

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

**SUBDIRECCIÓN GENERAL ADJUNTA DE ENSEÑANZA**

**PROGRAMA DE POSGRADO**

**ESTIMACIÓN Y SIMULACIÓN DE PERDIDAS CAUSADAS POR  
PLAGAS INSECTILES EN EL CULTIVO DE MAÍZ. Zea mays L**

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 el grado de

**MAGISTER SCIENTIAE**

por

**LUIS FELIPE GUEVARA BENAVIDES**

CATIE  
Turrialba, Costa Rica.  
1988

## DEDICATORIA

A Elvira, mi esposa por su comprensión y continuo estímulo, por compartir conmigo todos los momentos agradables y difíciles de esta experiencia.

A Andrés Fernando y Luis Felipe, nuestros hijos e inseparables compañeros quienes supieron darme ánimo en todo momento.

A mis padres, César Alfonso y Clemencia a quienes debo en gran parte mi superación.

A mis hermanos Alfonso, Doris, Guillermo, Graciela, Ana, Alvaro, y demás familiares.

A mi pueblo y Patria, Sandoná. Departamento de Nariño, República de Colombia.

Al Instituto Colombiano Agropecuario, ICA por haberme concedido la comisión y beca para la realización de mis estudios de posgrado.

Al Instituto Colombiano de Crédito Educativo y Estudios Técnicos en el Exterior, ICETEX por haber hecho posible el financiamiento de mis estudios.

## AGRADECIMIENTOS.

El autor expresa sus sinceros agradecimientos a las siguientes personas e instituciones:

A Joseph L. Saunders. Ph. D. Entomólogo. Coordinador del Proyecto MIP/CATIE. por sus enseñanzas, apoyo y orientación constante para la realización de este estudio.

A José Arze Borda. M. Sc. Por sus enseñanzas, sincera amistad, estímulo y por formar parte activa en el Comité Asesor.

A James B. French. Ph. D. Economista Agrícola del Proyecto MIP/CATIE. por su valiosa y oportuna colaboración como miembro del Comité Asesor

Al personal profesional principal, personal profesional auxiliar y personal de apoyo del Proyecto MIP/CATIE, por su colaboración, estímulo y amistad brindada.

A Arnoldo Barrantes. Administrador de la Estación Experimental "La Montaña" y trabajadores de campo por su colaboración en la realización del experimento de este estudio.

Al personal de la Biblioteca Conmemorativa Orton

Al personal técnico y auxiliar de los laboratorios de Entomología, Fitopatología, Fisiología de cultivos y Suelos, por sus enseñanzas y apoyo logístico para el desarrollo de la investigación.

Al Ingeniero David Elizondo, por su amistad y colaboración en los programas de computo realizados.

A Ramón Lastra. Ph. D. Coordinador del Programa de Posgrado del CATIE por su amistad brindada.

A Pedro Ferreira. Ph. D. Biometrista, por su amistad y apoyo en el procesamiento de datos de este estudio.

A mis compañeros de promoción 1986-1988.

A las familias: Palma Jiménez y Araya Rodríguez, por la experiencia compartida y sincera amistad brindada.

## BIOGRAFIA

El autor nació en Sandoná, Departamento de Nariño, República de Colombia. Realizó estudios primarios en el Instituto Santo Tomás de Aquino de Sandoná, y secundarios en el Colegio San Felipe Neri, de la ciudad de Pasto. En 1975 se graduó como Ingeniero Agrónomo, en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño en Pasto, Colombia.

De 1976 a 1977 fué asistente técnico particular con sede en Pasto. En 1978, trabajó como Instructor de Agricultura en el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), en Pereira, Depto de Risaralda, Colombia. En 1980 ingresó al Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), como supervisor regional de la campaña roya y broca del cafeto con sede en Florencia, Depto de Caquetá, Colombia. En 1983 fue trasladado como Asistente de la Sección de Fitoprotección Sanitaria al Café, con sede en Oficinas Nacionales del ICA en Bogotá, Colombia.

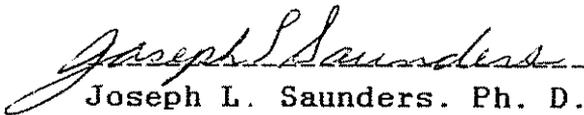
En 1980 asistió a cursos de capacitación sobre roya y broca del cafeto en la Estación Experimental de Bramón, en el Estado del Táchira, Venezuela; en 1981 en la Universidad Federal de Viçosa, Estado de Minas Gerais, Brasil y en 1985 sobre café y extensión agrícola, en el Centro Nacional de Investigaciones en Café "CENICAFE" en Chinchiná, Depto. de Caldas, Colombia.

En 1986 ingresó al Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), en Turrialba, Costa Rica y en septiembre de 1988 obtuvo el grado de Mg. Sc. en Producción Vegetal, en la especialidad de Manejo Integrado de Plagas.

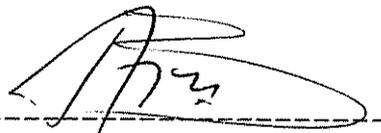
Esta Tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Coordinación del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE, y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

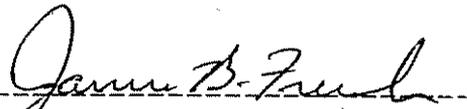
COMITE ASESOR.

  
Joseph L. Saunders. Ph. D.

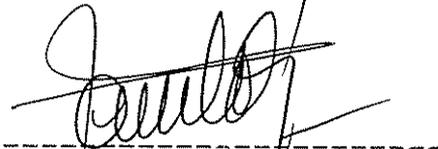
Profesor Consejero.

  
-----  
José Arze Borda. M. Sc.

Miembro del Comité.

  
-----  
James B. French. Ph. D.

Miembro del Comité.

  
-----  
Ramón Lastra Rodríguez. Ph. D.  
Coordinador Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias  
Agrícolas y Recursos Naturales. CATIE.

  
-----  
Dr. José Luis Parisí.  
Subdirector General Adjunto de Enseñanza.

  
-----  
Luis Felipe Guevara B.  
Candidato.

## CONTENIDO.

RESUMEN .....	
SUNMARY .....	
LISTA DE CUADROS.....	
LISTA DE FIGURAS.....	
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION DE LITERATURA.....	4
2.1. El cultivo de maiz (Zea mays L.).....	4
2.1.1. Generalidades del cultivo.....	4
2.1.2. Importancia del maiz.....	5
2.1.3. Desarrollo vegetativo del cultivo.....	6
2.1.4. Condiciones ambientales para el maiz.....	12
2.1.5. Plagas del cultivo y daño producido.....	14
2.1.6. Análisis del rendimiento del cultivo.....	22
2.2. Pérdidas por insectos en el maiz.....	26
2.2.1. Estimación de pérdidas.....	26
2.2.2. Predicción de rendimientos potenciales.....	28
2.2.3. Implicaciones económica, social y política por pérdidas de cultivos en sistemas agríco- las .....	30
2.3. El uso de modelos en la agricultura.....	32
3. MATERIALES Y METODOS.....	37
3.1. Descripción del área experimental.....	38
3.1.1. Localización, suelo y clima.....	38
3.2. Establecimiento del experimento.....	39

3.2.1.	Diseño experimental.....	39
3.2.2.	Descripción de la unidad experimental.....	42
3.2.3.	Preparación del terreno y siembra.....	44
3.2.4.	Fertilización.....	44
3.2.5.	Control de enfermedades y malezas.....	44
3.2.6.	Control de plagas insectiles.....	45
3.2.7.	Labores del cultivo.....	45
3.3.	Recolección de información.....	46
3.3.1.	Componente climático.....	46
3.3.2.	Componente edáfico.....	46
3.3.3.	Componente biológico.....	47
3.3.4.	Componente fenológico.....	48
3.4.	Análisis estadístico.....	49
3.5.	El modelo CERES. Síntesis de Recurso Ambiente .....	
	Cultivo.....	51
3.5.1.	Estructura del modelo CERES-MAIZ.....	52
3.5.2.	Intervención del modelo por plagas.....	54
3.6.	Validación del modelo.....	60
4.	RESULTADOS.....	62
4.1.	Componente biológico del modelo.....	62
4.1.1.	Producción de materia seca. Biomasa.....	62
4.1.2.	Indice de Area Foliar. IAF.....	69
4.1.2.1.	Factor de disminución de IAF.....	69
4.1.2.2.	Indice de Area foliar sin plaga.....	76
4.1.2.3.	Indice de Area foliar con plaga.....	78

4.1.3. Rendimiento.....	80
4.2. Componente fenológico del modelo.....	85
4.2.1. Estado vegetativo y reproductivo.....	86
4.2.2. Coeficientes genéticos.....	88
4.3. Acción de las plagas en el cultivo de maíz.....	90
4.4. Pérdidas causadas por plagas en maíz.....	95
4.5. Simulación del modelo CERESN-86.....	96
5. DISCUSION.....	106
6. CONCLUSIONES.....	121
7. RECOMENDACIONES.....	124
8. BIBLIOGRAFIA.....	126
9. APENDICE.....	133
9.1. Programa Principal Main.....	134
9.2. Subrutinas de inicialización.....	134
9.3. Subrutinas de proceso.....	135
9.4. Subrutinas de salida.....	140
9.5. Descripción del archivo de parámetros.....	141
9.6. Componente climático del modelo CERESMN-86.....	142
9.6.1. Radiación solar.....	143
9.6.2. Precipitación.....	143
9.6.3. Temperatura.....	143
9.6.4. Biotemperatura.....	145
9.7. Componente edafológico del modelo.....	148
9.7.1. Propiedades químicas.....	148
9.7.1.1. Reacción del suelo, pH.....	148

9.7.1.2.	Amonio (NH <sub>4</sub> ) y nitratos (NO <sub>3</sub> ).....	149
9.7.1.3.	Contenido de N. P. K.....	149
9.7.1.4.	Materia Orgánica. M. O.....	152
9.7.2.	Características físicas.....	153
9.7.2.1.	Textura.....	153
9.7.2.2.	Capacidad de campo. C. de C.....	153
9.7.2.3.	Punto de marchitez permanente.....	156
9.7.2.4.	Densidad aparente. D. A.....	156
9.7.2.5.	Contenido de agua a saturación.....	157
9.8.	Cuadros.....	158
9.9.	Glosario.....	174

GUEVARA B., L. F. 1988. Estimación y simulación de pérdidas causadas por plagas insectiles en el cultivo de maíz (*Zea Mays* L.). Tesis Mag. So., Turrialba, Costa Rica, CATIE. 190 p.

Palabras claves: *Zea mays* (L), modelo, CERESN--86, Costa Rica, simulación, estimación de pérdidas, evaluación de pérdidas, plagas insectiles, *Erwinia stewartii*, control químico, época de siembra.

## RESUMEN

En el presente trabajo realizado en el área experimental del CATIE, en Turrialba, Costa Rica se investigó el efecto de las plagas insectiles en el crecimiento del cultivo de maíz, (*Zea mays* L.), en tres épocas de siembra para estimar y predecir las pérdidas y rendimientos.

Las investigaciones se realizaron desde mayo de 1987 a febrero de 1988, los trabajos se hicieron en parcelas de campo de 100 m<sup>2</sup>, con un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones para cada época. El diseño de parcelas divididas se usó para evaluar la época de siembra con sus tratamientos y repeticiones.

En las diferentes parcelas se aplicaron los tratamientos A. Control químico para los insectos del suelo en el momento de la siembra. B. Control químico a insectos en el follaje durante el ciclo de vida del cultivo. C. Control químico para los insectos en el suelo y del follaje y D. Tratamiento libre de control químico que se tomó como testigo.

Se contabilizó cada ocho días desde la emergencia hasta floración femenina, el número de plantas atacadas por insectos, el área foliar total de la planta y la disminuída por acción de los insectos, el desarrollo fenológico de la planta, la producción de materia seca, rendimiento de maíz sano y pérdidas producidas por acción de los insectos plaga y transmisores de enfermedades.

Bajo estas condiciones, el tratamiento C, fue el menos afectado por los insectos en las tres épocas de siembra, y en el que se obtuvieron los mejores rendimientos de grano. El tratamiento más afectado por las plagas y el que menos produjo en rendimiento fue el testigo. Los tratamientos A y B ocuparon lugares intermedios entre los dos enunciados anteriormente.

Con estos parámetros y datos de campo, se construyó una subrutina de plagas que fue incluida en el modelo CERESN-86 en la de crecimiento (GROSUB), para estimar y predecir las pérdidas y rendimientos del cultivo. En esta subrutina, se intervino el índice de área foliar acumulado diariamente por el modelo (PLA), disminuyéndolo en porcentajes de acuerdo a lo observado en el campo y con intervalos de ocho días entre daño y daño.

Los datos simulados por el modelo se aproximan a los observados en el campo, siendo aquellos superiores a los obtenidos en el experimento, debido a que el modelo no toma en cuenta las restricciones de competencia e interferencia intra e interespecífica de la planta, para obtener el rendimiento final. No existe diferencia estadística mediante la prueba de  $X^2$  entre los valores simulados y observados.

Con la subrutina de plagas incluida en el modelo CERESN se puede estimar y predecir los rendimientos del cultivo, en cualquier etapa fenológica. De los datos simulados por el modelo en cada muestreo se puede tomar la decisión de manejo del cultivo y control de plagas para mejorar la producción.

GUEVARA B., L.F. 1988. Estimation and simulation of crop losses caused by insect pests in maize (*Zea mays* L.). M.Sc. Thesis, Turrialba, Costa Rica, CATIE. 190 p.

Key words: *Zea mays* (L), model, CERESN-86, simulation, Costa Rica, crop loss assessment, insect pests, *Erwinia stewartii*, chemical control, sowing date.

## SUMMARY

Work was carried out in the experimental plots at CATIE, Turrialba, Costa Rica, to determine the effect of insect pests on the growth of maize (*Zea mays* L.) at three sowing times and to estimate and predict losses and yields.

Trials were carried out from May 1987 to February 1988 in 100 m<sup>2</sup> field plots with a completely randomised block design and four replicates for each sowing date. A split plot design was used to evaluate sowing time against treatments and replicates.

The main plot treatments were: A. Chemical control of soil insects at sowing; B. Chemical control of leaf feeding insects throughout the cropping cycle; C. Chemical control of both soil and leaf feeding insects; D. No chemical control (check).

The following data were taken weekly from germination to female flowering: the number of plants attacked by insects; the total leaf area of the plants and the reduction caused by insect action; the phenological development of the plant; dry matter production; the yield of healthy maize and the losses caused by the action of insect pests and disease vectors.

Treatment C was least affected by insects at all three sowing times and produced the greatest grain yields. The check was the most affected by pests and produced the lowest yields. Treatments A and B occupied positions between these two.

These parameters and field data were used to construct a pest subroutine within the model CERESN-86, in the growth subroutine (GROSUB). This was used to estimate and predict crop losses and yields. The daily, accumulated leaf area index (PLA), which intervenes in the GROSUB subroutine, was reduced percentually at weekly intervals, in accordance with the field observations.

Data simulated by the model approximate those observed in the field. They are higher than those obtained experimentally since the model does not allow for competition and intra- or inter-specific plant interference to obtain final yield data. Statistical differences were not found between simulated and observed values according to the chi-squared test.

Crop yields can be estimated and predicted at any phenological stage using the pest subroutine included in the CERESN model. From data simulated by the model for each sample, crop management and pest control decisions can be taken to improve production.

## LISTA DE CUADROS

Número	Título	Página
1.	Análisis de varianza de producción de biomasa total en el cultivo de maíz durante el período de experimentación	66
2.	Determinación de la mejor época de siembra y mejor tratamiento para la producción de biomasa total en porcentaje en porcentaje del peso total por planta, en el cultivo de maíz mediante la prueba de Tukey	67
3.	Análisis de varianza del índice de disminución (P), producido por insectos en el área foliar en maíz en cada muestreo realizado, durante el período de experimentación	74
4.	Análisis de varianza del índice de área foliar sin efecto de plagas insectiles en maíz durante el período de experimentación	77
5.	Análisis de varianza del índice de área foliar teniendo en cuenta el daño producido por insectos en maíz durante el período de experimentación	78
6.	Disminución del IAF por el coeficiente (P), en plantas de maíz de acuerdo al tratamiento, según prueba de Tukey	79
7.	Análisis de varianza de rendimiento en el cultivo de maíz sano, afectado por plaga y de bacteria durante el período experimental. Tomado en porcentaje del peso total por planta	82
8.	Comparación de rendimientos (%) de maíz sano y pérdidas por plagas y bacteria, de acuerdo a la época y tratamiento aplicado	82
9.	Variación de los coeficientes genéticos del cultivar tuxpeño durante tres épocas de siembra para la simulación del modelo CERESN-86	89
10.	Incidencia de las principales plagas durante el desarrollo fenológico del maíz	91

11.	Clasificación de insectos recolectados en el cultivo de maíz durante el experimento	93
12.	Diseño de estimación de alternativas para obtener rendimientos (%), de maíz de acuerdo al número de muestreos y daño de insecto	119

## APENDICE

Número	Título	Página
1A.	Biomasa aérea para hojas, tallo, flor, fruto y total por muestreo en cada tratamiento y época de siembra. Cultivo de maíz tuxpeño. Estación La Montaña Turrialba. Costa Rica. CATIE 1987-1988	159
2A.	Variaciones del Índice de Área Foliar en cultivo de maíz con y sin efecto de plagas insectiles y coeficiente de disminución (P), del área foliar. Estación experimental "La Montaña". CATIE. Turrialba, Costa Rica 1987-1988	161
3A.	Variación del rendimiento de grano completamente sano, afectado por plaga y bacteria en el cultivo de maíz durante tres épocas de siembra. Determinación del número de plantas afectadas por plagas. Valor total de rendimiento en kg/ha por tratamiento y por siembra	162
4A.	Contenido en porcentaje de nitrógeno en los diferentes órganos de la planta de maíz en cada una de las épocas de siembra en la madurez fisiológica	164
5A.	Promedio de 16 mazorcas por parcela para determinar los componentes de rendimiento en las tres épocas de siembra de maíz	165
6A.	Valores de rendimiento y biomasa de maíz tuxpeño simulado por el modelo para cuatro tratamientos en tres épocas de siembras	166
7A.	Archivo de parámetros de los tratamientos de control de plagas del suelo en la primera siembra y sin control en la tercera siembra utilizado para la simulación del modelo	167
8A.	Radiación solar en Cal/cm <sup>2</sup> /día. Estación experimental "La Montaña". CATIE. Latitud 9° 52'. Longitud 83° 38'. Altura 590 mts. Turrialba, Costa Rica	168

9A.	Frecipitación en milímetros/día. Estación experi- mental "La Montaña". CATIE. Latitud 9° 52'. Lon- gitud 83° 38'. Altura 590 mts. Turrialba, Costa Rica	169
10A.	Temperatura máxima en grados centigrados. Estaci- ón experimental "La Montaña" CATIE Latitud 9° 52' Longitud 83° 38'. Altura 590 mts. Turrialba, Cos- ta Rica	170
11A.	Temperatura mínima en grados centigrados. Estaci- ón experimental "La Montaña" CATIE Latitud 9° 52' Longitud 83° 38'. Altura 590 mts. Turrialba, Cos- ta Rica	171
12A.	Variación de la biotemperatura diaria en grados- día durante el período experimental de siembra de maíz. Estación experimental La Montaña. CATIE Turrialba, Costa Rica	172
13A.	Propiedades químicas de suelo realizadas en la calicata del lote experimental Estación "La Monta- ña". CATIE. Turrialba, Costa Rica. 1988	173
14A.	Propiedades físicas de suelo realizadas en la ca- licata del lote experimental. Estación "La Monta- ña". CATIE. Turrialba, Costa Rica. 1988	173

## LISTA DE FIGURAS

Número	Título	Página.
1.	Arreglo espacial de bloques, tratamientos, y cultivo de maíz en el diseño experimental. Area útil y zona de muestreo. Estación experimental "La Montaña" CATIE. 1987-1988	43
2.	Diagrama de flujo del modelo CERES con la subrutina de plagas. Versión nitrógeno 1986	56
3.	Diagrama de flujo de la subrutina de plagas insectiles incluida en el modelo CERESN-86	57
4.	Modelo esquemático de recolección y proceso de datos durante el experimento para diseñar la subrutina de plagas en el modelo CERESN-86	59
5.	Variación porcentual de la biomasa en (T) tallo, (H) hoja, (I) inflorescencia y (F) fruto en maíz tuxpeño durante la primera siembra	63
6.	Variación porcentual de la biomasa en (T) tallo, (H) hoja, (I) inflorescencia y (F) fruto en maíz tuxpeño durante la segunda siembra	64
7.	Variación porcentual de la biomasa en (T) tallo, (H) hoja, (I) inflorescencia y (F) fruto en maíz tuxpeño durante la tercera siembra	65
8.	Variación por planta del Índice de Area Foliar total y con plagas por muestreo en maíz tuxpeño durante la primera siembra	70
9.	Variación por planta del Índice de Area Foliar total y con plagas por muestreo en maíz tuxpeño durante la segunda siembra	71
10.	Variación por planta del Índice de Area Foliar total y con plagas por muestreo en maíz tuxpeño durante la tercera siembra	72
11.	Variación del coeficiente de disminución del IAF para los cuatro tratamientos en maíz tuxpeño durante el experimento	75

12.	Rendimiento porcentual de maíz sano y pérdida por plagas y bacteria en las tres épocas de siembra en los cuatro tratamientos	81
13.	Estados de crecimiento del maíz (De USDA, Tech. Bull. 976 y Hanway 1963. Iowa State University)	87
14.	Pérdida porcentual de rendimiento debido a efecto de plagas y bacteria en los cuatro tratamientos durante el ciclo experimental	97
15.	Variación del IAF con plagas (CP) y total (AT), simulado por el modelo para los cuatro tratamientos en la primera siembra	98
16.	Variación del IAF con plagas (CP) y total (AT), simulado por el modelo para los cuatro tratamientos en la segunda siembra	99
17.	Variación del IAF con plagas (CP) y total (AT), simulado por el modelo para los cuatro tratamientos en la tercera siembra	100
18.	Variación de la biomasa en tallos (T), hojas (H) y frutos (F), simulada por el modelo en los cuatro tratamientos en la primera siembra	102
19.	Variación de la biomasa en tallos (T), hojas (H) y frutos (F), simulada por el modelo en los cuatro tratamientos en la segunda siembra	103
20.	Variación de la biomasa en tallos (T), hojas (H) y frutos (F), simulada por el modelo en los cuatro tratamientos en la tercera siembra	104

#### APENDICE

Número	Título	Página.
21.	Valores de radiación solar y precipitación durante el periodo experimental	144
22.	Variación de la temperatura máxima y mínima, en los tres ciclos de cultivo de maíz tuxpeño	146
23.	Variación de los grados día en las tres épocas de siembra de maíz	147

24.	Variaciones del pH con diferente relación agua suelo y KCl. Contenido de nitrato y amonio por estratos en el lote N° 10 de la Estación "La Montaña"	150
25.	Variaciones del contenido de N, P, K, y M.O. en siete estratos en el lote N° 10 de la estación experimental "La Montaña"	151
26.	Determinación de la textura del suelo en siete estratos diferentes	154
27.	Variación de las características físicas del suelo; D.A., S.A.T., F.M.P. y C.C. en siete estratos del lote experimental N° 10 de "La Montaña"	155