

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 COSTA  
RICA Y LA REPÚBLICA DOMINICANA

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

JOSE MIGUEL ROMERO DEL VALLE

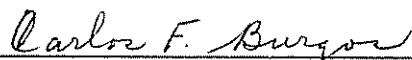
CATIE  
Turrialba, Costa Rica  
1988

"Esta tesis fue aceptada por el Comité Técnico Académico del Programa de Posgrado en Ciencias Agrícolas y de los Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza".



\_\_\_\_\_  
José Arze Borda Mag. Sc.

Consejero Principal



\_\_\_\_\_  
Carlos Burgos Ph.D.

Miembro del Comité Asesor



\_\_\_\_\_  
Pedro Ferreira Ph.D.

Miembro del Comité Asesor



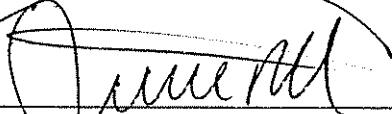
\_\_\_\_\_  
Roberto Diaz-Romeu Mag. Sc.

Miembro del Comité Asesor



\_\_\_\_\_  
José Ramón Lastra Ph.D.

Coordinador del Programa de Posgrado del CATIE.



\_\_\_\_\_  
José Miguel Romero del Valle

Candidato.

## DEDICATORIA

A mis queridos padres: Gustavo A. Romero

y

Mercedes del Valle

A mi adorada esposa: Ivelisse H. Betlitré

A mis queridos hijos: Yaritza, Anny, José Miguel y Rosa

A mis hermanos : Rolando, Quintín, Víctor, Jovanny  
Sofía, Luz Mercedes, Eddy y Jorge

A mis grandes amigos de siempre: Fermín Ramírez

y

Vinicio Matos

A mi excelente consejero, José Arze B. Mag. Sc.

A mis adorados pueblo y país: El Cercado y República

Dominicana

## RECONOCIMIENTO

A Jose Arze B. Mag. Sc. Asesor Principal de la tesis, mi más profundo y sincero agradecimiento por la apertura, confianza y apoyo brindados durante toda mi estadía en el CATIE y todo el desarrollo de la tesis.

Sobremanera agradezco también a los distinguidos miembros del Comité Asesor, Carlos Burgos PhD., Pedro Ferreira PhD. y Roberto Díaz-Romeu Mag. Sc. por su importante y oportuna colaboración.

Al distinguido colega Francisco Jimenez Mag. Sc., agradezco sus adecuados consejos.

A la Subdirección de Enseñanza y Capacitación por su perseverante e ingente preocupación por el mejoramiento del Programa de Maestría.

Al personal de la Estación Experimental de La Montaña.

Al personal, sobretodo a los técnicos del Centro de Investigaciones Aplicadas a Zonas Aridas, en especial a Héctor Melo, César, John, Humberto, Carlos, Héctor Cuello y Luis.

Al personal del Centro Nacional de Investigación y Extensión Agropecuaria de la WASD, en especial a su Director Profesor Gabriel Dominguez y al Profesor José Martinez L.

Al personal del Laboratorio de Análisis de Suelo de Fertilizantes Químicos Dominicano (FERQUIDO) por su importante contribución, en especial a Amílcar Ubiera PhD. y a Diógenes Perez Mag. Sc.

A mi hermano Eddy G. Romero del Valle por su grandiosa y persistente colaboración.

A mis compañeros de estudio Agustín Castillo, Eugenia Hidalgo y Raúl Medina.

A mi estimado servidor, David Elizondo.

Al Personal de los laboratorios de Suelo y Fisiología Vegetal.

A las compañeras secretarias del Programa de Cultivos Alimenticios Anuales, en especial a Rose Mary y Zaritza.

A todos los compañeros dominicanos en el CATIE.

Al Rafael Ortiz Quezada PhD., por su persistente y noble preocupación por el estudiante dominicano en el CATIE.

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

Al Gobierno de Holanda por el aporte de la beca de estudio.

## Indice

Agua a saturación	21, 34, 41, 52, 56
Calibración	4, 14, 44, 46, 63, 65, 71, 116, 117, 125
Capacidad de campo	21, 34, 40, 52, 56
Coefficientes de regresión	9, 101, 105, 109, 119, 120
Coefficientes genéticos	42, 63, 115, 116, 122
Crecimiento	1, 2, 7, 8, 36, 43, 71, 75, 81, 117, 119
Densidad aparente	21, 34, 41, 52, 54, 55
Desarrollo	1, 7, 8, 36, 43, 123
Hipótesis	2
Mecanísticos	5
Modelación de cultivos	6
Modelo CERES-Maíz	2, 8, 13, 14, 36, 40, 43, 63, 115
Nitrato y amonio	23, 35, 53, 54, 56, 114
Objetivos	2
Precipitación	22, 35, 51
Punto de marchitez permanente	22, 35, 40, 52, 56
Radiación	22, 35, 51, 69
Simulación	3, 8, 63, 65, 71, 75, 120
Sistema	1, 3, 44, 63
Temperatura máxima	22, 35, 51
Temperatura mínima	22, 35, 51
Transferencia	1, 2
Validación	2, 4, 13, 28, 44, 46, 63, 71, 125
Verificación	4

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.

Palabras claves: Maíz, modelo, CERES-Maíz, calibración, validación, crecimiento, desarrollo y rendimiento.

#### RESUMEN

Con el objetivo de calibrar y validar el modelo CERES-Maíz usando la población Tusa Fina y el cultivar CESDA-28, se llevaron a cabo seis experimentos de campo en las zonas de Turrialba en Costa Rica (cuatro) y de Azua y Santo Domingo en la República Dominicana (dos), durante el período mayo de 1987 a febrero de 1988.

Con los datos generados en la fase de investigación físico-biológica (ciclo 1, Turrialba) fundamentalmente se calibró el modelo. 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.

La validación del modelo se hizo con los datos obtenidos a partir de los experimentos realizados en Turrialba (ciclo 2) en Costa Rica, y en las zonas de Azua y Santo Domingo en la República Dominicana. En Turrialba se utilizaron los mismos tratamientos estudiados durante el ciclo 1, con el objeto de medir la sensibilidad del modelo en condiciones contrastantes de densidad y nivel de nitrógeno. En las zonas de Azua y Santo Domingo se utilizaron tres tratamientos: tecnología tradicional (Tusa Fina) y dos tecnologías alternativas (Tusa Fina y CESDA-28).

Para los dos materiales genéticos el P1 (grados día durante el período juvenil) fue el mismo, y no varió (251-260) significativamente entre épocas de siembra y localidades. El P5 (grados día de floración femenina a madurez fisiológica) varió diferencialmente entre épocas de

siembra y localidades debido al efecto de la biotemperatura y de la posición latitudinal. Para la población Tusa Fina el número potencial de granos por planta (G2) y la tasa de crecimiento potencial del grano (G3), fueron de 630 granos/pl y de 6,60 mg/d y para el cultivar CESDA-28 de 685 granos/pl y 6,89 mg/d.

El Modelo se calibró sustituyendo los grados día de las tasas de iniciación de hoja (21 por 26) y de emergencia de hoja (38,9 por 48,2 en Turrialba y 50,2 en Azua y Santo Domingo). Así mismo se aumentó en 20 % el crecimiento diario del área foliar y de la tasa de crecimiento del tallo en la etapa 3. También se redujo en un 15 % el aporte de la tasa fotosintética promedio durante la etapa 4 a la determinación del número de granos por planta.

Con los ajustes anteriores, en términos generales el modelo simuló adecuadamente el crecimiento, desarrollo y rendimiento de ambos materiales genéticos. Para el 72,2 % de los tratamientos no hubo diferencias significativas entre el rendimiento de grano observado y simulado en las tres localidades con ambos materiales genéticos; así mismo con base en el método gráfico y el análisis de regresión, la línea 1:1 estuvo dentro del área de la banda de confianza al 95 % de la línea de regresión, en el caso del ámbito de mejor comportamiento del modelo (40.000 pl/ha). El coeficiente de regresión fue de 0,71 con un  $r^2$  de 0,87.



ROMERO V., J.M. 1988. Physical and biological investigation and validation of a model of maize (Zea mays L.) growth, development and yield in Costa Rica and Dominican Republic. M. S. thesis, Turrialba, C.R., CATIE. 159 p.

Keys words: Maize, model, CERES-Maiz, calibration, validation, growth, development and yield.

#### SUMMARY

The objective of this work was to calibrate and validate the CERES-Maize model using Tusa Fina population and CESDA-28 cultivar. Six field experiments were conducted the areas of Turrialba, Costa Rica (four) and Azua and Santo Domingo (two) in the Dominican Republic during May 1987 and February, 1988.

The model was calibrated fundamentally with the data generated in the phase of physical and biological investigation (cycle 1, Turrialba). Three densities (20,000, 40,000 and 60,000 pl/ha) and two nitrogen levels (50 y 150 kg/ha) were studied in separate experiments using the two genetic materials.

The validation of the model was made with data obtained in the experiments carried out, in Turrialba (cycle 2) Costa Rica and in the zones of Azua and Santo Domingo of the Dominican Republic. In Turrialba the same treatments studied in the cycle 1 were used, to evaluate the sensitivity of the model in contrasting conditions of density and nitrogen levels. In the areas of Azua and Santo Domingo three treatments were used: traditional technology (Tusa Fina) and two alternative technologies (Tusa Fina and CESDA-28).

For the two genetic materials, P1 (degree-days during the juvenile period) was the same, and there was no significant change (251-260) for planting dates and locations. Opposed to this, the P5 (degree-days from silking to physiological maturity) varied differentially between

planting dates and among locations, due to the effect of biotemperature and latitudinal position. For the Tusa Fina population, the potential kernel number per plant (G2) and the potential kernel growth rate (G3) were of 630 kernel/pl and 6.60 mg/d, and for CESDA-28 of 685 kernel/pl and 6.89 mg/d.

The model was calibrated substituting the degree-days of leaf initiation rate (21 by 26) and leaf emergence rate (38.9 by 48.2 in Turrialba and 50.2 in Azua and Santo Domingo). The growth of foliar area per day and the stem growth rate in stage 3 were increased by 20 %. Also, the contribution of the average photosynthetic rate during stage 4 to the determination of the number of kernels per plant was reduced by 15 %.

In general, with the adjustments made the model simulated the growth, development and yield of both genetic materials. In 72.2 % of the treatments, no significant differences were found between observed the simulated grain yields in the three locations using both genetic materials; also, based on the graphic method and the regression analysis, the 1:1 line was within the area of 95 % confidence bands of the regression line. This corresponded the best performance of the model (40,000 pl/ha). The regression coefficient was of 0.71 with a  $r^2$  of 0.87.

## Lista de Cuadros

Cuadro no.	Página no.
1. Identificación y descripción de los tratamientos estudiados. Cultivar CESDA-28.....	13
2. Identificación y descripción de los tratamientos estudiados. Población Tusa Fina.....	14
3. Variables y formato del archivo de parámetros del modelo CERES-Maíz.....	38
4. Biotemperatura acumulada por ciclo de producción, localidad y material genético desde emergencia a madurez fisiológica. Turrialba, Azua y Santo Domingo. 1987-88.....	50
5. Análisis de varianza del rendimiento de grano en g/m <sup>2</sup> , correspondiente al cultivar CESDA-28. Ciclo 1, Turrialba. 1987.....	63
6. Análisis de varianza del rendimiento de grano en g/m <sup>2</sup> , correspondiente a la población Tusa Fina. Ciclo 1, Turrialba. 1987.....	64
7. Análisis de varianza del rendimiento de grano en g/m <sup>2</sup> , correspondiente al cultivar CESDA-28. Ciclo 2, Turrialba. 1988.....	65
8. Análisis de varianza del rendimiento de grano en g/m <sup>2</sup> correspondiente a la población Tusa Fina. Ciclo 2, Turrialba. 1988.....	66
9. Análisis de varianza del rendimiento de grano en g/m <sup>2</sup> de los tratamientos estudiados. Azua. 1987.....	67
10. Comparación de los tratamientos estudiados mediante la prueba de Tukey. Azua. 1987.....	67
11. Análisis de varianza del rendimiento de grano en g/m <sup>2</sup> , correspondiente a los tratamientos estudiados. Santo Domingo. 1987-88.....	68
12. Comparación de los tratamientos estudiados mediante la prueba de Tukey. Santo Domingo. 1987-88.....	69
13. Coeficientes genéticos por ciclo de producción y localidad. Cultivar CESDA-28 y población Tusa Fina. Costa Rica y República Dominicana. 1987-88.....	70

14. Cambios en la simulación de la biomasa seca a madurez, rendimiento de grano y análisis de sensibilidad del modelo, por ajuste en la tasa fotosintética promedio durante la etapa 4. CESDA-28. Ciclo 1, Turrialba. 1987.....	77
15. Fases fenológicas simuladas y observadas. Cultivar CESDA-28 y Población Tusa Fina. Ciclo 2, Turrialba. 1988.....	79
16. Fases fenológicas y emergencia de hoja simuladas y observadas. Cultivar CESDA-28 y población Tusa Fina. Azua y Santo Domingo. 1987.....	80
17. Biomasa seca simulada y observada de tallo, hoja y mazorca. CESDA-28. Ciclo 2, Turrialba. 1988.....	82
18. Biomasa seca simulada y observada de tallo, hoja y mazorca. Tusa Fina. Ciclo 2, Turrialba. 1988....	83
19. Biomasa seca simulada y observada de tallo, hoja y mazorca. CESDA-28 y Tusa Fina . Azua. 1987.....	85
20. Resultados simulados y observados por tratamiento de las variables biomasa seca a madurez fisiológica, rendimiento de grano e índice de cosecha. Cultivar CESDA-28. Ciclo 2, Turrialba. 1988.....	100
21. Resultados simulados y observados por tratamiento de biomasa seca a madurez fisiológica, rendimiento de grano e índice de cosecha. Población Tusa Fina. Ciclo 2, Turrialba. 1988.....	104
22. Resultados simulados y observados por tratamiento de biomasa seca a madurez fisiológica, rendimiento de grano e índice de cosecha. Azua y Santo Domingo. 1987.....	107
23. Contenido de nitrógeno simulado y observado en el grano y la planta entera, incluyendo el consumo y la demanda simulados por tratamiento. CESDA-28. Ciclo 2, Turrialba. 1988.....	.111
24. Contenido de nitrógeno simulado y observado en el grano y la planta entera, incluyendo el consumo y la demanda simulados por tratamiento. Tusa Fina. Ciclo 2, Turrialba. 1988.....	.113

APENDICE

1A. Datos diarios de radiación, precipitación, temperaturas máxima, mínima, media y biotemperatura. Ciclo 1, Turrialba. 1987.....	131
---	-----

2A. Promedios diarios por mes de radiación, precipitación, temperatura y biotemperatura. Ciclo 1, Turrialba. 1987.....	133
3A. Datos diarios de radiación, precipitación, temperaturas máxima, mínima, media y biotemperatura. Ciclo2, Turrialba. 1987-88.....	134
4A. Promedios diarios por mes de radiación, precipitación, temperatura y biotemperatura. Ciclo 2, Turrialba. 1987-88.....	136
5A. Datos diarios de radiación, precipitación, temperaturas máxima, mínima, media y biotemperatura. Azua. 1987.....	137
6A. Promedios diarios por mes de radiación, precipitación, temperatura y biotemperatura. Azua. 1987.....	140
7A. Datos diarios de radiación, precipitación, temperaturas máxima, mínima, media y biotemperatura. Santo Domingo. 1987-88.....	140
8A. Promedios diarios por mes de radiación, precipitación, temperatura y biotemperatura. Santo Domingo. 1987-88.....	143
9A. Número de riegos, fecha y láminas aplicadas. Zona de Azua, 1987.....	144
10A. Características físicas del perfil de suelo correspondientes al lote experimental. Turrialba. 1987...	145
11A. Resultados del análisis químico general de fertilidad del suelo en lote experimental. Ciclos 1 y 2, Turrialba. 1987.....	146
12A. Características químicas del perfil de suelo correspondientes al lote experimental. Turrialba. 1987.....	147
13A. Características físicas del perfil de suelo en el lote experimental. Azua. 1987.....	148
14A. Resultados del análisis químico general de fertilidad del suelo en el lote experimental. Azua. 1987...	149
15A. Características químicas del perfil de suelo correspondientes al lote experimental. Azua. 1987.....	150
16A. Características físicas del perfil de suelo en el lote experimental. Santo Domingo. 1987.....	151

17A.	Resultados del análisis químico general de fertilidad del suelo correspondiente al lote experimental. Santo Domingo. 1987.....	151
18A.	Características químicas del perfil de suelo correspondientes al lote experimental. Santo Domingo. 1987.....	152
19A.	Ciclo vegetativo simulado y observado, incluyendo tiempo de floración femenina a madurez fisiológica. CESDA-28 y Tusa Fina. Turrialba, Azua y Santo Domingo. 1987-88.....	153
20A.	Porcentajes de daños en el rendimiento de grano observado, plantas sin mazorcas y rendimiento de grano simulado ajustado por tratamiento. CESDA-28. Ciclos 1 y 2, Turrialba. 1987-88.....	154
21A.	Porcentajes de daños en el rendimiento de grano observado, plantas sin mazorcas y rendimiento de grano simulado ajustado por tratamiento. Tusa Fina. Ciclos 1 y 2, Turrialba. 1987-88.....	155
22A.	Porcentajes de daños en el rendimiento de grano observado, plantas sin mazorcas y rendimiento de grano simulado ajustado por tratamiento. CESDA-28 y Tusa Fina. Azua y Santo Domingo. 1987-88.....	156
23A.	Contenido de nitrógeno en los diferentes órganos de la planta de maíz. CESDA-28. Ciclos 1 y 2, Turrialba. 1987-88.....	157
24A.	Contenido de nitrógeno en los diferentes órganos de la planta de maíz. Tusa Fina. Ciclos 1 y 2, Turrialba. 1987-88.....	158
25A.	Rendimiento de grano simulado con cambios en la tasa de emergencia de hoja y rendimiento de grano observado. CESDA-28 y Tusa Fina. Azua y Santo Domingo. 1987-88.....	159

## Lista de Figuras

Figura no.		Página no.
1.	Distribución de los tratamientos en el lote experimental. Ciclo 1, Turrialba. 1987.....	15
2.	Distribución de los tratamientos en el lote experimental. Ciclo 2, Turrialba. 1987.....	16
3.	Dimensiones de la parcela experimental y distribución del área útil. Ciclos 1 y 2, Turrialba. 1987.....	17
4.	Distribución de los tratamientos y dimensiones de la parcela en el lote experimental. Azua, 1987.....	29
5.	Distribución de los tratamientos y dimensiones de la parcela en el lote experimental. Santo Domingo. 1987.....	30
6.	Temperatura y biotemperatura medias mensual durante el ciclo 1. Turrialba, 1987.....	47
7.	Temperatura y biotemperatura medias mensual durante el ciclo 2. Turrialba, 1987-88.....	47
8.	Temperatura y biotemperatura medias mensual durante el ciclo del cultivo. Azua, 1987.....	51
9.	Temperatura y biotemperatura medias mensual durante el ciclo del cultivo. Santo Domingo, 1987-88.....	51
10.	Contenido de agua a saturación, capacidad de campo y punto de marchitez permanente a 15 bares (PMP1) y mediante el método biológico (PMP2), por estrato de suelo. Turrialba, 1987.....	53
11.	Contenido de materia orgánica y nitrógeno total por estrato de suelo. Turrialba, 1987.....	55
12.	Contenido de amonio y nitrato por estrato de suelo. Turrialba, 1987.....	55
13.	Contenido de agua a saturación, capacidad de campo y punto de marchitez permanente a 15 bares (PMP1) y mediante el método biológico (PMP2), por estrato de suelo. Azua, 1987.....	57
14.	Contenido de materia orgánica y nitrógeno total por estrato de suelo. Azua, 1987.....	59

15.	Contenido de amonio y nitrato por estrato de suelo. Azua, 1987.....	59
16.	Contenido de agua a saturación, capacidad de campo y punto de marchitez permanente por estrato de suelo. Santo Domingo, 1987.....	61
17.	Contenido de materia orgánica y nitrógeno total por estrato de suelo. Santo Domingo, 1987.....	62
18.	Contenido de amonio y nitrato por estrato de suelo. Santo Domingo, 1987.....	62
19.	Etapas de crecimiento de la planta de maiz y su relación con algunos coeficientes genéticos.....	73
20.	Simulación del rendimiento de grano (%) por planta con ajuste y sin ajuste. Ciclo 1, Turrialba. 1987....	78
21.	Biomasa seca de hoja observada (LI:límite inferior y LS:límite superior) y simulada. CESDA-28, densidad baja nitrógeno bajo. Ciclo 2, Turrialba. 1988.....	86
22.	Biomasa seca de tallo observado (LI:límite inferior y LS:límite superior) y simulado. CESDA-28, densidad baja nitrógeno bajo. Ciclo 2, Turrialba. 1988.....	86
23.	Biomasa seca de mazorca observada (LI:límite inferior y LS:límite superior) y simulada. CESDA-28, densidad baja nitrógeno bajo. Ciclo 2, Turrialba. 1988.....	87
24.	Biomasa seca de hoja observada (LI:límite inferior y LS:límite superior) y simulada. CESDA-28, densidad media y nitrógeno bajo. Ciclo 2, Turrialba. 1988....	87
25.	Biomasa seca de tallo observado (LI:límite inferior y LS:límite superior) y simulado. CESDA-28, densidad media y nitrógeno bajo. Ciclo 2, Turrialba. 1988.....	88
26.	Biomasa seca de mazorca observada (LI:límite inferior y LS:límite superior) y simulada. CESDA-28, densidad media y nitrógeno bajo. Ciclo 2, Turrialba. 1988.....	88
27.	Biomasa seca de hoja observada (LI:límite inferior y LS:límite superior) y simulada. CESDA-28, densidad media alta y nitrógeno bajo. Ciclo 2, Turrialba. 1988.	89
28.	Biomasa seca de tallo observado (LI:límite inferior y LS:límite superior) y simulado. CESDA-28, densidad media alta y nitrógeno bajo. Ciclo 2, Turrialba. 1988.	89
29.	Biomasa seca de mazorca observada (LI:límite inferior y LS:límite superior) y simulada. CESDA-28, densidad media alta y nitrógeno bajo. Ciclo 2, Turrialba. 1988.	90



30. Biomasa seca de hoja observada (LI:límite inferior y LS:límite superior) y simulada. Tusa Fina, densidad baja y nitrógeno bajo. Ciclo 2, Turrialba. 1988..... 90
31. Biomasa seca de tallo observado (LI:límite inferior y LS:límite superior) y simulado. Tusa Fina, densidad baja nitrógeno bajo. Ciclo 2, Turrialba. 1988..... 91
32. Biomasa seca de mazorca observada (LI:límite inferior y LS:límite superior) y simulada. Tusa Fina, densidad baja nitrógeno bajo. Ciclo 2, Turrialba. 1988..... 91
33. Biomasa seca de hoja observada (LI:límite inferior y LS:límite superior) y simulada. Tusa Fina, densidad media y nitrógeno bajo. Ciclo 2, Turrialba. 1988..... 92
34. Biomasa seca de tallo observado (LI:límite inferior y LS:límite superior) y simulado. Tusa Fina, densidad media y nitrógeno bajo. Ciclo 2, Turrialba. 1988..... 92
35. Biomasa seca de mazorca observada (LI:límite inferior y LS:límite superior) y simulada. Tusa Fina, densidad media y nitrógeno bajo. Ciclo 2, Turrialba. 1988.... 93
36. Biomasa seca de hoja observada (LI:límite inferior y LS:límite superior) y simulada. Tusa Fina, densidad media alta y nitrógeno bajo. Ciclo 2, Turrialba. 1988.93
37. Biomasa seca de tallo observado (LI:límite inferior y LS:límite superior) y simulado. Tusa Fina, densidad media alta y nitrógeno bajo. Ciclo 2, Turrialba. 1988.94
38. Biomasa seca de mazorca observada (LI:límite inferior y LS:límite superior) y simulada. Tusa Fina, densidad media alta y nitrógeno bajo. Ciclo 2, Turrialba. 1988.94
39. Biomasa seca de hoja observada (LI:límite inferior y LS:límite superior) y simulada. Tusa Fina, tecnología tradicional. Azua. 1987..... 95
40. Biomasa seca de tallo observado (LI:límite inferior y LS:límite superior) y simulado. Tusa Fina, tecnología tradicional. Azua. 1987..... 95
41. Biomasa seca de mazorca observada (LI:límite inferior y LS:límite superior) y simulada. Tusa Fina, tecnología tradicional. Azua. 1987.....96
42. Biomasa seca de hoja observada (LI:límite inferior y LS:límite superior) y simulada. Tusa Fina, tecnología alternativa 1. Azua. 1987.....96

43.	Biomasa seca de tallo observado (LI:límite inferior y LS:límite superior) y simulado. Tusa Fina, tecnología alternativa 1. Azua. 1987.....	97
44.	Biomasa seca de mazorca observada (LI:límite inferior y LS:límite superior) y simulada. Tusa Fina, tecnología alternativa 1. Azua. 1987.....	97
45.	Biomasa seca de hoja observada (LI:límite inferior y LS:límite superior) y simulada. CESDA-28, tecnología alternativa 2. Azua. 1987.....	98
46.	Biomasa seca de tallo observado (LI:límite inferior y LS:límite superior) y simulado. CESDA-28, tecnología alternativa 2. Azua. 1987.....	98
47.	Biomasa seca de mazorca observada (LI:límite inferior y LS:límite superior) y simulada. CESDA-28, tecnología alternativa 2. Azua. 1987.....	99
48.	Rendimiento de grano observado con nitrógeno bajo (NB) y alto (NA), y tres densidades. Ciclo 2, Turrialba. 1988.....	102
49.	Rendimiento de grano simulado con nitrógeno bajo (NB) y alto (NA), y tres densidades. Ciclo 2, Turrialba. 1988.....	102
50.	Rendimiento de grano observado y simulado. CESDA-28. Ciclo 2, Turrialba. 1988.....	103
51.	Rendimiento de grano observado y simulado. Tusa Fina. Ciclo 2, Turrialba. 1988.....	106
52.	Rendimiento de grano observado y simulado. CESDA-28 y Tusa Fina. Azua y Santo Domingo. 1987-88.....	108
53.	Rendimiento de grano observado y simulado. CESDA-28 y Tusa Fina. Turrialba, Azua y Santo Domingo. 1987-88..	110

## Cuadro de Contenido

1. INTRODUCCION.....	.1
1.1 Objetivos.....	.2
1.2 Hipótesis.....	.2
2. REVISION DE LITERATURA.....	.3
2.1 Conceptos y definiciones.....	.3
2.1.1 Sistema.....	.3
2.1.2 Modelo.....	.3
2.1.3 Simulación.....	.3
2.1.4 Verificación.....	.4
2.1.5 Calibración.....	.4
2.1.6 Validación.....	.4
2.2 Clasificación de los modelos.....	.4
2.3 Modelación de cultivos.....	.6
2.3.1 Modelación del cultivo del maíz.....	.7
2.3.1.1 Modelo CERES-Maíz.....	.8
2.4 Importancia del maíz en la República Dominicana.....	.10
3. MATERIALES Y METODOS.....	.11
3.1 Localización y descripción del área experimental..	11
3.1.1 Etapa I.....	11
3.1.2 Etapa II.....	11
3.2 Material experimental.....	12
3.3 Metodología.....	13
3.3.1 Turrialba.....	13
3.3.1.1 Tratamientos.....	13
3.3.1.2 Descripción de la unidad experimental.....	14
3.3.1.3 Diseño experimental.....	14
3.3.1.3.1 Análisis estadístico.....	17
3.3.1.4 Establecimiento y conducción de los experimentos.....	18
3.3.1.4.1 Fertilización.....	18
3.3.1.4.2 Control fitosanitario.....	19
3.3.1.4.3 Doble de la planta.....	19
3.3.1.4.4 Cosecha.....	19
3.3.1.4.4.1 Evaluación de daños.....	19
3.3.1.5 Variables y medición.....	20
3.3.1.5.1 Variables climáticas.....	20
3.3.1.5.2 Variables del suelo.....	21
3.3.1.5.3 Variables biológicas.....	23
3.3.2 Azua y Santo Domingo (Etapa II).....	26
3.3.2.1 Tratamientos.....	26
3.3.2.2 Descripción de la unidad experimental.....	27
3.3.2.3 Diseño experimental.....	28
3.3.2.3.1 Análisis estadístico.....	31

3.3.2.4	Establecimiento y conducción de los experimentos.....	31
3.3.2.4.1	Irrigación.....	31
3.3.2.4.2	Fertilización.....	32
3.3.2.4.3	Control fitosanitario.....	32
3.3.2.4.4	Cosecha.....	32
3.3.2.4.4.1	Evaluación de daños.....	33
3.3.2.5	Variables y medición.....	33
3.3.2.5.1	Variables climáticas.....	33
3.3.2.5.2	Variables del suelo.....	34
3.3.2.5.3	Variables biológicas.....	35
3.3.3	Modelo CERES-Maiz.....	36
3.3.3.1	Estructura del modelo.....	36
3.3.3.2	Entradas del modelo.....	37
3.3.3.2.1	Coefficientes genéticos.....	42
3.3.3.3	Funcionamiento del modelo.....	43
3.3.3.4	Calibración del modelo.....	44
3.3.3.5	Validación del modelo.....	44
4.	RESULTADOS.....	45
4.1	Componentes físico-biológicos.....	45
4.1.1	Componente físico.....	45
4.1.1.1	Clima.....	45
4.1.1.1.1	Temperatura, biotemperatura, radiación y precipitación..	45
4.1.1.2	Suelo.....	52
4.1.1.2.1	Turrialba.....	52
4.1.1.2.1.1	Características físicas.....	52
4.1.1.2.1.2	Características químicas.....	54
4.1.1.2.2	Azua.....	56
4.1.1.2.2.1	Características físicas.....	56
4.1.1.2.2.2	Características químicas.....	56
4.1.1.2.3	Santo Domingo.....	58
4.1.1.2.3.1	Características físicas.....	58
4.1.1.2.3.2	Características químicas.....	60
4.1.2	Componente biológico.....	63
4.1.2.1	Rendimiento de grano.....	63
4.1.2.1.1	Turrialba.....	63
4.1.2.1.2	Azua.....	66
4.1.2.1.3	Santo Domingo.....	68
4.2	Simulación y sistema real.....	69
4.2.1	Coefficientes genéticos.....	69
4.2.2	Calibración del modelo.....	71
4.2.2.1	Crecimiento y fenología.....	71
4.2.2.2	Rendimiento de grano.....	76
4.2.3	Validación del modelo.....	79
4.2.3.1	Fenología.....	79
4.2.3.2	Crecimiento.....	81

4.2.3.3 Rendimiento.....	85
4.2.3.3.1 Turrialba.....	85
4.2.3.3.2 Azua y Santo Domingo.....	105
4.2.3.4 Contenido de nitrógeno en la planta.	109
5. DISCUSION.....	114
5.1 Respuesta a la fertilización nitrogenada.....	114
5.2 Coeficientes genéticos.....	115
5.3 Calibración del modelo.....	116
5.4 Simulación fenológica.....	118
5.5 Simulación del crecimiento.....	119
5.6 Simulación del rendimiento de grano.....	119
5.7 Simulación del nitrógeno en la planta.....	120
6. CONCLUSION.....	122
7. RECOMENDACION.....	125
BIBLIOGRAFIA .....	126
APENDICE.....	131