

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, DESARROLLO Y RENDIMIENTO DEL MAÍZ
(*Zea mays* L.) EN NICARAGUA

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


AGUSTIN ENRIQUE CASTILLO GOMEZ

CATIE
Turrialba, Costa Rica
1988

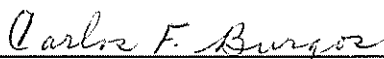
Esta tesis ha sido aceptada, en su presente forma, por la Coordinación del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales Renovables del CATIE, y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

COMITE ASESOR:



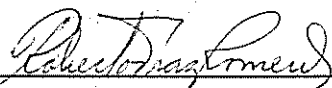
José Arze B. Mag. Sc.
Profesor Consejero



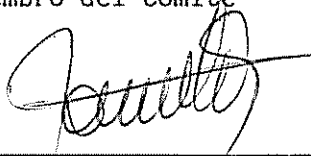
Carlos Burgos Ph.D.
Miembro del Comité



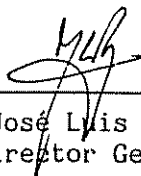
Pedro Ferreira Ph.D.
Miembro del Comité



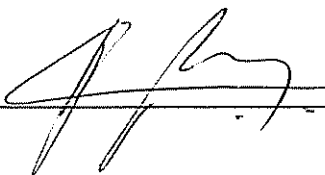
Roberto Díaz-Romeu Mag. Sc.
Miembro del Comité



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



Dr. José Luis Parisí
Subdirector General Adjunto de Enseñanza



Candidato

DEDICATORIA

A mis padres Paco Castillo Davila
 María Lucrecia Gomez

A mi esposa : Verónica Matus Ruiz

A mis Hijos queridos: Bayardo Agustín
 Claudia María
 Agustín Enrique .

A mi amigo : Mauricio Lopez Mungua
 (q.e.p.d)

A: NICARAGUA

RECONOCIMIENTO

A: José Arze Bordas. Mg. Sc. Asesor principal de la tesis

AL: Personal de campo de La Montaña, siempre los recordaré.

Al: Personal técnico y de campo de Campos Azules.

A: Los estudiantes del Instituto Superior de Ciencia Agropecuarias (ISCA), futuros colegas.

A: mis compañeros de estudio José Miguel Romero Del Valle y Eugenia Hidalgo.

A Rigoberto y Quincho

A Roberto Díaz Romeu y al personal del laboratorio de suelo.

Castillo, G. A.E. 1988. Investigación físico biológica y validación de un modelo decrecimiento desarrollo y rendimiento del maíz (*Zea mays L.*) en Nicaragua. Tesis Mag. Sc.. Turrialba, C. R., CATIE. 171 p.

Palabras clave: modelo, maíz, CERES-Maíz, calibración, validación, crecimiento, desarrollo, rendimiento, transferencia

RESUMEN

Para calibrar y validar el modelo CERES-Maíz con los cultivares NB-3 y NB-6, se realizaron cuatro experimentos, dos en Turrialba, Costa Rica y dos en Campos Azules y Managua en Nicaragua, entre junio y noviembre de 1987.

Se estudiaron tres densidades (20.000- 40.000 y 60.000 pl/ha) a dos niveles de nitrógeno (50 y 150 kg/ha), en experimentos separados con cada material genético en Turrialba. En Nicaragua se utilizó 40.000 pl/ha con tecnología del agricultor. Se utilizó el set mínimo de datos del IBSNAT para calibrar y validar el modelo. Con los datos generados en Turrialba se calibró el modelo.

La validación se hizo con los datos obtenidos en Campos Azules y Managua en Nicaragua.

Para los dos materiales genéticos el P1 (grados día durante el periodo juvenil) fue de 270 y 252 para NB-3 y NB-6 respectivamente. El número potencial de granos por planta (G2) fue de 650 para NB-3 y 653 para NB-6. La tasa de crecimiento del grano (G3), fue de 6,4 mg/d para ambos cultivares.

El modelo se calibró sustituyendo los grados día requeridos para iniciar una hoja (21) por 28,5 y 25,5 para NB-3 y NB-6; y los grados día para la emergencia de una hoja (38,9) por 49,3 para ambos de cultivares. Se aumentó en 15 y 25% el crecimiento diario del área foliar.

El modelo simuló adecuadamente el rendimiento en grano para las variedades y localidades. El crecimiento y desarrollo fue simulado satisfactoriamente con 40.000 pl/ha.

CASTILLO, G.A.E. 1988. Physical and biological study, and validation of growth, development and yield CERES maize model (*Zea mays* L.) in Nicaragua. M. S. Thesis. Turrialba, C.R., CATIE. p.

Palabras claves: model, CERES-Maíz, calibration, validation, growth, development, yield, transfer.

SUMMARY

For calibrating and validating CERES-Maize model two cultivars NB-3 and NB-6 were used in four experiments, two at each site, carried out in Turrialba, Costa Rica and Campos Azules and Managua, between June and November, 1987.

Three plant population (20.000, 40.000 y 60.000 pl/ha) and two nitrogen levels (50 and 150 kg/ha) were studied, using both cultivars in separate experiments in Turrialba.

In Nicaragua, a plant population of 40.000 pl/ha was managed with available traditional technology. The minimum data set of IBSNAT was used to calibrate and validate the model. The model was calibrated with data obtained from the experiments done in Turrialba. The validation of the model was made with data obtained from Campos Azules and Managua experiments.

The value of variable P1 growing degree day during the juvenile stage, obtained for the NB-3 and NB-6 was 270 y 260, respectively. The potential kernel number per plant (G2) measured was 650 for NB-3 and 653 for NB-6. The potential kernel growth rate (G3) estimated from the experiments, was 6,4 mg/d, for both cultivars.

The model was calibrated by substituting the value of growing degree day of leaf initiation rate constant of 28.5 and 25.5 for 21 of the non calibrated version, for NB-3 and NB-6; and the value of leaf emergence rate constant of 49.3 for 38.9 for both cultivars. The variable growth of foliar area per day in stage 3, was increased by 15 and 25% for cultivar NB-3 and NB-6, respectively.

The calibrated model simulated grain yields for both genetic materials grown in either site adequately. Growth and development of maize was simulated satisfactorily for both cultivars when planted at a population of 40.000 pl/ha.

INDICE DE CUADROS

Cuadro Nº	Pagina Nº
1. Niveles de nitrógeno y densidades poblacionales en maíz estudiadas en Turrialba, 1987.	22
2. Tecnología aplicada a maíz en áreas de validación del modelo CERES. Nicaragua 1987.	26
3. Fertilizante, época, dosis y nivel de elemento aportado al suelo en "Campos Azules" y "Las Mercedes". Nicaragua. 1987.	28
4. Estimación del albedo del suelo con base en el contenido de materia orgánica y textura.	42
5. Grupos de suelos usados para determinar el número de curva de escorrentia (CN2).	44
6. Número de curva de escorrentia (CN2) para complejos hidrológicos de coberturas de suelo.	45
7. Análisis de varianza del rendimiento de grano de maíz, cultivar NB-6. (kg/12 m ²). Turrialba, 1987.	74
8. Comparación de las densidades poblacionales para NB-6. Turrialba, 1987.	75
9. Análisis de varianza del rendimiento de grano de maíz. Cultivar NB-3. Turrialba. 1987. (kg/12 m ²).	76
10. Comparación de las densidades estudiadas según Duncan, para el cultivar NB-3. Turrialba, 1987.	76
11. Rendimiento de grano de maíz por localidad y cultivar en Nicaragua. 1987.	78
12. Valores correspondientes a los diferentes coeficientes genéticos para los cultivares, utilizados para validar el modelo. Turrialba. 1987.	79
13. Tasas de emergencia de hojas calculadas por diferentes métodos y estimaciones de P3. Cultivares NB-3 y NB-6. Turrialba . 1987.	85

14.	Tasas de cambios del modelo y cambios en la simulación de la biomasa seca a madurez, y rendimiento de grano obtenidos con diferentes manejos del cultivo. Cultivar NB-3. Turrialba, 1987.	91
15.	Tasas de cambios del modelo y cambios en la simulación de la biomasa seca a madurez, y rendimiento de grano obtenidos con diferentes manejos del cultivo. Cultivar NB-6. Turrialba, 1987.	91
16.	Comparación de los días julianos observados y obtenidos por la simulación para cada etapa fenológica. Turrialba, 1987.	93
17.	Resultados simulados y observados por densidades y niveles de N de biomasa seca de hojas, tallo y hoja en diferentes recuentos. Cultivar NB-3 (g/pl). Turrialba, 1987.	95
18.	Resultados simulados y observados por densidades y niveles de N de biomasa seca de hojas, tallo y hoja en diferentes recuentos. Cultivar NB-6 (g/pl). Turrialba, 1987.	96
19.	Resultados simulados y observados por densidades y por niveles de nitrógeno de las variables biomasa seca a madurez fisiológica y rendimiento de grano. Cultivar NB-3. Turrialba, 1987.	97
20.	Resultados simulados y observados por densidades y por niveles de nitrógeno de las variables biomasa seca a madurarez fisiológica y rendimiento de grano. Cultivar NB-6. Turrialba, 1987.	113
21.	Biomasa seca simulada y observada planta total en el tiempo . Cultivares NB-3 y NB-6 (g/pl). Campos Azules. Nicaragua, 1987.	118
22.	Biomasa seca simulada y observada de tallo, hoja, mazorca y planta total en el tiempo. Cultivares NB-3 y NB-6 (g/pl). Managua. Nicaragua, 1987.	119
23.	Valores de coeficientes de regresión obtenidos al relacionar datos de rendimiento de grano simulados y observados en las distintas localidades en estudio. Cultivares NB-3 y NB-6. Turrialba, Campos Azules y Managua. 1987.	121

APENDICE

1A. Datos diarios de radiación, temperaturas máxima, mínima, media precipitación, y biotemperatura. Turrialba, 1987.	149
2A. Promedios diarios por mes de radiación, precipitación, temperatura, Turrialba, 1987.	151
3A. Datos diarios de radiación, precipitación, temperaturas máxima, mínima, media y biotemperatura. Masatepe, Nicaragua. 1987.	152
4A. Promedios diarios por mes de radiación, precipitación, temperatura, Campos Azules, Masatepe, Nicaragua, 1987.	154
5A. Datos diarios de radiación, temperaturas máxima, mínima, media, precipitación y biotemperatura. Las Mercedes, Managua, Nicaragua, 1987.	155
6A. Promedios diarios por mes de radiación, precipitación, temperatura máxima, mínima, media y biotemperatura. Las Mercedes, Managua, Nicaragua, 1987.	158
7A. Propiedades químicas por estratos para la calicata realizada en "La Montaña". Turrialba, 1987.	158
8A. Propiedades químicas por estrato para la calicata realizada en "Campos Azules". Masatepe, Nicaragua 1988.	159
9A. Propiedades químicas por estrato para la calicata realizada en "Las Mercedes", Managua. Nicaragua, 1988.	159
10A. Propiedades físicas por estrato de la calicata realizada en "La Montaña". Turrialba, 1987.	160
11A. Propiedades físicas por estratos de la calicata realizada en "Campos Azules". Masatepe, Nicaragua, 1988.	160
12A. Propiedades físicas por esteratos de la calicata realizada en "Las Mercedes", Managua. Nicaragua, 1988.	161
13A. Porcentajes de daño en el rendimiento de grano observado y rendimiento de grano simulado ajustado (kg/ha). Turrialba. 1987.	161

14A.	Número de hojas por planta en el ciclo vegetativo del cultivar NB-3, Días Julianos y días después de emergencia. Turrialba. 1987.	162
15A.	Porcentajes de daño en el rendimiento de grano observado y rendimiento de grano simulado ajustado (kg/ha). Campos Azúles y Managua. 1987.	163
16A.	Número de hojas por planta en el ciclo vegetativo del cultivar NB-6, Días Julianos, días después de emergencia y grados día acumulado. Turrialba. 1987.	164
17A.	Biomasa de hojas (g) por planta y por muestreo para los cultivares NB-3 y NB-6. Turrialba 1987.	165
18A.	Biomasa de tallo (g) por planta y por muestreo para los cultivares NB-3 y NB-6. Turrialba, 1987.	166
19A.	Biomasa de mazorca (g) por planta y por muestreo para los cultivares NB-3 y NB-6. Turrialba, 1987.	166
20A.	Biomasa Total (g) por planta y por muestreo para los cultivares de maíz NB-3 y NB-6. Turrialba, 1987.	167
21A.	Componentes de rendimiento obtenidos en base a 10 mazorcas, en el experimento llevado a cabo en Turrialba. 1987.	167
22A.	Fechas, estado vegetativo y día juliano correspondiente a cada etapa fenológica de los cultivares de maíz NB-3 y NB-6, a partir de la siembra realizada el 1 de junio de 1987. Turrialba.	168
23A.	Concentración de nitrógeno en porcentaje, encontrado en cada una de las partes de la planta a la madurez fisiológica. Turrialba, 1987.	169
24A.	Índice de área foliar, para los cultivares NB-3 y NB-6 por tratamientos y muestreos. Turrialba, 1987.	169
25A.	Valores daños observados en el rendimiento de grano. Cultivares NB-3 y NB-6. Turrialba. 1987.	170

Lista de Figuras

Figura Nº	Página Nº
1. Distribución de los tratamientos en el campo. Etapa físico-biológica (La Montaña). Turrialba, 1987.	20
2. Dimensiones de la unidad experimental y distribución del área útil. La Montaña, 1987.	21
3. Estratificación del perfil dentro de la calicata muestreada. Turrialba, 1988.	32
4. Contenido de amonio y nitrato por estrato de suelo. Turrialba, 1987.	67
5a. Contenido de amonio y nitrato por estrato de suelo. (10 estratos), Campos Azules, 1988.	67
5b. Contenido de amonio y nitrato por estrato de suelo. (9 estratos), Campos Azules, 1988.	68
6. Contenido de amonio y nitrato por estrato de suelo. Managua, 1988.	68
7. Contenido de materia orgánica y carbono orgánico por estrato de suelo. Turrialba, 1988.	69
8. Contenido de materia orgánica y carbono orgánico por estrato de suelo. Campos Azules, 1988.	69
9. Contenido de materia orgánica y carbono orgánico por estrato de suelo. Managua, 1988.	72
10. Contenido de agua a saturación (Sat1), capacidad de campo (CC1) y punto de marchitez permanente (pmp) por estrato de suelo. Turrialba, 1987.	72
11. Contenido de agua a saturación (Sat2), capacidad de campo (CC2) y punto de marchitez permanente (pmp) por estrato de suelo. Campos Azules, 1987.	73
12. Contenido de agua a saturación, capacidad de campo y punto de marchitez permanente por estrato de suelo. Managua, 1988.	73

13. Número de hojas por planta, desde la emergencia para diferentes modalidades de manejo. Cultivar NB-3. Turrialba, 1987.	83
14. Número de hojas por planta, desde la emergencia para diferentes modalidades de manejo. Cultivar NB-6. Turrialba, 1987.	84
15. Etapas de crecimiento de la planta de maíz y su relación con algunos coeficientes genéticos. Cultivar NB-3. Turrialba, 1987.	86
16. Etapas de crecimiento de la planta de maíz y su relación con algunos coeficientes genéticos. Cultivar NB-6. Turrialba, 1987.	87
17. Límites inferior (li23H) y superior (ls23H) de la biomasa seca de hoja observada y valores simulados (Si23H). NB-3, densidad baja, Turrialba 1987.	97
18. Límites inferior (li43H) y superior (ls43H) de la biomasa seca de hoja observada y valores simulados (Si43H). NB-3, densidad media, Turrialba 1987.	97
19. Límites inferior (li63H) y superior (ls63H) de la biomasa seca de hoja observada y valores simulados (Si63H). NB-3, densidad alta, Turrialba 1987.	98
20. Límites inferior (Hi3B) y superior (Hs3B) de la biomasa seca de hoja observada y valores simulados (HS3B). NB-3, nitrógeno bajo, Turrialba 1987.	98
21. Límites inferior (Li3A) y superior (Ls3A) de la biomasa seca de hoja observada y valores simulados (Si3A). NB-3, nitrógeno alto, Turrialba 1987.	99
22. Límites inferior (Ti63) y superior (Ts63) de la biomasa seca de tallo observada y valores simulados (TS63). NB-3, densidad alta, Turrialba 1987.	99
23. Límites inferior (Ti23) y superior (Ts23) de la biomasa seca de tallo observada y valores simulados (TS23). NB-3, densidad baja, Turrialba 1987.	100

24. Límites inferior (Ti43) y superior (Ts43) de la biomasa seca de tallo observada y valores simulados (TS43). NB-3, densidad media, Turrialba 1987.	100
25. Límites inferior (TiB3) y superior (TsB3) de la biomasa seca de tallo observada y valores simulados (TSB3). NB-3, nitrógeno bajo, Turrialba 1987.	101
26. Límites inferior (TiA3) y superior (TsA3) de la biomasa seca de tallo observada y valores simulados (TSA3). NB-3, nitrógeno alto, Turrialba 1987.	101
27. Límites inferior (Mi23) y superior (Ms23) de la biomasa seca de mazorca observada y valores simulados (MS23). NB-3, densidad baja, Turrialba 1987.	102
28. Límites inferior (Mi43) y superior (Ms43) de la biomasa seca de mazorca observada y valores simulados (MS43). NB-3, densidad media, Turrialba 1987.	102
29. Límites inferior (Mi63) y superior (Ms63) de la biomasa seca de mazorca observada y valores simulados (MS63). NB-3, densidad alta, Turrialba 1987.	103
30. Límites inferior (MiB3) y superior (MsB3) de la biomasa seca de mazorca observada y valores simulados (MSB3). NB-3, nitrógeno bajo, Turrialba 1987.	103
31. Límites inferior (MiA3) y superior (MsA3) de la biomasa seca de mazorca observada y valores simulados (MSA3). NB-3, nitrógeno alto, Turrialba 1987.	104
32. Límites inferior (Hi26) y superior (Hs26) de la biomasa seca de hoja observada y valores simulados (HS26). NB-6, densidad baja, Turrialba 1987.	104
33. Límites inferior (Hi46) y superior (Hs26) de la biomasa seca de hoja observada y valores simulados (HS26). NB-6, densidad media, Turrialba 1987.	105
34. Límites inferior (Hi66) y superior (Hs66) de la biomasa seca de hoja observada y valores simulados (HS66). NB-6, densidad alta, Turrialba 1987.	105

35. Límites inferior (HiA6) y superior (HsA6) de la biomasa seca de hoja observada y valores simulados (HSA6). NB-6, nitrógeno alto, Turrialba 1987.	106
36. Límites inferior (HiB6) y superior (HsB6) de la biomasa seca de hoja observada y valores simulados (HSB6). NB-6, nitrógeno bajo, Turrialba 1987.	106
37. Límites inferior (Ti26) y superior (Ts26) de la biomasa seca de tallo observada y valores simulados (TS26). NB-6, densidad baja, Turrialba 1987.	107
38. Límites inferior (Ti46) y superior (Ts46) de la biomasa seca de tallo observada y valores simulados (TS46). NB-6, densidad media, Turrialba 1987.	107
39. Límites inferior (Ti66) y superior (Ts66) de la biomasa seca de tallo observada y valores simulados (TS66). NB-6, densidad alta, Turrialba 1987.	108
40. Límites inferior (TiB6) y superior (TsB6) de la biomasa seca de tallo observada y valores simulados (TSB6). NB-6, nitrógeno bajo, Turrialba 1987.	108
41. Límites inferior (TiA6) y superior (TsA6) de la biomasa seca de tallo observada y valores simulados (TSA6). NB-6, nitrógeno alto, Turrialba 1987.	109
42. Límites inferior (Mi26) y superior (Ms26) de la biomasa seca de mazorca observada y valores simulados (MS26). NB-6, densidad baja, Turrialba 1987.	109
43. Límites inferior (Mi46) y superior (Ms46) de la biomasa seca de mazorca observada y valores simulados (MS46). NB-6, densidad media, Turrialba 1987.	110
44. Límites inferior (Mi66) y superior (Ms66) de la biomasa seca de mazorca observada y valores simulados (MS66). NB-6, densidad alta, Turrialba 1987.	110
45. Límites inferior (MiB6) y superior (MsB6) de la biomasa seca de mazorca observada y valores simulados (MSB6). NB-6, nitrógeno bajo, Turrialba 1987.	111

46. Límites inferior (MiA6) y superior (MsA6) de la biomasa seca de mazorca observada y valores simulados (MSA6). NB-6, nitrógeno alto, Turrialba 1987.	111
47. Rendimiento de grano simulado (Sim) y observado (obs), promedio de tres densidades. Cultivar NB-3. Turrialba, 1987.	115
48. Rendimiento de grano simulado (Sim-R) y observado (obs) promedio de tres densidades. Cultivar NB-6. Turrialba, 1987.	115
49. Rendimiento de grano observado y simulado NB-3. Turrialba. 1987.	116
50. Rendimiento de grano observado y simulado. NB-6. Turrialba. 1987.	117
51. Rendimiento de biomasa total de planta, simulada y observada. NB-3. Campos Azules. 1987.	122
52. Biomasa seca total de planta simulada y observada. NB-6. Campos Azules. 1987.	123
53. Biomasa seca total de planta simulada y observada. NB-3. Managua, 1987.	124
54. Biomasa seca total simulada observada. NB-6. Managua, 1987.	125
55. Rendimiento de grano simulado y observado. NB-3. Campos Azules. 1987.	126
56. Rendimiento de grano simulado y observado. NB-6. Campos Azules. 1987.56-.	127
57. Rendimiento de grano simulado y observado. NB-3 y NB-6. Campos Azules. 1987.	128
58. Rendimiento de grano simulado y observado. NB-3. Managua, 1987.	129
59. Rendimiento de grano simulado y observado. NB-6. Managua, 1987.	130
60. Rendimiento de grano simulado y observado. Cultivares NB-3 y Nb-6. Managua, 1987.	131
61. Rendimiento de grano simulado y observado. NB-3 y NB-6. Campos Azules, Managua, Nicaragua. 1987.	132

62. Rendimiento de granos simulado y observado.
NB-3 y NB-6. Campos Azules, Managua,
Turrialba. 1987. 133

CONTENIDO

RESUMEN	v
SUMMARY	vi
LISTA DE CUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	xi
1 Introducción	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Hipotesis	3
2. REVISION DE LITERATURA	4
2.1 Generalidades	4
2.1.1 Conceptos	4
2.1.1.1 Sistemas	4
2.1.1.2 Modelos	4
2.1.1.3 Simulación	4
2.1.1.4 Verificación	5
2.1.1.5 Calibración	5
2.1.1.6 Validación	6
2.1.1.7 Transferencia	6
2.2 Clasificación de los modelos	7
2.3 Uso de computadoras en la modelación biológica.	8
2.4 La modelación en la transferencia tecnológica	9
2.5 Modelación de cultivos	11
2.6 El modelo CERES	12
2.7 MAIZ	13
2.7.1 Generalidades	13
2.7.2 Crecimiento del maíz	14
2.7.2.1 Germinación de la semilla	14
2.7.2.2 Hoja	15
2.7.2.3 Contribución de las hojas, al rendimiento del grano y a la producción de materia seca. ...	16
2.7.3 Fenología	16
3. MATERIALES Y METODOS	18
3.1 Experimento en Turrialba.	18
3.1.1 Descripción	18
3.1.1.1 Localización, suelo y clima.	18
3.1.1.2 Tratamientos estudiados	19
3.1.1.3 Preparación del terreno y siembra.	21
3.1.1.4 Fertilización	22
3.1.1.5 Control fitosanitario	23
3.1.1.6 Control de malezas	23
3.1.1.7 Doble y cosecha del maíz	23
3.2 Parcelas de validación en Nicaragua	24
3.2.1 Descripción de las parcelas	24
3.2.1.1 Localización, suelo y clima	24
3.2.1.2 Tratamientos estudiados	25
3.2.1.3 Preparación del terreno y siembra	25
3.2.1.4 Fertilización	27
3.2.1.5 Control fitosanitario.	27
3.2.1.6 Control de malezas	29
3.2.1.7 Doble y cosecha del maíz	29

3.3	Recolección de la información.....	29
3.3.1	Componente climático.....	29
3.3.2	Componente suelo.....	31
3.4	Análisis estadístico.....	34
3.4.1	Análisis de varianza.....	35
3.4.2	Intervalos de confianza.....	35
3.4.3	Pruebas t de observaciones pareadas.....	35
3.4.4	Método gráfico.....	35
3.5	Modelo de Síntesis de Recursos Ambiente Cultivo "CERES".....	35
3.5.1	Estructura del programa.....	37
3.5.1.1	Programa Principal (MAIN).....	37
3.5.1.2	Subrutina de parámetros (PROGRI).....	38
3.5.1.3	Subrutina de inicialización de los datos de suelo (SOILRI).....	38
3.5.1.4	Subrutina de balance de agua (WATBAL).....	38
3.5.1.5	Subrutina de fenología (PHENOL).....	39
3.5.1.6	Subrutina de fases (PHASEI).....	39
3.5.1.7	Subrutina de crecimiento (GROSUB).....	40
3.5.1.9	Subrutina de mineralización de nitrógeno (MINIMO).....	40
3.5.1.10	Subrutina de consumo de nitrógeno (NUPTAK).....	40
3.5.1.11	Subrutina de lixiviación y movimiento hacia arriba de nitrógeno (NFLUX).....	40
3.5.1.12	Subrutina para la deficiencia de nitrógeno (NFACTO).....	41
3.5.1.13	Subrutina para la desnitrificación (DNIT).....	41
3.5.1.14	Subrutina de temperatura del suelo (SOLT).....	41
3.5.2	Datos de entrada para el modelo.....	41
3.5.2.1	Suelo.....	41
3.5.2.2	Genéticos.....	44
3.5.3	Descripción del archivo de parámetros.....	45
3.5.4	Descripción del archivo de clima.....	49
3.5.5	Descripción del archivo de nitrógeno.....	49
3.5.6	Archivo de agua del suelo.....	50
3.5.7	Archivo de irrigación.....	51
3.5.8	Archivo de fertilización.....	51
3.5.9	Archivo de coeficientes genéticos.....	52
3.6	Descripción de los procesos de simulación del modelo CERES.....	53
3.6.1	Componente clima.....	53
3.6.2	Componente suelo.....	54
3.6.3	Componente biológico.....	56
4.	RESULTADOS.....	62
4.1	Componentes físicos biológicos.....	62
4.1.1	Componente físico.....	62
4.1.1.1	Clima.....	62
4.1.1.1.1	Temperatura, biotemperatura, radiación y precipitación.....	62
4.1.1.2	Características del componente suelo.....	64
4.1.1.2.1	Características químicas.....	64
4.1.1.2.1.1	Reacción del suelo.....	64
4.1.1.2.1.2	Contenido de amonio y nitratos.....	65

4.1.1.2.1.3	Materia Orgánica y Carbono orgánico	66
4.1.1.2.2	Características físicas	66
4.1.1.2.2.1	Textura	66
4.1.1.2.2.2	Capacidad de Campo	70
4.1.1.2.2.3	Punto de marchitez permanente	70
4.1.1.2.2.4	Densidad aparente	70
4.1.1.2.2.5	Contenido de agua a saturación	71
4.1.2	Características del componente biológico	71
4.1.2.1	Rendimiento de grano	71
4.1.2.1.1	Turrialba	74
4.1.2.1.2	Nicaragua	77
4.2	Simulación y sistema real	77
4.2.1	Coeficientes genéticos	77
4.2.2	Calibración del modelo	78
4.2.3	Ajustes del modelo	89
4.2.4	Comprobación de la calibración	92
4.2.4.1	Fenología	92
4.2.4.2	Crecimiento	92
4.2.4.3	Rendimiento de grano y Biomasa a Madurez	112
4.3	Validación	118
5.	DISCUSION	134
5.1	Respuesta a la densidad poblacional	134
5.2	Coeficientes genéticos	134
5.3	Calibración del modelo	135
5.4	Simulación fenológica	137
5.5	Simulación del crecimiento	137
5.6	Simulación del rendimiento del grano	138
6.	CONCLUSION	140
7.	RECOMENDACION	141
8.	BIBLIOGRAFIA	142
9.	APÉNDICE	148