

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

VALIDACION DE UN MODELO DE CRECIMIENTO DE MAIZ (ZEA MAYS L.) EN
MONOCULTIVO Y ASOCIADO CON YUCA (MANIHOT ESCULENTA G.)
EN EL TROPICO

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa conjunto de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar el grado de

MAGISTER SCIENTIAE

por

CARLOS EDUARDO HEER ARANA

Centro Agronómico Trópico de Investigación y Enseñanza

Departamento de Producción Vegetal

Turrialba, Costa Rica

1986

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

José Roberto Heer Estrada

Emma Arana de Heer

A Mirna Judith Escobar de Heer

 Mi esposa

A Emma Judith

 mi hija

A mis hermanos y sobrinos

A Guatemala

País de ensueño

AGRADECIMIENTO

EN EL MUNDO HAY MUCHAS PERSONAS CAPACES,
PERO ADQUIEREN VALOR ANTE LA SOCIEDAD
CUANDO ENSEÑAN LO QUE SABEN

Deseo dejar constancia de mi agradecimiento:

Al M.S. José Arze Borda, Consejero Principal, por sus enseñanzas, orientaciones y amistad brindada.

A los miembros del Comité Asesor, Doctores Carlos Burgos, Donald Kass y José Fargas, por la colaboración prestada en la revisión del original y sugerencias para mejorar el trabajo.

Al Doctor Romeo Martínez Rodas, por su amistad, orientación y apoyo brindado.

A los señores Jesús Sánchez y Carlos Araya por los múltiples trabajos realizados en el campo.

Al Doctor James French y al M.S. Javier Icaza por la colaboración y amistad brindada.

A los trabajadores del campo experimental "La montaña".

Al personal del Laboratorio de Suelos.

Al personal de la biblioteca Orton y Oficina de Posgrado, por la amistad y colaboración que siempre me brindaron.

A las familias Arias Luna y Saborío Mora por la amistad que nos unió.

Al Gobierno de Holanda, Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICrA), Universidad de Costa Rica y Centro Agrónomico Tropical de Investigación por darme la oportunidad de superarme.

A todas aquellas personas que de una manera u otra me prestaron su colaboración y brindaron amistad.

BIOGRAFIA

El autor nació en la ciudad de Guatemala. Realizó sus estudios primarios en la Escuela Naciones Unidas y de bachillerato en el Colegio Rafael Landivar.

En 1975, inició sus estudios en la Universidad de San Carlos, egresando en 1981 de la Facultad de Agronomía.

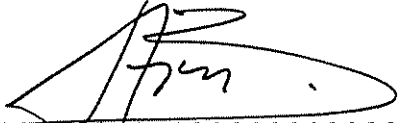
De 1980 a 1983, trabajó en el Centro Experimental de Jutiapa, como instructor de enlace tecnológico y técnico de prueba de tecnología del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola.

En marzo de 1984, ingresó al Programa de Estudios de Posgrado de la Universidad de Costa Rica-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (UCR-CATIE), en Turrialba, para realizar sus estudios de posgrado en el Departamento de Producción Vegetal, graduándose de Magister Scientae en mayo de 1986.


Esta tesis fue aceptada por la Comisión de Estudios de Posgrado del Programa Conjunto UCR-CATIE como requisito parcial para optar el grado de

Magister Scientae

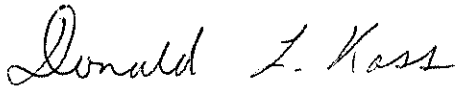
Jurado:




José Arze Borda, M.Sc. Profesor Consejero




Carlos Burgos, Ph.D. Miembro del Comité




Donald Kass, Ph.D. Miembro del Comité




José Fargas, Ph.D. Miembro del Comité



Director del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales, UCR-CATIE



Decano, Sistema de Estudios de Posgrado de la Universidad de Costa Rica



Carlos Eduardo Heer Arana
Candidato

INDICE

	<u>Página</u>
RESUMEN	x
SUMMARY	xii
LISTA DE CUADROS	xiv
LISTA DE FIGURAS	xviii
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	
2.1. Generalidades	3
2.1.1. Conceptos	3
2.1.1.1. Sistemas	3
2.1.1.2. Modelos	3
2.1.1.3. Simulación	4
2.1.1.4. Validación	4
2.2. Clasificación de los Modelos	4
2.3. Uso de computadoras en la modelación biológica..	6
2.4. La modelación en la fisiología vegetal	7
2.5. Modelación de cultivos	9
2.6. El modelo CERES	12
3. MATERIALES Y METODOS	
3.1. Descripción del área experimental	14
3.1.1. Localización, Clima y Suelo	14
3.2. Establecimiento del experimento	14
3.2.1. Cultivares utilizados	15
3.2.2. Tratamientos	15
3.2.3. Diseño experimental y descripción de la unidad experimental.....	15

3.2.4.	Preparación del terreno y siembra	16
3.2.5.	Fertilización	18
3.2.6.	Control fitosanitario	20
3.2.7.	Control de malezas	20
3.2.8.	Dobla y cosecha del maíz	20
3.3.	Recolección de la información	21
3.3.1.	Componente climático	21
3.3.2.	Componente suelo	21
3.3.3.	Componente biológico	23
3.4.	Análisis estadístico	24
3.5.	Modelo de Síntesis de Recursos Ambiente-Cultivo CERES	24
3.5.1.	Estructura del Programa	25
3.5.1.1.	Programa principal (MAIN)	25
3.5.1.2.	Subrutina de parámetros (PROGRI)	25
3.5.1.3.	Subrutina de inicialización de los datos del suelo (SOILRI) .	25
3.5.1.4.	Subrutina de balance de agua (WATBAL)	26
3.5.1.5.	Subrutina de fenología (PHENOL)	26
3.5.1.6.	Subrutina de fases (PHASEI) ..	27
3.5.1.7.	Subrutina de crecimiento (GROSUB)	27
3.5.1.8.	Subrutina de inicialización de los datos de nitrógeno en el suelo (SOILNI)	27
3.5.1.9.	Subrutina de mineralización de nitrógeno (MINIMO)	27
3.5.1.10.	Subrutina de consumo de nitrógeno (NUPTAK)	27

3.5.1.11.	Subrutina de lixiviación y movimiento hacia arriba de nitrógeno (NFLUX)	28
3.5.1.12.	Subrutina para la deficiencia de nitrógeno (NFACTO)	28
3.5.1.13.	Subrutina para la denitrificación (DNIT)	28
3.5.1.14.	Subrutina de nitrificación (NITRIF)	28
3.5.1.15.	Subrutina de temperatura del suelo (SOLT)	28
3.5.2.	Datos de entrada para el modelo	29
3.5.2.1.	Suelo	29
3.5.2.2.	Genéticos	32
3.5.3.	Descripción del archivo de parámetros ..	33
3.5.4.	Descripción del archivo de clima	37
3.5.5.	Descripción del archivo de nitrógeno ...	37
3.5.6.	Descripción del archivo de agua del suelo	38
3.5.7.	Descripción del archivo de irrigación ..	38
3.5.8.	Descripción del archivo de fertilización	38
3.5.9.	Descripción del archivo de coeficientes genéticos	39
4.	RESULTADOS	
4.1.	Características generales del componente climático	46
4.1.1.	Grados día	46
4.2.	Características del componente suelo	46
4.2.1.	Químicas	46
4.2.1.1.	pH	48

4.2.1.2.	Contenido de amonio y nitratos	48
4.2.1.3.	Contenido de elementos mayores	48
4.2.1.4.	Materia orgánica	48
4.2.2.	Físicas	48
4.2.2.1.	Textura	54
4.2.2.2.	Capacidad de campo	54
4.2.2.3.	Punto de marchitez permantente	54
4.2.2.4.	Densidad aparente	54
4.2.2.5.	Contenido de agua a saturación	54
4.3.	Caracterísitcas del componente biológico	58
4.3.1.	Crecimiento	58
4.3.2.	Fenología	58
4.3.3.	Rendimiento y componentes de rendimiento	61
4.3.4.	Contenido de nitrógeno del cultivo	61
4.4.	Validación del modelo	61
4.4.1.	Simulaciones del modelo	68
4.4.1.1.	Componente climático	68
4.4.1.2.	Componente suelo	68
4.4.1.3.	Componente biológico	70
4.5.	Ajustes del modelo	85
5.	DISCUSION	105
6.	CONCLUSIONES	110
7.	RECOMENDACIONES	111
8.	BIBLIOGRAFIA	112
	APENDICE	120

VALIDACION DE UN MODELO DE CRECIMIENTO DE MAIZ (ZEA MAYS L.) EN
MONOCULTIVO Y ASOCIADO CON YUCA (MANIHOT ESCULENIA C.)
EN EL TROPICO

PALABRAS CLAVE: Maíz, modelos, simulación, validación

RESUMEN

El modelo de Síntesis de Recursos Ambiente-Cultivo (CERES), que fue desarrollado por la Red Internacional de Sitios de Referencia para la Transferencia de Agrotecnología (IBSNAT), se usó para validar el crecimiento de maíz.

En 2 años de experimentación (1984-85), con un arreglo factorial, se evaluaron 2 variedades de maíz (Tuxpeño y Eladio Hernández), 2 variedades de yuca (Valencia y Zamorano), 2 densidades de siembra de maíz (20000 y 40000 pl ha⁻¹) y 3 niveles de fertilización (140-140-140, 70-0-0 y 70-70-70), incluyéndose los monocultivos respectivos.

Datos diarios de clima, características físico-químicas del suelo y coeficientes genéticos de los cultivares en monocultivo y en asociación con yuca, fueron necesarios para validar el modelo.

El coeficiente genético de la emergencia de la planta hasta el final de la fase juvenil (P1) fue de 230 grados-día para los dos cultivares. Los grados-día de la floración femenina a madurez fisiológica (P5), para el cultivar tuxpeño fue de 569 y para el cultivar Eladio Hernández de 690. El número potencial de granos (G2), varía para el cultivar Tuxpeño; 540 en monocultivo y 505 en asocio con yuca. Con el cultivar Eladio Hernández, 510 en monocultivo y, 490 en asociación con yuca. La tasa de crecimiento de grano (G3) obtenida para los dos cultivares fue 7 mg día⁻¹ en monocultivo y asociado con yuca.

De las simulaciones realizadas, el modelo sobrestimó el número de hojas, biomasa foliar y rendimiento, subestimando la biomasa de tallo.

Se mejora el ajuste del modelo, modificando la tasa de crecimiento de tallo, los grados-día para el inicio de cada primordio foliar y reducción de la radiación fotosintéticamente activa por competencia intraespecífica (10%), interespecífica (15%) y daños por enfermedades a la cosecha (7 a 15%).

Con los cambios realizados, se ajusta mejor la distribución de la biomasa del cultivo, número de hojas y se obtiene una mejor estimación del rendimiento simulado, con un coeficiente de regresión de 57% en 1984 y 63% en 1985, en comparación al modelo no ajustado de 48 y 57% respectivamente.

Coefficientes de regresión para el maíz en monocultivo de 70% en 1984 y 87% en 1985 fueron obtenidos para el modelo sin ajustar y con el modelo ajustado de 73% en 1984 y 86% en 1985. Para el maíz asociado con yuca, coeficientes de regresión de 45% en 1984 y 51% en 1985 se obtuvieron del modelo sin ajustar, con el ajuste fueron de 56 y 58% respectivamente.

En el análisis de regresión de los dos años en conjunto, se obtuvo coeficientes de 44% para el modelo sin ajustar y de 51% con los ajustes realizados.

Desde el punto de vista fisiológico (unidad planta), el modelo CERES simula adecuadamente la fenología, crecimiento y rendimiento del maíz, obteniéndose una mejor aproximación cuando es sembrado en monocultivo. Cultivos de maíz solos o asociados, deben incluir ajustes por competencia intra e interespecífica y daños por patógenos que reducen el rendimiento.

VALIDATION OF A MAIZE GROWTH MODEL (Zea mays L.)
IN ONE-CROP FARMING, ASSOCIATED TO CASSAVA
(Manihot esculenta C.) IN THE TROPIC

KEY WORDS: maize, models, simulation, validation

SUMMARY

The model Crop-Environment Resources Synthesis (CERES), which was developed by the International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer (IBSNAT), was used to validate maize growth.

During a two-year experimentation (1984-85) using a factorial design, two maize varieties were evaluated, (Tuxpeño and Eladio Hernández) in monoculture and in association with two cassava varieties (Valencia and Zamorano) at two planting densities (20000 and 40000 pl. ha⁻¹) and three levels of fertilization (140-140-140, 70-0-0 and 70-70-70).

Daily climate data, physical-chemical characteristics of soil and genetic coefficients of crops in monoculture and in association with cassava, were necessary to validate the model.

The coefficient of the emergence of the plant until the end of the early phase (P1) was 230 day-degrees for both cultivars. The day-degree from the female bloom period to physiological maturity (P5) was 569 for the Tuxpeño cultivar and 690 for the Eladio Hernández cultivar.

The potential number of grains (G2) varies for the Tuxpeño variety; 540 in monoculture and 505 in association with cassava.

For the Eladio Hernández, variety the potential number of grains was 510 in monoculture and 490 in association with cassava. The rate of grain growth (G3) obtained for both crops was 7 mg day⁻¹ in monoculture and in association with cassava.

Of the achieved simulations, the model overestimated the number of leaves, foliage biomass and efficiency, underestimating the biomass of the stem.

The model performance was improved by modifying the rate of the stem growth, the grade-days for the beginning of each leaf bud and

reduction of the active photosynthesis radiation, and for intraspecific competition (10%), interspecific competition (15%) and damages caused by crop diseases (7-15%).

With the introduced changes, the distribution of the crop biomass and number of leaves fits better and an improved estimation of simulated efficiency is obtained, with a regression coefficient of 57% in 1984 and 63% in 1985, compared to the non-adjusted model of 48% and 57% respectively.

Regression coefficients for maize in monoculture of 70% in 1984 and 87% in 1985 were obtained for the non-adjusted model and for the adjusted model coefficients of 73% in 1984 and 86% in 1985. For the maize associated with cassava regression coefficients of 45% in 1984 and 51% in 1985 were obtained from the non-adjusted model and with the adjusted model they were 56% and 58% respectively.

In the regression analysis for both years together, coefficients of 44% for the non-adjusted model were obtained and 51% with the realized adjustments.

LISTA DE CUADROS

<u>Número</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
1	Factor, codificación y niveles utilizados dentro del diseño experimental	15
2	Dosis de fertilizante aplicado a los cultivos de maíz y yuca en asocio y monocultivo (kg ha ⁻¹)	20
3	Estimación del albedo del suelo con base en el contenido de materia orgánica y textura ...	29
4	Grupos de suelos usados para estimar el número de curva de escorrentía (CN2)	31
5	Número de curva de escorrentía (CN2) para complejos hidrológicos de cobertura de suelo	32
6	Fechas, estado vegetativo y días julianos correspondientes a cada etapa fenológica de los cultivos de maíz (Tuxpeño y Eladio H.) a partir de la siembra realizada el 15 de julio de 1985	60
7	Archivo de parámetros utilizado para validar el modelo, versión CERES 86. 1985	62
8	Valores correspondientes a los diferentes coeficientes genéticos para los cultivos y grados de asociación estudiados, utilizados para validar el modelo. 1985	66
9	Datos usados en el archivo de parámetros para validar el modelo. 1985	67
10	Comparación de las fechas observadas y obtenidas por la simulación para cada etapa fenológica. 1985	71
11	Valores observados (Obs.) y simulados (Sim.) para área foliar (IAF), biomasa de hojas, tallo y mazorca de los cultivos de maíz en monocultivo, densidades de siembra y días de muestreo. 1985	72
12	Valores observados (Obs.) y simulados (Sim.) por el modelo de biomasa, componentes de rendimiento y contenido de nitrógeno en el grano y la planta a la madurez fisiológica para los tratamientos de maíz en monocultivo	77

<u>Número</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
13	Valores observados (Obs.) y simulados (Sim.) por el modelo para índice de área foliar (IAF), biomasa de hojas, tallo y mazorca de los cultivares de maíz en asociación con yuca, niveles de fertilización, densidades de siembra y días de muestreo. 1985	79
14	Valores observados (Obs.) y simulados (Sim.) por el modelo de biomasa total, biomasa no comercial, componentes de rendimiento y nitrógeno en el grano y la planta a la madurez fisiológica. 1985	84
15	Valores observados (Obs.) y simulados (Sim.) por el modelo área foliar (IAF), biomasa de hojas, tallo y mazorca de los cultivares de maíz en monocultivo, densidades de siembra y día de muestreo, ajustado para biomasa, número de hojas y radiación solar en altas densidades	90
16	Valores observados (Obs.) y simulados (Sim.) por el modelo ajustado para índice de área foliar (IAF) y biomasa aérea de los cultivares de maíz en asociación con yuca, niveles de fertilización, densidades de siembra y día de muestreo. 1985	91

APENDICE

1A	Características agroclimáticas del área experimental	121
2A	Propiedades químicas por estrato para las calicatas realizadas en el lote experimental ...	123
3A	Propiedades físicas por estrato de las calicatas bajo estudio. 1985	124
4A	Biomasa de hojas (g) por parcela y por muestreo. 1985	125
5A	Biomasa de tallo (g) por parcela y por muestreo. 1985	126
6A	Biomasa de mazorca (g) por parcela y por muestreo. 1985	127

<u>Número</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
7A	Biomasa de inflorescencia (g) por parcela y por muestreo. 1985	128
8A	Biomasa total (g) por parcela y por muestreo. 1985	129
9A	Índice de área foliar por parcela y por muestreo. 1985	130
10A	Rendimiento (kg ha^{-1}) por tratamiento al 15.5 por ciento de humedad para los años de 1984 y 1985	131
11A	Análisis de varianza para el factorial confundido con una repetición para 1984 y 1985	132
12A	Promedio de 6 mazorcas por parcela de: peso de mazorca, número de granos, peso de grano y peso por unidad de grano. 1985	133
13A	Contenido de nitrógeno del grano por parcela y nitrógeno por cultivar de biomasa aérea. 1985	134
14A	Balance de agua simulado por el modelo. 1985	135
15A	Balance de nitrógeno por día simulado por el modelo. 1985	136
16A	Mineralización del nitrógeno predicha por el modelo, con base en el contenido inicial de amonio, nitratos y materia orgánica. 1985	137
17A	Salida generada por el modelo para predecir la mineralización de nitrógeno por estrato de suelo, según intervalo específico en el archivo de parámetros	138
18A	Demanda de nitrógeno por la planta, simulación del modelo. 1985	139
19A	Valores de biomasa observada y simulada por el modelo CERES versión sin nitrógeno para el maíz en monocultivo. 1985	140
20A	Valores observados (Obs.) y simulados (Sim.) por el modelo de biomasa aérea de los cultivares de maíz en monocultivo, densidades de siembra y día de muestreo. 19884	141

<u>Número</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
21A	Relación porcentual promedio de la producción de biomasa por unidad planta del maíz en monocultivo y asociado con yuca, para las densidades de siembra evaluadas. 1985	142
22A	Número de mazorcas buenas y mazorcas dañadas por tratamiento de los experimentos evaluados en 1984 y 1985	143

LISTA DE FIGURAS

<u>Número</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
1	Distribución de los tratamientos en el campo ..	17
2	Disposición espacial de los cultivos área útil y de muestreo (M)	19
3	Valores promedio de precipitación, radiación, temperatura máxima y mínima durante el período de crecimiento del maíz	47
4	Contenido de amonio (NH_4) y nitratos (NO_3) por estrato de suelo. 1985	49
5	Contenido de nitrógeno por estrato de suelo, 1985	50
6	Contenido de fósforo por estrato en las calicatas muestreadas. 1985	51
7	Contenido de potasio por estrato en las calicatas muestreadas. 1985	52
8	Contenido de materia orgánica (%) por estrato del suelo. 1985	53
9	Comparación de capacidad de campo (cm/cm) por estrato, estimada después de 48 horas de drenaje y con 0.33 bares de tensión. 1985	55
10	Punto de marchitez permanente por estrato, obtenido en el bioensayo y con 15 bares de tensión. 1985	56
11	Contenido de agua a saturación por estrato de las calicatas muestreadas. 1985	57
12	Biomasa plantas de maíz del cultivar Tuxpeño ..	59
13	Biomasa plantas de maíz del cultivar Eladio Hernández	59
14	Índice de área foliar por planta observado y simulado para el tratamiento Tuxpeño, densidad alta en monocultivo por muestreo	73
15	Variación de la biomasa foliar (g/planta) observado y simulado para el tratamiento Tuxpeño densidad alta en monocultivo por muestreo	73

<u>Número</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
16	Variación de la biomasa de tallo (g/planta) observado y simulado para el tratamiento Tuxpeño, densidad alta en monocultivo por muestreo	74
17	Variación de la biomasa de mazorca (g/planta) observado y simulado para el tratamiento Tuxpeño, densidad alta en monocultivo por muestreo	74
18	Índice de área foliar por planta observado y simulado para el tratamiento Eladio Hernández, densidad alta en monocultivo por muestreo	75
19	Variación de la biomasa foliar (g/planta) observado y simulado para el tratamiento Eladio Hernández, densidad alta en monocultivo por muestreo	75
20	Variación de la biomasa de tallo (g/planta) observado y simulado para el tratamiento Eladio Hernández, densidad alta en monocultivo por muestreo	76
21	Variación de la biomasa de mazorca (g/planta) observado y simulado para el tratamiento Eladio Hernández, densidad alta en monocultivo por muestreo	76
22	Índice de área foliar por planta observado y simulado para el tratamiento Valencia, Tuxpeño, fertilización baja, densidad alta del maíz en asociación con yuca por muestreo	80
23	Variación de la biomasa foliar (g/planta) observado y simulado para el tratamiento Valencia, Tuxpeño, fertilización baja, densidad alta del maíz en asociación con yuca por muestreo	80
24	Variación de la biomasa de tallo (g/planta) observado y simulado para el tratamiento Valencia, Tuxpeño, fertilización baja, densidad alta del maíz en asociación con yuca por muestreo	81
25	Variación de la biomasa de mazorca (g/planta) observado y simulado para el tratamiento Valencia, Tuxpeño, fertilización baja, densidad alta del maíz en asociación con yuca por muestreo	81

<u>Número</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
26	Indice de área foliar por planta observado y simulado para el tratamiento Valencia, Eladio Hernández, fertilización alta, densidad alta del maíz en asociación con yuca por muestreo ..	82
27	Variación de la biomasa foliar (g/planta) observado y simulado para el tratamiento Valencia, Eladio Hernández, fertilización alta, densidad alta del maíz en asociación con yuca por muestreo	82
28	Variación de la biomasa de tallo (g/planta) observado y simulado para el tratamiento Valencia, Eladio Hernández, fertilización alta, densidad alta del maíz en asociación con yuca por muestreo	83
29	Variación de la biomasa de mazorca (g/planta) observado y simulado para el tratamiento Valencia, Eladio Hernández, fertilización alta, densidad alta del maíz en asociación con yuca por muestreo	83
30	Rendimiento simulado y observado obtenido de la validación del modelo de crecimiento del maíz en monocultivo y asociado con yuca. 1985	86
31	Rendimiento simulado y observado obtenido de la validación del modelo de crecimiento de maíz en monocultivo y asociado con yuca. 1984	87
32	Indice de área foliar por planta observado y simulado del modelo ajustado para el tratamiento Tuxpeño, densidad alta en monocultivo por muestreo	92
33	Variación de la biomasa foliar (g/planta) observado y simulado del modelo ajustado para el tratamiento Tuxpeño, densidad alta en monocultivo por muestreo	92
34	Variación de la biomasa de tallo (g/planta) observado y simulado del modelo ajustado para el tratamiento Tuxpeño, densidad alta en monocultivo por muestreo	93
35	Variación de la biomasa de mazorca (g/planta) observado y simulado del modelo ajustado para el tratamiento Tuxpeño, densidad alta en monocultivo por muestreo	93

<u>Número</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
36	Índice de área foliar por planta observado y simulado del modelo ajustado para el tratamiento Eladio Hernández, densidad alta en monocultivo por muestreo	94
37	Variación de la biomasa foliar (g/planta) observado y simulado del modelo ajustado para el tratamiento Eladio Hernández, densidad alta en monocultivo por muestreo	94
38	Variación de la biomasa de tallo (g/planta) observado y simulado del modelo ajustado para el tratamiento Eladio Hernández, densidad alta en monocultivo por muestreo	95
39	Variación de la biomasa de mazorca (g/planta) observado y simulado del modelo ajustado para el tratamiento Eladio Hernández, densidad alta en monocultivo por muestreo	95
40	Índice de área foliar por planta observado y simulado del modelo ajustado para el tratamiento Valencia, Tuxpeño, fertilización baja, densidad alta del maíz en asociación con yuca por muestreo	97
41	Variación de la biomasa foliar (g/planta) observado y simulado del modelo ajustado para el tratamiento Valencia, Tuxpeño, fertilización baja, densidad alta del maíz en asociación con yuca por muestreo	97
42	Variación de la biomasa de tallo (g/planta) observado y simulado del modelo ajustado para el tratamiento Valencia, Tuxpeño, fertilización baja, densidad alta del maíz en asociación con yuca por muestreo	98
43	Variación de la biomasa de mazorca (g/planta) observado y simulado del modelo ajustado para el tratamiento Valencia, Tuxpeño, fertilización baja, densidad alta del maíz en asociación con yuca por muestreo	98
44	Índice de área foliar por planta observado y simulado del modelo ajustado para el tratamiento Valencia, Eladio Hernández, fertilización alta, densidad alta del maíz en asociación con yuca por muestreo	99

<u>Número</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
45	Variación de la biomasa foliar (g/planta) observado y simulado del modelo ajustado para el tratamiento Valencia, Eladio Hernández, fertilización alta, densidad alta del maíz en asociación con yuca por muestreo	99
46	Variación de la biomasa de tallo (g/planta) observado y simulado del modelo ajustado para el tratamiento Valencia, Eladio Hernández, fertilización alta, densidad alta del maíz en asociación con yuca por muestreo	100
47	Variación de la biomasa de mazorca (g/planta) observado y simulado del modelo ajustado para el tratamiento Valencia, Eladio Hernández, fertilización alta, densidad alta del maíz en asociación con yuca por muestreo	100
48	Rendimiento simulado y observado obtenido de la validación del modelo de crecimiento de maíz ajustado en monocultivo y asociado con yuca. 1985	101
49	Rendimiento simulado y observado obtenido de la validación del modelo de crecimiento de maíz ajustado en monocultivo y asociado con yuca. 1984	102
50	Rendimiento simulado y observado obtenido de la validación del modelo de crecimiento de maíz en monocultivo y asociado con yuca. 1984 y 1985	103
51	Rendimiento simulado y observado obtenido de la validación del modelo de crecimiento de maíz ajustado en monocultivo y asociado con yuca. 1984 y 1985	104

APENDICE

1A	Estratificación del perfil dentro de la calicatas muestreadas. 1985	122
----	---	-----