOR	IPSENS.FOR CROP.FOR GPHEN.FOR INTRO.FOR IPEXP.FOR IPSOIL.FOR IPVAR.FOR NAILUJ.FOR OPSEAS.FOR PHOTIN.FOR SENES.FOR SUNRIS.FOR VEGGR.FOR PODS.FOR ROOTS.FOR WCALC.PHY
Funciones:	JULIAN.FOR	TABEX.FOR

#### 3.8.3 Descripción de las subrutinas principales

##### GRO.FOR:

Es el programa principal del SOYGRO (Figura 1A). Utiliza los archivos de suelo, clima y cultivo. Luego de inicializar las variables de entrada al modelo, abre un archivo de datos y llama a las subrutinas CLEAR, INTRO (archivo de entrada de datos) e IPCROP (lee los parámetros de cultivo de la primer corrida).

Inicializa otras variables (número de corridas) y llama nuevamente a las subrutinas CLEAR e IPEXT (selección de tratamientos y experimentos). Imprime los rótulos del menú de la variable opciones para el usuario, leyendo la opción elegida. En el caso que la respuesta sea distinta a las opciones del menú, imprime "error" y regresa al inicio de las opciones. En el caso correcto de ingreso de la opción, el modelo direcciona los pasos a seguir según la respuesta.

En caso de seleccionar las opciones de análisis de sensibilidad llama a la subrutina IPSENS (imprime los análisis de sensibilidad). En el caso de escoger opciones de salidas de simulación, el programa llama a la subrutina IPFREQ (opciones de salidas del modelo). En ambos casos, finalizada la acción regresa el modelo para nuevas selecciones.

Para la corrida de la simulación del modelo, luego de inicializar los parámetros de suelo, cultivo e identificar la corrida, el programa llama a la subrutina IPTRT (selección de tratamientos) y abre una serie de archivos de salida, llamando en etapas sucesivas a las subrutinas OPECHO (imprime las entradas para la simulación en pantalla), IPWTH (nuevos datos de clima), CROP (calcula el crecimiento y desarrollo de cultivo), OPSEAS (genera salidas para la simulación por etapas), OPHARV (imprime resultados de cosecha y rendimientos del cultivo).

Luego de esta subrutina, pregunta si se desea más simulación. En caso afirmativo regresa al inicio del programa, en caso contrario cierra los archivos de salida y finaliza el programa.

#### CROP.FOR:

Esta subrutina calcula el crecimiento y desarrollo del cultivo (Figura 2A). Es llamada por el programa principal al inicio del cultivo. Luego de inicializar las variables para la nueva corrida, esta subrutina llama a las subrutinas WATBAL (calcula el balance de agua), WCALC (calcula la temperatura horaria y el uso del factor temperatura para calcular las etapas fenológicas), GPHEN (calcula los grados días y los días fisiológicos), PHOTO (calcula la fotosíntesis bruta y los coeficientes de mantenimiento de la respiración), GROW (calcula la partición de fotosintatos).

Posteriormente, controla la temperatura mínima si es mayor o no que el límite de heladas. En caso afirmativo llama a la subrutina FREEZE y calcula los daños por heladas.

Luego ejecuta todas las ecuaciones del modelo calculando, entre otros, el crecimiento en peso de las hojas; la biomasa total en base al área foliar; el remanente de proteínas en cáscara, hojas, tallos y raíces que puedan ser mineralizados; el área de hojas en base al peso y un área específica de hojas y el índice de área foliar (LAI).

#### GPHEN.FOR:

Esta subrutina (Figura 3A) calcula los días fisiológicos acumulados (DTX) y los grados días (DTT). Es llamada por la subrutina CROP al inicio de la simulación del cultivo. Al inicio computa el factor temperatura por hora para los cálculos fenológicos.

Luego, computa los cambios en el acumulador del tiempo nocturno durante la noche previa (usa la las temperaturas después de la puesta del sol de ayer y el salida de hoy). Con posterioridad calcula la suma de días fisiológicos (PHZACC(1)), el acumulador de fotoperiodos (PHZACC(2)) y el acumulador de los fotoperiodos con déficit de agua (PHZACC(3)).

Luego calcula la fecha de aparición de las etapas vegetativas antes del NDLEAF (NSPTH es un índice que indica si la fecha de ocurrencia del evento fue leída del archivo, ó si fue calculada por el modelo. NVALPH es la fecha especificada por el usuario).

Luego la subrutina direcciona la secuencia de pasos a seguir, según las etapas del cultivo. Las etapas NDLEAF, NR4 y NPODO pueden ocurrir dependiendo del umbral térmico. Si la ocurrencia de un evento fisiológico es ingresado por el

usuario, no se usa el acumulador fisiológico para calcular dicho evento.

Para calcular la partición de la biomasa y el área foliar, la subrutina usa la variable FRACDN (proporción del desarrollo de R1 a NDLEAF). En cambio, ACCDAY es usada para determinar el número de vainas. Si se encuentra entre la etapa NPODO y R7, calcula la proporción acumulativa de desarrollo entre ambas etapas. Luego calcula la tasa de mineralización (TOTACC).

En base a la información del acumulador fisiológico (JJ) indica en que etapa se encuentra el cultivo.

#### PHOTO.FOR:

Calcula las demandas limitantes sobre la fotosíntesis por la subrutina VEGGR. Es llamada por la subrutina CROP al inicio de la simulación (Figura 4A).

Inicializa factores de la fotosíntesis y respiración a la emergencia, luego calcula el máximo de fotosíntesis como una función de la radiación fotosintéticamente activa (PAR).

Con posterioridad calcula la reducción de la fotosíntesis debido a la disminución del área foliar bajo el punto óptimo, computa la reducción de la fotosíntesis bruta (PG) debido a la pérdida de nitrógeno por la caída de hojas y al promedio de temperatura durante las horas de luz, computa la fotosíntesis bruta del dosel, calcula la fotosíntesis bruta (PG) y normalizada (FMAX), y el costo de mantenimiento de la respiración por efecto de la temperatura.

#### GROW.FOR:

Esta subrutina (Figura 5A) es llamada por la subrutina CROP al inicio de simulación.

Luego de inicializar las variables del cultivo a la emergencia, llama a la subrutina PODS (calcula el crecimiento de las vainas) y a la subrutina VEGGR para calcular los coeficientes de partición de los fotosintatos y la cantidad de fotosintatos que van a las vainas y a la respiración.

Con posterioridad llama a la subrutina SENES y calcula la substracción para mantenimiento de los costos de respiración de tallos, si la cantidad de fotosintatos disponibles no es adecuada.

#### 3.8.4 Estimación de los coeficientes genéticos

Los coeficientes genéticos para cada variedad deben ser definidos en el archivo `genetics.sb9` (Jones *et al.* 1989). Tienen como objetivo, con una misma estructura del modelo, simular distintos crecimiento y desarrollo, según las condiciones del medio ambiente.

Los coeficientes genéticos pueden ser divididos en aquellos que afectan al desarrollo, al crecimiento vegetativo o al crecimiento reproductivo.

Los coeficientes que deben ser estimados, para un nuevo cultivar, son los siguientes (Jones *et al.* 1989):

VARNO: Mínima longitud nocturna en la cual la inducción floral es mínima.

VARTH: Periodo en días (temperaturas óptimas) desde el fin de la etapa juvenil hasta la iniciación floral bajo condiciones de días largos, dividido por la duración del mismo periodo en condiciones de días cortos.

VARTHR(4): Duración de la fase de inducción (días con temperaturas óptimas).

VARTHR(6): Duración (días con temperaturas óptimas) del periodo de la aparición de la primera flor hasta el comienzo del crecimiento rápido de semillas en la primera vaina.

VARTHR(8): Duración (días con temperaturas óptimas) del periodo de la aparición de la primera flor hasta el fin de la expansión de la última hoja.

VARTHR(10): Duración (días con temperaturas óptimas) del periodo reproductivo, es decir desde la aparición de la primera flor hasta la madurez fisiológica.

TRIFOL: Número de hojas trifoliadas producida por día, con temperaturas óptimas.

SIZELF: Area de una hoja normal, entre el 89 y 109 nudo.

PODVAR: Número de vainas producidas por día, en condiciones de días cortos y temperaturas óptimas.

FLVAR: Número de flores producidas por día, en condiciones de días cortos y temperaturas óptimas ( $FLVAR=2*PODVAR$ ).

SHVAR: Tasa de acumulación de materia seca de vainas, en condiciones de temperaturas óptimas, desde la etapa de llenado medio hasta el máximo tamaño; pero antes de que comience el crecimiento de semillas.

SDPDVR: Número promedio de semillas por vaina.

SDVAR: Tasa de llenado de granos o semillas, en óptimas condiciones.

En algunos caso se encontró que la biomasa simulada fue menor que los valores observados. Se concluyó que existen ciertos factores de campo que causan la reducción o la partición de fotosintatos, o de ambos.

Por esta razón se agregó un coeficiente PHFAC3 en el perfil del suelo del archivo `sprofile.sb2`, para ajustar la tasa de crecimiento de la biomasa.

### 3.8.5 Propiedades del perfil del suelo

Para definir el perfil de un suelo, el modelo requiere información de 10 capas de suelo hasta la profundidad de 2 metros (Farmer *et al.*, 1986). A continuación (Cuadro 6) se encuentran los datos requeridos y las variables que calcula el modelo.

Cuadro 6. Entradas y variables calculadas para un perfil de suelo.

Entradas	Variables calculadas
Espesor de las capas	SWCON2, WR
Porcentaje de arena	LL, DUL, SAT, SALB, U
Porcentaje de arcilla	LL, DUL, SAT, SALB
Porcentaje de limo	LL, DUL, SAT, SALB
Densidad aparente	LL, DUL, SAT, SALB,U
Carbono organico	LL, DUL, SAT, SWCON,WR
Fracción de arena, mayor de 2 mm	LL, DUL, SAT
pH. Relación 1:1 agua-suelo	WR
Saturación de aluminio ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ )	WR
Clasificación taxonómica	CN2
Horizontes del suelo	CN2
Abundancia de raíces	WR
Pendiente	CN2
Color del suelo	SALB
Código de permeabilidad	CN2
Código de drenaje	SWCON

A continuación se presentan la descripción de las variables calculadas (IBSNAT 1986):

SALB (ALBEDO DE SUELO): Albedo del suelo (sin unidades)

U: Limite superior de evaporación del suelo (mm)

SWCON: Constante de drenaje del agua en el suelo. Es la fracción drenada por día.

CN2 (CURVE NO.): Número de curva del Servicio de Conservación de Suelos, usada para calcular la escorrentia diaria.

PHFAC3: Variable que reduce la fotosíntesis, atribuido a la fertilidad del suelo.

LL: Humedad del suelo más baja extraible por las plantas, por capa de suelo (cm/cm).

DUL: Limite superior de humedad del suelo drenado (cm/cm).

SAT: Contenido de agua del suelo saturado (cm/cm).

EXTR: Es la cantidad de agua disponible para las plantas. Es la diferencia entre DUL y LL (mm).

WR: factor de la distribución de las raíces en el suelo (ROOT).

SW (INIT): Contenido de agua inicial en el suelo (cm/cm).

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Componentes físico-biológicos

#### 4.1.1 Componentes físicos

##### 4.1.1.1 Clima

Con base a las informaciones registradas en las estaciones meteorológicas de "La Montaña" (Turrialba) y "Diamantes" (Guápiles), se describen las condiciones climáticas que prevalecieron durante el desarrollo de los experimentos.

##### 4.1.1.1.2 Turrialba

En el cuadro 1A se presentan los datos diarios de radiación, temperaturas máxima y mínimas, y precipitación de octubre 1988 a abril 1989, período de los experimentos de Turrialba. En el cuadro 7 se presentan los promedios mensuales diarios de radiación, temperaturas (máxima y mínima) y precipitaciones totales mensuales, del mismo periodo.

La temperatura mínima promedio diaria fue de 16,7 °C, variando de 14,6 (febrero) a 18,3 °C (octubre), mientras que la temperatura máxima promedio fue de 26,7 °C, variando de 25,7 (febrero) a 27,7 °C (abril).

El promedio de precipitaciones mensuales para el periodo del cultivo fue de 131 mm, con un rango de 58 mm (marzo) a 291 mm (octubre).

La radiación promedio mensual fue de 368,9 cal/cm<sup>2</sup>/día, con una variación de 310,1 (enero) a 439,1 (abril).

Cuadro 7. Promedios diarios de radiación, temperatura máxima y mínima. Precipitación mensual. Turrialba.

MES	TMIN °C	TMAX °C	PRECIP mm	SOL_RAD Cal/cm2/dia
Octubre 88	18,28	27,64	291,00	374,55
Noviembre 88	17,51	27,35	117,00	371,87
Diciembre 88	16,63	25,83	159,00	347,35
Enero 89	16,17	26,28	91,00	310,06
Febrero 89	14,61	25,70	110,00	362,04
Marzo 89	15,69	26,78	58,00	377,23
Abril 89	17,83	27,69	92,00	439,10

Cuadro 8. Promedios diarios de temperatura mínima, máxima, radiación y precipitación mensual. Diamantes -Guápiles, Costa Rica.

MES	TMIN °C	TMAX °C	SOL_RAD Cal/cm2/día	PRECIP mm
Diciembre 88	19,6	26,4	289,8	476,00
Enero 89	19,2	27,4	338,7	189,00
Febrero 89	18,0	27,0	348,8	266,00
Marzo 89	18,1	27,1	394,5	140,00
Abril 89	19,7	28,2	362,4	303,00

#### 4.1.1.1.2 Guápiles

Las variables climáticas de Guápiles fueron registradas por la Estación Meteorológica de Diamantes, dependiente del Instituto Meteorológico Nacional.

En el cuadro 2A se encuentran los registros diarios de temperatura mínima, máxima, precipitación y radiación solar del periodo en que duró el experimento (diciembre 88 a abril 89), mientras en el cuadro 9 se encuentran sus promedios mensuales.

La temperatura mínima promedio diaria mensual fue de 18,9 °C, variando de 18,0 (marzo) a 19,7 (abril). En cambio el promedio de la temperatura máxima mensual diaria fue de 27,2 °C, con un rango de 26,4 (diciembre) a 28,2 (abril).

En la figura 1 se presentan la variación de la temperatura máxima y mínima de los experimentos de validación en Turrialba y Guápiles. No hubo diferencias en la temperatura máxima entre ambos lugares, si bien se presentó una leve tendencia superior en Guápiles. A su vez, en el tiempo mostraron un comportamiento similar, salvo en el periodo del 6 a 9 de febrero en que se presentaron tendencias distintas. La temperatura mínima fue inferior en Turrialba, evidenciando una amplitud térmica diaria ligeramente mayor que en Guápiles. Las tendencias de las dos curvas en el tiempo mostraron mayor variación que lo registrado para la temperatura máxima. Del 3 al 17 de febrero se presentaron las mayores diferencias entre los dos lugares, dado que en Turrialba se registraron los valores más bajo de temperatura mínima. Este periodo coincidió con el desarrollo de la floración y la transición del cultivo al crecimiento reproductivo del experimento de Turrialba (Exp. 03).

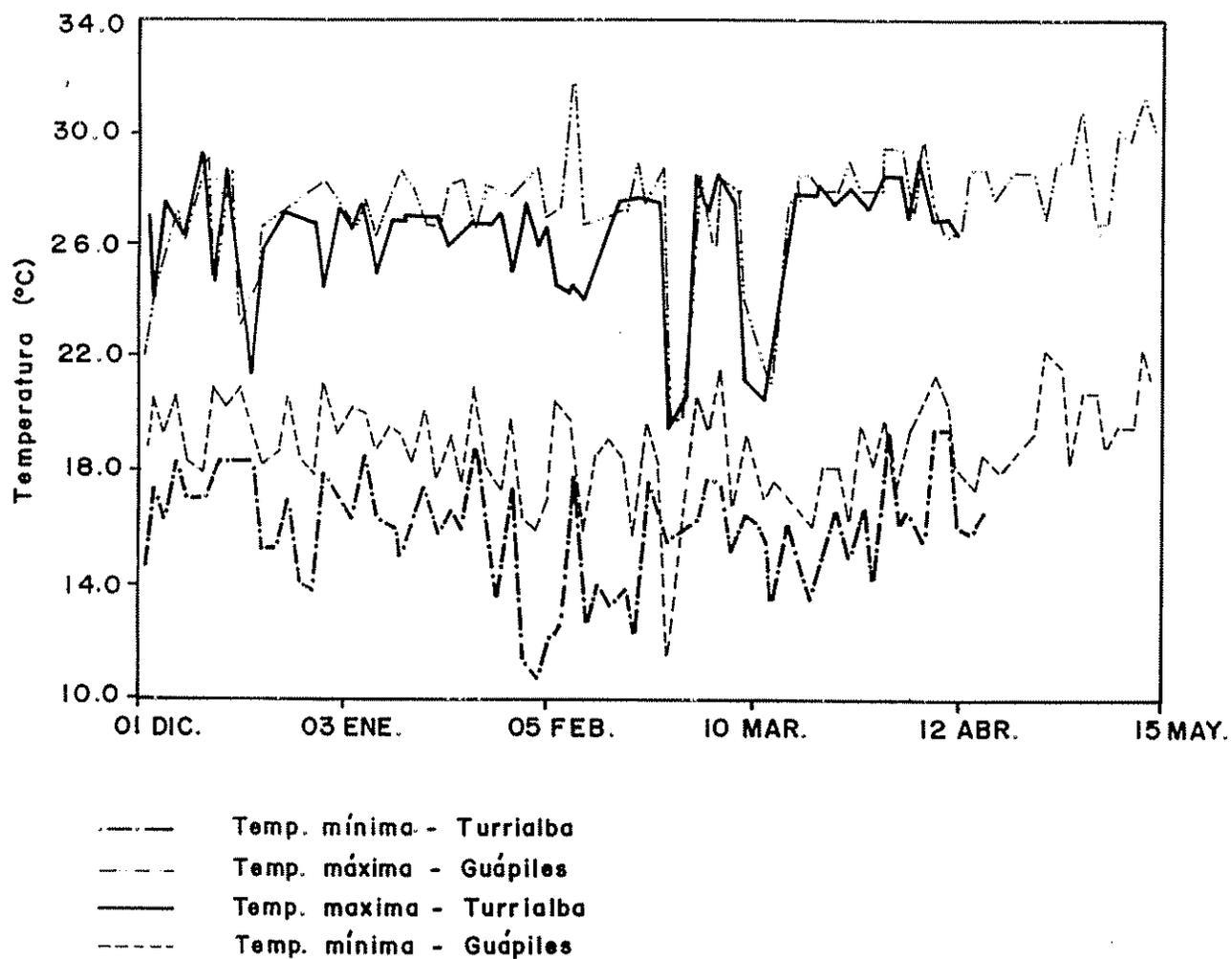


Figura 1. Variación de la temperatura máxima y mínima diaria (°C) de los experimentos de validación de un modelo de soja (*glycine max* (L) Merr.). Costa Rica.

La precipitación media mensual para el periodo de cultivo fue de 266,8 mm, con una variación de 140 mm (marzo) a 476 mm (diciembre).

En la figura 2 se presenta los registros de precipitaciones acumuladas y la evolución de los estados vegetativos y reproductivos de los experimentos de calibración y validación. Las pendientes con tendencias horizontales en la figura indica los periodos con poca o nula precipitación. La distribución de las lluvias durante el desarrollo de los experimentos de calibración (Exp. 01 y 02). fue buena, presentándose una época de sequía al final del periodo de llenado de grano. En cambio, los experimentos de validación estuvieron sujetos a condiciones contrastantes de lluvias, registrándose en Guápiles una mayor acumulación de lluvias. El experimento de Turrialba (Exp. 03) presentó dos épocas de bajas precipitaciones que afectaron el rendimiento, coincidiendo la primera con el periodo de inducción y desarrollo de flores y vainas, y la segunda con la etapa final de llenado de grano. En Guápiles se presentó un periodo de strees hídrico durante al inicio del desarrollo de las vainas, favoreciendo al cultivo para que no se fuera en vicio por el exceso de lluvias.

La radiación solar promedio fue de 346,84 cal/cm<sup>2</sup>/día, fluctuando de 289,76 (diciembre) a 394,51 (marzo).

#### 4.1.1.2 Suelo

##### 4.1.1.2.1 Turrialba

###### 4.1.1.2.1.1 Características físicas

Las características físicas para el suelo de Turrialba se presentan en el cuadro 3A.

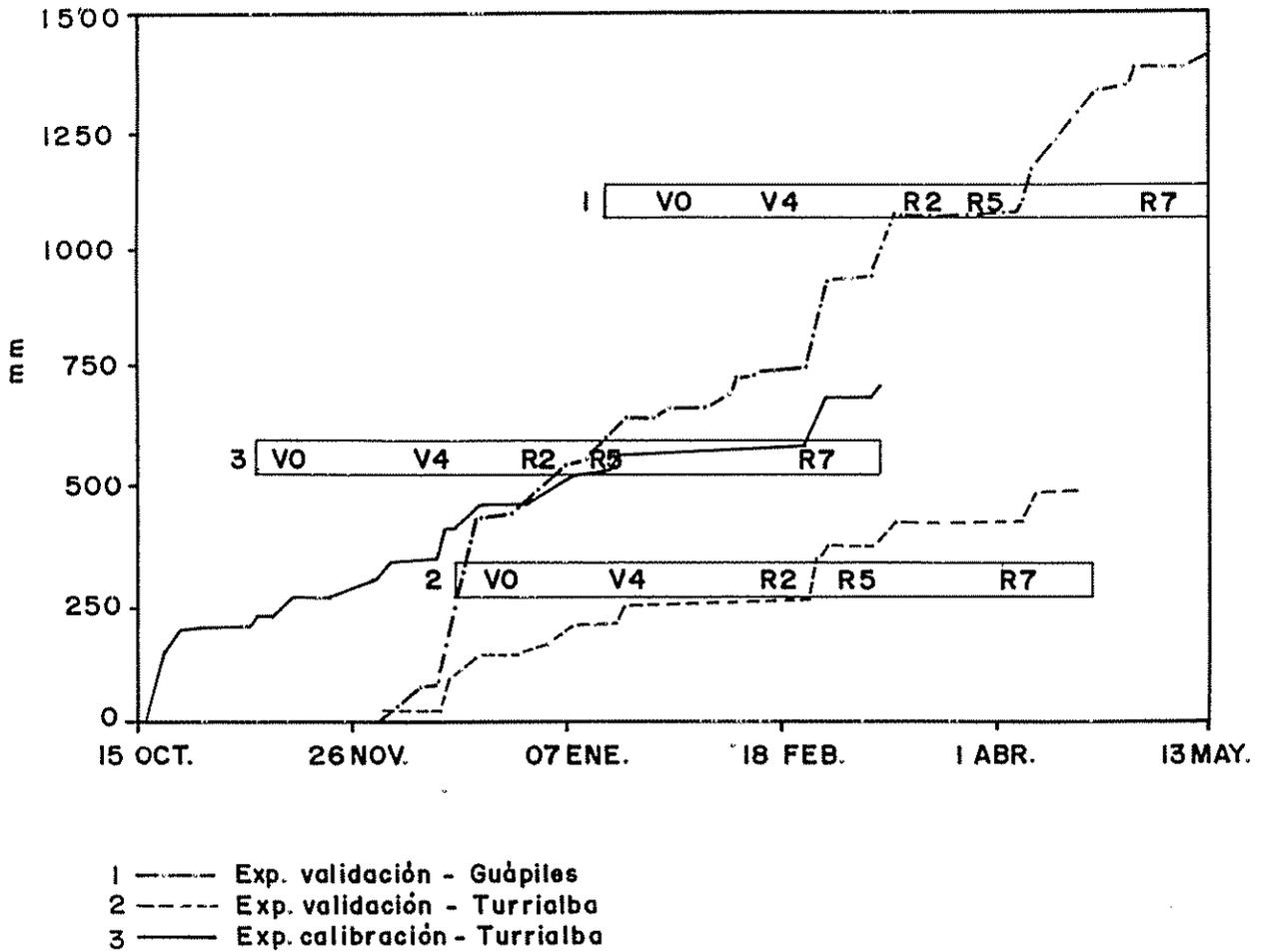


Figura 2. Precipitación acumulada (mm) de los experimentos de calibración y validación de un modelo de soja (*glycine max*) (L) Merr.). Evolución de los estados vegetativos y reproductivos. Costa Rica.

Textura: Para crear el perfil de suelo Montaña, se emplearon los porcentajes de arena, limo y arcilla reportados por Gomez Rodriguez 1987.

Contenido de humedad: En el figura 3 se presenta el contenido de humedad en el PMP, CC y saturación (PS), determinados por el método del plato de presión.

El PMP y la CC de campo presentan la misma tendencia en las diferentes capas muestreadas, mostrando un rango estrecho entre ambos. En cambio, el PS mostró una tendencia descendente en profundidad.

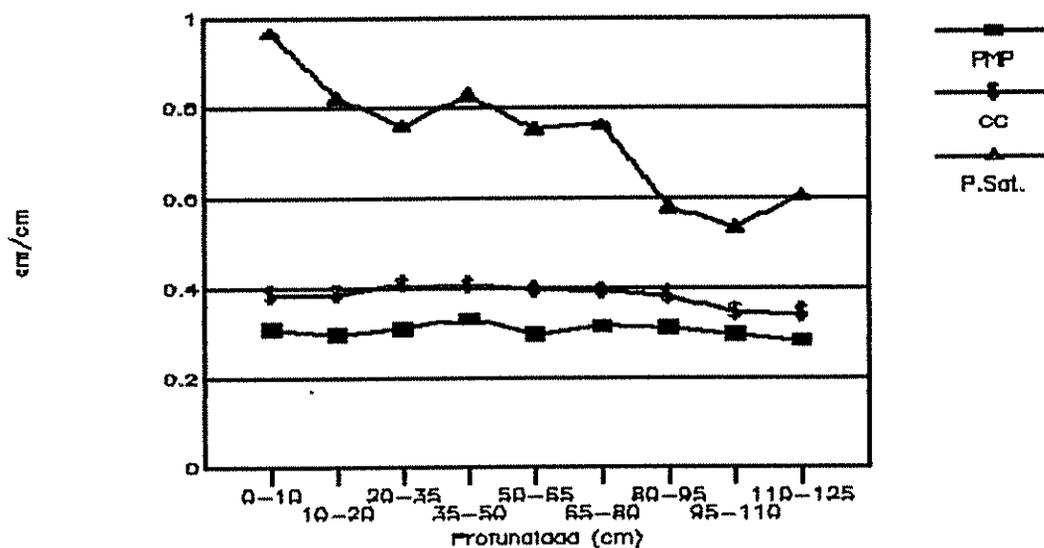


Figura 3. Contenido de agua a saturación (PS), capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP), determinados por el plato de presión en un suelo Typic humitropept. Est. La Montaña, Turrialba, Costa Rica.

En la figura 4 se encuentran los contenidos de humedad del suelo Turrialba Clay (Cuadro 10), con los cuales se corrió el modelo para las condiciones edafoclimáticas de Turrialba. El PMP y CC fueron calculados mediante el método biológico y con 48 horas de infiltración, respectivamente (Gomez Rodriguez, 1987). La mayor diferencia entre los contenidos de humedad medidos por el plato de presión (Fig. 3) y los calculados para el suelo Turrialba Clay (Fig. 4) radica en el contenido de agua disponible en el suelo para las plantas.

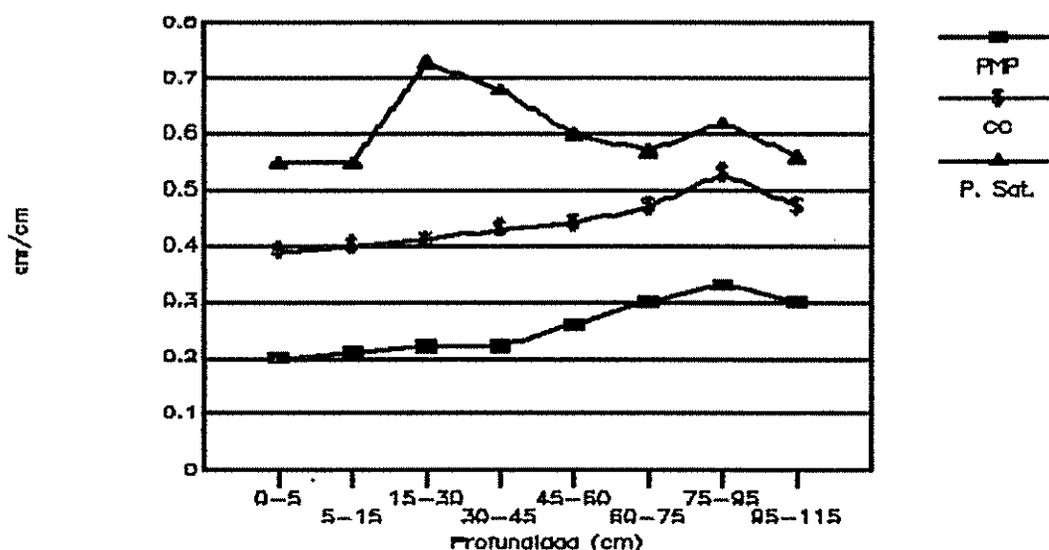


Figura 4. Contenido de agua a saturación (PS), capacidad de campo (CC) y punto de marchitez (PMP) para el suelo Turrialba Clay. Turrialba, Costa Rica.

Densidad aparente: La densidad aparente varió de 1,01 a 1,34, mostrando una tendencia ascendente en profundidad (Cuadro 3A).

#### 4.1.1.2.1.2 Características químicas

Las propiedades químicas para el suelo de Turrialba se presentan en el cuadro 4A.

Materia orgánica: La materia orgánica varió de 5,7 a 0,3 (figura 5), mostrando niveles altos en los primeros 35 cm. para posteriormente, decaer en forma significativa.

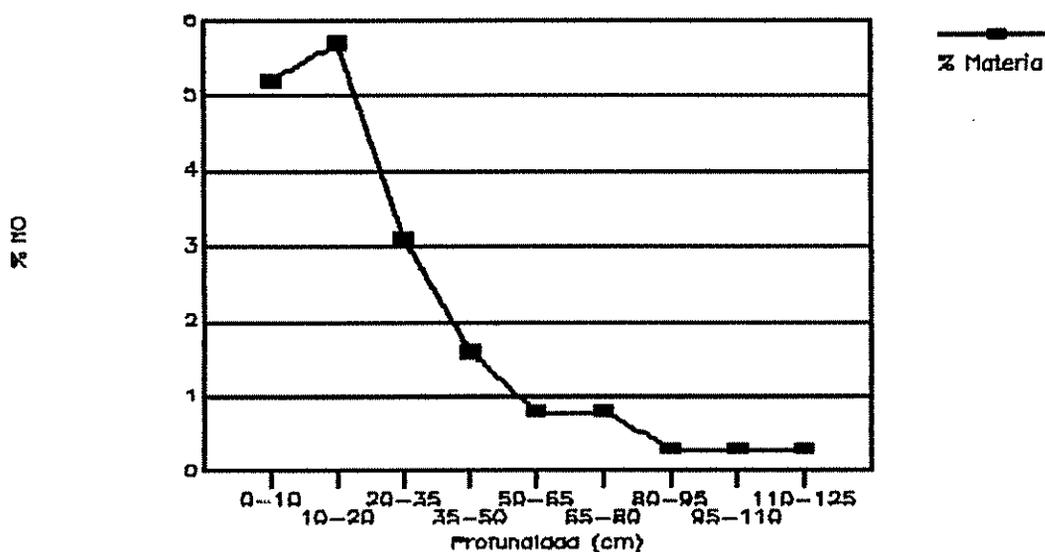


Figura 5. Contenido de materia orgánica, por estrato de suelo. Turrialba, Costa Rica.

Nivel de nitrógeno: En la figura 6 se encuentra los niveles de nitratos, amonio y nitrógeno total. No se detectaron niveles de amonio. El nitrógeno total varió de 2,9 a 0,2 gr/kg., mostrando un comportamiento similar a la variación de la materia orgánica.

Los niveles de nitratos mostraron una tendencia descendente hasta los 65 cm., para aumentar en las 3 capas siguientes, para decaer posteriormente. Este comportamiento se debe a la gran movilidad del nitrógeno, originándose zonas de retención de nitratos (González et al, 1985). Similares resultados fueron obtenidos por Castillo Gomez 1988 y Romero del Valle 1988 para el mismo suelo.

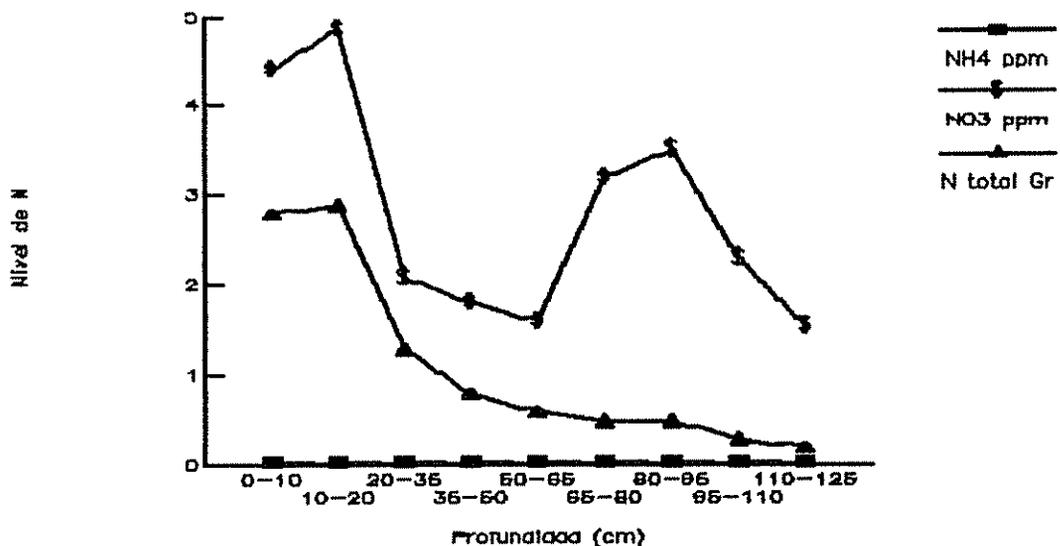


Figura 6. Contenido de nitrógeno total (gr/kg), amonio (ppm) y nitratos (ppm), por estrato de suelo. Turrialba, Costa Rica.

Potasio y fósforo: El nivel de potasio varió de 0,33 a 0,01 meq/100 ml. de suelo. El fósforo varió desde 11,66 a 2,29 Ug/ml.

pH: Los pH determinados indican la fuerte acidez del suelo, mostrando una tendencia cíclica de aumento del pH

hasta la profundidad de 65 cm. para decaer posteriormente (Cuadro 4A).

#### 4.1.1.2.1.3 Perfiles de suelo

Con la información de las variables físicas y químicas de suelo obtenidas en el laboratorio se generó, mediante la subrutina IPSOIL, el perfil de suelo denominado Montaña.

Con base a la información de la serie Instituto (Aguirre Aste, 1971) se generó, mediante la subrutina IPSOIL, el perfil de suelo denominado Instituto. Con base al contenido de agua en el punto de máxhitez permanente (método biológico), de la capacidad de campo (método a 48 horas de drenaje) y del punto de saturación del suelo obtenida por Gomez Rodriguez 1987, se modificó estos parámetros en el suelo Instituto, generando el suelo Turrialba Clay, dado que el IBSNAT aconseja, en caso de disponerse, utilizar los umbrales de humedad medidos a campo.

Con el fin de evaluar los rendimientos de grano simulados para la variedad IAC-8 utilizando los tres perfiles de suelo, se lo comparará con los rendimientos observados del tratamiento de baja densidad y sin fertilización del experimento O1 (Turrialba).

No hubo diferencias significativas, mediante la prueba de "t" de datos pareados entre los tres perfiles de suelo y los datos observados (Cuadro 9).

Cuadro 9. Comparación de rendimientos observados y simulados (Kg/Ha), utilizando tres perfiles de suelo.

Tratamiento Nº	Resultados Observados	Resultados Turrialba	Simulados Instituto	Montaña
1	2662	2735	2542	2639
2	2544	2636	2448	2545
3	2800	3159	2938	3043
4	3298	3220	2991	3106
5	3047	3621	3371	3511
6	3292	3488	3248	3368

Todos los experimentos de Turrialba se corrieron con el suelo Turrialba Clay. En el cuadro 10 se encuentran los valores del punto de marchitez permanente (LL), capacidad de campo (DUL), punto de saturación (SAT), la cantidad de agua extraíble por las plantas (EXTR), el contenido de agua inicial (INIT) y el factor de enraizamiento (ROOT) del suelo Turrialba clay.

Cuadro 10. Descripción de los umbrales de humedad y el factor de enraizamiento del perfil del suelo Turrialba Clay.

CAPAS cm	LL	DUL	SAT	EXTR	INIT	ROOT
0-5	.240	.390	.550	.150	.390	1.000
5-15	.240	.390	.550	.150	.400	1.000
15-30	.260	.400	.730	.140	.410	.500
30-45	.280	.420	.680	.140	.430	.500
45-60	.300	.440	.600	.140	.440	.200
60-75	.330	.470	.570	.140	.470	.200
75-95	.330	.530	.620	.200	.530	.100
95-115	.310	.470	.560	.160	.470	.100
Total (mm)	339,5	518,0	705,5	178,5	518,0	

Hubo diferencias notorias en el contenido de humedad en el punto de marchitez permanente (PMF) y capacidad de campo (CC) generadas por el modelo para el suelo Instituto y las medidas para el suelo Turrialba Clay (Figura 4), con los resultados obtenidos mediante el plato de presión a 1500 y

33 kPa (Figura 3), para el mismo suelo. Con el fin de verificar estos resultados se lo comparó con las determinaciones hechas, con el mismo método, por Gomez Rodriguez 1987, Castillo Gomez 1988, Heer 1986, Romero del Valle 1988 y Aguirre Aste 1971, obteniendo coeficientes de variación menores al 10% (Cuadros 5A y 6A).

Dadas las diferencias en el contenido de humedad entre ambas metodologías, se realizó un análisis de sensibilidad del modelo para diferentes contenidos de humedad extraíble (EXTR), obtenidas mediante la variación gradual del punto de marchitez permanente y la capacidad de campo. En el siguiente cuadro (Cuadro 11) se muestra la variación en el rendimiento simulado del tratamiento 1 (baja densidad y sin fertilización) de la variedad IAC-8 (usando los coeficientes genéticos aportados por Florida) para diferentes cantidades de agua extraíble. El punto A es el contenido de agua por el método biológico y 48 horas de drenaje (Cuadro 10). El punto B es el contenido de humedad extraíble del promedio de FMP y CC por el método de desorción a 1500 y 33 kPa (Cuadros 5A y 6A).

El rendimiento observado para el tratamiento 1 fue de 2762 Kg/ha

Cuadro 11. Relación agua disponible y rendimiento simulado.

AGUA DISPONIBLE mm	REND. SIMULADO Kg/ha
64	0
72,5 *B	287
91	926
115	1147
142,5	1720
148,4	2432
178,5 *A	2496
182,5	2527
215	2606

Con base a esta información se construyó una curva (Figura 7), con su intervalo de confianza, dando la siguiente ecuación:

$$y = - 731,508 + 0,252047 x^2 - 0,000838 x^3$$
$$R^2 = 0,9681$$

Donde

y= Rendimiento simulado (Kg/ha) X= Agua disponible (mm)

La mayoría de rendimientos graficados se encuentran dentro de la banda de confianza, con lo cual se demuestra que el modelo simula en forma consistente.

#### 4.1.1.2.2 Guápiles

##### 4.1.1.2.2.1 Características físicas

Las propiedades físicas para el suelo de Guápiles se presentan en el cuadro 7A.

Textura: La mayoría de las capas muestreadas corresponden a la clase textural franco arenoso, variando la proporción de arena, limo y arcilla en profundidad (Figura 8).

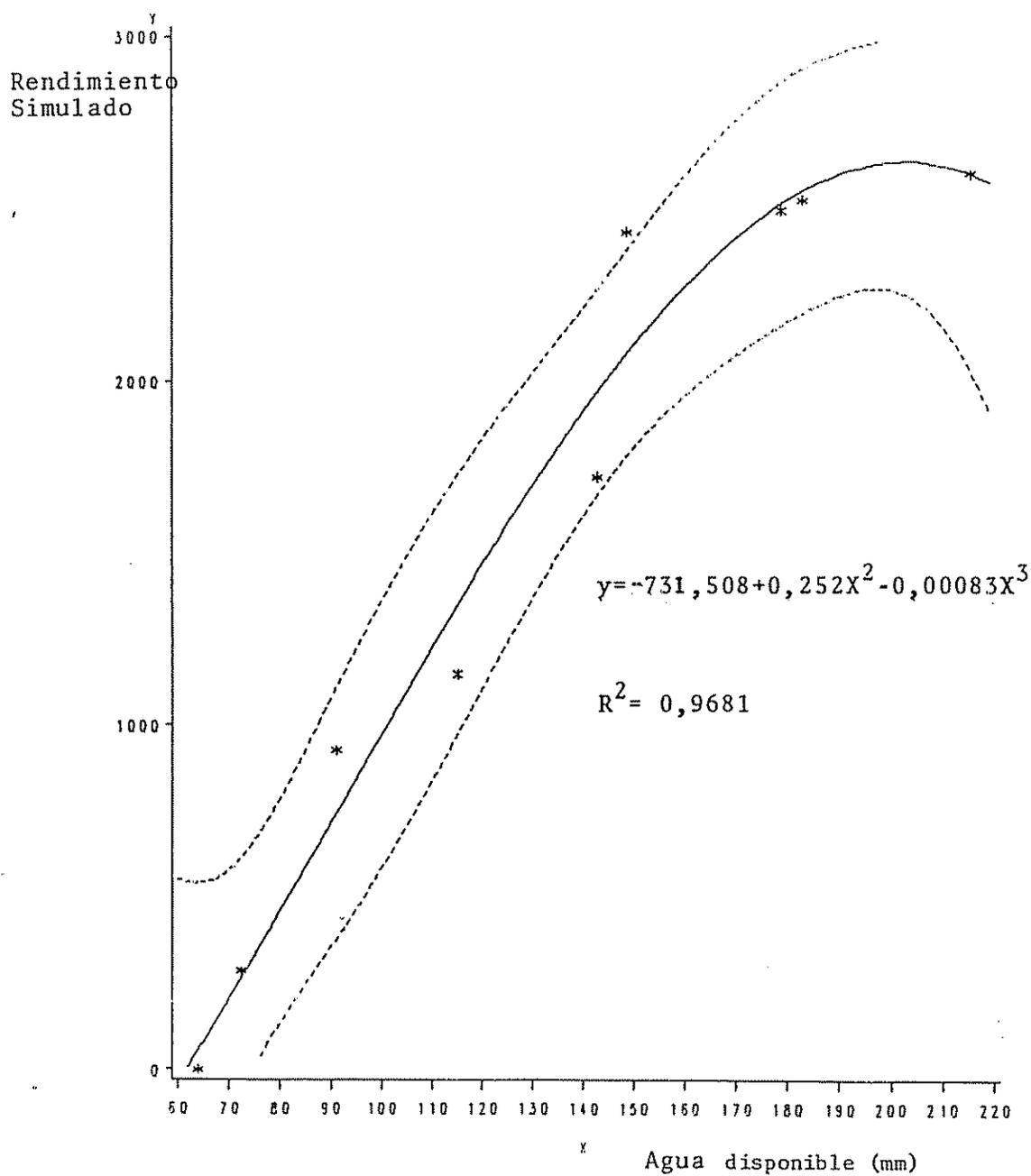


Figura 7. Relación entre el agua disponible para las plantas y el rendimiento simulado (Kg/Ha).

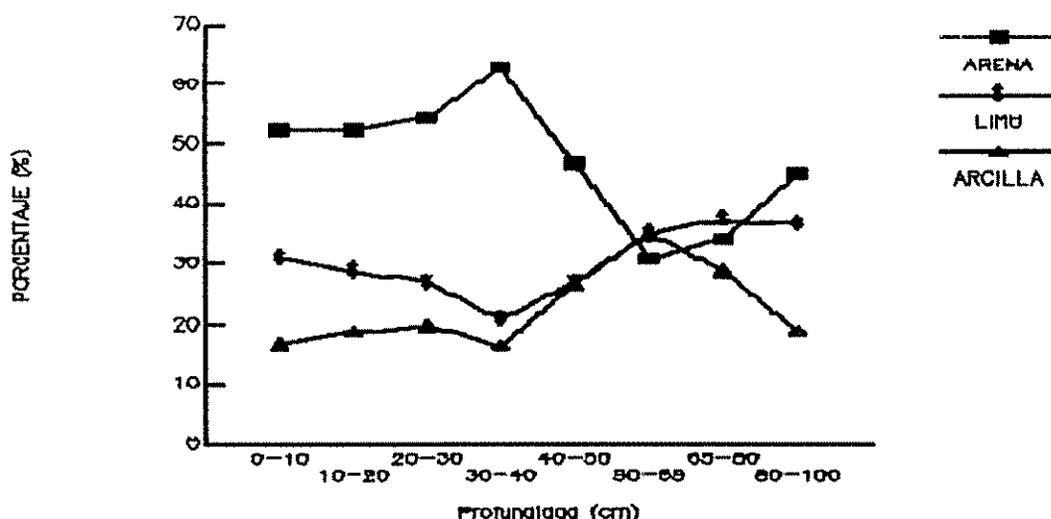


Figura 8. Contenido de arena, arcilla y limo por estratos de suelo. Estación Exp. Diamantes, Guápiles, Costa Rica.

Densidad aparente: La densidad aparente (Cuadro 7A) varió de 1,28 a 0,80, manteniéndose estable en los primeros estratos de suelo (hasta los 40 cm.) para decaer en profundidad.

Contenido de humedad: En la figura 9 se muestra el contenido de humedad en el PMP, CC y saturación (PS), determinados por el plato de presión. Sin embargo, por las razones de expuestas anteriormente para, correr el modelo se usó la cantidad de agua disponible generado por la subrutina del modelo.

Las tendencias en los contenidos de humedad se mantuvieron estables hasta los 40 cm, aumentando en profundidad. Comparando estos resultados con los obtenidos en Turrialba, ambos suelos presentaron una banda estrecha

para el agua disponible, siendo mayor en Guápiles. Los valores de saturación (FS) mostraron tendencias distintas. La textura puede ser la causa del comportamiento distinto entre ambos suelos.

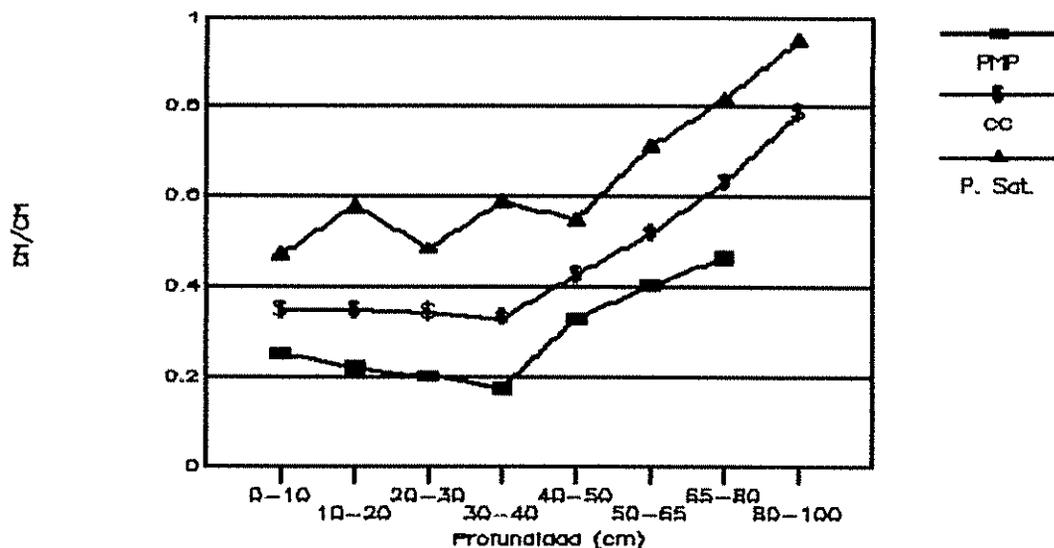


Figura 9. Contenido de agua por estratos de suelo.  
Estación Exp. Guápiles, Costa Rica.

En la figura 10 se presentan los contenidos de agua disponible en el suelo (mm) y la evolución de los estados vegetativos y reproductivos para los experimentos de calibración y validación. Esta figura tiene gran correspondencia con las precipitaciones (Figura 2). Mientras los experimentos de calibración presentaron buena cantidad de agua hasta el estado de la formación de vainas (R5), decayeron posteriormente durante el llenado de grano hasta la madurez fisiológica. Durante los experimentos de validación se dieron condiciones contrastantes, mientras el contenido de agua disponible en Guápiles aumentó desde la siembra, en Turrialba se dieron condiciones contrarias.

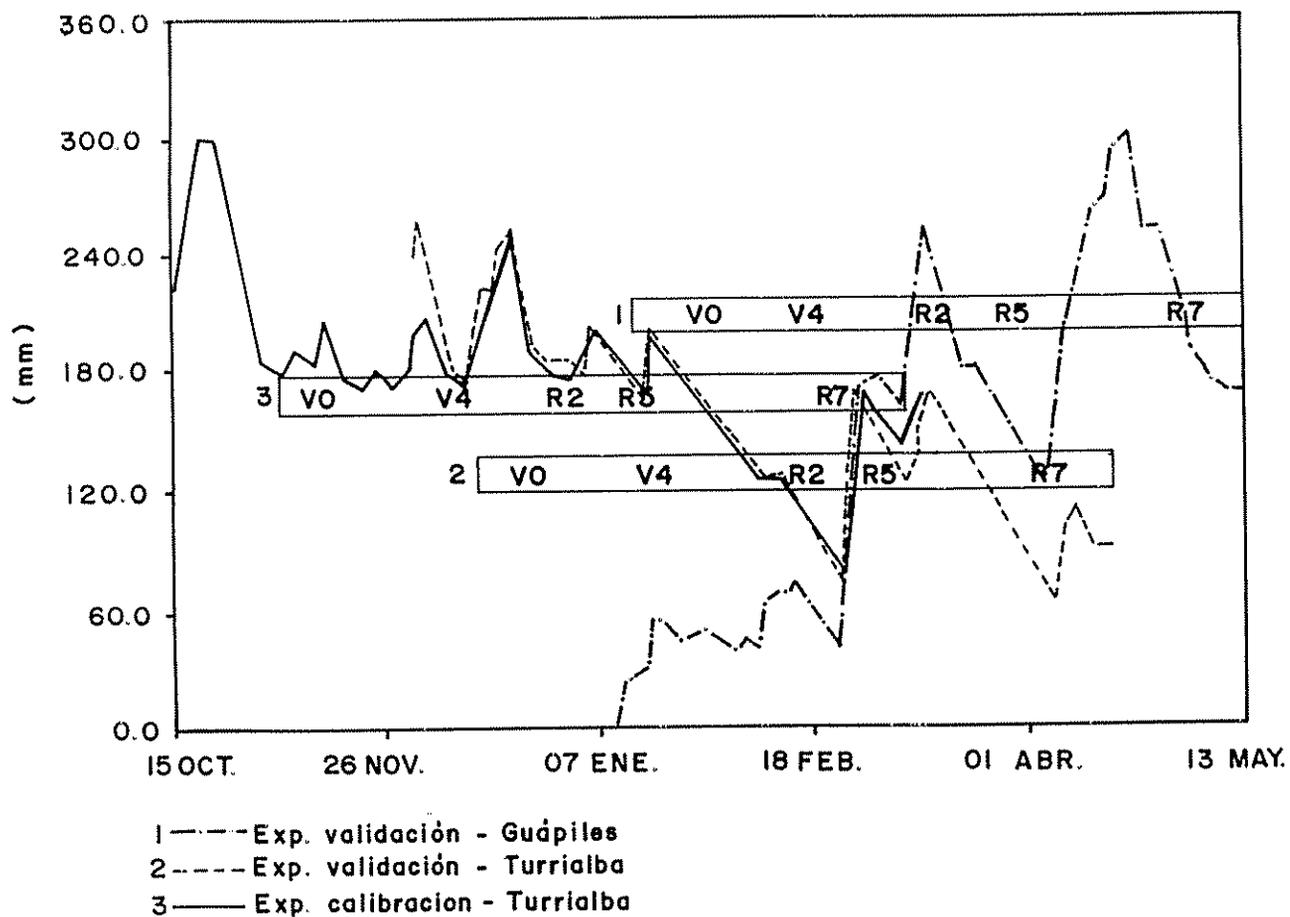


Figura 10. Relación entre el contenido de agua disponible en el suelo (mm) y la evolución de los estados vegetativos y reproductivos de los experimentos de calibración y validación, de soja (*glycine max* (L) Merr.), Costa Rica.

#### 4.1.1.2.2.2 Características químicas

Las propiedades químicas del suelo de Guápiles se encuentra en el cuadro 8A.

Materia orgánica: La materia orgánica (Figura 11) varió de 4,51 a 1,08, mostrando grandes variaciones entre estratos, lo cual evidencia su origen fluvial.

Nivel de nitrógeno: En la figura 12 se encuentra los niveles de nitratos, amonio y nitrógeno total. Los análisis indican un buen nivel de nitrógeno total, variando desde 3,1 a 0,6 gr/Kg. No se detectaron niveles de amonio. Los nitratos variaron desde 4,13 a 2,58 ppm, siendo variable entre capas.

Potasio y fósforo: El nivel de potasio varió desde 0,55 a 0,17 meq/100 ml de suelo. El fósforo varió desde 18,7 a 7,4 Ug/ml.

pH: Los niveles de pH (Cuadro 8) determinados en relación 1:1 agua:suelo y con KCl indican la fuerte acidéz del suelo. Los valores medidos mostraron una tendencia descendente con la profundidad.

#### 4.1.2 Componentes biológicos

##### 4.1.2.1 Contenido de nitrógeno

En los cuadros 9A y 10A se encuentran los resultados del análisis de nitrógeno (%) de los experimentos O1 (IAC-8) y O2 (SIATSA 194-A) de hojas y peciolo para los estados V4 y R4; de tallo para V4, R4 y R8; de cáscara y semillas para R4 y R8.

Las figuras 13, 14 y 15 muestran los resultados del análisis de nitrógeno de los 6 tratamientos de los estados V4, R4 y R8, respectivamente, de la variedad IAC-8. Mientras

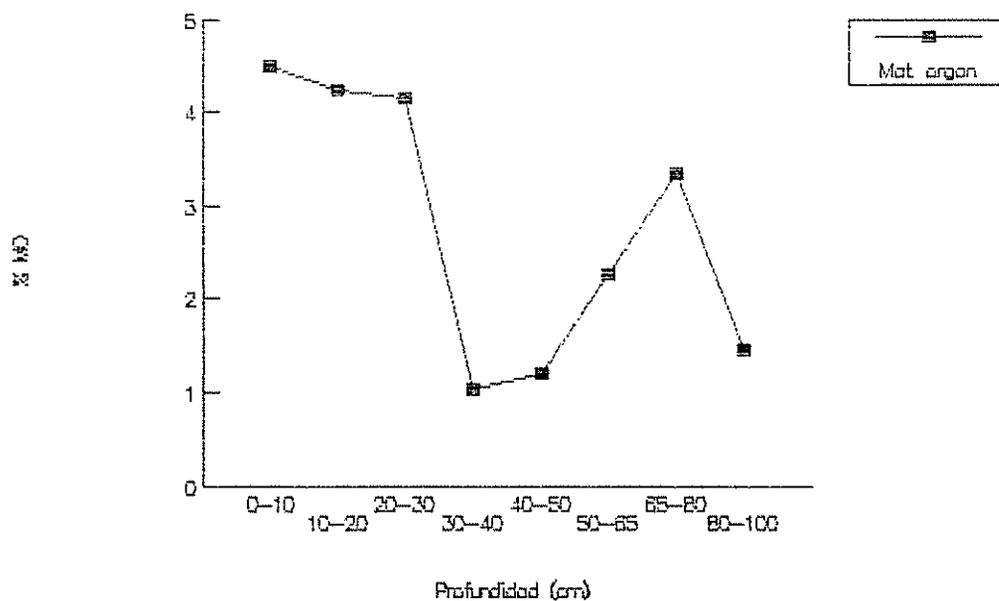


Figura 11. Contenido de materia orgánica por estratos de suelo. Diamantes, Guápiles, Costa Rica.

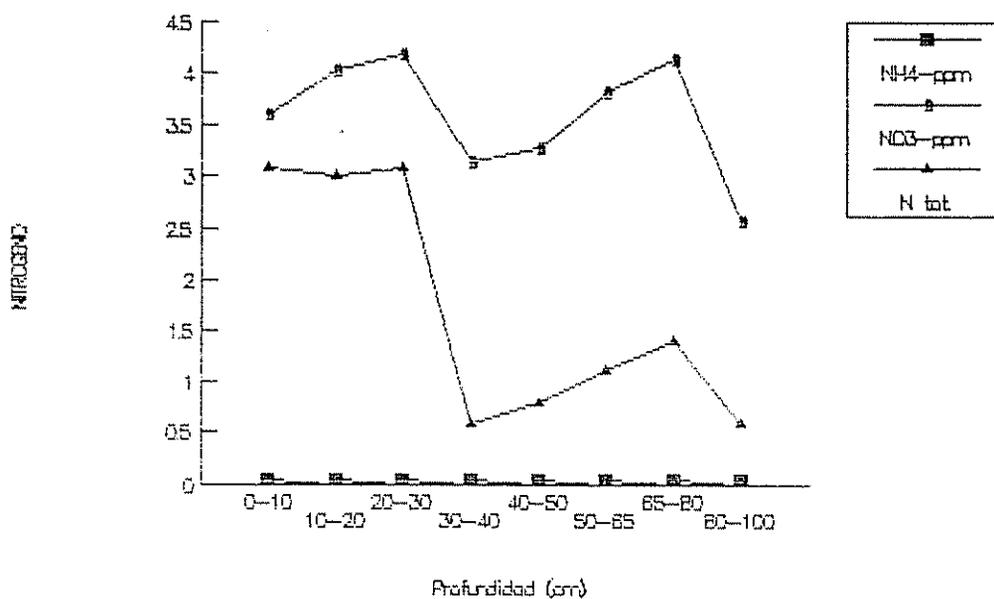


Figura 12. Contenido de Nitrógeno total (gr/kg), Amonio (ppm) y Nitratos (ppm) por estratos de suelo. Diamantes, Guápiles, Costa Rica.

que las figuras 16, 17 y 18 lo hacen de la variedad SIATSA 194-A.

IAC-8: Los porcentajes de nitrógeno en tallo y peciolo mostraron un comportamiento similar, no habiendo diferencia entre ellos. Los valores promedios para los 6 tratamientos variaron de 2,82 y 2,80 en el estado V4, de 1,24 y 1,33 en el estado R4, para el peciolo y tallo respectivamente. Mientras que en el estado R8, el tallo registró un promedio de 0,53 %.

El nivel de las hojas decayó levemente entre los estados V4 y R4, variando en promedio de 5,15 a 4,7 %. En los registros de hojas, peciolo y tallo del tratamiento 3 (densidad media, sin fertilización) en el estado V4 se presentaron valores más bajos que los tratamientos con baja y alta densidad, pudiéndose deberse a problemas de suelo dado que esta tendencia se mantuvo (en menor escala) en el estado R4.

Los análisis de nitrógeno en vainas (cáscara y semillas) en R4 registraron en promedio 3,97 %, presentándose el registro mayor en el tratamiento 5 (densidad alta, sin fertilización), debiéndose posiblemente a un efecto de contaminación.

Para las distintas partes de la planta analizadas, los tratamientos fertilizados (Trat. 2, 4, 6) presentaron valores más altos que los no fertilizados (Trat. 1, 3, 5).

En el estado de madurez fisiológica (R8) se realizaron análisis de cáscara y semilla. Las semillas registraron un valor promedio de 6,37 %, presentándose los mayores porcentajes de nitrógeno en la planta. Las cáscaras presentaron valores de 0,58 %, similares a los análisis de tallo.

SIATSA 194-A: Esta variedad mostró las mismas tendencias que los registrados para la variedad IAC-8, presentándose en todos los casos valores entre un 8 a 12 % más altos que la variedad IAC-8.

#### 4.1.2.2 Rendimiento de grano

Para el análisis de los rendimientos de grano de la cosecha final (14 % humedad), fueron divididos según la etapa de calibración y validación:

Calibración: En el cuadro 11A se encuentran los resultados de cosecha de los experimentos de calibración, para la variedad IAC-8 (Exp. 01) y SIATSA 194-A (Exp. 02).

En los cuadros 12 y 13 se presentan los análisis de varianza de rendimiento de grano (Kg/ha) de los experimentos 01 (IAC-8) y 02 (SIATSA 194-A), respectivamente.

Cuadro 12. Análisis de varianza del rendimiento de grano de la variedad IAC-8 (Exp. 01), en Turrialba.

FUENTE DE VARIACION	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	VALOR -F-	PR>F
REPETICION	2	317189,33	158594,67	1,09	0,3744
TRATAMIENTO	5	865872,00	173174,40	1,19	0,3796
DENSIDAD (A)	2	828474,67	414237,33	2,85	0,1041
FERTILIZ. (B)	1	11240,89	11240,89	0,08	0,7822
INT. A*B	2	26156,44	13078,22	0,09	0,9142
ERROR	10	1454854,67	145485,47		
TOTAL	17	2637916,00			

En ambos experimentos no se detectaron diferencias estadísticas entre tratamientos, densidades y fertilización. Los coeficientes de variación fueron de 11.5 y 9.2 para los experimentos 01 y 02, respectivamente.

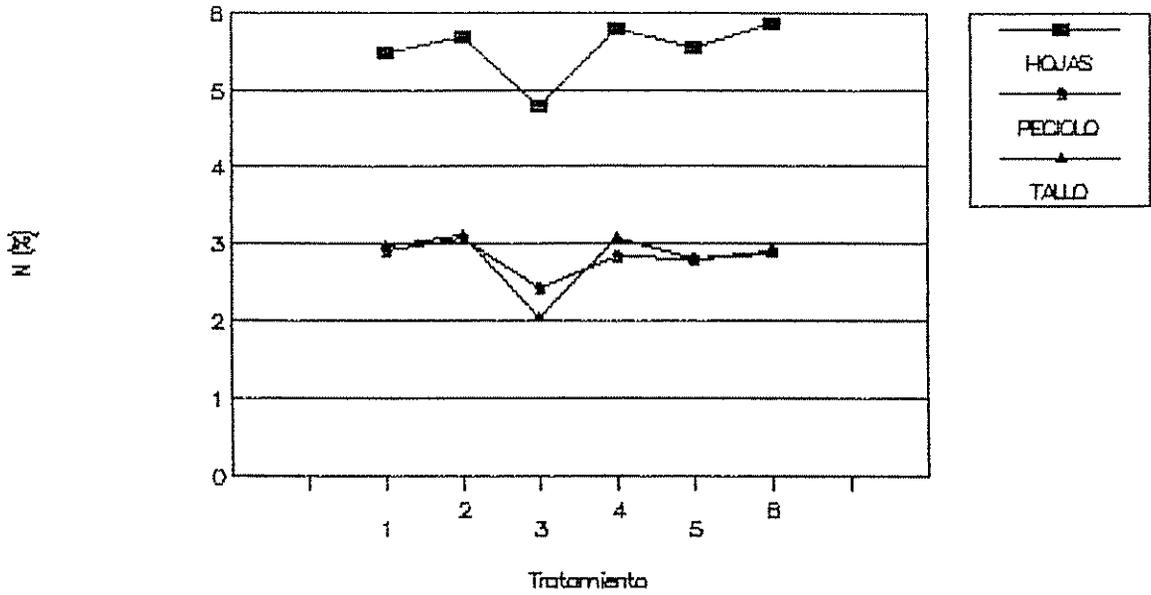


Figura 13. Contenido de Nitrógeno en planta. Estado V4 de la variedad IAC-8.

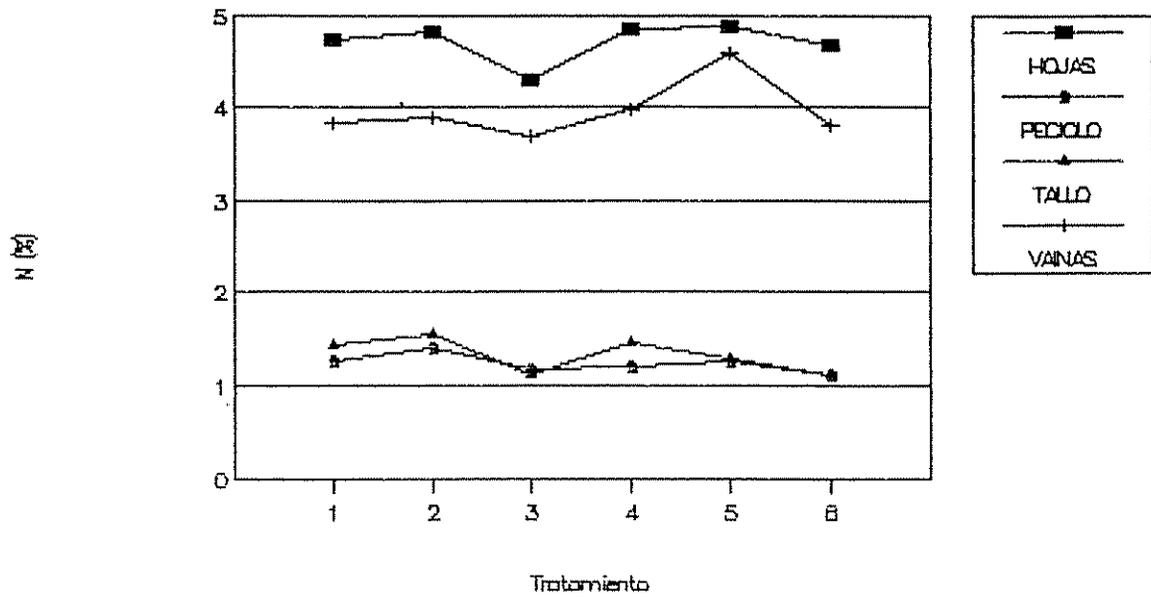


Figura 14. Contenido de Nitrógeno en planta. Estado R4 de la variedad IAC-8.

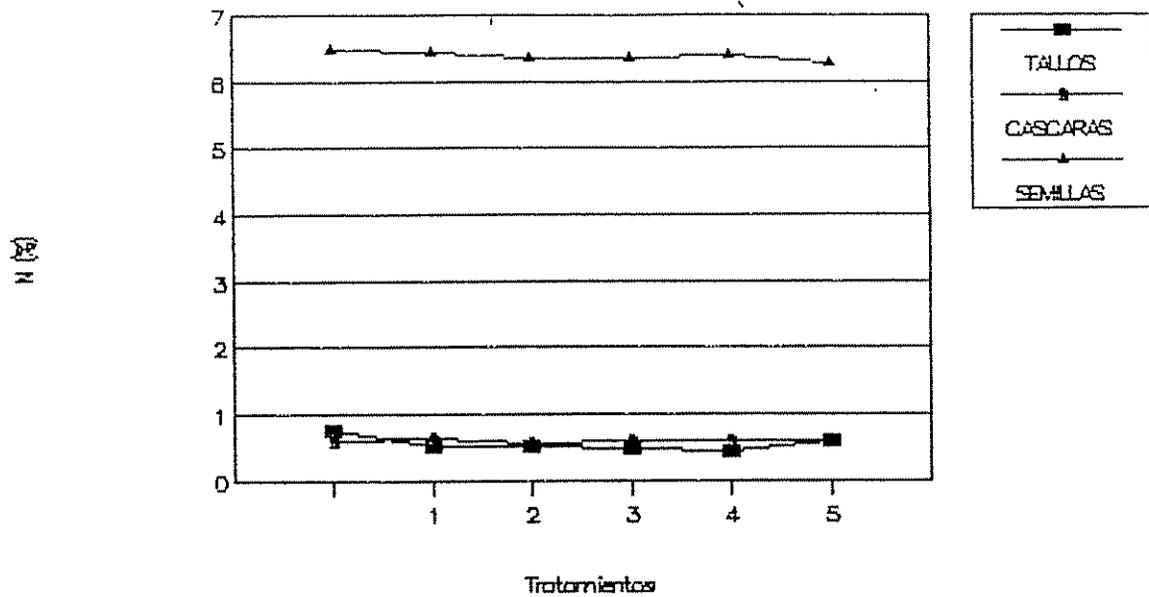


Figura 15. Contenido de Nitrógeno en planta. Estado R8 de la variedad IAC-8.

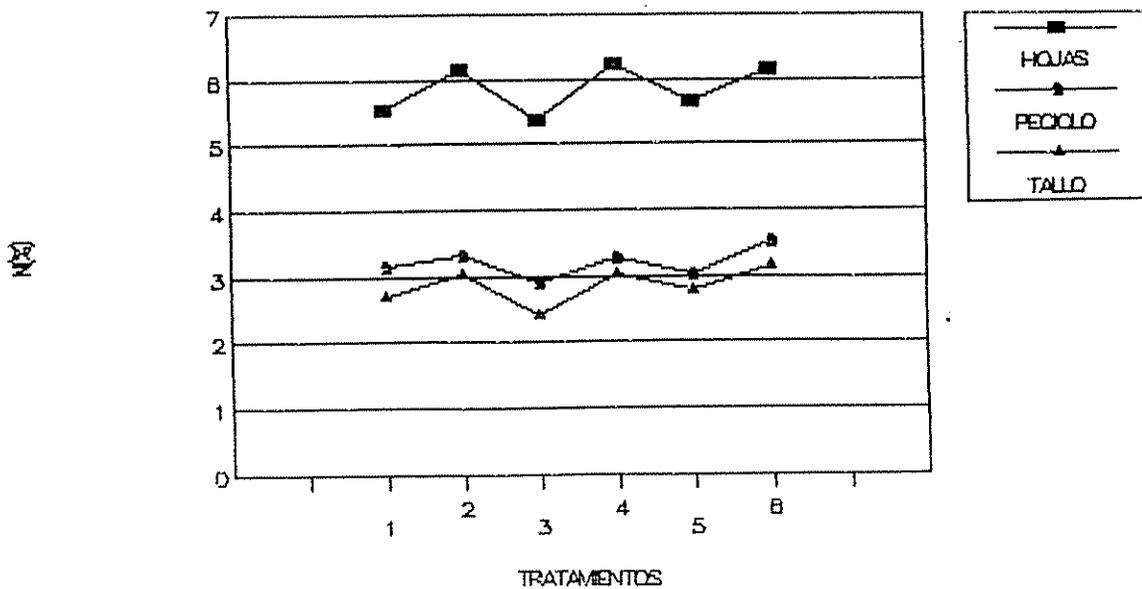


Figura 16. Contenido de Nitrógeno en planta. Estado V4 de la variedad SIATSA 194-A.

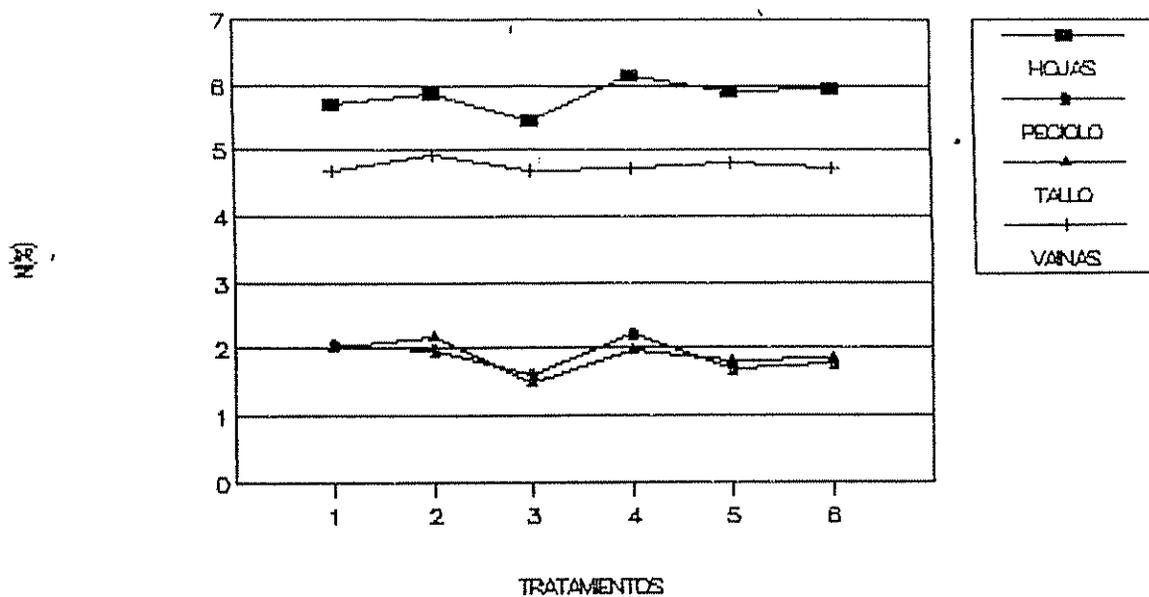


Figura 17. Contenido de Nitrógeno en planta. Estado R4 de la variedad SIATSA 194-A.

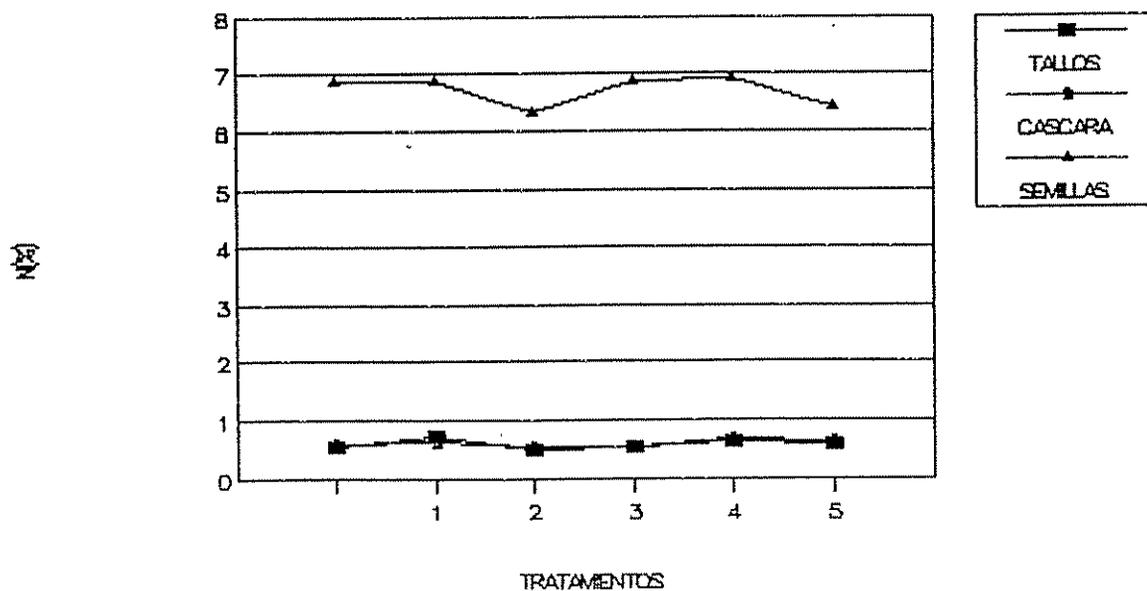


Figura 18. Contenido de Nitrógeno en planta. Estado R8 de la variedad SIATSA 194-A.

La variedad SIATSA 194-A presentó mayor tendencia al vuelco que la variedad IAC-8, especialmente en las parcelas fertilizadas.

Cuadro 13. Análisis de varianza del rendimiento de grano de la variedad SIATSA 194 (Exp. 02), en Turrialba.

FUENTE DE VARIACION	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	VALOR -F-	PR>F
REPETICION	2	182224,00	91112,00	0,95	0,5785
TRATAMIENTO	5	243005,33	48601,07	0,51	0,7666
DENSIDAD (A)	2	85674,67	42837,33	0,45	0,6563
FERTILIZ. (B)	1	88204,44	88204,44	0,92	0,6375
INT. A*B	2	69126,22	34563,11	0,36	0,7099
ERROR	10	959192,67	95919,27		
TOTAL	17	1384422,00			

Validación: En el cuadro 12A se encuentran los resultados de cosecha de los experimentos 03 (Turrialba) y 04 (Guápiles).

En los cuadros 14 y 15 se presentan los análisis de varianza de los rendimientos de grano (Kg/Ha) de los experimentos 03 (Turrialba) y 04 (Guápiles).

Cuadro 14. Análisis de varianza del rendimiento de grano del experimento de validación (Exp.03), en Turrialba.

FUENTE DE VARIACION	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	VALOR -F-	PR>F
REPETICION	3	540784,00	180261,33	5,69	0,0184
TRATAMIENTO	3	883326,00	294442,00	9,30	0,0045
VARIEDAD (A)	1	792096,00	792096,00	25,01	0,0010
FERTILIZ. (B)	1	81224,00	81224,00	2,56	0,1414
INT. A*B	1	10006,00	10006,00	0,32	0,5928
ERROR	9	285090,00	31676,67		
TOTAL	15	1709200,00			

Según la prueba de F para el experimento 03 (Turrialba), existen diferencias altamente significativas

entre tratamientos, por efecto del factor variedad. No habiendo diferencias estadísticas por efecto de fertilización ni la interacción variedad-fertilidad. Las diferencias en el rendimiento se debe de que en plena floración, el cultivo fue atacado por la roya (*Pakopsora pachyrrizae*) en mayor grado a la variedad SIATSA 194-A, provocando necrosis y caída prematura de hojas disminuyendo la fotosíntesis y el rendimiento.

En cambio el experimento 04 (Guápiles), no mostró diferencias entre tratamientos, variedad, fertilidad, ni la interacción variedad-fertilidad.

Los coeficientes de variación fueron de 6.33 y 9.00 para los experimentos 03 y 04, respectivamente.

Cuadro 15. Análisis de varianza del rendimiento de grano del experimento de validación (Exp. 04), en Guápiles.

FUENTE DE VARIACION	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	VALOR -F-	PR>F
REPETICION	3	313588,00	104529,33	0,91	0,5259
TRATAMIENTO	3	43288,00	14429,33	0,13	0,9416
VARIEDAD (A)	1	784,00	784,00	0,01	0,9337
FERTILIZ.(B)	1	34032,00	34032,00	0,30	0,6036
INT. A*B	1	8472,00	8472,00	0,07	0,7869
ERROR	9	1029874,00	114430,44		
TOTAL	15	1386750,00			

#### 4.2 Simulación y sistema real

Mediante la comparación de las salidas simuladas con los resultados observados del crecimiento y desarrollo de la soja, usando los experimentos de calibración 01 y 02 en Turrialba, se calibraron las variedades IAC-B y SIATSA 194-A.

#### 4.2.1 Coeficientes genéticos

En base a la información de los dos experimentos de calibración, el IBSNAT (Florida, 1989) definió los coeficientes genéticos para la variedad IAC-8 (Exp. 01) y SIATSA 194-A (Exp. 02), que se encuentran a continuación:

<u>Parámetros</u>	<u>IAC-8</u>	<u>SIATSA 194-A</u>
MAT. GRP	9	9
VARN1, VARN0	5,00 12,00	5,00 12,00
VARTH, VARDH	18,62 1,0	18,62 1,0
VARTHR (1,2,3)	5,00 9,00 5,00	5,00 9,00 0,00
VARTHR (4,5,6)	5,50 12,86 8,50	7,40 12,86 8,50
VARTHR (7,8,9)	9,50 9,50 34,00	11,4 22,0 34,00
VARTHR (10,11)	47,50 12,00	47,50 12,00
SHVAR, SDVAR	11,0 6,0	13,0 6,0
SDPDVR, PODVAR	2,10 200,0	2.10 200,0
FLWVAR, TRIFOL	400,0 0,338	400,0 0,338
SIZELF, SLAVAR	173,7 350,0	250,0 350.0

Además no resultó necesario calibrar el modelo para simular bajo las condiciones de Turrialba, ya que las simulaciones (calibrada la variedad) tuvieron buena aproximación con los resultados observados en rendimiento de grano y biomasa total.

En la calibración de las variedades realizadas por el IBSNAT los resultados predichos y simulados no fueron precisos en la biomasa total, biomasa de tallos, peso de semillas y número de semillas por metro cuadrado.

Por estas razones se decidió variar algunos coeficientes genéticos, de acuerdo al cultivar empleado. Para ambas variedades se realizaron tres calibraciones. La calibración 1, correspondió a la calibración realizada por el IBSNAT. Para las calibraciones 2 y 3, se usaron coeficientes distintos según la variedad y el objetivo perseguido.

#### 4.2.1.1 Variedad IAC-8

La variedad IAC-8 presentaba diferencias marcadas en el peso por semilla, número de semillas por metro cuadrado, biomasa total y de tallos, entre lo simulado y observado (Cuadro 13A - Calibración 1).

Para corregir el peso de semillas y el número de semillas por  $m^2$ , se cambiaron los coeficientes SDVAR y SHVAR, en base a los datos de campo.

En el experimento la máxima tasa diaria de llenado de grano, se dió entre los estados R6 y R7 (Cuadro 14A). Con base a los datos de campo, se calcularon dos coeficientes SDVAR, uno que corresponde a la máxima tasa promedio de los 6 tratamientos encontrada en el campo (denominada SDVAR) y otra que corresponde a la máxima tasa encontrada entre el promedio de R6 y la media más una desviación estándar de R7 (denominada SDVAR1), con el fin de tener un rango de valores de este coeficiente para lograr un mejor ajuste de calibración de la variedad, que represente a todos los tratamientos.

Los valores encontrados fueron los siguientes:

SDVAR: 7.37            SDVAR1: 8.4

Con la información del SDVAR, se calculó el SHVAR en base a la recomendación dada por Jones *et. al.* 1989, de que el SDVAR debe ser alrededor de 0.5 del SHVAR, para ajustar el porcentaje de cáscara.

El ajuste de las variables peso y número de semilla, se logró mediante la calibración 2 (Cuadro 13A), utilizándose los siguientes valores:

SDVAR: 7.5            SHVAR: 15

Mediante esta calibración se logró disminuir los desvíos entre los valores simulados y observados del peso y número de semillas. No se logró un mejor ajuste, dado que al aumentar estos coeficientes se afectaba la biomasa total y de tallos.

Dado que la cantidad de biomasa total observada fue mayor que la simulada, se cambió el coeficiente PHFAC3 de 1.0 a 1.03 en la calibración 3 (Cuadro 13A), lográndose un buen ajuste, no pudiéndose aumentar más este coeficiente porque afectaba al número y peso de las semillas y el rendimiento.

#### 4.2.1.2 Variedad SIATSA 194-A

La variedad SIATSA 194-A, presentaba diferencias apreciables entre el peso de semillas, número de semillas por metro cuadrado, número de semillas por vaina y biomasa total (Cuadro 15A y 16A, calibración 1).

En base a los datos de campo del experimento 02, se calculó el coeficiente SDVAR y SDVAR1 (Cuadro 17A), usando el mismo criterio empleado para la variedad IAC-8. Los valores encontrados fueron los siguientes:

SDVAR: 6.48      SDVAR1: 7.23

Con la información del SDVAR se calculó el SHVAR.

Para calibrar esta variedad, a pesar de no haber diferencias estadísticas en el rendimiento total, se debió separar los tratamientos sin fertilización (Cuadro 15A) de los fertilizados (Cuadro 16A), porque las diferencias por el factor fertilización, imposibilitaba lograr un buen ajuste de los resultados observados y simulados.

#### 4.2.1.2.1 Tratamientos sin fertilización

Para corregir el número de semillas por vaina, el peso y número de semillas por metro cuadrado, se varió los coeficientes SDPDVR, SDVAR y SHVAR. Los valores asignados fueron los siguientes (Calibración 2 - Cuadro 15A):

SDPDVR: 1.95      SDVAR: 7.5      SHVAR: 15

El hecho de separar los tratamientos fertilizados y no fertilizados, permitió aumentar el valor del SDVAR, superior al valor calculado del SDVAR1, con lo cual se logró disminuir los desvios entre observados y simulados, sin afectar mucho a la biomasa total.

Con el fin de aumentar la biomasa total, se cambió el PHFAC3 de 1.00 a 1.05, con lo cual se obtuvo buenos resultados (Calibración 3 - Cuadro 15A).

#### 4.2.1.2.2 Tratamientos con fertilización

Para los tratamientos con fertilizantes se usaron los mismos valores de los coeficientes SDPDVR, SDVAR y SHVAR (Calibración 2 - Cuadro 16A) que los usados para los tratamientos sin fertilización. La diferencia radica en que el valor del PHFAC3 fue de 1.15, a los efectos de compensar la mayor cantidad de biomasa.

### 4.2.2 Comprobación de la calibración

#### 4.2.2.1 Variedad IAC-8

En base a los coeficientes aportados por la calibración 3 (Cuadro 13A) se realizaron las corridas del modelo para los 6 tratamientos del experimento 01.

En base a los datos simulados y observados en las etapas V4, R4, R5, R6, R7 y R8 para las variables: índice de área foliar (LAI), biomasa de tallos y hojas (Cuadro 16),

Cuadro 16. Resultados de la calibración de la variedad IAC-8. Turrialba

TRAT.	DIAS		LAI		PS TALLO (kg/ha)		PS HOJAS (kg/ha)	
	JULIAN.	SIM.	SIM.	OBS.	SIM.	OBS.	SIM.	OBS.
DBSF	348	0,32		0,28	58,90	61,16	106,00	89,91
	11	2,33		1,85	1018,70	729,37	782,80	813,86
	16	2,28		2,11	1335,30	977,41	914,50	1021,36
	26	2,16		1,73	1359,50	1267,31	888,50	1159,25
	52	1,57		0,88	1210,80	1231,32	648,20	512,99
	67	0,10		0,05	846,20	813,93	39,50	5,00
			*		NS		NS	
DBCF	348	0,29	0,272185		53,1	59,3003	95,5	86,75893
	11	2,2	1,820155		972,6	770,3365	741,8	799,6238
	16	2,16	2,469206		1280,5	1186,673	870	1169,527
	26	2,04	2,254211		1305,1	1442,038	845,9	1373,058
	52	1,49	1,109810		1162,3	1249,670	616,1	666,4027
	67	0,09		0,05	814,6	754,4633	37,4	5,00
			NS		NS		NS	
DMSF	348	0,49	0,450187		89,4	102,8368	161,3	141,5407
	11	2,95	2,987693		1231,5	1271,100	978,6	1174,843
	16	2,89	3,291065		1583,1	1476,940	1124,5	1281,877
	26	2,74	2,898786		1605,9	1908,793	1089,5	1658,757
	52	2	1,466162		1428	1618,396	795,9	705,0680
	67	0,12		0,05	987	1201,699	49	5,00
			NS		NS		NS	
DMCF	348	0,52	0,542028		95,1	112,4507	171,7	158,5833
	11	3,06	3,262359		1266,5	1401,471	1012,1	1236,754
	16	3	3,693098		1623,2	1762,217	1160	1449,216
	26	2,84	2,952518		1645,6	2094,050	1123,5	1654,020
	52	2,07	0,628437		1462,8	1621,935	820,7	253,2486
	67	0,13		0,05	1009,2	1341,111	50,6	5,00
			NS		*		NS	
DASF	348	0,82	0,740171		140,5	153,3920	256,3	215,2324
	11	3,9	3,621501		1514,6	1488,790	1263,3	1275,984
	16	3,83	4,700953		1895,4	2052,729	1420,3	1859,603
	26	3,62	3,516917		1913,8	2477,711	1372,1	1911,823
	52	2,65	1,295966		1696,9	2009,272	1002,8	574,1029
	67	0,17		0,05	1154,1	1202,967	62,5	5,00
			NS		NS		NS	
DACF	348	0,69	0,694807		123,7	147,3256	224,2	202,8091
	11	3,57	3,189241		1426,5	1388,816	1171,1	1118,202
	16	3,51	4,319215		1801,2	1821,832	1325,9	1609,647
	26	3,32	3,667920		1821,4	2673,404	1282,1	2129,722
	52	2,42	0,958037		1616,6	2214,273	936,8	441,4617
	67	0,15		0,05	1105,1	1470,006	58,2	5,00
			NS		NS		NS	

DB: Densidad baja  
DM: Densidad media

DA: Densidad alta SF: Sin fertilización  
CF: Con fertilización

Cuadro 17. Calibración de la biomasa total y rendimiento de grano de la variedad IAC-8. Turrialba.

TRAT.	DIAS		PS SEM. (kg/ha)		BIO. TOT. (kg/ha)	
	JULIAN.	SIM.	SIM.	OBS.	SIM.	OBS.
DBSF	348		0,00	0,00	164,90	151,07
	11		0,00	0,00	1801,50	1671,23
	16		0,00	0,00	2492,50	2374,74
	26		307,00	265,56	3705,20	3465,38
	52		2562,40	2639,83	5453,00	5664,65
	67		2734,60	2662,16	4605,90	4788,00
				NS		NS
DBCF	348		0,00	0,00	148,60	146,06
	11		0,00	0,00	1714,40	1729,71
	16		0,00	0,00	2385,30	2860,35
	26		296,70	313,43	3563,20	4088,64
	52		2469,30	2636,05	5247,60	5922,36
	67		2636,00	2543,90	4441,30	4484,28
				NS		NS
DMSF	348		0	0,00	250,6	244,38
	11		0	0,00	2210,1	2635,98
	16		0	0,00	2980,1	3143,50
	26		345,8	244,48	4631,8	4848,90
	52		2951,6	3115,21	6336,4	6901,20
	67		3158,5	2800,19	5304,1	5272,83
				NS		NS
DMCF	348		0	0,00	266,9	271,03
	11		0	0,00	2278,6	2852,70
	16		0	0,00	3059,8	3787,44
	26		351,2	327,92	4429,9	5041,71
	52		3007,8	3067,05	6470,4	6419,41
	67		3220,3	3298,05	5406,9	6139,87
				NS		*
DASF	348		0	0,00	396,8	368,62
	11		0	0,00	2777,9	2911,90
	16		0	0,00	3612,7	4546,86
	26		378,6	487,68	5078,8	6142,52
	52		3364,6	3628,61	7351,5	7801,23
	67		3620,8	3046,74	6067,2	5527,01
				NS		NS
DACF	348		0	0,00	348	350,13
	11		0	0,00	2597,6	2622,72
	16		0	0,00	3418,6	3926,35
	26		371	427,49	4860	6504,87
	52		3248,5	3529,93	7057,3	7786,59
	67		3488,5	3291,93	5851,6	6245,97
				NS		NS

DB: Densidad baja DA: Densidad alta SF: Sin fertil.  
 DM: Densidad media CF: Con fertilización

rendimientos de grano y biomasa total a madurez (Cuadro 17), se realizaron pruebas de "t" pareadas.

Para las variables rendimientos de grano y peso de hojas no hubo diferencias estadísticas entre lo simulado y observado, para todos los tratamientos.

El LAI mostró diferencias significativas al 5 % para el tratamiento 1 (densidad baja y sin fertilización). La biomasa de tallos y total mostró diferencias estadísticas al 5 % en el tratamiento 4 (densidad media, con fertilización), no explicable porque los tratamientos de mayor y menor densidad no resultaron diferentes.

Se presentaron, solamente 3 casos de diferencias estadísticas entre los resultados, sobre un total de 30 comparaciones por lo cual se consideró aceptable la calibración.

#### 4.2.2.2 Variedad SIATSA 194-A

En base a los coeficientes genéticos aportados por la calibración 3 (Cuadros 15A y 16A) se realizaron separadamente las corridas del modelo para los tratamientos fertilizados y sin fertilizantes.

En base a los datos simulados y observados en las etapas V4, R4, R5, R6, R7 y R8 para las variables LAI, rendimientos de granos, biomasa de tallos, hojas y biomasa total, se realizaron pruebas de "t" de datos pareados para los tratamientos sin fertilizar (Cuadro 18) y fertilizados (Cuadro 19).

No hubo diferencias significativas al 5 % entre valores observados y simulados para las variables rendimientos de granos, peso de hojas y tallos, y biomasa total de los tratamientos con y sin fertilizantes. En cambio el LAI, mostró diferencias significativas en los tres niveles de

Cuadro 18. Calibración de la variedad SIATSA 194-A, sin fertilización

TRAT.	DIAS JUL.	LAI		PS TALLO		PS HOJAS		PS SEM.		BIO. TOT.	
		SIM.	OBS.	SIM.	OBS.	SIM.	OBS.	SIM.	OBS.	SIM.	OBS.
Kg/Ha.											
DBSF	342	0,25	0,28	35,8	48,6	82,5	91,8	0,0	0,0	118,3	140,4
	6	2,60	1,79	846,5	540,6	762,8	736,1	0,0	0,0	1685,4	1412,6
	10	2,79	2,15	1019,5	676,2	862,5	909,3	0,0	0,0	2251,7	1858,2
	20	2,62	2,29	1054,7	990,0	833,8	1098,6	405,2	168,6	3452,1	3011,9
	48	1,49	1,00	861,5	809,6	472,9	525,5	2873,0	2560,9	5320,2	5213,8
	59	0,12	0,05	595,9	568,9	39,1	5,0	2961,0	2909,8	4670,0	4915,2
Prueba "t"		*		NS		NS		NS		NS	
DMSF	342	0,36	0,45	51,4	81,7	118,3	140,0	0,0	0,0	169,7	221,7
	6	3,19	2,96	1016,7	861,8	940,8	1040,3	0,0	0,0	2048,7	2100,1
	10	3,39	2,84	1194,5	1031,6	1043,0	1166,8	0,0	0,0	2667,6	2571,9
	20	3,17	2,85	1216,7	1473,5	997,3	1321,0	469,1	195,9	3931,5	3905,4
	48	1,80	1,22	990,6	1181,3	565,6	577,1	3185,9	2739,0	5939,8	6034,4
	59	0,15	0,05	678,6	667,6	46,8	5,0	3289,5	3240,6	5170,2	5253,0
Prueba "t"		*		NS		NS		NS		NS	
DASF	342	0,53	0,60	69,8	104,2	163,3	180,2	0,0	0,0	233,1	284,3
	6	3,93	3,28	1200,1	1076,6	1141,6	1124,5	0,0	0,0	2447,2	2365,1
	10	4,12	3,52	1375,3	1321,7	1242,1	1397,9	0,0	0,0	3100,0	3085,7
	20	3,84	3,13	1380,3	1560,4	1176,2	1397,9	523,3	239,1	4387,1	4067,1
	48	2,17	1,26	1115,3	1410,2	665,5	556,9	3462,3	3268,9	6495,6	6848,9
	59	0,18	0,05	755,4	930,4	55,2	5,0	3582,4	3173,1	5601,3	5464,0
Prueba "t"		*		NS		NS		NS		NS	

DB: Densidad baja      DM: Densidad media      DA: Densidad alta      SF: Sin fertilización  
 PS: Peso seco      NS: No significativo      \*: Significativo al 5%

Cuadro 19. Calibración de la variedad SIATSA 194-A, con fertilización

TRAT.	DIAS JUL.	LAI		PS TALLO		PS HOJAS		PS SEM.		BIO. TOT.	
		SIM.	OBS.	SIM.	OBS.	SIM.	OBS.	SIM.	OBS.	SIM.	OBS.
Kg/Ha.											
DBCF	342	0,26	0,34	36,8	63,9	85,2	112,4	0,0	0,0	122,0	176,3
	6	2,99	2,90	986,5	804,5	876,8	1003,7	0,0	0,0	1945,0	2077,2
	10	3,23	2,93	1201,7	903,7	1001,0	1141,6	0,0	0,0	2599,9	2443,4
	20	3,05	3,22	1266,5	1378,3	980,4	1419,4	435,4	214,5	4028,8	4048,8
	48	1,73	0,98	1038,0	1116,7	557,0	514,2	3333,9	2894,2	6293,2	6215,0
	59	0,14	0,05	724,7	662,0	46,0	5,0	3455,1	3137,9	5543,2	5578,2
Prueba "t"		NS		NS		NS		NS		NS	
DMCF	342	0,36	0,45	51,9	85,9	120,0	149,0	0,0	0,0	172,0	234,9
	6	3,59	3,82	1157,6	1068,5	1055,8	1255,2	0,0	0,0	2309,3	2602,7
	10	3,83	3,56	1373,5	1161,4	1180,1	1363,8	0,0	0,0	3005,5	3004,5
	20	3,59	3,55	1417,5	1637,7	1138,9	1553,3	492,5	245,1	4466,9	4514,5
	48	2,04	1,35	1155,2	1504,6	646,1	687,8	3603,7	3498,9	7253,0	6517,5
	59	0,17	0,05	799,0	825,5	53,4	5,0	3741,2	3297,7	5974,2	5773,0
Prueba "t"		NS		NS		NS		NS		NS	
DACF	342	0,49	0,68	69,8	127,7	161,3	211,3	0,0	0,0	231,1	339,0
	6	4,20	3,74	1322,3	1171,9	1238,8	1230,7	0,0	0,0	2668,8	2667,3
	10	4,43	3,66	1532,6	1321,5	1359,5	1321,2	0,0	0,0	3383,3	3052,7
	20	4,15	3,52	1559,7	1598,2	1299,3	1472,4	532,5	269,0	4836,2	4346,5
	48	2,35	1,14	1264,3	1455,8	736,1	495,5	3781,3	3024,7	7253,0	6517,5
	59	0,19	0,05	865,2	1014,3	60,9	5,0	3932,6	3485,3	6279,5	6090,0
Prueba "t"		*		NS		NS		NS		NS	

DB: Densidad baja      DM: Densidad media      DA: Densidad alta      CF: Con fertilización  
 PS: Peso seco      NS: No significativo      \*: Significativo al 5%

densidad considerados, para los tratamientos sin fertilizar, y solamente en el nivel de alta densidad para los tratamientos fertilizados. En general la biomasa de hojas observadas fue mayor que lo simulado, en cambio el índice de área foliar (LAI) mostró un comportamiento contrario, debiéndose posiblemente a que esta variedad presente mayor peso por área foliar.

La calibración de esta variedad se consideró aceptable, porque se presentaron solamente 4 casos con diferencias estadísticas, sobre un total de 30 comparaciones realizadas, lo cual nos da una confiabilidad del 85 % entre resultados observados y simulados.

#### 4.3 Validación del modelo

Con la información generada en Turrialba (Exp. 03) se compararon (Cuadro 20) y graficaron (Figuras 19, 20, 21, 22) los resultados observados del rendimiento de grano, peso seco de hojas y biomasa seca total, con los simulados en las distintas épocas de muestreo. Estos no mostraron diferencias estadísticas al 5 %, mediante la prueba de "t" de datos pareados, para las variables peso de hojas y rendimiento de grano (Fig. 19, 20, 21 y 22 - Cuadro 20). En cambio la biomasa total mostró diferencias estadísticas en el tratamiento sin fertilizar de la variedad IAC-8, y en los dos niveles de fertilidad considerados para la variedad SIATSA 194-A (Figura 21 y 22 -Cuadro 20).

El experimento 04, realizado en Guápiles no mostró diferencias estadísticas al 5 %, mediante la prueba "t" de datos pareados, en el rendimiento de granos y biomasa total (Cuadro 21 y Fig. 23, 24, 25, 26) entre los valores observados y simulados, a través de las distintas etapas del crecimiento y desarrollo del cultivo.

Cuadro 20. Biomasa seca de hojas y total, rendimiento de granos observados y simulados, en Turrialba (Exp. 03).

TRAT.	DIAS JULIAN.	PS HOJAS		REND. GRANOS		BIOMASA TOTAL	
		SIM.	OBS.	SIM.	OBS.	SIM.	OBS.
IAC-8	16	137,80	112,18			205,90	201,13
SF	52	1248,30	1248,25			2958,70	2950,85
	58	1273,80	1280,50			3561,60	3299,85
	75	1092,40	1333,05			5513,90	4878,75
	97	342,80	427,85	3313,10	2974,60	6208,40	6388,05
	108	56,70	5,00	3345,10	2986,15	4694,30	5190,25
	Prueba "t"		NS		NS		NS
IAC-8	16	131,80	124,77			197,00	222,11
CF	52	1221,10	1423,40			2899,80	3441,70
	58	1248,30	1525,50			3501,10	4004,20
	75	1070,60	1441,70			5435,40	5310,50
	97	336,10	438,85	3277,00	2964,40	6531,60	6639,95
	108	55,50	5,00	3308,50	3041,70	5626,70	6017,90
	Prueba "t"		NS		NS		NS
SIATSA	14	160,30	141,92			234,10	221,51
SF	43	1198,50	1136,10			2503,90	2257,70
	48	1336,80	1137,80			3094,80	2716,80
	66	1236,70	1256,70			5355,30	4895,70
	86	954,60	452,50	3139,30	2419,55	6999,30	5286,35
	95	96,90	5,00	3368,60	2490,05	5856,20	4550,80
	Prueba "t"		NS		NS		*
SIATSA	14	160,20	151,66			233,70	249,28
CF	43	1334,20	1292,65			2802,20	2587,30
	48	1492,20	1252,15			3457,10	2758,15
	66	1422,80	1110,35			6059,30	4366,40
	86	1100,50	263,70	3538,10	2387,45	7975,90	5010,10
	95	111,50	5,00	3825,10	2726,35	6685,70	4978,65
	Prueba "t"		NS		NS		*

SF: Sin fertilización

CF: Con fertilización

Cuadro 21. Biomasa seca total y rendimiento de granos observados y simulados en Guápiles.

TRAT.	DIAS	PS. SEM.		BIOM. TOT.	
	JULIAN.	SIM.	OBS.	SIM.	OBS.
IAC-8	44			321,50	249,69
SF	76			3135,80	2630,86
	80			3876,60	3305,72
	93			5656,90	6127,51
	124	4176,50	4185,50	7089,00	7817,66
	132	4225,60	4120,99	6481,30	6431,12
	Prueba "t"		NS		NS
IAC-8	44			303,70	310,79
CF	76			3056,10	2924,95
	80			3786,90	3954,25
	93			5541,80	6199,69
	124	4099,80	4181,55	6953,40	6989,98
	132	4147,60	3906,69	6361,80	6073,00
	Prueba "t"		NS		NS
SIATSA	40			249,00	203,52
SF	71			3050,10	2492,88
	75			3666,60	3007,88
	87			5283,70	6250,37
	114	3664,90	3921,84	6286,20	7028,41
	121	3681,90	3610,11	5833,30	5447,09
	Prueba "t"		NS		NS
SIATSA	40			239,30	341,90
CF	71			3345,30	2341,10
	75			4046,00	3744,88
	87			5906,40	6431,13
	114	4121,90	4170,27	7100,30	7652,29
	121	4121,90	3795,63	6601,60	5864,39
	Prueba "t"		NS		NS

SF: Sin fertilización      CF: Con fertilización  
OBS: Observados          SIM: Simulados

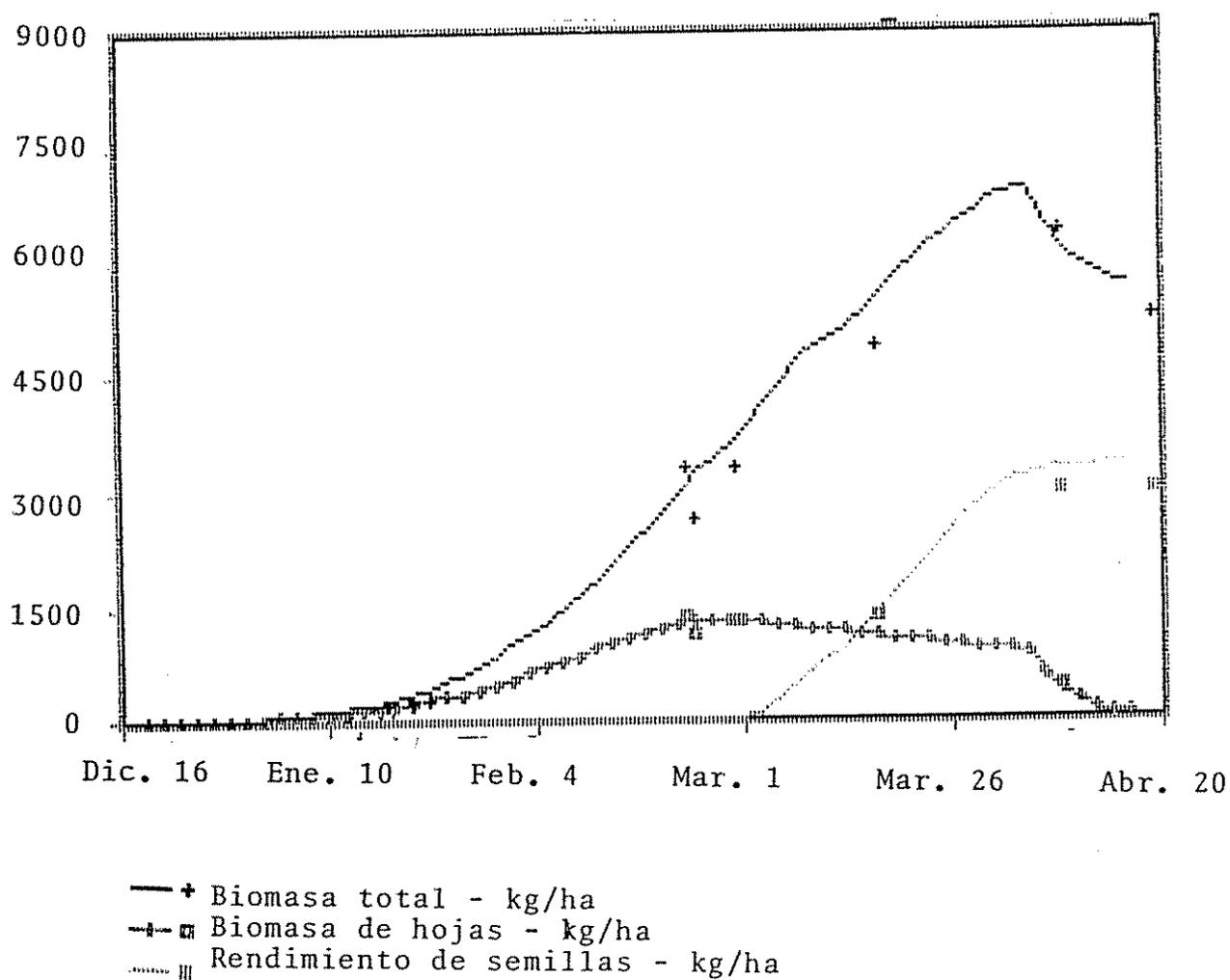
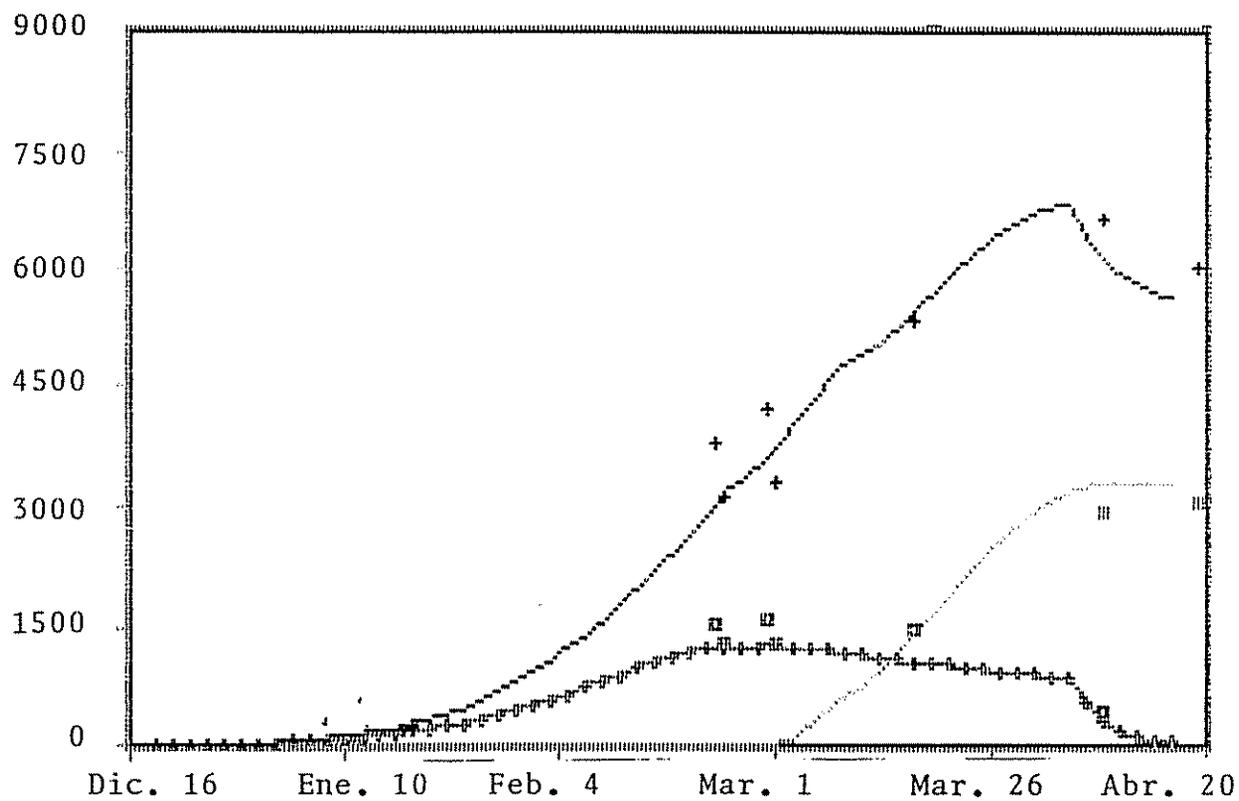


Figura 19. Resultados observados y simulados del tratamiento IAC-8, sin fertilización. Turrialba (Exp. 03)



—+ Biomasa total - kg/ha  
 -□- Biomasa de hojas - kg/ha  
 ..... III Rendimiento de semillas - kg/ha

Figura 20. Resultados observados y simulados para el tratamiento IAC-8, con fertilización. Turrialba (Exp. 03)

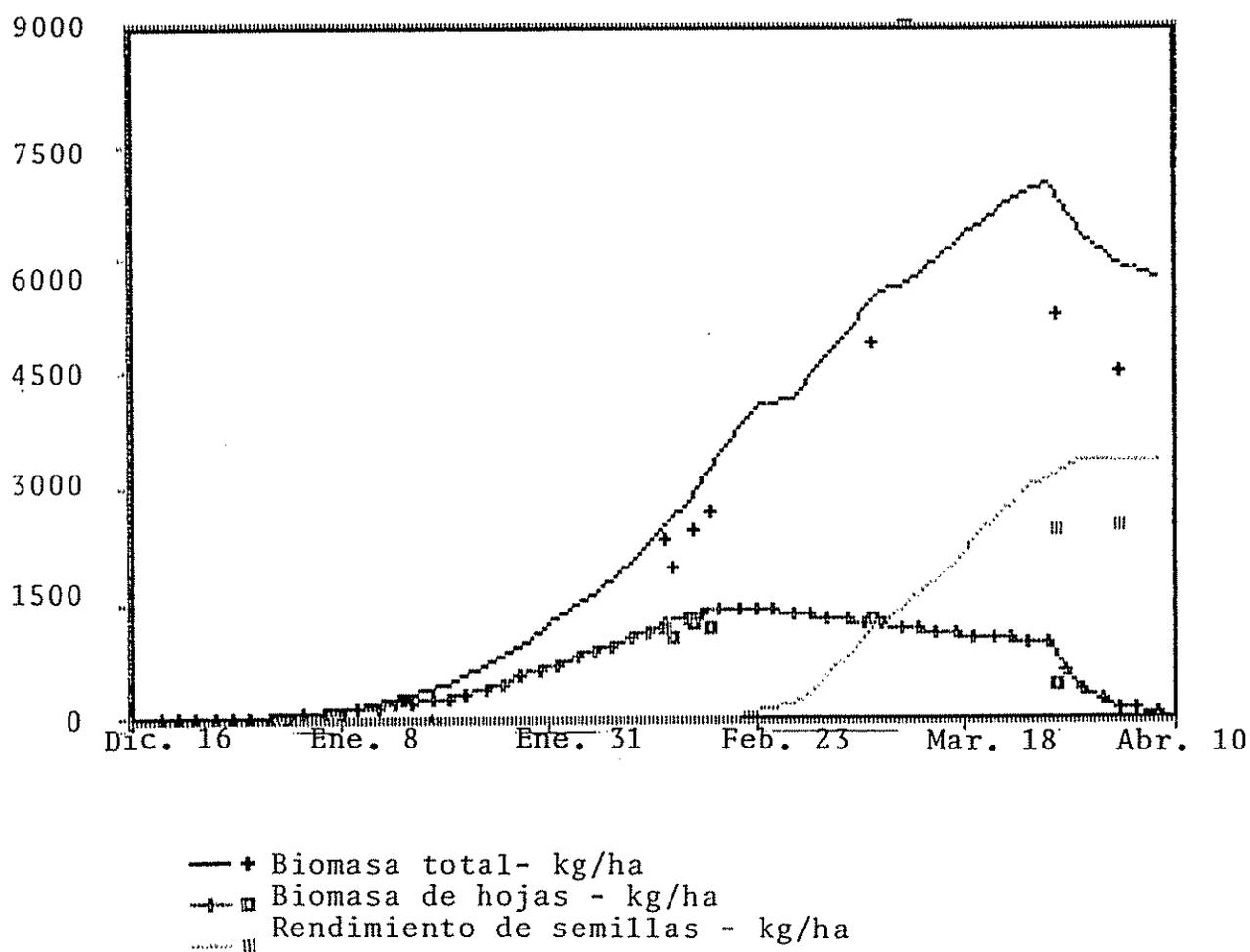


Figura 21. Resultados observados y simulados del tratamiento SIATSA 194-A, sin fertilización. Turrialba (Exp. 03)

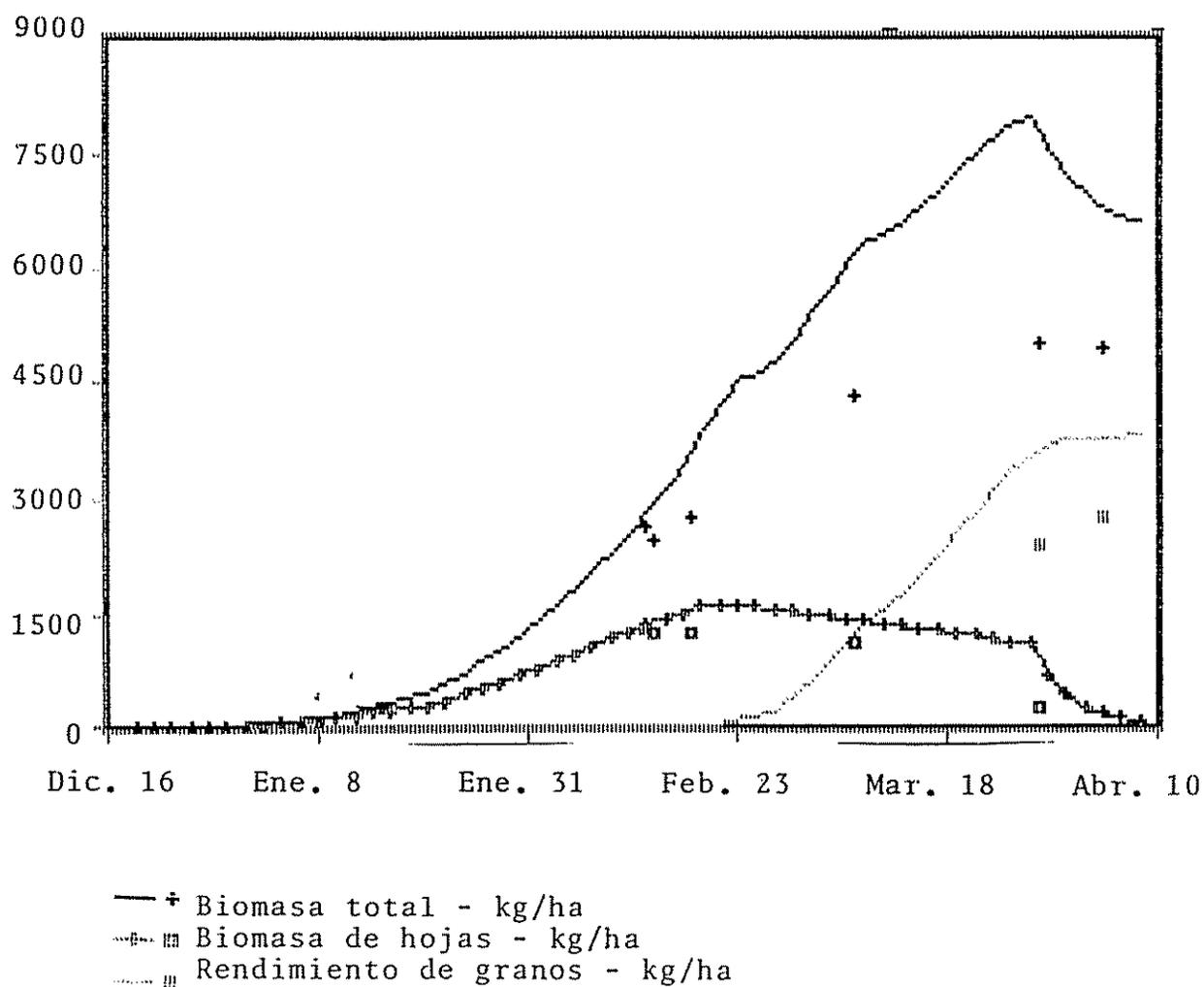


Figura 22. Resultados observados y simulados del tratamiento SIATSA 194-A, con fertilización. Turrialba (Exp. 03)

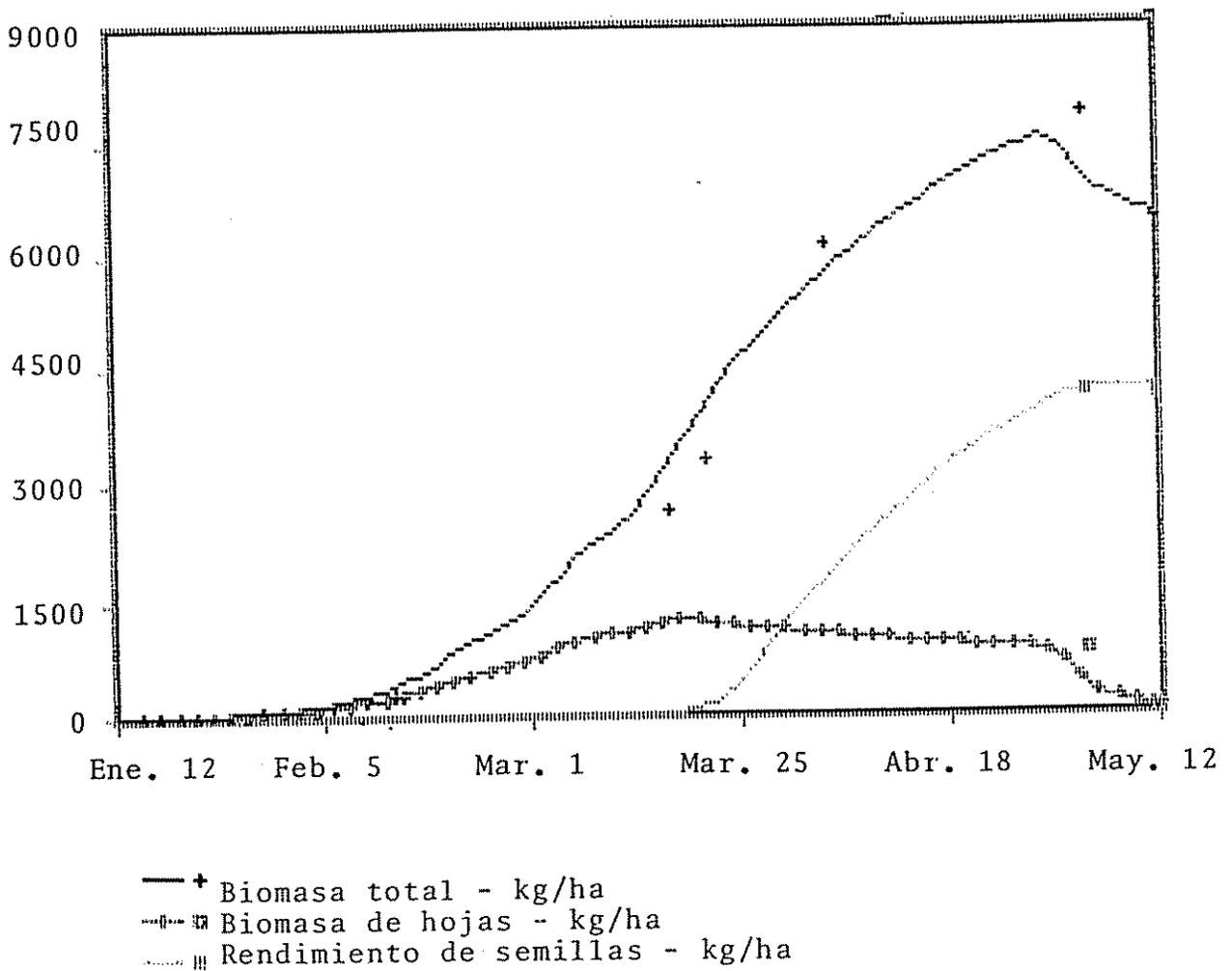


Figura 23. Resultados observados y simulados del tratamiento IAC-8, sin fertilización. Guápiles (Exp. 04)

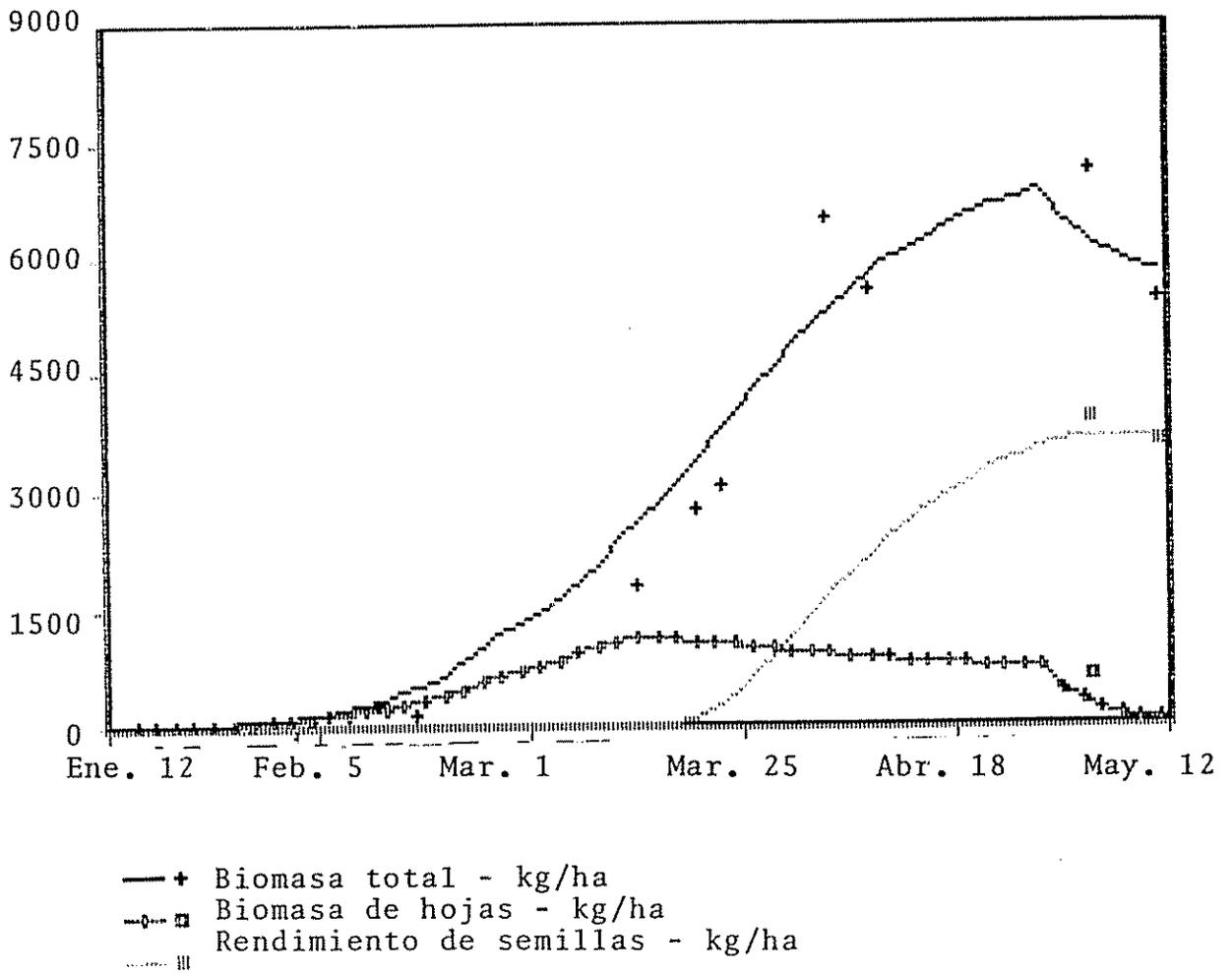


Figura 24. Resultados observados y simulados del tratamiento IAC-8, con fertilización. Guápiles (Exp. 04)

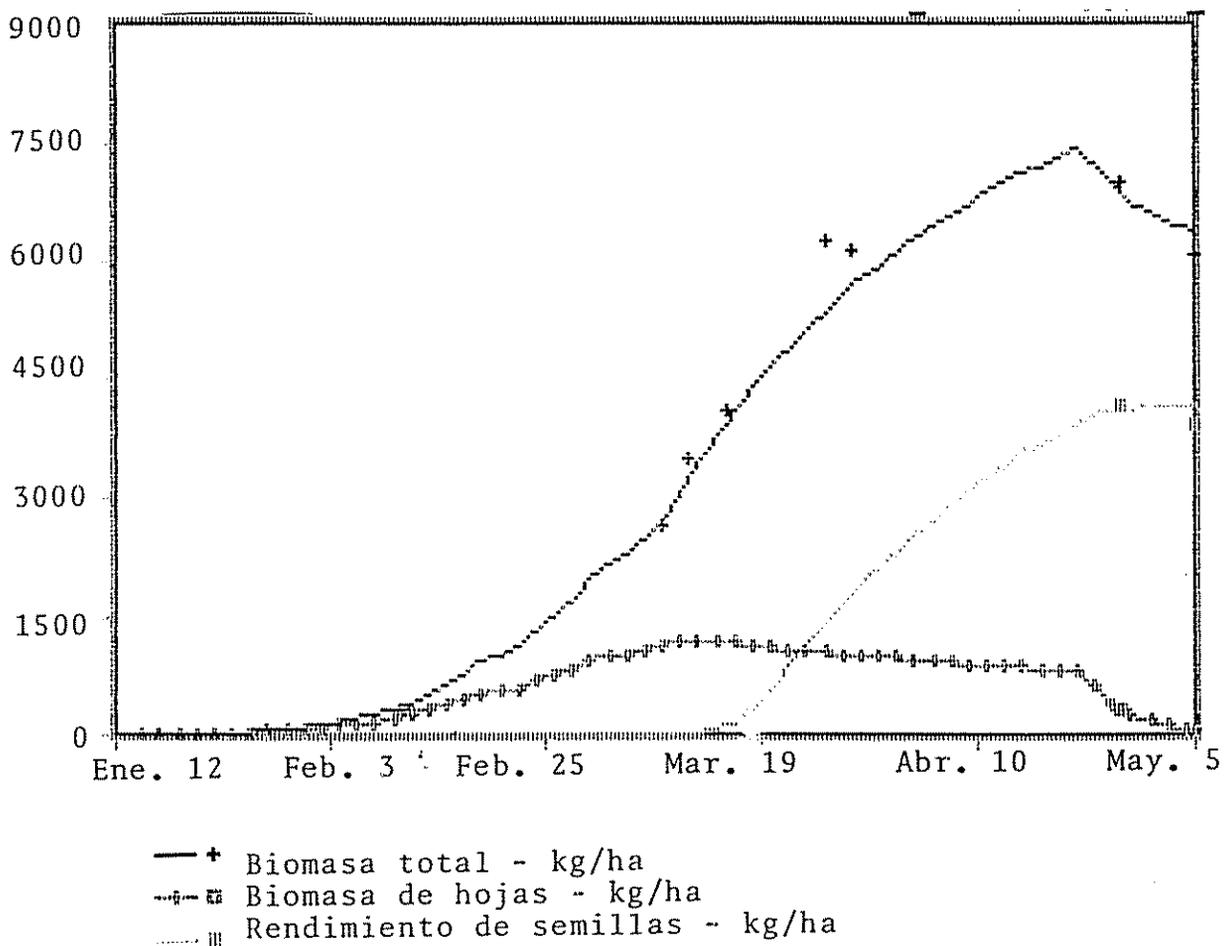


Figura 25. Resultados observados y simulados del tratamiento SIATSA 194-A, sin fertilización. Guápiles (Exp. 04)

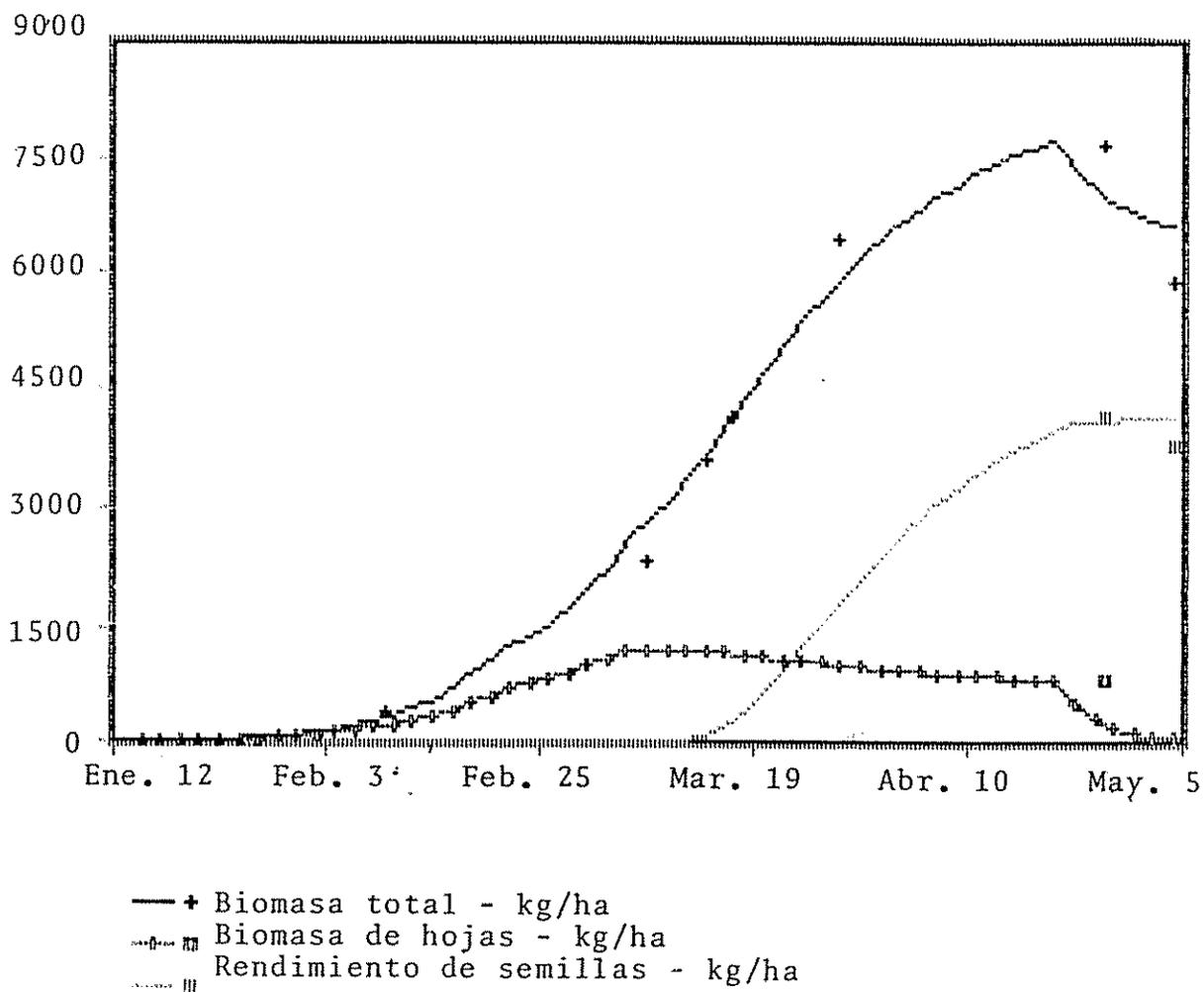


Figura 26. Resultados observados y simulados del tratamiento SIATSA 194-A, con fertilización. Guápiles (Exp. 04)

En el cuadro 22, se compararon los resultados simulados por el modelo y los observados en el campo, en el estado de madurez fisiológica, para los dos experimentos de validación. Se observó únicamente diferencias estadísticas en la biomasa total del tratamiento fertilizado y en el rendimiento de grano, para los dos niveles de fertilidad, en la variedad SIATSA del experimento 03 (Turrialba).

Cuadro 22. Resultados observados y simulados en R8, para los experimentos de validación. Costa Rica.

SISTEMA	TRAT.	ZONA	BIOMASA TOTAL Kg/Ha	REND. GRANO Kg/Ha
SIM.	IAC-SF	Turrialba	5694 NS	3445 NS
OBS.			5290±835	2987±677
SIM.	IAC-CF	Turrialba	5627 NS	3309 NS
OBS.			6018±761	3041±357
SIM.	SIATSA-SF	Turrialba	5856 NS	3368 *
OBS.			4550±625	2490±236
SIM.	SIATSA-CF	Turrialba	6685 *	3825 *
OBS.			4979±733	2726±413
SIM.	IAC-SF	Guápiles	6481 NS	4226 NS
OBS.			6568±1011	4120±431
SIM.	IAC-CF	Guápiles	6362 NS	4148 NS
OBS.			6071±589	3906±447
SIM.	SIATSA-SF	Guápiles	5833 NS	3682 NS
OBS.			5447±1125	3610±677
SIM.	SIATSA-CF	Guápiles	6602 NS	4122 NS
OBS.			5864±361	3796±424

De un total de 20 comparaciones en el tiempo y 16 en el estado R8, hubo 2 y 3 casos de diferencias estadísticas entre resultados simulados y observados. Además, estas diferencias se debieron a causas explicables (enfermedad) que el modelo no considera.

## 5. DISCUSION

### 5.1 Clima

Las condiciones climáticas de los experimentos de calibración (Exp. 01 y 02) y validación (Exp. 03) en Turrialba fueron distintas por la distribución de las precipitaciones y en menor escala por la temperatura.

La etapa distinta en que se encontraban los experimentos de calibración (próximos a R7) y de validación (inicio floración y fructificación) al ocurrir el periodo de temperaturas mínimas más bajas, puede ser una de las causas (no la más importante) de las diferencias de rendimientos, a pesar de que ambos estados dependen de la temperatura (Jones *et al*, 1984), afecta más al experimento de validación.

La distribución de las precipitaciones fueron la principal causa de las diferencias entre los rendimientos obtenidos en los experimentos de calibración y validación en Turrialba, dado que los menores registros pluviométricos coincidió con la etapa de floración y formación de vainas en el experimento de validación (Exp. 03), siendo esta etapa una de las de mayores requerimientos hídricos, comparado con la etapa final de llenado de grano en los experimentos de calibración (Exp. 01 y 02) que necesita menores cantidades de agua (Montero y Mata, 1988).

La disponibilidad de agua en el suelo está en función de la cantidad y distribución de las precipitaciones, entre otros (Gavande, 1972). Los resultados encontrados muestran esta condición, ya que cuando los registros pluviométricos fueron mínimos para un determinado periodo ( 10 al 22 de

febrero, por ejemplo), la disponibilidad de agua descendió a los niveles más bajos (80 a 90 mm).

Cuando comparamos los experimentos de validación (Turrialba y Guápiles), nuevamente las condiciones climáticas distintas (temperatura y precipitaciones) determinaron las diferencias de rendimientos. El periodo de menores registros de temperatura mínima en Turrialba, que coincidió con la etapa de floración y formación de vainas fue, una de las causas que afectó el rendimiento. Al respecto Boote (Boote *et al.*, 198?) al hacer un análisis de sensibilidad con el modelo SOYGR0, el rendimiento de grano tuvo una respuesta curvilínea entre 12 a 30 °C con un máximo de 24 °C. Las tendencias de las precipitaciones y la disponibilidad de agua en el suelo para las plantas en Guápiles y Turrialba fueron distintas, presentándose 2 periodos de déficit hídrico, que afectaron en forma diferencial los rendimientos (Montero y Mata, 1988). El primer periodo (10 al 22 de febrero) se presentó cuando el cultivo en Turrialba (Exp. 03) se encontraba en la etapa de floración-fructificación a llenado de grano, mientras que en Guápiles (Exp. 04) las plantas se encontraban en los primeros estadios vegetativos. El segundo periodo de pocas lluvias (14 de marzo al 5 de abril) afectó en menor grado a ambos experimentos, porque en Turrialba el cultivo se encontraba en la etapa final de llenado de grano, mientras que en Guápiles el cultivo se encontraba en la fase de floración-fructificación (etapa de altos requerimientos hídricos), las elevadas precipitaciones anteriores atenuaron el efecto.

Las condiciones climáticas que prevalecieron en los experimentos de calibración y validación, permitieron validar las predicciones del modelo en diferentes climas.

## 5.2 Suelo

Al no se encontrar diferencias estadísticas en el rendimiento de granos observados y simulados usando los perfiles de suelo con umbrales de humedad medidos en el campo y generados por el modelo, muestra la posibilidad de usar cualquiera de ellos. Usando los umbrales de humedad medidos en condiciones de campo, se obtuvo buena aproximación entre los resultados observados y simulados, coincidiendo con lo recomendado por el IBSNAT.

Relacionando la cantidad de agua disponible teóricas (manteniendo el agua al momento de la siembra y en el punto de saturación) con los rendimientos de granos simulados, el modelo es altamente sensible a la cantidad de agua disponible, porque al variar ésta en 10 mm. el porcentaje de incremento del rendimiento varió desde un 50 % a 5 % en el rango de 70 a 160 mm. de agua disponible, presentando valores medios de 25 % en el rango de 100 a 130 mm.

Por esta razón se deben determinar los puntos de marchitez permanente y capacidad de campo con métodos que representen mejor la condición de campo. Los resultados indican que para determinar el punto de marchitez permanente y la capacidad de campo, el método biológico y la determinación con 48 horas de drenaje resultaron apropiados, porque los rendimientos observados se aproximaron a los rendimientos simulados, como lo confirman Gavande, 1972; Forsythe, 1975; Gomez rodriguez, 1986).

Con el modelo se puede demostrar que el método de presión a 1500 y 33 KPa no refleja las reales condiciones de humedad en el punto de marchitez permanente y capacidad de campo, ya que existen grandes diferencias entre el rendimiento de grano simulado con la información generada por este método y lo observado a campo. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Gomez Rodriguez (Gomez

Rodríguez, 1986). Por las razones expuestas anteriormente, para el experimento de Guápiles (Exp. 04) se corrió con los perfiles de humedad generados por el modelo.

Las consideraciones anteriores fueron válidas para el experimento de Guápiles, dado que con los perfiles de suelo generados por el modelo, los resultados observados y simulados fueron adecuados.

### 5.3 Contenido de nitrógeno

El contenido de nitrógeno, independientemente de la parte de la planta analizada, mostró valores superiores en los tratamientos fertilizados en ambas variedades, porque al haber mayor disponibilidad de nutrientes la planta aumentó la cantidad de productos orgánicos y por lo tanto de nitrógeno (Hiroce y Gallo citados por Bataglia *et al*, 1981). Por otro lado los niveles de nitrógeno fueron levemente más altos en la variedad SIATSA 194-A, siendo estos niveles una característica particular de la variedad..

Mientras que las hojas declinaron levemente los porcentajes de nitrógeno entre V4 y R4, los valores para tallos y peciolo decayeron bruscamente. Esto se debe a que en el estado R4, la mayoría de los productos fotosintéticos son translocados a las flores y frutos, en detrimento de otras partes (tallos, peciolo y hojas).

A medida que las hojas, tallos y peciolo envejecen, la mayoría de los fotosintatos son traslocados a los centros de mayor consumo, que son las flores y frutos. Las sustancias orgánicas transportadas a los centros de consumo, sirven de precursores de la síntesis, principalmente de proteínas y lípidos. Por esta razón las semillas presentan los niveles de acumulación de nitrógeno más altos, que las restantes partes de la planta analizadas. Estos resultados concuerdan

con los trabajos realizados por Bataglia y Mascarenhas citados por Bataglia *et. al.* 1981, que estudiaron la acumulación de materia seca y la absorción de nutrientes para el cultivar Santa Rosa.

La mayoría de los autores consultados presentan valores de nitrógeno medidos de la planta entera, semillas y especialmente en hojas, como un criterio nutricional de la planta. Los valores de nitrógeno registrados en hojas, en ambas variedades, presentan niveles suficientes a altos con la Tabla de suficiencia de este elemento (Ohl-Rogge, 1960 citados por Montero y Mata, 1988), lo que indica que no fue necesaria la fertilización. Esto podría explicar la falta de respuesta significativa en el rendimiento de grano para los experimentos de calibración en Turrialba (Exp. 01 y 02).

#### 5.4 Rendimientos de grano

Las variedades IAC-8 y SIATSA 194-A mostraron un rendimiento excelente en los diferentes ensayos para las localidades de Turrialba y Guápiles, siendo estas variedades están recomendadas para Costa Rica y son la de mayor difusión en la actualidad (Herrera *et. al.*, 1985; Montero y Mata, 1988).

La falta de respuesta significativas a la densidad poblacional se debe a que la soja tiene una gran capacidad para compensar la falta o el exceso de plantas, dentro de los límites de 200 a 400.000 plantas (Montero y Mata, 1988).

En el ensayo de validación realizado en Turrialba (Exp. 03) el cultivo en plena floración fue atacado por la roya (*Pakopsora pachyrrizae*) con mayor intensidad a la variedad SIATSA 194-A. La susceptibilidad de las variedades a la enfermedad fue la causa de las diferencias de rendimientos, entre ambas variedades (Vargas, 1984). La variedad SIATSA 194-A mostró mayor tendencia al acame que la variedad IAC-8,

especialmente en las parcelas con fertilizantes, lo cual fue confirmado por Montero, 1984. Al validar el modelo con cosecha mecánica, el acame debe considerarse por la disminución de rendimientos, debido a problemas de recolección.

### 5.5 Coeficientes genéticos

Mediante la variación de la tasa de llenado de grano (SDVAR) se corrigió el peso de las semillas y en forma indirecta el número de semillas. Al variar la tasa de llenado de grano se debe cambiar la tasa de acumulación de materia seca de las vainas (SHVAR), para no afectar la relación cáscara-semilla. Los valores del SDVAR y SHVAR empleados para las dos variedades, fueron 7,5 y 15. Estos valores se encuentran dentro del rango determinados de 5,5 a 11 y de 9,5 a 22 para los parámetros SDVAR y SHVAR, respectivamente (Jones *et al.*, 1989).

En la variedad SIATSA 194-A se cambió el valor del SDFDVR de 2,10 a 1,95, ya que el número máximo de semillas por vaina encontrado fue de 1,92.

En general la biomasa total observada fue mayor que la simulada en ambas variedades, especialmente en los tratamientos fertilizados. Para corregir esta variable fue necesario variar el valor del PHFAC3, definidos en el archivo de suelo `sprofile.sb2`. Jones *et al.* 1989, cita casos en que necesario variar este índice para simular adecuadamente la biomasa, debido a factores de suelo. Los valores varían desde 1,0 para Iowa e Illinois a 0,84 para un suelo arenoso de Florida, y de 0,5 a 0,6 para suelos en India. En ningún casos se citan valores mayores que 1.

Cambiando el valor del PHFAC3 de 1,0 a 1,03 se logró un mejor ajuste de la biomasa total para la variedad IAC-8 y

de 1,05 para los tratamientos sin fertilizar de la variedad SIATSA 194-A. Dado que el modelo SOYGRO no tiene incorporado la subrutina de nitrógeno, simula a los tratamientos fertilizados de la misma manera que los no fertilizados; por lo tanto cambiando el PHFAC3 a 1,15 se logró un buen ajuste para la biomasa total.

No se pudo lograr un ajuste mayor de la biomasa total dado que se utilizó el rendimiento de granos como la variable control a los efectos de no sobreestimar demasiado el rendimiento.

Existe una interacción entre el suelo y la variedad, dado que al aumentar la fertilidad, ambas variedades aumentaron su producción, pero cuantitativamente la respuesta de la variedad SIATSA 194-A fue superior a la variedad IAC-8. Se necesitan mayores estudios sobre el coeficiente PHFAC3 con respecto al nivel de fertilidad del suelo, material genético del suelo y de la variedad, tipo de labranza y otros.

### 5.6 Calibración y validación

Las respuestas simuladas de las variedades, en base a los coeficientes genéticos asignados durante la etapa de calibración, se consideró adecuada ya que solamente un 10 a un 15 % de las comparaciones realizadas resultaron estadísticamente diferentes, de los valores observados. Estos resultados concuerdan con datos de 5 años para dos variedades en Florida, simulando rendimientos que difirieron entre un 10 a 15 % con los resultados observados (Jones *et al.*, 1984).

No se logró un buen ajuste para el índice de área foliar (LAI) para la variedad SIATSA 194-A, especialmente en los tratamientos sin fertilizar, a pesar de que no haber

diferencias en la biomasa de hojas, debiéndose posiblemente a un mayor peso por área foliar.

Los resultados en el tiempo y a madurez fisiológica de los experimentos de validación, muestran buena aproximación entre los rendimientos de grano y biomasa total simulados y los medidos a campo, salvo la variedad SIATSA 194-A en el experimento 03 (Turrialba). La diferencia entre lo simulado y observado, se debió a que el ensayo fue atacado en plena floración por la roya (*Pakopsora pachirryzae*), provocando necrosis foliar y caída prematura de hojas con lo cual redujo la capacidad fotosintética del cultivo.

La falta de una subrutina que calcule los daños de plagas y enfermedades reduce el campo de acción del modelo; por lo cual es necesario incorporar esta alternativa al modelo.

En general el modelo simuló adecuadamente en condiciones contrastantes de densidad, fertilidad, épocas de siembra distintas y bajo dos condiciones edafoclimáticas diferentes. Estos resultados concuerdan con las predicciones realizadas para el cultivo de maíz y bajo condiciones tropicales por el modelo CERES-Maize, reportados para las condiciones tropicales (Heer, 1986; Gomez Rodriguez, 1988; Romero del Valle, 1988; Castillo Gomez, 1988).

## 6. CONCLUSIONES

1. Las variables físico-biológica medidas en campo permitieron calibrar el modelo.

2. Los coeficientes genéticos de la variedad IAC-8 fueron diferentes a la variedad SIATSA 194-A en los coeficientes VARTH (3), VARTH (4), VARTH (7), VARTH (8), SDFDVR y SIZELF.

3. Se cambió el coeficiente PHFAC3 de 1 a 1,03 en la variedad IAC-8 y de 1 a 1,05 y 1,15 para la variedad SIATSA 194-A, con el fin de simular adecuadamente la biomasa total y suplir la falta de la subrutina de nitrógeno .

4. El modelo fue altamente sensible al agua extraíble por las plantas, dentro de los niveles de 64 a 215 mm, por lo cual se debe usar los niveles de agua extraíbles generados por la subrutina del modelo o medir la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente por métodos de campo.

5. El modelo simuló adecuadamente los rendimientos de grano, biomasa seca total y de hojas, en condiciones contrastantes de densidad poblacional, fertilidad y climas.

## 7. RECOMENDACIONES

1. Se deben incorporar al modelo las subrutinas de nitrógeno y de daños de plagas y enfermedades.

2. Se deben realizar estudios para determinar la importancia del coeficiente PHFAC3 en el tipo de labranzas, material genético de los suelos y sus relaciones con las plantas y otros factores.

3. El modelo sirvió para demostrar que se debe descartar el plato de presión, como método de medición de la capacidad de campo y del punto de marchitez permanente, ya que no refleja las reales condiciones de las relaciones agua-planta.

## 8. BIBLIOGRAFIAS CITADAS

- AGUIRRE ASTE, V. 1971. Estudio de los suelos del área del Centro Tropical de Investigación y Enseñanza, IICA, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc.. Turrialba, C.R., IICA. 145 p.
- ALFARO, R. 1984. Origen y características de la soya. In Curso Producción de Soya (1, 1984, San José, Costa Rica). Informe. San José, Comisión Técnica de Soya. p. 1-10.
- ARZE, B.J.. 1978. Flujograma para la generación y uso de tecnología agropecuaria como un marco conceptual de referencia. San Andrés, El Salvador, CENTA-CATIE. 13 p.
- \_\_\_\_\_. 1987. Modelos y simulación en la transferencia de agrotecnología. RISPAL (C.R.). 3:3-5.
- AVILA, M; DEATON, O.W.; RUIZ, A; ROMERO, F. 1980. Análisis de sistemas de producción animal del pequeño productor. Turrialba, C.R., CATIE. 31 p.
- BATAGLIA, O.C.; MASCARENHAS, H.A.A.; MIYASAKA, Sh. 1981. Extracao e niveis de nutrientes. In A soja no Brasil. Ed. Shiro Miyasaka y Júlio César Medina. Brasil. v4, p 168-174.
- BAZAN, R. 1976. Sistemas de producción agrícola y transferencia de tecnología al pequeño agricultor. Turrialba, C.R., CATIE. 24 p.
- BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G. 198?. Simulating and yield response of soybean to temperature. Gainesville, University of Florida. 6 p.

- CASTILLO GOMEZ, A.E. 1988. Investigación físico biológica y validación de un modelo de crecimiento desarrollo y rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) en Nicaragua. Tesis Mag. Sc.. Turrialba, C.R., CATIE. 171 p.
- CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. 1986. El diseño de alternativas tecnológicas en la investigación de sistemas de fincas. Turrialba, C.R. 51 p. (CATIE. Serie técnica. Informe técnico no. 91).
- DIAZ-ROMEY, R; HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, C.R., CATIE. 68 p.
- ESCOBAR, G.; SHENK, M.D. 1981. Validación de dos opciones tecnológicas por el sistema de producción maíz-maíz utilizado por los pequeños productores del Atlántico de Costa Rica. Turrialba, C.R., CATIE. 36 p.
- FARMER, D.B.; PARKER, S.H.; SPANEL, D.A. 1986. File structure. In CERES-Maize. A simulation model of maize growth and development. Ed. C.A. Jones y J.R. Kiniry. Texas, Texas A&M University Press. v. 2, p. 7-35.
- FEHR, W.R; CAVINESS, C.E. 1977. Stages of soybean development. Ames, Iowa, Iowa State University. 11p. (Special Report no. 80).
- FERRARI, T. J. 1978. Elements of system simulation. A textbook with exercises. New York, J. Wiley. 97 p.
- FORSYTHE, W. 1975. Física de suelos. San José, C.R., IICA. 212 p. (Serie Libro y materiales educativos no. 25)

- FUENMAYOR FUENMAYOR, E.J. 1985. Análisis de crecimiento e influencia de los factores microclimáticos en cultivos solos y asociados de *Zea mays* L., *Glycine max* L. y *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Tesis Mag. Sc., Turrialba, C.R., CATIE. 192 p.
- GASTAL, E. 1980. Sistemas de producción. Trad. Guillermo Villanueva y Horacio H. Stagno. Santo Domingo, República Dominicana. 44 p. (mimeografiado).
- GAVANDE, S.A. 1972. Física de suelos. Principios y aplicaciones. Mexico, Centro Regional de Ayuda Técnica. 351 p.
- GILBERT, E.H.; NORMAN, D.W.; WINCH, F.E. 1980. Farming systems research: A critical appraisal. Michigan, Michigan State University. 134 p. (Rural Development Papers, Paper no. 6).
- GOMEZ RODRIGUEZ, L.R. 1986. Punto de marchitez permanente por estratos de suelo disturbado y no disturbado para girasol, maíz y soya. Turrialba, CR, CATIE. 7 p
- \_\_\_\_\_. 1987. Evaluación del sistema maíz (*Zea mays*) - soya (*Glycine max*) y validación del modelo "CERESN" de crecimiento de maíz en monocultivo y asociado a dos variedades de soya. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 139 p.
- GONZALEZ, M.A.; PACHECO, R.; BRICEÑO, J.A. 1985. Efecto de la urea y del nitrato de amonio sobre la movilidad de nitrato, potasio, calcio y magnesio en un Dystrandept de Costa Rica. Agronomía Costarricense (C.R.). 9 (2):241-251.
- GORDON, G. 1980. Simulación de sistemas. Trad. Sergio Fernández. México, Diana. p. 11-45.
- HART, R.D.. 1985. Conceptos básicos sobre agroecosistemas. Turrialba, C.R., CATIE. 159 p.

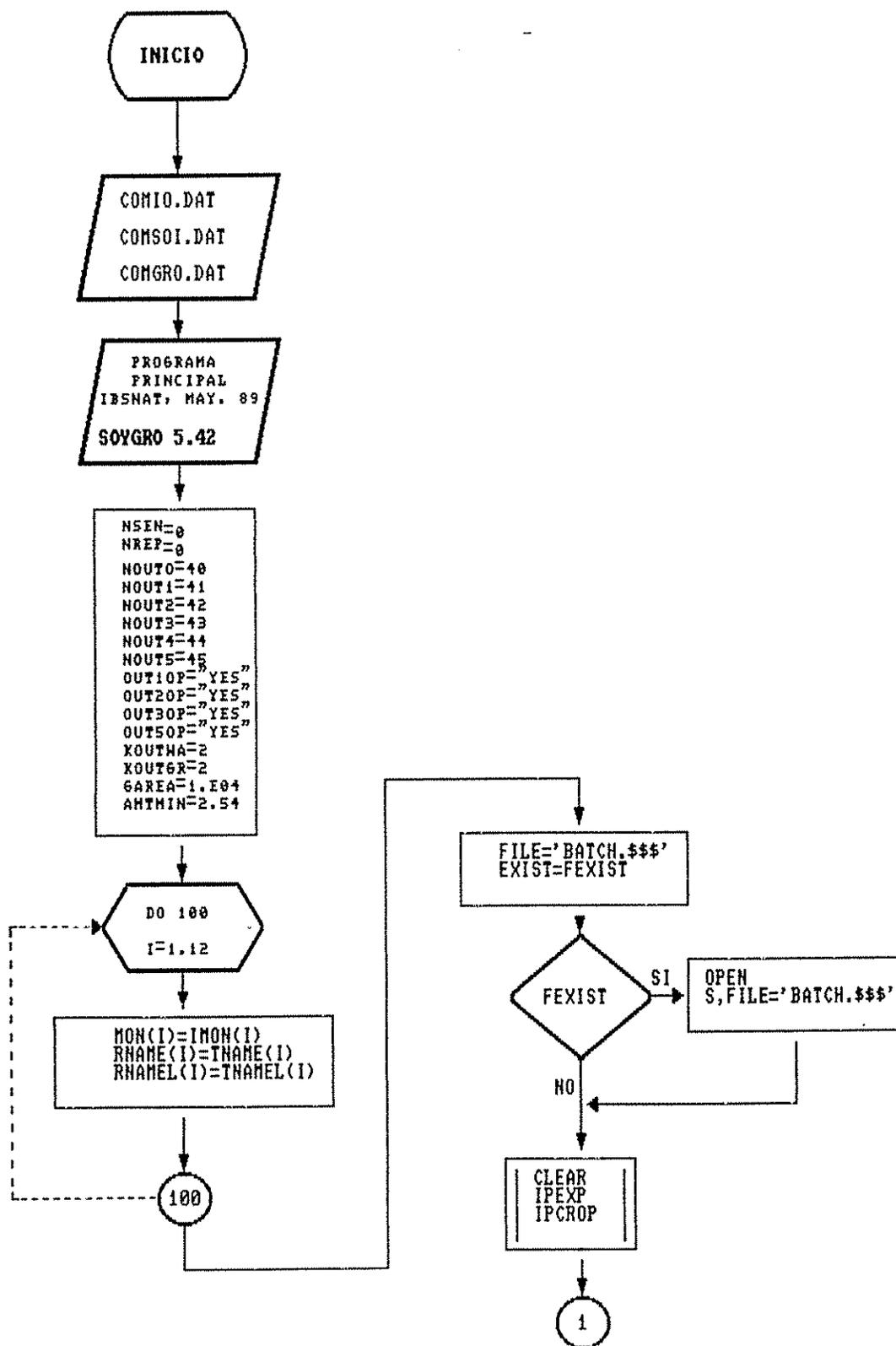
- HEER, A.C. 1986. Validación de un modelo de crecimiento de maíz (*Zea mays* L.) en monocultivo y asociado con yuca (*Manihot esculenta*, C.) en el trópico. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 203 p.
- HEILEMAN, J.L.; HANEMASU, E.T.; PAULSEN, G.M. 1977. Estimating dry-matter accumulation in soybean. Canadian Journal of Botany (Can.) 55:2196-2201.
- HERRERA, F; CAMPOS, W; ROSALES, F. 1985. Evaluación agronómica de quince genotipos de soya de maduración intermedia en el Trópico húmedo de Costa Rica. Turrialba, C.R., CATIE. 17 p.
- HILL, R.W; JOHNSON, D.R.; RYAN, K.H. 1979. A model for predicting soybean yields from climatic data. Agronomy Journal (EE. UU.). 71(2):251-256.
- HOOGENBOOM, G.; WHITE, J.W.; JONES, J.W. 1987. A computer model for the simulation of bean growth and development. Honolulu, Hawaii, IBSNAT. 24 p.
- IBSNAT. 1985. IBSNAT progress report 1982-1985. Honolulu, Hawaii. 48 p.
- \_\_\_\_\_. 1986. A compilation of draft documents for the Decision Support Systems for Agrotechnology Transfer (DSSAT). A design for an IBSNAT model validation methodology. Hawaii, University of Hawaii. p. 1-9.
- \_\_\_\_\_. 1986. Decision Support System for Agrotechnology Transfer. IBSNAT Technical Report no. 5. 55 p.
- \_\_\_\_\_. 1988. Experimental design and data collection procedures for IBSNAT. 3 ed. IBSNAT. Technical Report no. 1. 73 p.
- JONES, J.W; MISHOE, J.W; BOOTE, K.J. 1984. SOYGRO: soybean crop growth model. In International Symposium Minimum Data Sets for Agrotechnology Transfer (1983, India). Proceedings. India, ICRISAT. p. 83-94.

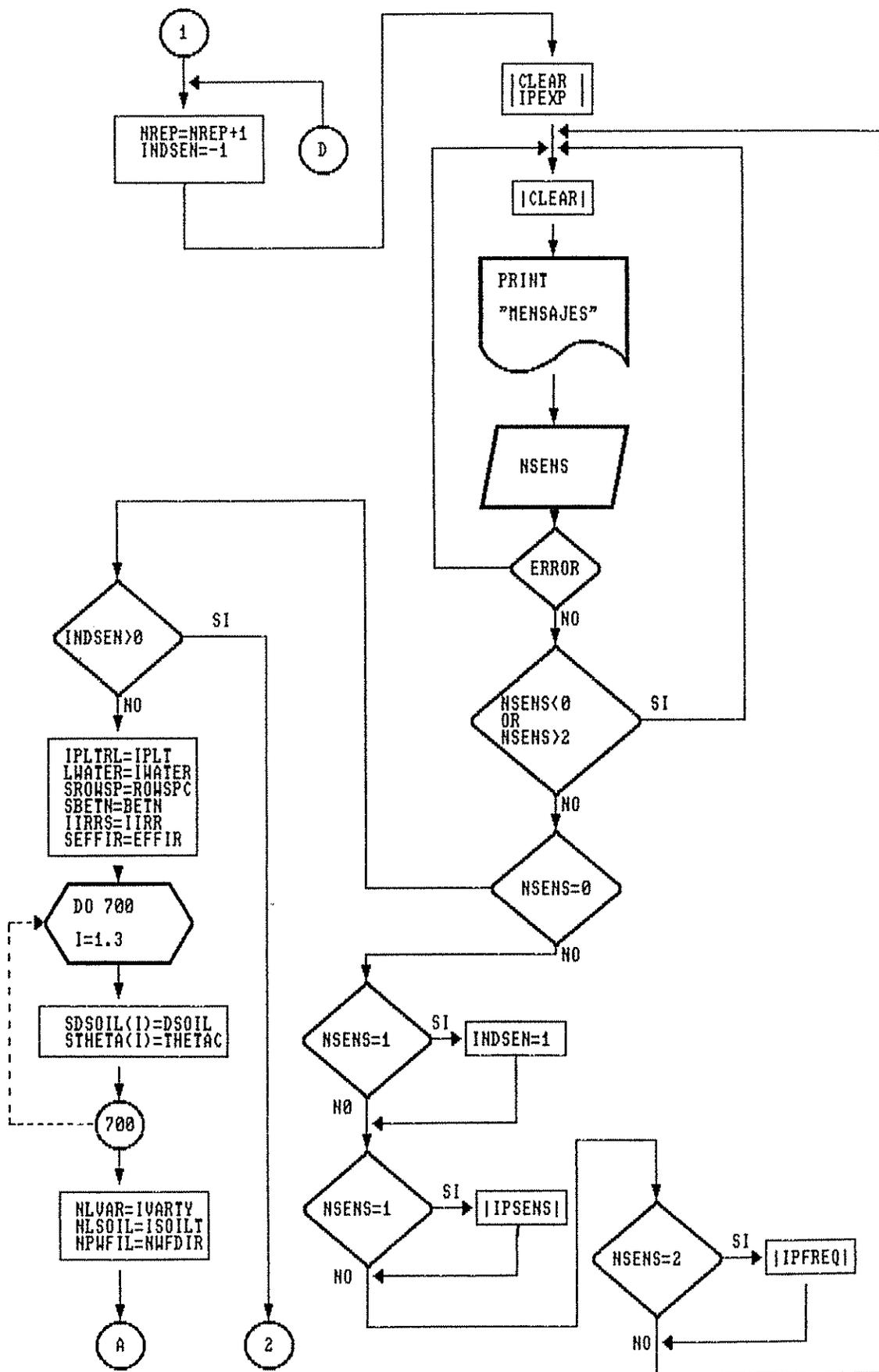
- \_\_\_\_\_; BOOTE, K.J.; HOOGENBOOM, G.; JAGTAF, S.S.; WILKERSON, G.G. 1989. Soygro V5.42. Soybean crop growth simulation model. User's guide. Gainesville, University of Florida International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer. 75 p.
- MADRIGAL AGUILAR, H.E. 1983. Recomendaciones para cultivar soya en Costa Rica. 2 ed. San José, C.R., CAFESA. 40 p.
- MEYER, G.E.; CURRY, R.B.; STREETER, J.G.; MEDERSKI, H.J. 1979. SOYMOD/OARDC a dynamic simulator of soybean growth, development and seed yield: Theory, structure, and validation. Ohio Agricultural Research and Development Center. Research Bulletin no. 1113. p. 123-155.
- MIRANDA, M.A.C. DE; MIYASAKA, S.; MASCARENHAS, H.A.A.; ROSSETTO, C.J. 1981. Mejoramiento de cultivares. In A soja no Brasil. Ed. Shiro Miyasaka y Júlio César Medina. Brasil. v. 7, p. 311-324.
- MONGE VILLALOBOS, L.A. 1987. Cultivos básicos. San José, C.R., Universidad Estatal a Distancia. 298 p.
- MONTERO, R.A. 1984. Caracterización de variedades de Soya. In Curso de Soya (1, 1984, San José, Costa Rica). Informe. San José, Comisión Técnica de Soya. p. irr.
- \_\_\_\_\_; MATA, E.J. 1988. La soya: Guía para su cultivo y consumo en Costa Rica. San José, C.R., Universidad de Costa Rica. 112 p.
- MORALES GONZALEZ, J.I. 1987. Comportamiento de seis cultivares de frijol soya (*Glycine max* L. Merr.), en el sistema maíz (*Zea mays* L.) + frijol soya, con sombra de maíz simulada. Tesis Mag. Sc., Turrialba, C.R., Universidad de Costa Rica (UCR/CATIE). 114 p.
- MORENO, R. 1977. Sistemas y enfoque de sistemas. Turrialba, C.R., CATIE. 33 p.

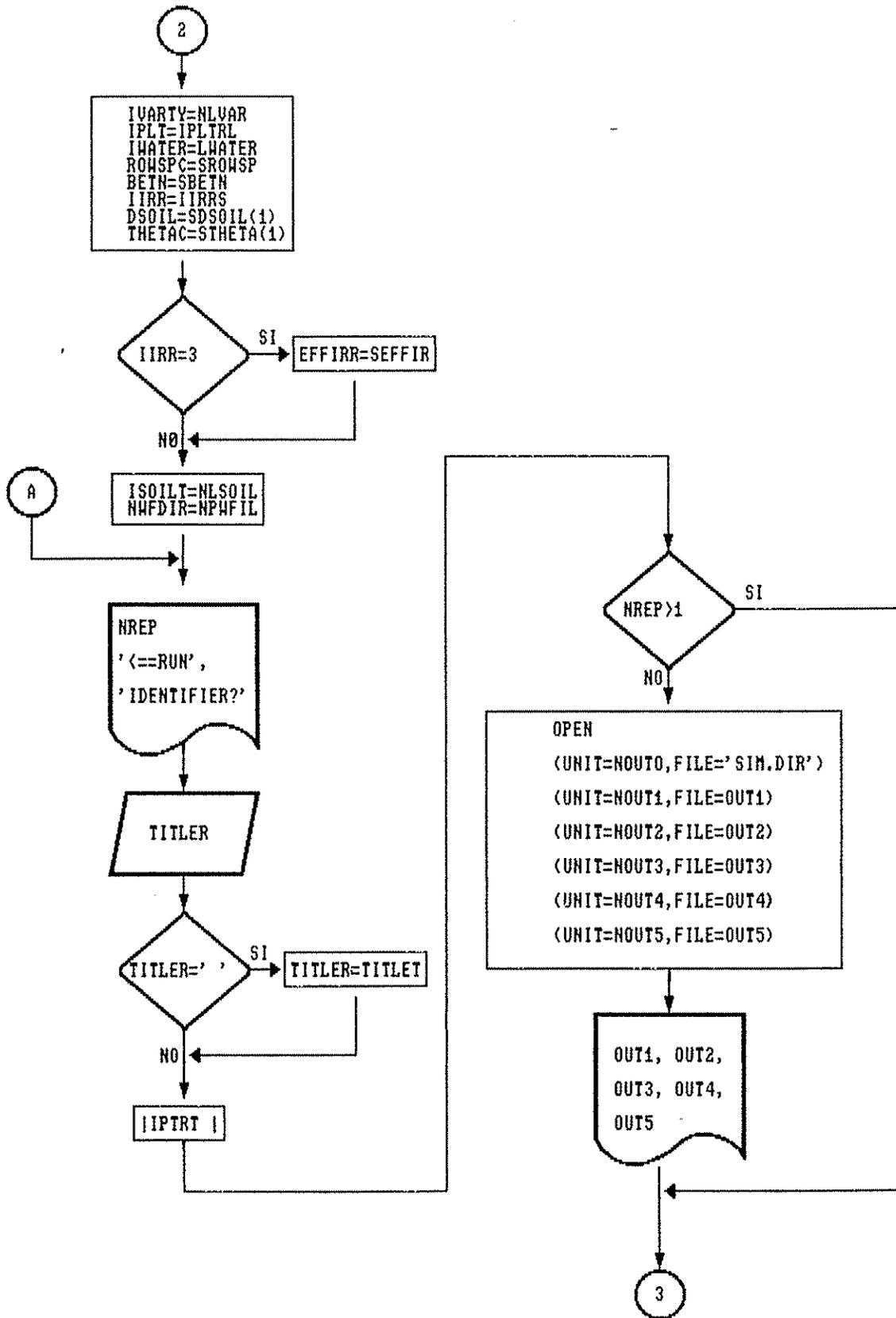
- \_\_\_\_\_ ; BAZAN, R.; MATEO, N.; SORIA, J. 1976. Un programa de investigación en sistemas de agricultura para pequeños agricultores. Turrialba, C.R., CATIE. 26 p.
- MULLER, L. 1961. Un aparato de micro kjeldahl simple para análisis rutinarios rápidos de materias vegetales. Turrialba (C.R.) 11(1):17-25.
- ODUM, P.E. 1973. Ecología. México, Interamericana. 639 p.
- PAEZ, G. 1975. Consideracoes gerais sobre o enfoque de sistema e sua aplicao na pesquisa agropecuaria. Brasilia, IICA-EMBRAFA. 39 p.
- PALACIOS, V.O. 1980. Desarrollo de un modelo matemático de simulación del sistema agua-suelo-planta-atmósfera. In Simposio Internacional "Modelo de simulación aplicado a la dinámica del suelo". Ed. MC Jesus Martinez, Roberto Miñez. Chapingo, Mexico, Colegio de Posgraduados. p. 129-143.
- PEECH, M. 1965. Hidrogen-ion activity. In Methods of soil analysis. Ed. by C.A. Black et. al.. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy. p. 913-926.
- PIÑEIRO, M.; TRIGO, E. 1977. Planificación de la investigación agrícola a partir de programas por productos: algunos comentarios críticos. Bogotá, Colombia, IICA-OEA. 26 p. (PROTAAL. Documento no. 4. IICA. Publicación Miscelánea no. 150).
- QUESADA HERRERA, G. 1984. Resultados y avances de la investigación en soya en Costa Rica. In Curso de Soya (1, 1984, San José, Costa Rica). Informe. Comisión Técnica de Soya. p. irr.

- RIETVELD, M.R. 1978. A new method for estimating the regression coefficients in the formula relating solar radiation to sunshine. *Agricultural Meteorology* (Holanda). 19: 243-252.
- RITCHIE, J.T. 1986. The CERES-Maize model. In *CERES-Maize. A simulation model of maize growth and development*. Ed. C.A. Jones y J.R. Kiniry. Texas, Texas A&M University Press. v. 1, p. 3-6.
- ROMERO DEL VALLE, J.M. 1988. Investigación físico-biológica y validación de un modelo de crecimiento, desarrollo y rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) en Costa Rica y República Dominicana. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 159 p.
- SAINZ DEL RIO, J.F.; BORNEMISZA, E. 1961. Análisis químico de suelos, métodos de laboratorio para diagnósticos de fertilidad. Turrialba, C.R., IICA. 107 p.
- SARAVIA, A. 1985. Un enfoque de sistemas para el desarrollo agrícola. Ed. M. A. Sagone y J. Escoto B. San José, C. R., IICA. 265 p.
- VARGAS, E. 1984. Enfermedades de la soya. In *Curso de Soya* (1, 1984, San José, Costa Rica). Informe. San José, Comisión Técnica de Soya. p. irr.
- VILLALOBOS, R. 1984. Aspectos fisiológicos de la adaptación de la soya en Costa Rica. In *Curso de Soya* (1, 1984, San José, Costa Rica). Informe. San José, Comisión Técnica de Soya. p. irr.
- WANN, M.; RAPER, JUNIOR, C.D. 1979. A dynamic model for plant growth: Adaptation for vegetative growth of soybeans. *Crop Science* (EE. UU.). 19(1):461-467.

Figura 1A. Programa principal del SOYGRO. Subrutina GRO.FOR







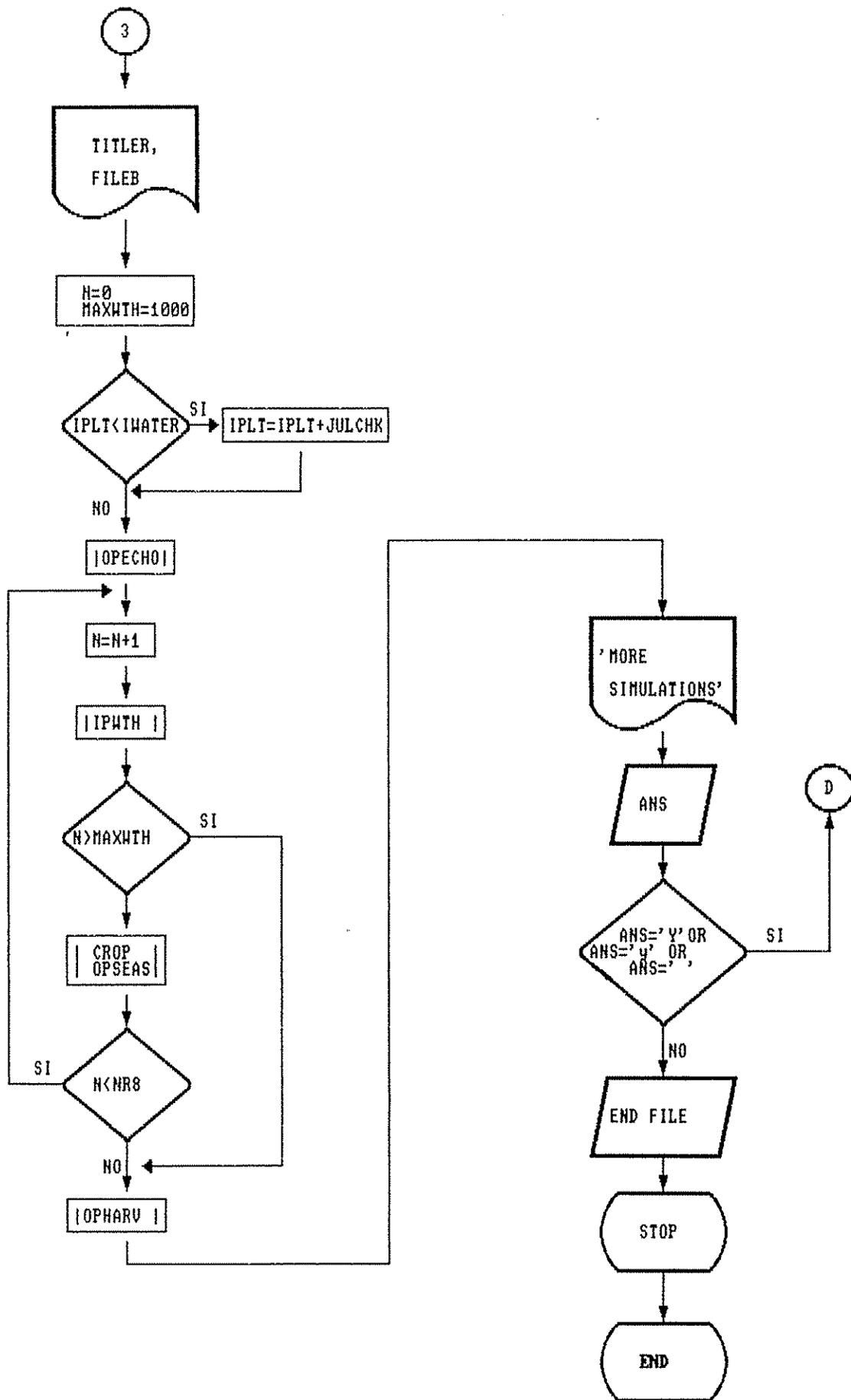
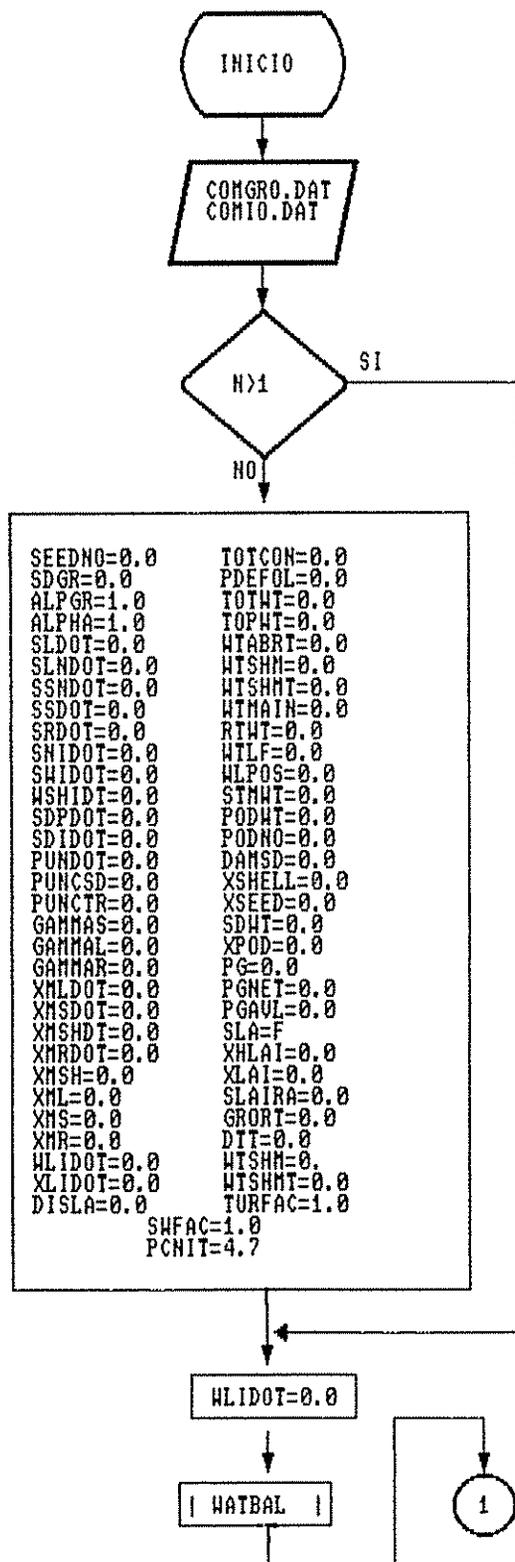
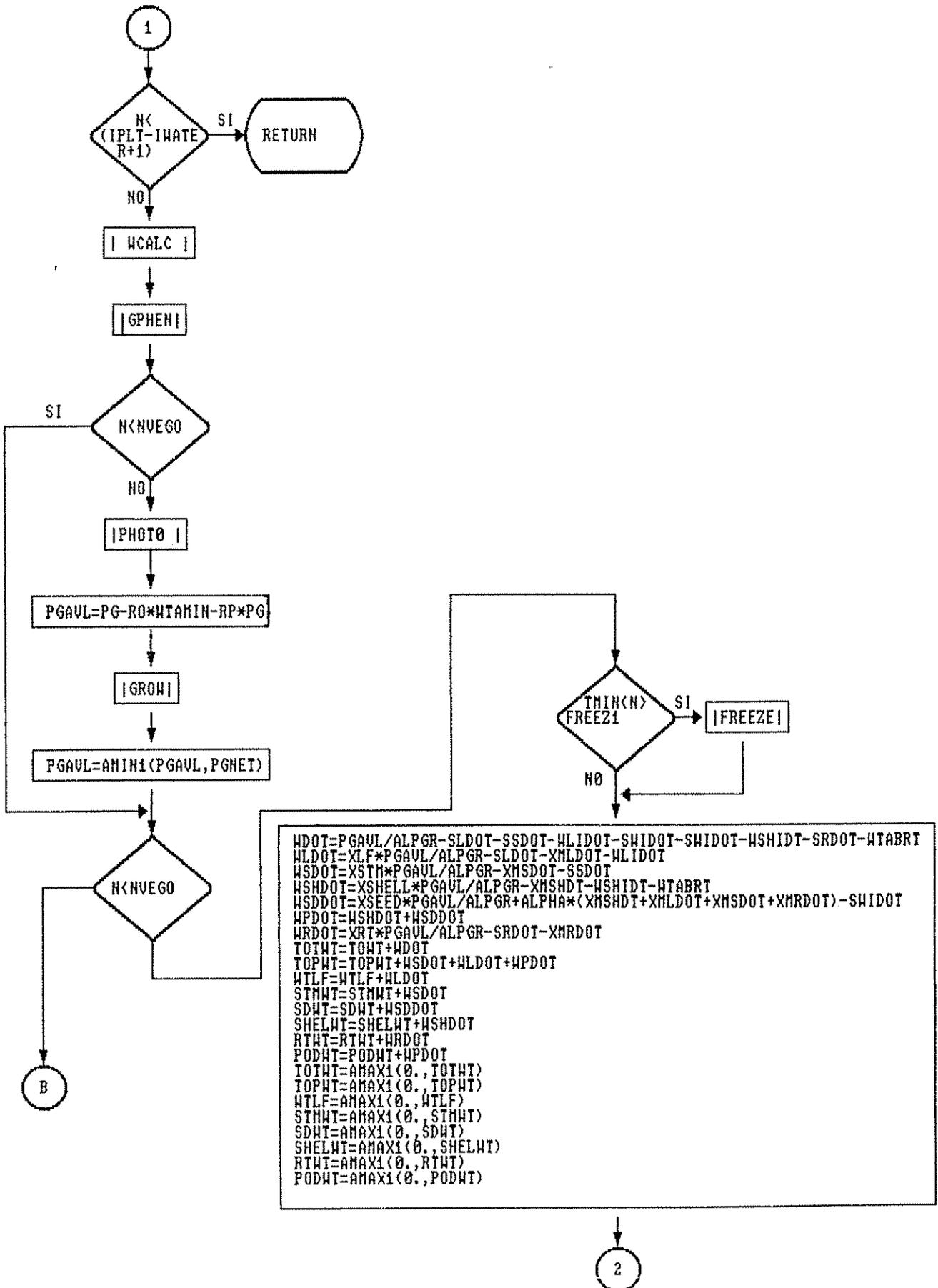
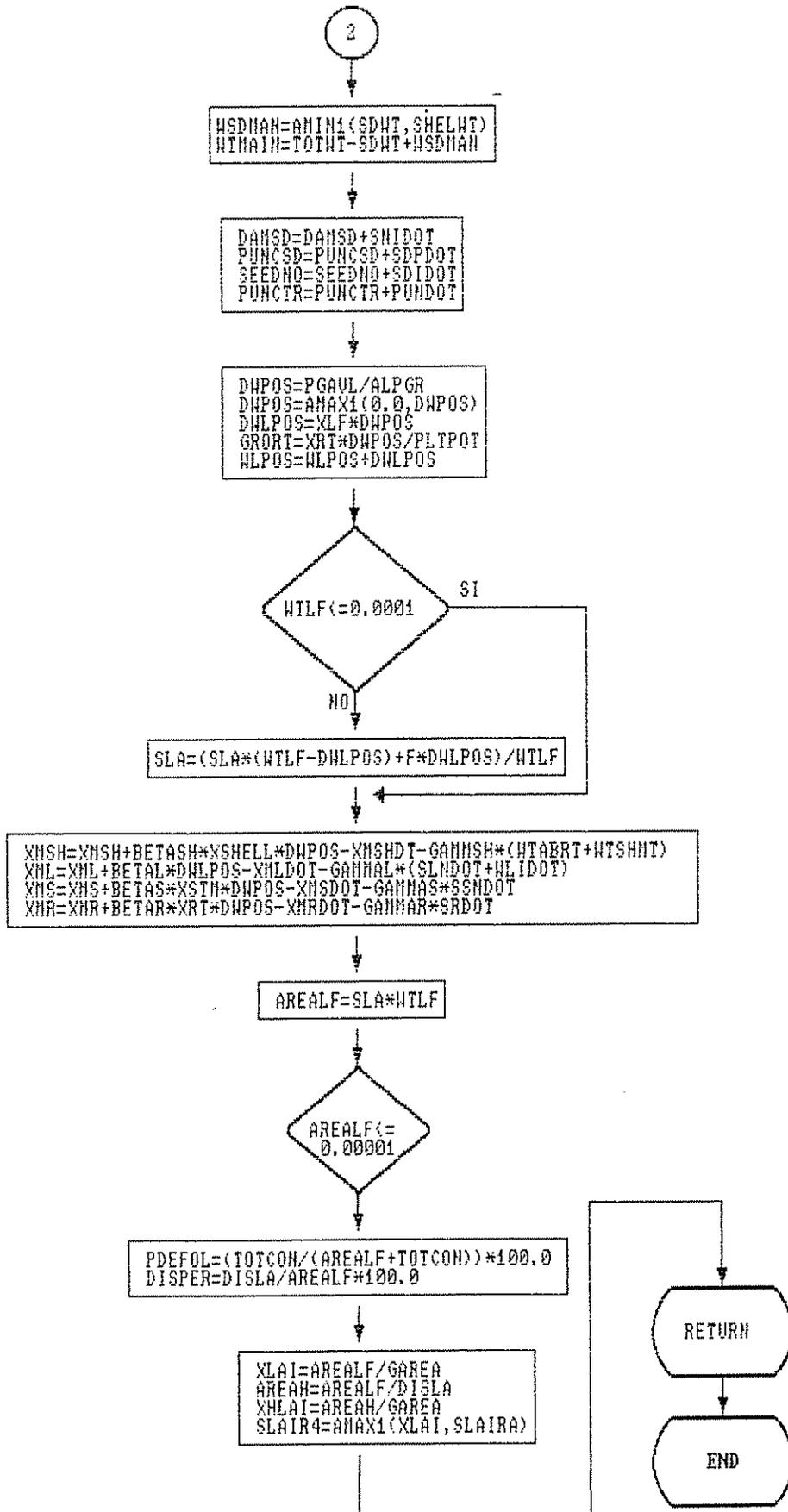
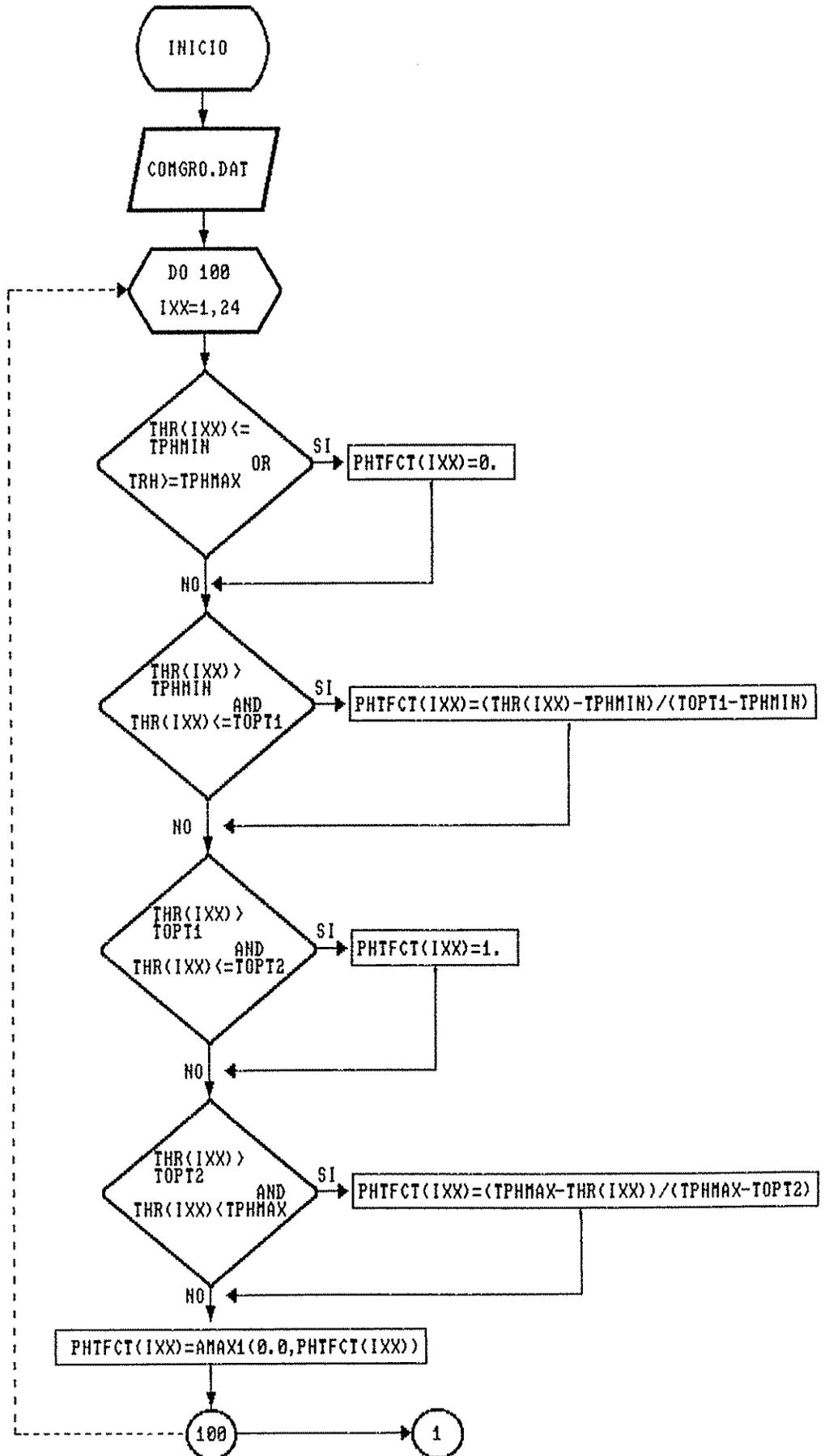


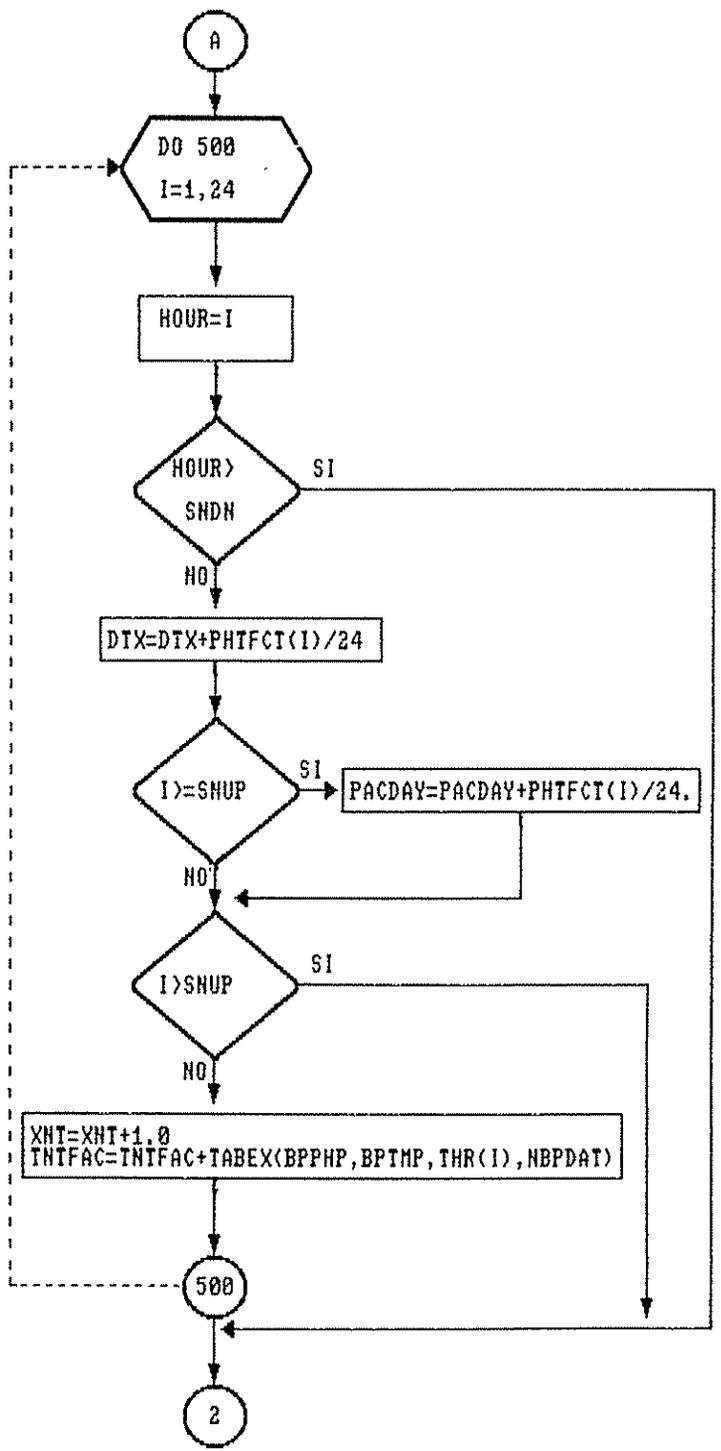
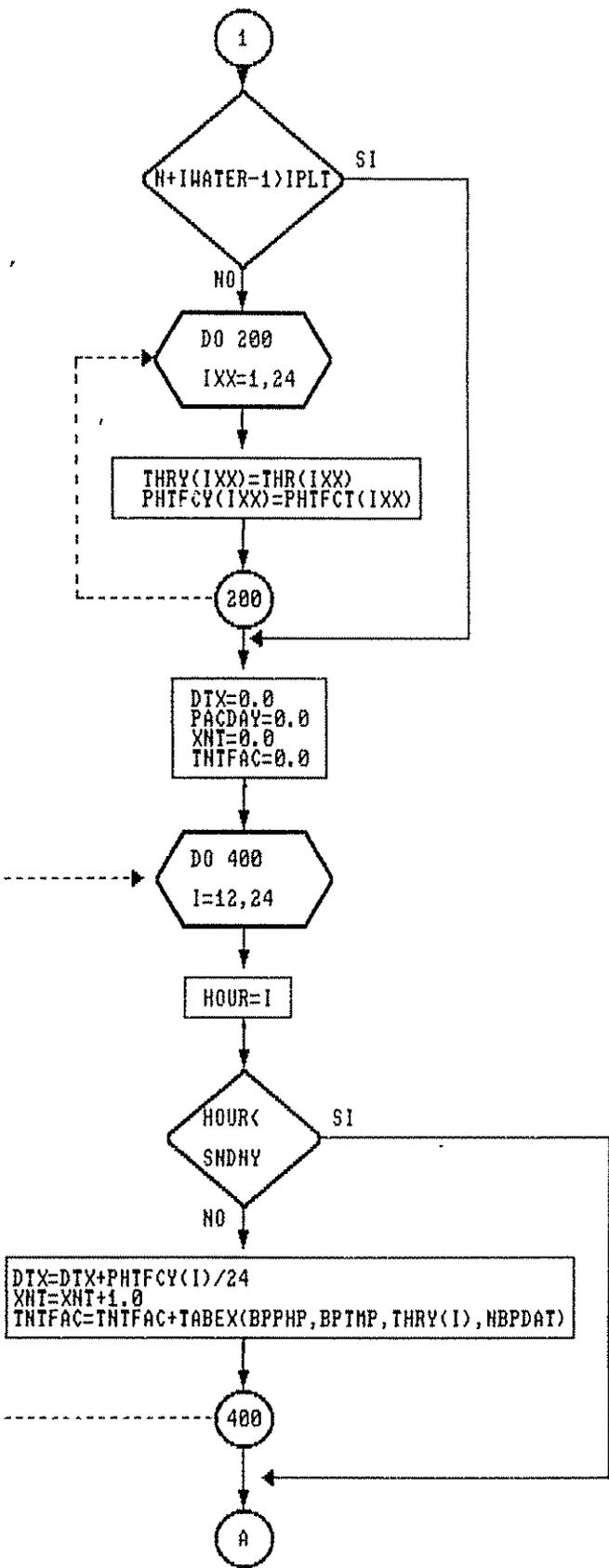
Figura 2A. Diagrama de flujo de la subrutina CROP.FOR

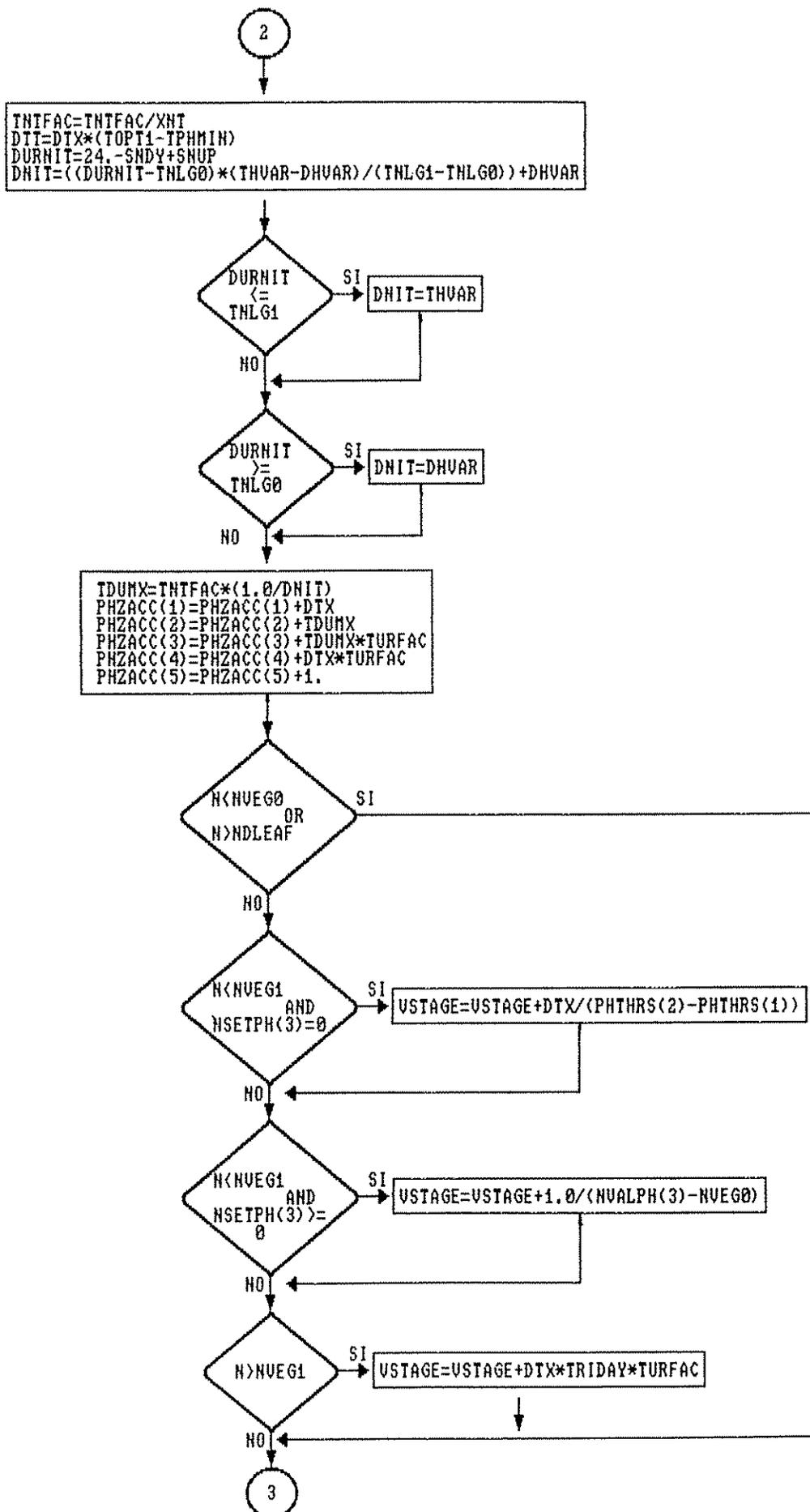


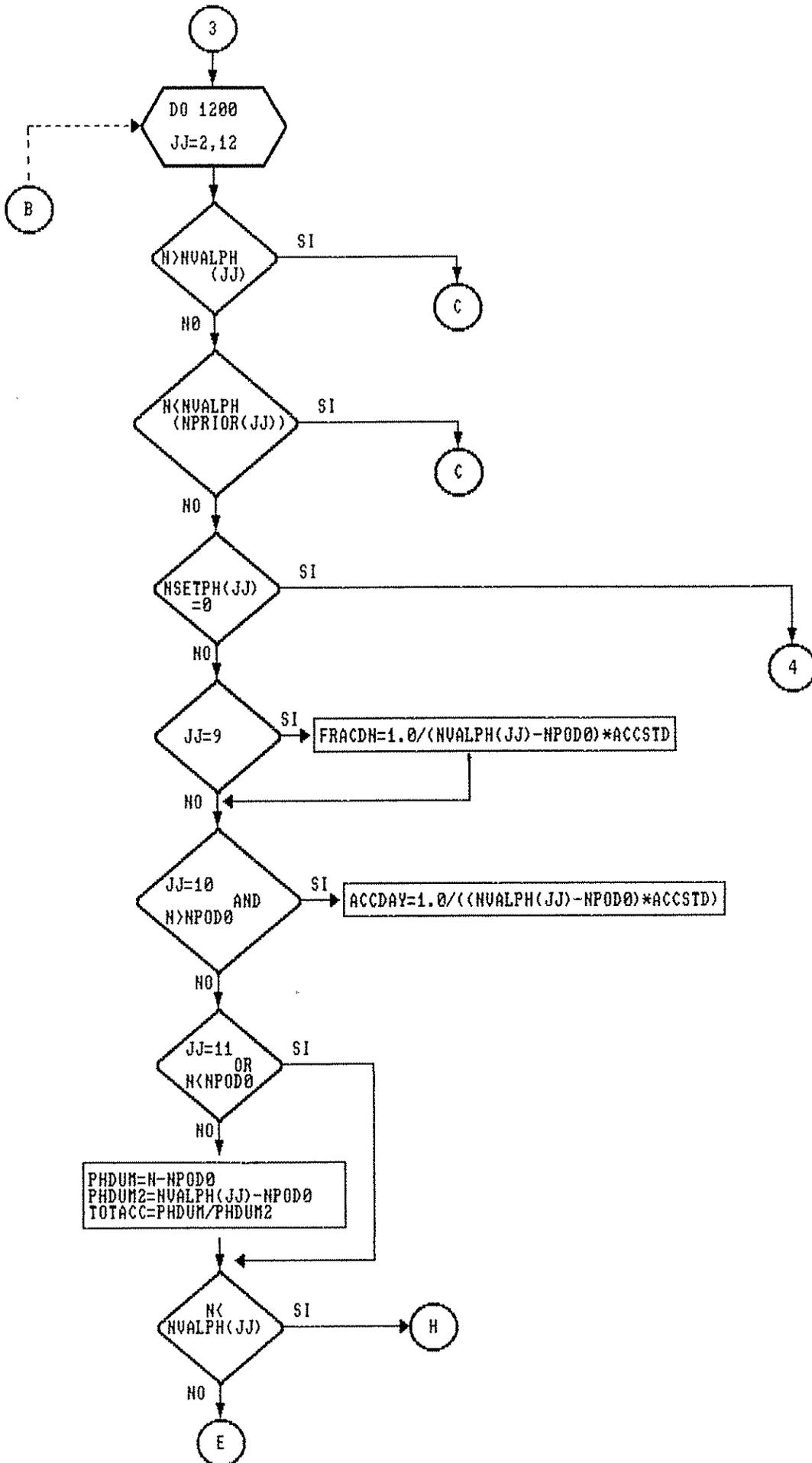


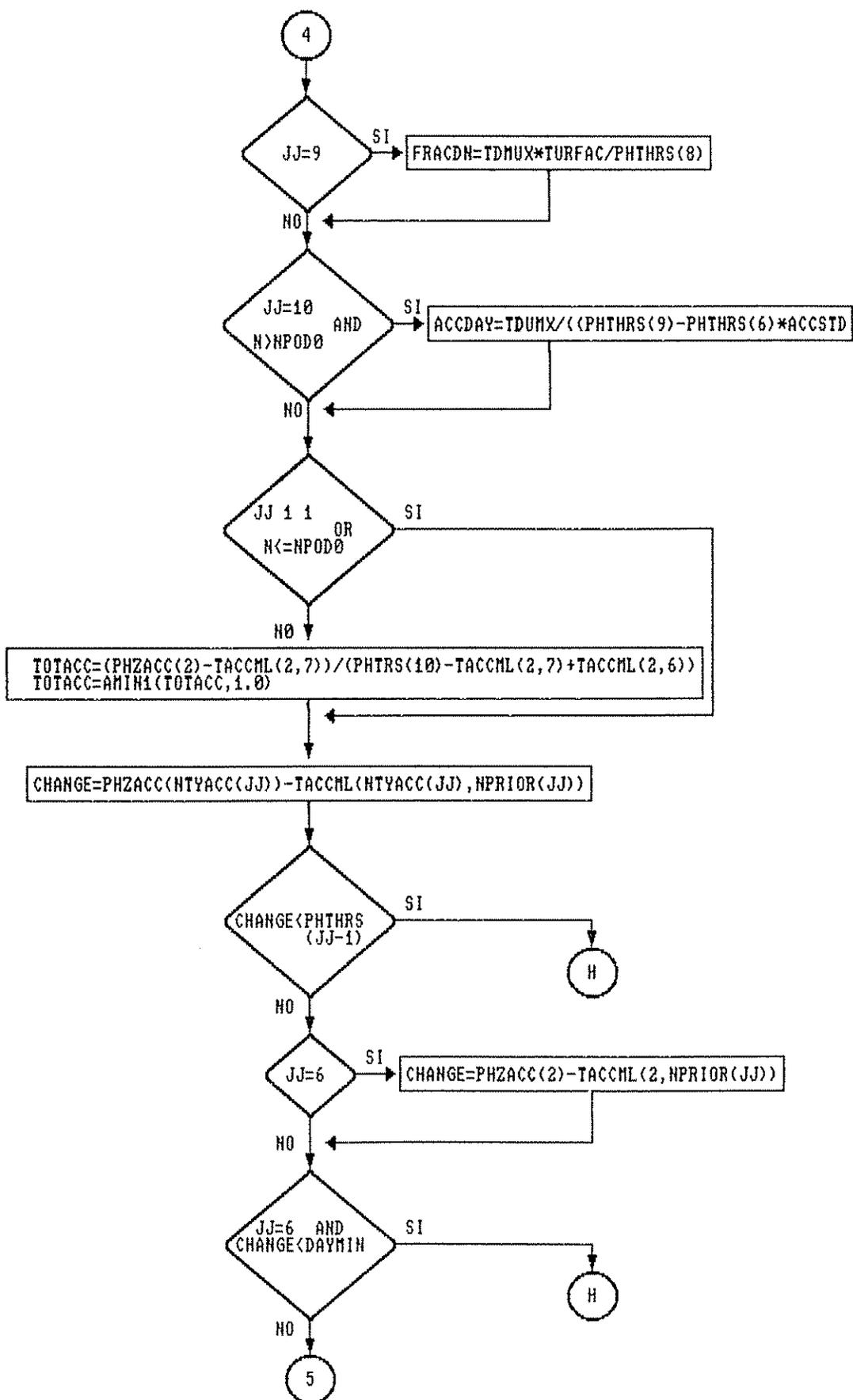


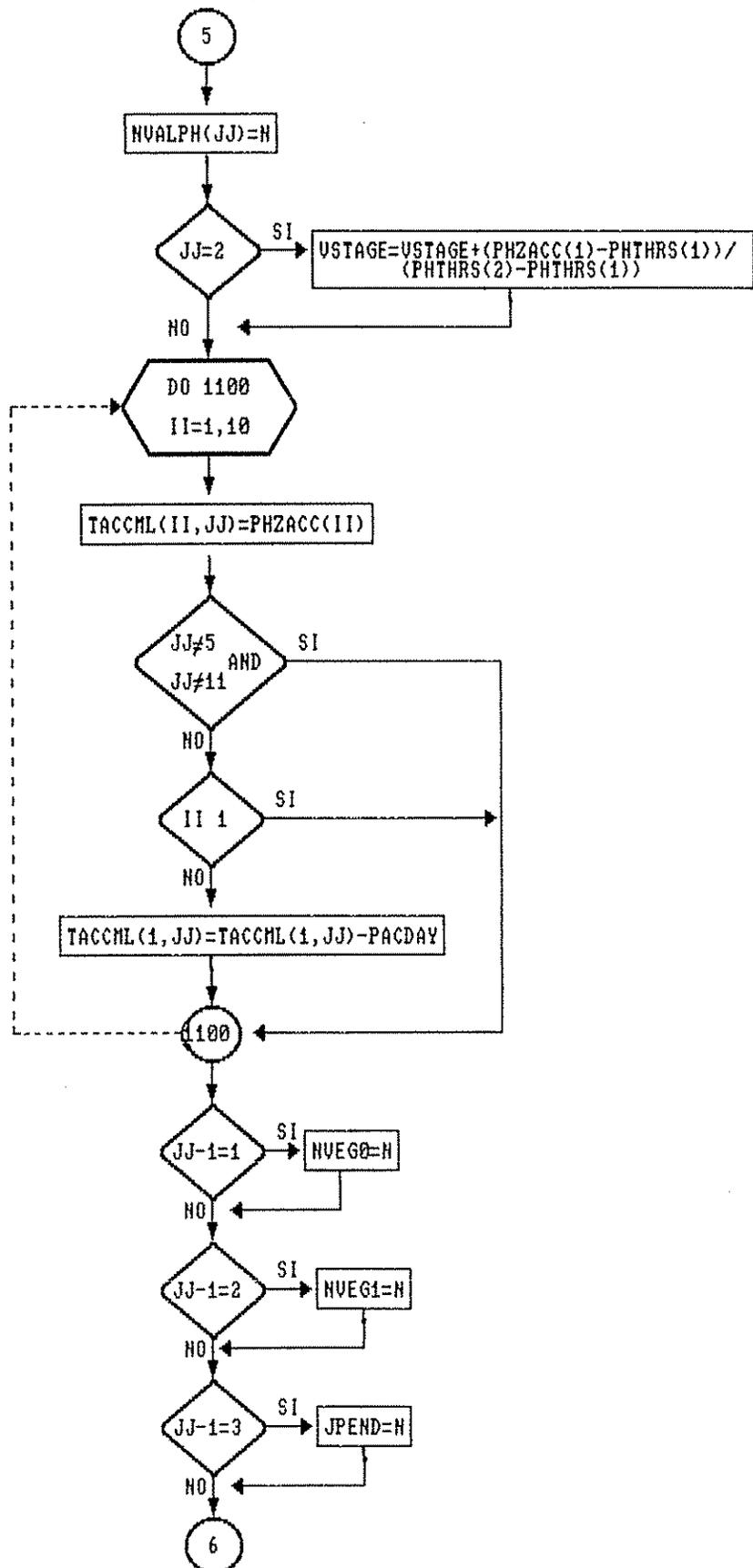












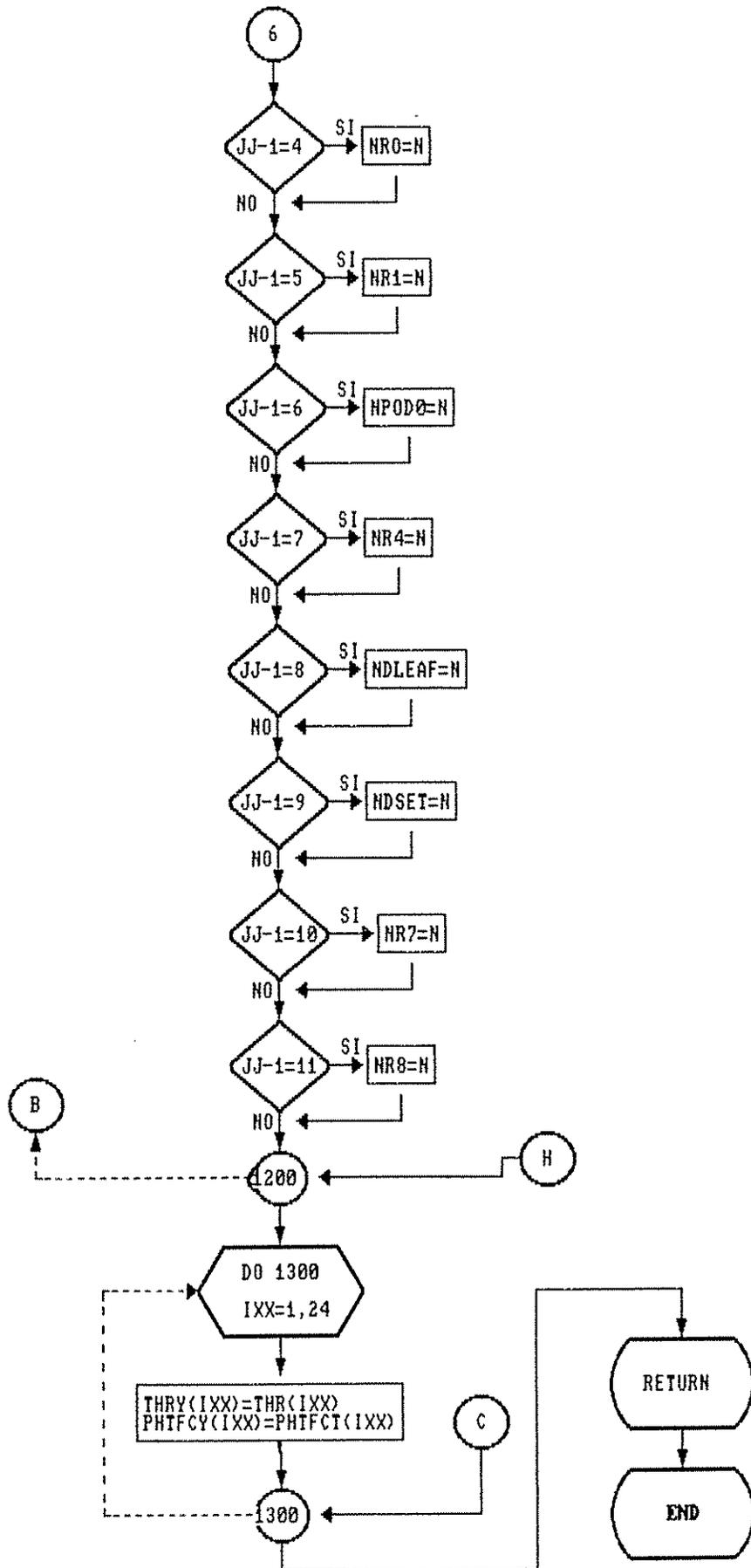
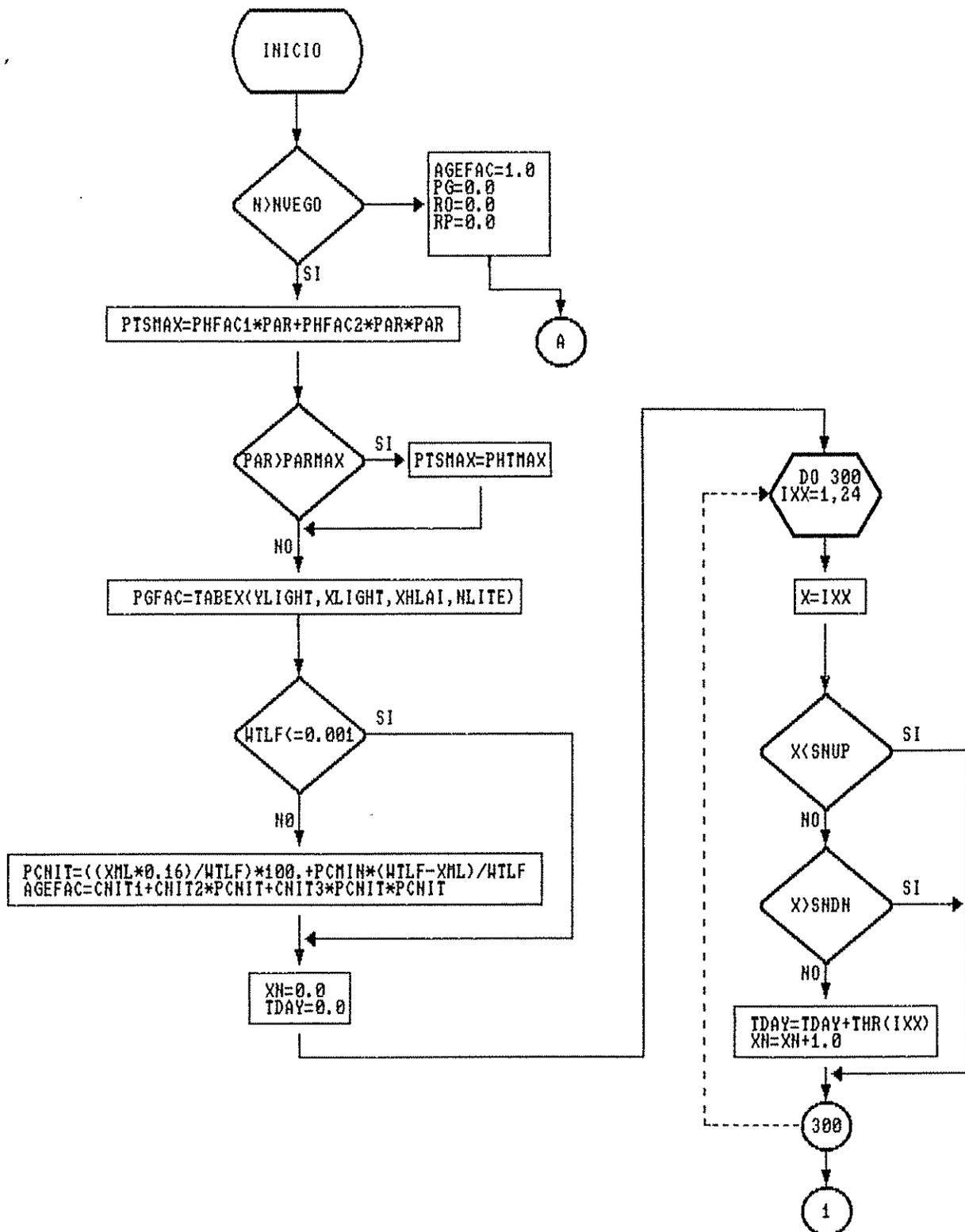
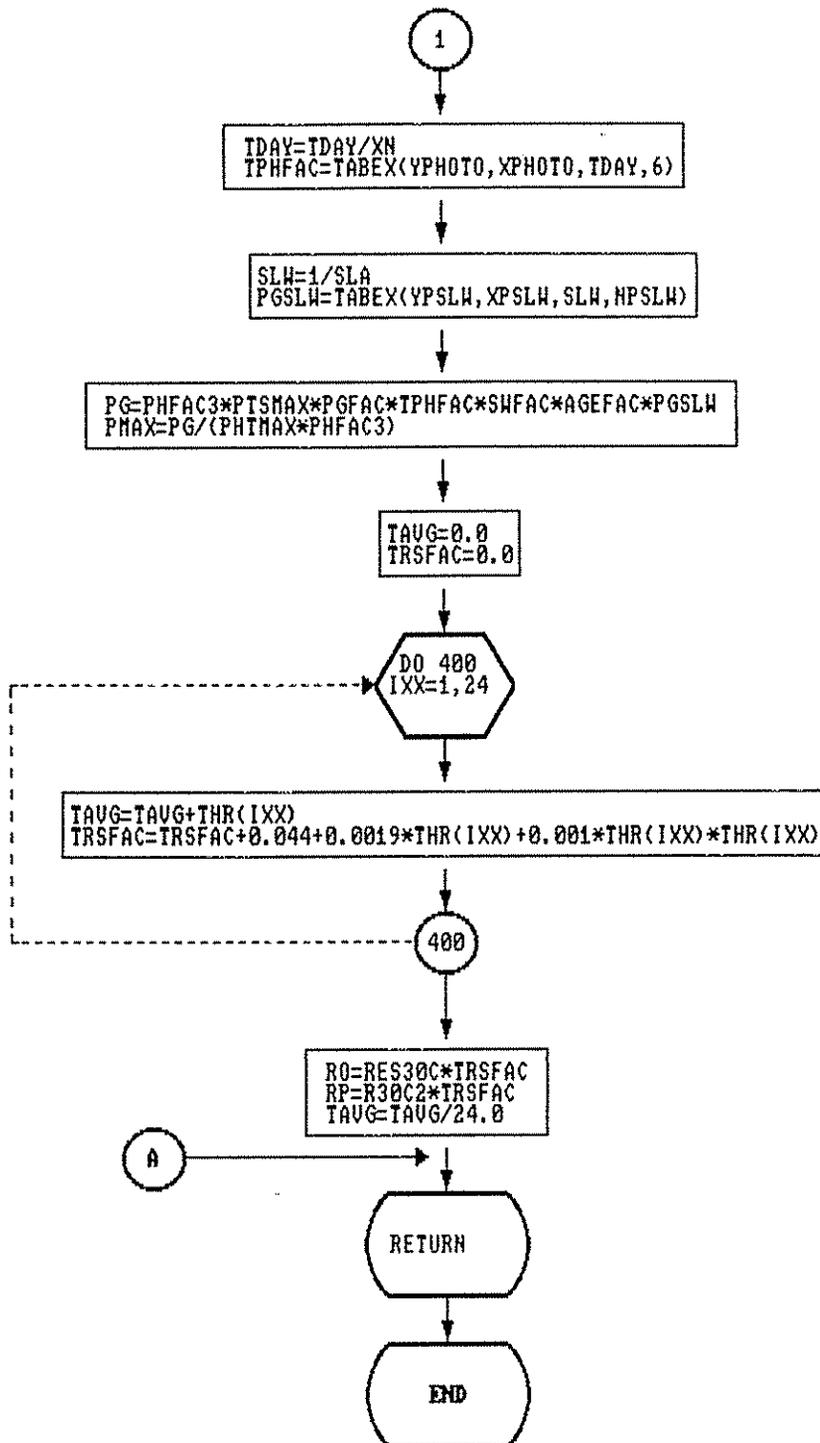
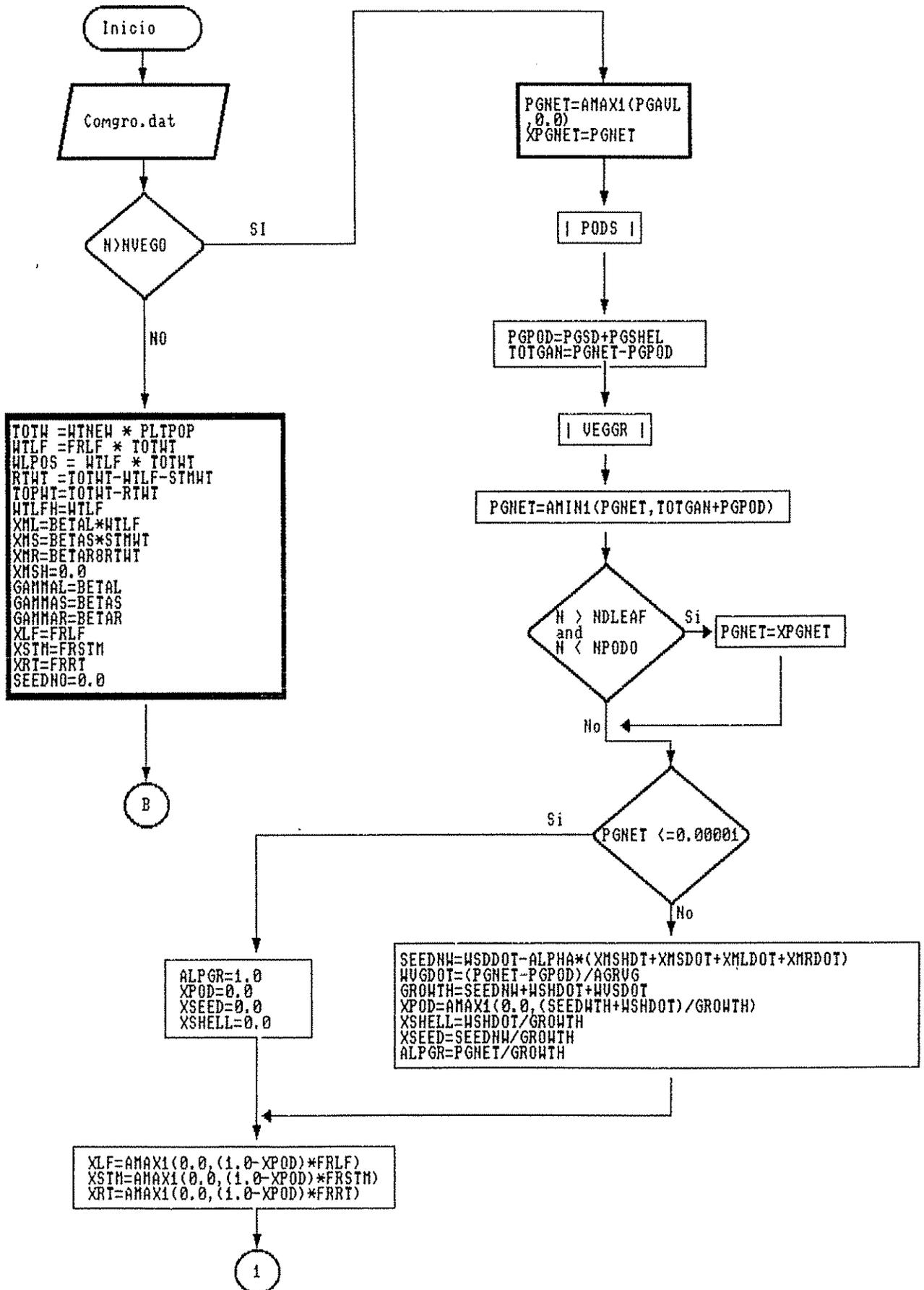
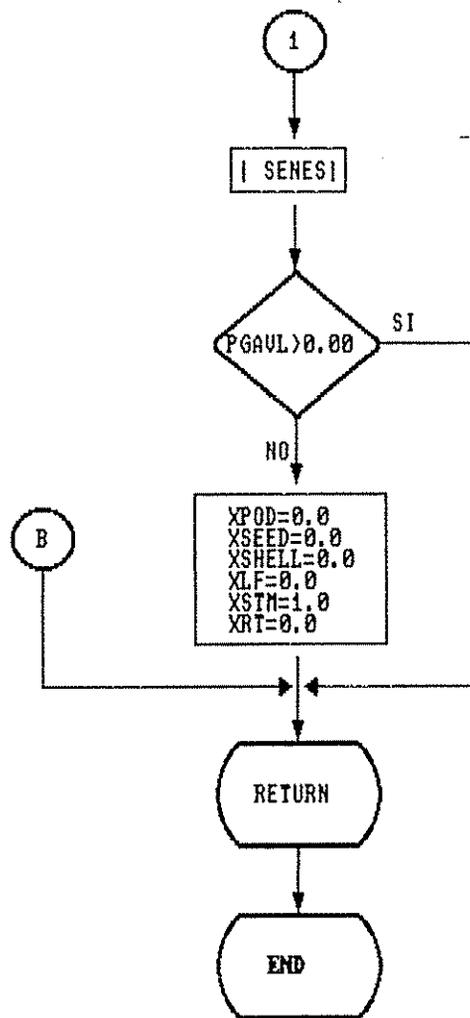


Figura 4A. Diagrama de flujo de la subrutina PHOTO.FOR









Cuadro 1A. Datos diarios de radiación, precipitación, temperatura máxima y mínima. Turrialba.

FECHA	TMIN °C	TMAX °C	PRECIP mm	SOL_RAD Cal/cm2
01-Oct-88	17,4	27,6	7,000	290,00
02-Oct-88	17,5	29,4	15,000	425,00
03-Oct-88	18,5	28,4	3,000	427,00
04-Oct-88	18,6	28,8	0,000	437,00
05-Oct-88	19,2	28,8	0,000	497,00
06-Oct-88	18,8	28,6	28,000	358,00
07-Oct-88	20,0	28,0	0,000	327,00
08-Oct-88	18,6	29,0	7,000	419,00
09-Oct-88	19,2	28,2	5,000	344,00
10-Oct-88	20,0	28,8	5,000	435,00
11-Oct-88	19,0	29,0	5,000	454,00
12-Oct-88	18,2	28,4	9,000	364,00
13-Oct-88	18,6	28,4	5,000	402,00
14-Oct-88	18,8	28,0	3,000	484,00
15-Oct-88	16,8	28,4	0,000	526,00
16-Oct-88	18,2	24,8	9,000	198,00
17-Oct-88	17,6	26,5	5,000	326,00
18-Oct-88	18,2	26,6	84,000	213,00
19-Oct-88	18,5	22,2	51,000	102,00
20-Oct-88	18,4	28,4	5,000	347,00
21-Oct-88	18,2	25,5	0,000	178,00
22-Oct-88	18,6	21,4	41,000	70,00
23-Oct-88	17,2	27,8	1,000	397,00
24-Oct-88	20,0	28,6	1,000	538,00
25-Oct-88	18,8	27,8	1,000	339,00
26-Oct-88	18,2	28,4	0,000	455,00
27-Oct-88	17,2	28,8	1,000	463,00
28-Oct-88	18,8	28,0	0,000	479,00
29-Oct-88	16,0	28,2	0,000	475,00
30-Oct-88	15,8	29,0	0,000	516,00
31-Oct-88	17,8	27,0	0,000	326,00
01-Nov-88	18,8	27,8	0,000	438,00
02-Nov-88	17,8	27,8	1,000	287,00
03-Nov-88	17,4	28,5	0,000	402,00
04-Nov-88	17,2	29,5	1,000	510,00
05-Nov-88	20,0	28,6	4,000	342,00
06-Nov-88	18,5	29,4	0,000	405,00
07-Nov-88	19,8	27,8	16,000	314,00
08-Nov-88	17,5	26,0	4,000	237,00
09-Nov-88	18,5	27,4	2,000	370,00
10-Nov-88	18,4	27,8	0,000	346,00
11-Nov-88	16,5	28,8	5,000	500,00
12-Nov-88	19,5	28,0	2,000	287,00
13-Nov-88	17,0	22,5	27,000	107,00
14-Nov-88	15,4	28,8	0,000	473,00
15-Nov-88	15,8	25,4	2,000	309,00
16-Nov-88	17,6	26,4	0,000	307,00

17-Nov-88	18,2	28,4	0,000	482,00
18-Nov-88	17,8	28,5	0,000	495,00
19-Nov-88	17,2	28,8	0,000	497,00
20-Nov-88	15,6	29,4	0,000	470,00
21-Nov-88	18,4	28,2	0,000	377,00
22-Nov-88	15,4	26,0	8,000	231,00
23-Nov-88	15,0	24,8	7,000	223,00
24-Nov-88	17,4	27,2	2,000	496,00
25-Nov-88	16,2	28,0	0,000	396,00
26-Nov-88	15,5	28,2	0,000	475,00
27-Nov-88	18,5	28,5	0,000	480,00
28-Nov-88	18,8	24,8	2,000	171,00
29-Nov-88	18,6	24,2	8,000	151,00
30-Nov-88	17,0	25,0	26,000	181,00
01-Dec-88	14,6	27,0	1,000	371,00
02-Dec-88	17,4	24,0	21,000	163,00
03-Dec-88	15,2	23,0	0,000	215,00
04-Dec-88	16,4	27,5	2,000	387,00
05-Dec-88	16,0	26,2	0,000	327,00
06-Dec-88	18,2	26,6	0,000	347,00
07-Dec-88	17,2	25,0	0,000	205,00
08-Dec-88	16,8	26,5	0,000	278,00
09-Dec-88	16,2	27,0	0,000	264,00
10-Dec-88	17,0	29,2	0,000	466,00
11-Dec-88	15,2	27,8	2,000	365,00
12-Dec-88	18,0	25,8	2,000	237,00
13-Dec-88	16,4	21,4	57,000	130,00
14-Dec-88	18,4	27,5	2,000	502,00
15-Dec-88	17,4	26,0	0,000	259,00
16-Dec-88	18,4	23,4	16,000	130,00
17-Dec-88	18,2	25,0	9,000	239,00
18-Dec-88	18,4	21,4	12,000	124,00
19-Dec-88	15,5	23,8	12,000	189,00
20-Dec-88	15,2	25,8	4,000	271,00
21-Dec-88	17,0	27,5	0,000	471,00
22-Dec-88	15,4	27,0	0,000	439,00
23-Dec-88	17,6	27,5	0,000	342,00
24-Dec-88	16,8	27,2	0,000	440,00
25-Dec-88	16,5	24,4	5,000	211,00
26-Dec-88	14,2	27,2	0,000	465,00
27-Dec-88	16,0	27,5	0,000	374,00
28-Dec-88	13,8	27,0	7,000	384,00
29-Dec-88	16,8	24,5	2,000	336,00
30-Dec-88	17,8	24,5	4,000	234,00
31-Dec-88	17,5	26,5	1,000	368,00
01-Jan-89	17,2	27,0	3,000	313,00
02-Jan-89	18,0	27,0	5,000	300,00
03-Jan-89	16,4	26,8	0,000	395,00
04-Jan-89	15,6	24,8	28,000	253,00
05-Jan-89	18,5	27,0	0,000	419,00
06-Jan-89	16,8	24,6	1,000	225,00
07-Jan-89	16,5	25,0	1,000	286,00
08-Jan-89	16,5	26,4	5,000	462,00
09-Jan-89	16,2	27,0	0,000	450,00

10-Jan-89	16,5	26,8	3,000	430,00
11-Jan-89	15,0	26,8	0,000	414,00
12-Jan-89	15,6	26,5	1,000	470,00
13-Jan-89	16,4	27,0	0,000	474,00
14-Jan-89	18,0	26,5	0,000	389,00
15-Jan-89	17,4	27,0	2,000	327,00
16-Jan-89	18,5	22,0	35,000	181,00
17-Jan-89	15,8	26,8	0,000	352,00
18-Jan-89	15,2	26,2	1,000	294,00
19-Jan-89	16,5	26,0	1,000	333,00
20-Jan-89	18,5	26,0	0,000	312,00
21-Jan-89	16,0	26,5	0,000	366,00
22-Jan-89	18,6	28,0	0,000	430,00
23-Jan-89	18,5	26,6	3,000	358,00
24-Jan-89	14,0	26,6	1,000	358,00
25-Jan-89	15,6	26,6	0,000	429,00
26-Jan-89	11,8	26,0	0,000	441,00
27-Jan-89	13,8	27,0	0,000	386,00
28-Jan-89	14,2	25,4	0,000	290,00
29-Jan-89	17,2	25,2	0,000	350,00
30-Jan-89	14,8	26,0	0,000	412,00
31-Jan-89	11,6	27,5	1,000	357,00
01-Feb-89	13,8	25,8	0,000	363,00
02-Feb-89	10,6	26,0	0,000	401,00
03-Feb-89	13,0	25,8	0,000	300,00
04-Feb-89	12,0	26,5	0,000	315,00
05-Feb-89	12,4	27,0	0,000	563,00
06-Feb-89	12,5	24,0	0,000	237,00
07-Feb-89	14,8	28,5	0,000	471,00
08-Feb-89	17,8	24,5	5,000	262,00
09-Feb-89	16,6	27,2	7,000	505,00
10-Feb-89	12,8	24,2	0,000	267,00
11-Feb-89	16,5	26,5	0,000	412,00
12-Feb-89	14,0	25,6	0,000	358,00
13-Feb-89	12,8	27,4	0,000	474,00
14-Feb-89	13,2	26,8	0,000	347,00
15-Feb-89	15,2	26,6	0,000	484,00
16-Feb-89	13,8	27,2	0,000	333,00
17-Feb-89	10,8	27,4	0,000	512,00
18-Feb-89	12,4	27,8	0,000	492,00
19-Feb-89	15,4	27,4	0,000	500,00
20-Feb-89	17,6	27,8	0,000	494,00
21-Feb-89	18,5	27,8	0,000	527,00
22-Feb-89	16,5	27,6	0,000	464,00
23-Feb-89	14,6	19,4	38,000	171,00
24-Feb-89	15,6	19,6	32,000	206,00
25-Feb-89	16,5	21,0	20,000	206,00
26-Feb-89	16,0	20,8	7,000	235,00
27-Feb-89	17,2	24,8	1,000	269,00
28-Feb-89	16,2	28,5	0,000	551,00
01-Mar-89	17,0	28,6	0,000	559,00
02-Mar-89	17,6	27,2	0,000	383,00
03-Mar-89	18,8	27,0	0,000	366,00
04-Mar-89	17,6	28,4	0,000	553,00

05-Mar-89	15,2	28,4	0,000	582,00
06-Mar-89	15,4	27,5	0,000	545,00
07-Mar-89	17,5	27,4	0,000	434,00
08-Mar-89	16,6	21,5	19,000	264,00
09-Mar-89	16,8	21,8	13,000	244,00
10-Mar-89	15,8	20,5	14,000	177,00
11-Mar-89	15,8	23,2	10,000	212,00
12-Mar-89	13,6	22,2	1,000	212,00
13-Mar-89	15,5	24,5	1,000	312,00
14-Mar-89	16,0	27,2	0,000	499,00
15-Mar-89	14,5	27,8	0,000	514,00
16-Mar-89	14,4	28,0	0,000	597,00
17-Mar-89	14,0	28,0	0,000	546,00
18-Mar-89	13,6	27,8	0,000	526,00
19-Mar-89	14,0	28,0	0,000	593,00
20-Mar-89	15,2	28,0	0,000	520,00
21-Mar-89	13,6	28,0	0,000	592,00
22-Mar-89	16,6	27,5	0,000	496,00
23-Mar-89	18,0	27,2	0,000	486,00
24-Mar-89	15,0	28,0	0,000	565,00
25-Mar-89	13,5	28,0	0,000	535,00
26-Mar-89	16,5	27,8	0,000	600,00
27-Mar-89	14,4	28,0	0,000	530,00
28-Mar-89	14,2	27,5	0,000	428,00
29-Mar-89	16,0	28,5	0,000	536,00
30-Mar-89	19,2	28,6	0,000	540,00
31-Mar-89	14,4	28,0	0,000	515,00
01-Apr-89	16,2	28,5	0,000	548,00
02-Apr-89	14,4	28,5	0,000	377,00
03-Apr-89	16,5	27,2	0,000	392,00
04-Apr-89	14,5	28,0	0,000	391,00
05-Apr-89	15,6	29,4	2,000	493,00
06-Apr-89	19,4	27,0	14,000	416,00
07-Apr-89	19,4	27,0	26,000	288,00
08-Apr-89	19,0	28,5	11,000	405,00
09-Apr-89	19,4	27,0	3,000	341,00
10-Apr-89	18,5	28,0	0,000	531,00
11-Apr-89	16,2	26,6	0,000	441,00
12-Apr-89	18,6	27,2	3,000	288,00
13-Apr-89	15,8	28,4	0,000	553,00
14-Apr-89	19,5	26,0	6,000	289,00
15-Apr-89	16,5	28,5	0,000	590,00
16-Apr-89	18,2	25,5	4,000	217,00
17-Apr-89	16,5	26,5	0,000	438,00
18-Apr-89	19,6	27,8	0,000	371,00
19-Apr-89	17,4	28,5	0,000	612,00
20-Apr-89	16,5	27,0	0,000	302,00
21-Apr-89	16,8	28,5	0,000	511,00
22-Apr-89	19,4	28,2	14,000	333,00
23-Apr-89	17,8	28,0	0,300	445,00
24-Apr-89	19,6	28,6	0,000	441,00
25-Apr-89	20,5	25,0	6,800	167,00
26-Apr-89	19,8	25,5	2,700	223,00
27-Apr-89	18,8	28,8	0,000	499,00

28-Apr-89	16,2	28,2	0,000	509,00
29-Apr-89	18,6	29,5	0,000	581,00
30-Apr-89	19,8	29,2 -	0,000	538,00

Cuadro 2A. Datos diarios de radiación, precipitación, temperatura máxima y mínima. Diamantes-Guápiles.

FECHA	TMIN °C	TMAX °C	PRECIP mm	SOL_RAD Cal/cm2
01-Dec-88	18.9	22.2	5.000	281.80
02-Dec-88	20.5	24.2	20.000	207.20
03-Dec-88	19.5	25.0	2.000	209.80
04-Dec-88	19.5	26.2	2.000	281.80
05-Dec-88	20.5	26.8	4.000	258.70
06-Dec-88	20.5	27.0	18.000	235.50
07-Dec-88	19.2	26.2	4.000	214.90
08-Dec-88	18.5	27.2	12.000	294.70
09-Dec-88	18.5	27.2	3.000	274.10
10-Dec-88	18.0	28.5	1.000	402.80
11-Dec-88	18.0	27.5	2.000	325.10
12-Dec-88	20.8	25.0	10.000	220.50
13-Dec-88	19.5	23.0	151.000	205.20
14-Dec-88	20.5	28.5	2.000	348.00
15-Dec-88	19.0	27.8	18.000	340.40
16-Dec-88	20.8	23.8	41.000	205.20
17-Dec-88	20.2	26.9	45.000	271.50
18-Dec-88	20.0	24.3	40.000	205.20
19-Dec-88	20.4	25.1	34.000	225.60
20-Dec-88	18.5	26.6	14.000	342.90
21-Dec-88	20.0	28.3	1.000	409.80
22-Dec-88	18.7	26.7	4.000	323.00
23-Dec-88	20.2	27.0	5.000	277.00
24-Dec-88	20.5	27.3	3.000	384.20
25-Dec-88	21.0	26.9	1.000	246.40
26-Dec-88	18.7	27.7	0.000	391.90
27-Dec-88	19.0	27.8	0.000	386.80
28-Dec-88	18.0	28.0	2.000	379.10
29-Dec-88	19.0	25.0	25.000	205.50
30-Dec-88	21.0	28.0	5.000	279.50
31-Dec-88	20.0	27.5	2.000	348.50
01-Jan-89	19.5	27.3	4.000	282.00
02-Jan-89	20.4	28.2	20.000	302.40
03-Jan-89	20.2	26.9	4.000	271.70
04-Jan-89	19.5	23.7	22.000	207.80
05-Jan-89	20.0	27.3	10.000	402.20
06-Jan-89	20.5	26.1	4.000	246.10
07-Jan-89	19.0	26.5	2.000	251.30
08-Jan-89	19.7	27.7	2.000	371.50
09-Jan-89	19.5	27.9	7.000	435.50
10-Jan-89	20.0	27.8	4.000	422.70
11-Jan-89	19.3	28.4	28.000	454.10
12-Jan-89	19.0	27.3	4.000	375.90
13-Jan-89	18.5	28.0	4.000	365.50
14-Jan-89	20.8	28.0	7.000	326.40
15-Jan-89	20.0	27.0	11.000	287.30
16-Jan-89	21.2	25.5	10.000	258.60

17-Jan-89	18.0	27.0	17.000	326.40
18-Jan-89	19.5	27.3	7.000	370.70
19-Jan-89	19.2	27.9	1.000	355.10
20-Jan-89	20.3	28.4	0.000	342.00
21-Jan-89	17.8	28.1	1.000	343.00
22-Jan-89	20.0	28.7	1.000	442.00
23-Jan-89	20.7	26.8	0.000	284.20
24-Jan-89	18.0	27.5	2.000	380.50
25-Jan-89	18.5	28.2	6.000	409.90
26-Jan-89	16.0	27.5	0.000	396.60
27-Jan-89	17.5	27.8	10.000	319.00
28-Jan-89	17.6	27.6	1.000	297.60
29-Jan-89	19.6	27.8	0.000	302.90
30-Jan-89	18.2	28.2	0.000	329.70
31-Jan-89	16.5	28.1	0.000	340.40
01-Feb-89	18.5	28.3	0.000	356.00
02-Feb-89	16.0	28.5	2.000	385.70
03-Feb-89	17.2	27.8	1.000	347.90
04-Feb-89	17.0	27.2	10.000	331.60
05-Feb-89	16.0	28.4	2.000	415.50
06-Feb-89	26.2	27.5	2.000	272.10
07-Feb-89	17.0	31.4	4.000	475.00
08-Feb-89	20.6	31.5	26.000	247.80
09-Feb-89	20.2	27.9	0.000	458.80
10-Feb-89	16.0	26.7	12.000	269.40
11-Feb-89	17.8	27.9	3.000	430.30
12-Feb-89	18.5	27.0	6.000	293.90
13-Feb-89	16.5	28.0	4.000	466.40
14-Feb-89	19.0	27.0	6.000	341.20
15-Feb-89	19.0	27.0	1.000	413.60
16-Feb-89	18.5	27.5	0.000	330.10
17-Feb-89	16.5	28.0	0.000	433.00
18-Feb-89	16.0	28.6	0.000	491.50
19-Feb-89	17.0	28.2	0.000	408.00
20-Feb-89	19.5	27.9	0.000	374.60
21-Feb-89	18.5	27.8	0.000	315.30
22-Feb-89	18.3	28.5	1.000	372.30
23-Feb-89	18.8	24.7	76.000	235.50
24-Feb-89	11.8	20.5	25.000	235.50
25-Feb-89	18.0	21.5	50.000	235.50
26-Feb-89	16.6	20.2	25.000	235.50
27-Feb-89	18.5	23.6	10.000	235.50
28-Feb-89	20.5	28.0	0.000	358.10
01-Mar-89	19.7	28.6	1.000	380.40
02-Mar-89	19.6	26.2	6.000	243.10
03-Mar-89	21.6	26.0	3.000	266.00
04-Mar-89	21.4	28.3	0.000	480.50
05-Mar-89	18.0	29.4	0.000	497.60
06-Mar-89	17.0	28.0	0.000	423.30
07-Mar-89	20.5	27.5	27.000	280.30
08-Mar-89	19.2	24.1	37.000	240.20
09-Mar-89	18.2	19.9	32.000	240.20
10-Mar-89	17.2	21.4	8.000	240.20
11-Mar-89	17.8	22.0	7.000	244.70

12-Mar-89	17.5	22.9	5.000	244.70
13-Mar-89	18.4	24.9	0.000	311.70
14-Mar-89	17.0	27.2	0.000	413.70
15-Mar-89	17.8	28.0	0.000	390.40
16-Mar-89	16.5	28.4	0.000	483.60
17-Mar-89	16.8	29.0	0.000	448.60
18-Mar-89	16.2	28.5	0.000	477.80
19-Mar-89	17.5	28.4	7.000	509.80
20-Mar-89	18.0	28.2	4.000	445.70
21-Mar-89	16.8	28.4	0.000	493.80
22-Mar-89	18.0	28.2	0.000	443.50
23-Mar-89	17.5	28.0	0.000	437.60
24-Mar-89	16.5	28.8	0.000	544.00
25-Mar-89	16.4	29.0	0.000	493.80
26-Mar-89	19.5	28.0	1.000	348.90
27-Mar-89	17.2	28.5	1.000	526.30
28-Mar-89	18.5	28.0	0.000	343.00
29-Mar-89	17.5	28.2	1.000	416.90
30-Mar-89	19.7	29.3	0.000	479.00
31-Mar-89	17.7	28.9	0.000	440.50
01-Apr-89	17.5	29.3	0.000	491.60
02-Apr-89	16.5	28.8	0.000	355.00
03-Apr-89	19.5	28.2	1.000	311.40
04-Apr-89	17.0	29.5	0.000	471.30
05-Apr-89	20.0	29.5	24.000	261.90
06-Apr-89	20.7	29.4	38.000	302.60
07-Apr-89	21.3	27.0	32.000	276.50
08-Apr-89	21.5	28.7	10.000	349.20
09-Apr-89	20.5	26.4	15.000	285.20
10-Apr-89	20.7	28.0	8.000	480.00
11-Apr-89	18.3	26.6	15.000	254.10
12-Apr-89	20.5	27.6	13.000	306.60
13-Apr-89	17.5	28.6	23.000	391.20
14-Apr-89	21.5	27.5	8.000	347.40
15-Apr-89	18.5	28.5	10.000	347.40
16-Apr-89	21.5	27.5	15.000	268.70
17-Apr-89	18.2	27.8	15.000	359.10
18-Apr-89	22.0	26.4	19.000	277.40
19-Apr-89	18.5	28.5	3.000	464.10
20-Apr-89	18.5	28.0	2.000	332.80
21-Apr-89	18.6	28.6	3.000	393.60
22-Apr-89	20.5	27.8	0.000	361.60
23-Apr-89	19.5	28.5	2.000	419.90
24-Apr-89	18.0	28.1	5.000	349.90
25-Apr-89	22.0	27.2	5.000	250.90
26-Apr-89	22.4	27.0	32.000	265.50
27-Apr-89	21.7	29.0	0.000	431.50
28-Apr-89	18.5	29.5	0.000	551.00
29-Apr-89	18.5	29.1	5.000	489.80
30-Apr-89	21.0	28.8	0.000	425.70

Cuadro 3A. Características físicas del perfil de suelo de Turrialba.

Prof. capa-cm	Dens. aparente	FMP, gr/gr	CC gr/gr	F Sat gr/gr
0-10	1,010250	0,311	0,388	0,968
10-20	1,059543	0,301	0,389	0,825
20-35	1,064294	0,312	0,411	0,764
35-50	1,086666	0,334	0,407	0,832
50-65	1,096369	0,301	0,397	0,756
65-80	1,121908	0,317	0,396	0,766
80-95	1,204284	0,313	0,384	0,584
95-110	1,283694	0,301	0,347	0,539
110-125	1,346520	0,287	0,344	0,608

Cuadro 4A. Características químicas del perfil del suelo de Turrialba.

Prof. capa-cm	NH4 ppm	NO3 ppm	N Total gr/Kg	pH en H2O	pH en KCL	% Mat. Org.	P Ug/ml	K meq/100ml
0-10	0	4,42	2,8	4,2	4,2	5,2	10,19	0,33
10-20	0	4,87	2,9	4,5	4,2	5,7	11,66	0,29
20-35	0	2,09	1,3	4,8	4,6	3,1	2,29	0,05
35-50	0	1,81	0,8	5	4,9	1,6	2,98	0,02
50-65	0	1,6	0,6	5,1	5	0,8	5,44	0,02
65-80	0	3,2	0,5	5	4,8	0,8	7,11	0,01
80-95	0	3,51	0,5	4,6	4,3	0,3	7,33	0,02
95-110	0	2,3	0,3	4,5	4,1	0,3	7,33	0,02
110-125	0	1,55	0,2	4,3	3,9	0,3	6,16	0,04

Cuadro 5A. Determinación del punto de marchitez permanente por el plato de presión, a 1500 Kpa

L. GOMEZ		A. CASTILLO		C. HEER		V. RISTER		J. ROMERO		V. AGUIRRE A.		PROMEDI	
Estrato	PMP	Estrato	PMP	Estrato	PMP	Estrato	PMP	Estrato	PMP	Estrato	PMP	Estrato PMP	
(cm)		(cm)		(cm)		(cm)		(cm)		(cm)		(cm)	
						0-10	0.31						
0-15	0.34	0-20	0.36	0-15	0.28	10-20	0.30	0-20	0.34	0-16	0.26	0-20	0.31
15-30	0.36	20-35	0.31	15-30	0.34	20-35	0.31	20-35	0.40			20-35	0.34
30-45	0.36	35-50	0.29	30-45	0.32	35-50	0.33	35-50	0.39	20-40	0.27	35-50	0.33
45-60	0.39	50-65	0.30	45-60	0.33	50-65	0.30	50-65	0.41			50-65	0.35
60-75	0.44	65-80	0.32	60-75	0.38	65-80	0.31	65-80	0.40			65-80	0.37
75-95	0.44	80-95	0.28	75-95	0.37	80-95	0.31	80-95	0.38			80-95	0.36
95-115	0.38	95-110	0.29	95-115	0.39	95-110	0.30	95-110	0.40			95-110	0.35
		110-125	0.32			110-125	0.29					110-125	0.31
AVG	0.39		0.31		0.34		0.31		0.39		0.27		0.33
STD	0.04		0.02		0.04		0.01		0.02		0.00		0.01
CV	9.44		7.67		10.40		3.44		5.58		1.31		3.81

Cuadro 6A. Determinación de la capacidad de campo por el método de presión, a 33 Kpa.

L. GOMEZ		A. CASTILLO		C. HEER		V. RISTER		J. ROMERO		V. AGUIRRE A.		PROMEDI	
Estrato	CC	Estrato	CC	Estrato	CC	Estrato	CC	Estrato	CC	Estrato	CC	Estrato AVG	
(cm)		(cm)		(cm)		(cm)		(cm)		(cm)		(cm)	
						0-10	0.39						
0-15	0.33	0-20	0.41	0-15	0.36	10-20	0.39	0-20	0.45	0-16	0.32	0-20	0.38
15-30	0.46	20-35	0.36	15-30	0.41	20-35	0.41	20-35	0.49			20-35	0.43
30-45	0.36	35-50	0.35	30-45	0.41	35-50	0.41	35-50	0.49	20-40	0.37	35-50	0.40
45-60	0.38	50-65	0.34	45-60	0.42	50-65	0.40	50-65	0.51			50-65	0.41
60-75	0.42	65-80	0.36	60-75	0.46	65-80	0.39	65-80	0.51			65-80	0.43
75-95	0.39	80-95	0.34	75-95	0.47	80-95	0.38	80-95	0.49			80-95	0.41
95-115	0.37	95-110	0.34	95-115	0.48	95-110	0.35	95-110	0.47			95-110	0.40
		110-125	0.36			110-125	0.34					110-125	0.35
AVG	0.39		0.36		0.43		0.38		0.49		0.35		0.40
STD	0.04		0.02		0.04		0.02		0.02		0.02		0.02
CV	10.12		6.06		9.13		6.02		4.06		6.63		4.79

Cuadro 7A. Características físicas del perfil del suelo de la Estación de Guápiles.

Prof. cm.	ARENA %	LIMO %	ARC. %	TEXTURA	Dens. Apar.	FMP gr/gr	CC gr/gr	F. SAT. gr/gr
0-10	52,4	30,8	16,8	FR, ARE,	1,2066	0,2539	0,3492	0,4736
10-20	52,4	28,8	18,8	FR, ARE,	1,2567	0,2232	0,3500	0,5809
20-30	54,4	26,8	19,8	FR, ARE,	1,2178	0,2051	0,3444	0,4873
30-40	62,8	20,8	16,4	FR, ARE,	1,2898	0,1764	0,3322	0,5906
40-50	46,8	26,8	26,4	FRANCO	1,1292	0,3311	0,4285	0,5497
50-65	30,8	34,8	34,8	FR, ARC,	0,9919	0,4056	0,5212	0,7131
65-80	34	37,2	28,8	FR, ARC,	0,9069	0,4673	0,6324	0,8195
80-100	44,8	36,4	18,8	FRANCO	0,8081	#	0,7889	0,9508

Cuadro 8A. Características químicas del perfil del suelo de la Estación de Guápiles.

Prof. cm.	Materia Org. %	NH4 ppm	NO3 ppm	N tot. gr/Kg	pH H2O	pH KCl	P Ug/ml	K meq/100ml
0-10	4,51	0	3,61	3,1	4,6	4,4	16,4	0,36
10-20	4,23	0	4,02	3	4,6	4,4	18,7	0,4
20-30	4,16	0	4,18	3,1	4,6	4,4	17	0,55
30-40	1,04	0	3,13	0,6	4,8	4,5	11,1	0,22
40-50	1,21	0	3,28	0,8	4,9	4,8	8,3	0,18
50-65	2,26	0	3,82	1,1	5	4,9	7,4	0,17
65-80	3,35	0	4,13	1,4	5,4	5,1	12,1	0,19
80-100	1,47	0	2,58	0,6	5,5	5,2	13,6	0,19

Cuadro 9A. Análisis de Nitrógeno de la parte aérea de la planta, de la variedad IAC-8

TRAT.	HOJAS V4	HOJAS R4	PEC. V4	PEC. R4	TALLO V4	TALLO R4	TALLO R8	VAINAS R4	CASC.R8	RBSEM. R8
1	5,47596	4,72976	2,896404	1,26854	2,9561	1,435	0,740693	3,82858	0,579413	6,46912
2	5,69400	4,81012	3,077214	1,40056	3,10534	1,5498	0,409813	3,9032	0,633173	6,445226
3	4,7929	4,29926	2,431464	1,1767	2,02622	1,1193	0,495786	3,7023	0,5376	6,349653
4	5,78592	4,8503	2,828672	1,19392	3,05942	1,46944	0,48384	3,9893	0,57344	6,355626
5	5,52762	4,87326	2,786196	1,27428	2,7839	1,30298	0,418133	4,60348	0,579413	6,367573
6	5,84906	4,6781	2,887794	1,12504	2,85278	1,11356	0,585386	3,81136	0,59136	6,25408

V4: Estado V4	HOJAS: Hojas	VAINAS: Cáscara y semilla
R4: Estado R4	PEC.: Pecíolo	CASC.: Cáscara
R8: Estado R8	TALLO: Tallo	SEM.: Semillas

Cuadro 10A. Análisis de Nitrógeno de la parte aérea de la planta, de la variedad SIATSA 194-A

TRAT	HOJAS V4	HOJAS R4	PEC. V4	PEC. R4	TALLO V4	TALLO R4	TALLO R8	VAINAS R4	CASC.R8	SEM. R8
1	5,52762	5,6826	3,160444	2,0377	2,6978	2,00326	0,525653	4,68958	0,567466	6,893226
2	6,15328	5,8548	3,29476	1,95734	3,0135	2,16398	0,69888	4,9364	0,60928	6,88128
3	5,36116	5,453	2,88148	1,59572	2,40506	1,47518	0,50176	4,6781	0,543573	6,313813
4	6,2279	6,13606	3,24884	2,20416	3,00776	1,95734	0,55552	4,71828	0,55552	6,86336
5	5,6539	5,90646	3,00202	1,6646	2,78964	1,79662	0,615253	4,80438	0,651093	6,929066
6	6,15328	5,95812	3,493364	1,7794	3,15126	1,8368	0,603306	4,72976	0,621226	6,41536

V4: Estado V4	HOJAS: Hojas	VAINAS: Cáscara y semillas
R4: Estado R4	PEC.: Pecíolo	SEM.: Semilla
R8: Estado R8	TALLO: Tallo	CASC.: Cáscara

Cuadro 11A. Rendimiento final (Kg/ha) de los experimentos de calibración. Turrialba.

TRAT. NO	REP. NO	EXP. 01	MEDIA	EXP. 02	MEDIA
1	3	2788		2982	
1	1	2890		3549	
1	2	3181	2953,00	3474	3335,00
2	2	2918		3303	
2	3	3257		3375	
2	1	3252	3109,00	3335	3337,67
3	1	3690		3066	
3	3	3854		2722	
3	2	2539	3361,00	3645	3144,33
4	2	3658		3672	
4	1	3290		3159	
4	3	3075	3341,00	3511	3447,33
5	2	3441		3700	
5	1	3527		3370	
5	3	3667	3545,00	3133	3401,00
6	1	3638		3675	
6	2	3116		3139	
6	3	3923	3559,00	3732	3515,333

Cuadro 12A. Rendimiento final (Kg/ha) de los experimentos de validación. Turrialba y Guápiles.

TRAT. NO	REP. NO	EXP. 03	MEDIA	EXP. 04	MEDIA
1	3	2550		3800	
1	1	2890		4050	
1	2	3505		3700	
1	4	3000	2986,25	3600	3787,50
2	3	2950		3500	
2	1	3215		3815	
2	4	2850		3900	
2	2	3300	3078,75	3750	3741,25
3	3	2200		4215	
3	1	2515		3250	
3	4	2650		4193	
3	2	2600	2491,25	3620	3819,50
4	1	2635		3100	
4	3	2600		3820	
4	2	2950		3785	
4	4	2550	2683,75	4020	3681,25

Cuadro 13A. Resultados de las diferentes calibraciones de la variedad IAC-8.

TRAT. DATOS	PESO SEM. (gr)			Nº SEM./M2			BIOM. TOT. (Kg/Ha)			BIOM. TALLOS (Kg/Ha)		
	Nº DE CALIBRACION			Nº DE CALIBRACION			Nº DE CALIBRACION			Nº DE CALIBRACION		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1 SIM.	0,141	0,163	0,165	1806	1574	1655	4351	4334	4606	879	795	846
OBS.	0,215	0,215	0,215	1241	1241	1241	4788	4788	4788	814	814	814
2 SIM.	0,141	0,162	0,164	1747	1525	1606	4193	4175	4441	846	764	815
OBS.	0,235	0,235	0,235	1085	1085	1085	4484	4484	4484	754	754	754
3 SIM.	0,143	0,169	0,171	2056	1774	1851	5032	5027	5304	1027	933	987
OBS.	0,218	0,218	0,218	1287	1287	1287	5273	5273	5273	1202	1202	1202
4 SIM.	0,144	0,17	0,171	2092	1800	1879	5133	5130	5407	1049	954	1009
OBS.	0,226	0,266	0,226	1458	1458	1458	6140	6140	6140	1341	1341	1341
5 SIM.	0,147	0,177	0,179	2306	1952	2023	5787	5790	6067	1197	1096	1154
OBS.	0,208	0,208	0,208	1468	1468	1468	5527	5727	5527	1203	1203	1203
6 SIM.	0,146	0,174	0,176	2239	1908	1982	5571	5571	5852	1148	1048	1105
OBS.	0,211	0,211	0,211	1559	1559	1559	6246	6246	6246	1470	1470	1470
AVG SIM	0,14	0,17	0,17	2041,0	1755,5	1832,7	5011,2	5004,5	5279,5	1024,3	931,7	986
STD SIM	0,00	0,01	0,01	205,7	158,3	154,9	582,5	590,5	594,6	128,2	121,0	123,66
AVG OBS	0,22	0,23	0,22	1349,7	1349,7	1349,7	5409,7	5443,0	5409,7	1130,7	1130,7	1130,6
STD OBS	0,01	0,02	0,01	160,9	160,9	160,9	646,6	656,9	646,6	262,0	262,0	261,99
SIM-OBS	-0,08	-0,06	-0,05	691,3	405,8	483,0	-398,5	-438,5	-130,2	-106,3	-199,0	-144,6

1: Calibración Florida      SDVAR: 6,0    SHVAR: 11,0    PHFAC3: 1,0  
2: SDVAR: 7,5    SHVAR: 15    PHFAC3: 1,00  
3: SDVAR: 7,5    SHVAR: 15    PHFAC3: 1,03

Cuadro 14A. Cálculo del SDVAR de la variedad IAC-8

=====						
TRAT.	Nº SEM./M2			PS SEM./M2		
Nº	R6	R7	R8	R6	R7	R8
=====						
1	26,56	263,98	266,22	985,51	1198,37	1242,65
2	31,34	263,61	255,39	1083,32	1202,90	1088,61
3	24,45	311,52	280,02	1330,05	1423,51	1286,78
4	32,79	306,70	329,80	1281,55	1446,68	1460,10
5	48,77	362,86	304,67	1986,74	1739,56	1465,37
6	42,75	352,99	329,19	1801,91	1605,55	1554,65
MEDIA	34,44	310,28	294,22	1411,51	1436,10	1349,69
STD	8,65	38,57	29,13	364,24	196,63	158,72
-----						
R6	R7	R8	Difer.	Difer.	SDVAR	SDVAR
gr/sem.	gr/sem	gr/sem	R7-R6	R8-R7	R7-R6	R8-R7
24,40	216,06	217,99	191,66	1,93	7,37	0,14
R6	R7					
gr/sem.	gr/sem	Difer.	SDVAR1			
24,40	242,91	218,51	8,40			
=====						

Cuadro 17A. Cálculo del SDVAR de la variedad SIATSA 194-A

=====						
TRAT.	Nº SEM./M2			PS SEM./M2		
Nº	R6	R7	R8	R6	R7	R8
=====						
1	977,63	1329,97	1536,20	16,86	256,09	290,98
2	1095,68	1516,98	1577,73	21,45	289,42	314,02
3	1100,23	1452,64	1557,95	19,59	273,90	324,06
4	1449,71	1745,10	1579,03	24,51	349,89	329,77
5	1472,19	1651,85	1522,47	23,90	326,89	317,31
6	1416,11	1476,13	1655,43	26,90	302,47	348,53
MEDIA	1251,92	1528,78	1571,47	22,20	299,78	320,78
STD	198,85	135,51	42,77	3,32	31,46	17,36
-----						
R6	R7	R8	Difer.	Difer.	SDVAR	SDVAR
mg/sem.	mg/sem.	mg/sem.	R7-R6	R8-R7	R7-R6	R8-R7
17,73	196,09	204,13	178,36	8,04	6,49	0,57
R6	R7					
mg/sem.	mg/sem.	Difer.	SDVAR1			
17,73	216,67	198,94	7,23			
=====						

Cuadro 15A. Calibración de la variedad SIATSA 194-A, sin fertilización

TRAT. DATOS		PESO SEM. (Kg)			SEM./M2 (Nº)			SEM. VAINA (Nº)			BIOM.TOT. (Kg/ha)		
		Nº DE CALIBRAC			Nº DE CALIBRAC			Nº DE CALIBRAC			Nº DE CALIBRAC		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	SIM.	0,15	0,18	0,19	1788	1496	1591	2,1	2,0	2,0	4381	4254	4670
	OBS.	0,19	0,19	0,19	1527	1527	1527	1,9	1,9	1,9	4915	4915	4915
3	SIM.	0,15	0,19	0,19	1964	1644	1762	2,1	2,0	2,0	4788	4788	5170
	OBS.	0,21	0,21	0,21	1560	1560	1560	1,9	1,9	1,9	5253	5253	5253
5	SIM.	0,15	0,19	0,19	2110	1776	1874	2,1	2,0	2,0	5215	5192	5601
	OBS.	0,21	0,21	0,21	1523	1523	1523	1,8	1,8	1,8	5464	5464	5464
AVG SIM		0,15	0,19	0,19	1954	1635	1742	2,1	2,0	2,0	4768	4745	5147
STD SIM		0,00	0,00	0,00	132	119	116	0,0	0,0	0,0	373	384	380
AVG OBS		0,20	0,20	0,20	1537	1537	1537	1,9	1,9	1,9	5211	5211	5211
STD OBS		0,01	0,01	0,01	17	17	17	0,0	0,0	0,0	226	226	226
SIM-OBS		-0,05	-0,02	-0,01	417	99	206	0,2	0,1	0,1	-443	-446	-64
=====													
CALIB 1: SDVAR: 6,0		SHVAR: 13		SDPDVR: 2,10		PHFAC3: 1,00		(Calibración IBSNAT)					
CALIB 2: SDVAR: 7,5		SHVAR: 15		SDPDVR: 2,10		PHFAC3: 1,00							
CALIB 3: SDVAR: 7,5		SHVAR: 15		SDPDVR: 1,95		PHFAC3: 1,05							
=====													

Cuadro 16A. Calibración de la variedad SIATSA 194-A, con fertilización

TRAT. DATOS		PESO SEM. (Kg)			SEM./M2 (Nº)			SEM. VAINA (Nº)			BIOM.TOT. (Kg/ha)		
		Nº DE CALIBRAC			Nº DE CALIBRAC			Nº DE CALIBRAC			Nº DE CALIBRAC		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2	SIM.	0,15	0,18	0,19	1802	1498	1837	2,1	2,0	2,0	4377	4291	5543
	OBS.	0,20	0,20	0,20	1574	1574	1574	1,8	1,8	1,8	5576	5576	5576
4	SIM.	0,15	0,19	0,19	1964	1645	1950	2,1	2,0	2,0	4788	4754	5974
	OBS.	0,20	0,20	0,20	1664	1664	1664	1,9	1,9	1,9	5773	5773	5773
6	SIM.	0,15	0,19	0,20	2094	1758	2006	2,1	2,0	2,0	5134	5108	6279
	OBS.	0,21	0,21	0,21	1653	1653	1653	1,8	1,8	1,8	6093	6093	6093
AVG SIM		0,15	0,19	0,19	1953	1634	1931	2,1	2,0	2,0	4766	4718	5932
STD SIM		0,00	0,00	0,00	119	106	70	0,0	0,0	0,0	389	335	302
AVG OBS		0,20	0,20	0,20	1630	1630	1630	1,8	1,8	1,8	5814	5814	5814
STD OBS		0,01	0,01	0,01	40	40	40	0,0	0,0	0,0	213	213	213
SIM-OBS		-0,05	-0,02	-0,01	323	3	301	0,3	0,1	0,1	-1048	-1076	118
=====													
CALIB 1: SDVAR: 6,0		SHVAR: 13		SDPDVR: 2,10		PHFAC3: 1,00		(Calibración IBSNAT)					
CALIB 2: SDVAR: 7,5		SHVAR: 15		SDPDVR: 2,10		PHFAC3: 1,00							
CALIB 3: SDVAR: 7,5		SHVAR: 15		SDPDVR: 1,95		PHFAC3: 1,15							
=====													