

EFFECTO DE FACTORES CLIMÁTICOS Y EDÁFICOS SOBRE LAS POBLACIONES DE PLAGAS RIZÓFAGAS DEL MAÍZ Y TEOCINTLE

SALVADOR DE LA PAZ¹, JOSÉ ARIEL RUIZ², JOSÉ DE JESÚS SÁNCHEZ³ Y RAMÓN GARZA⁴.

¹ Departamento de Producción Agrícola. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara. Km 15.5 carretera Guadalajara a Nogales, Zapopan, 45101, Jalisco, México. E.mail: salvador.delapaz@cucba.udg.mx.

² Centro de Investigación Regional del Pacífico (CIRPAC). Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). E.mail: ruiz.ariel@inifap.gob.mx.

³ Instituto de Manejo y Aprovechamiento de los Recursos Fitogenéticos. Departamento de Producción Agrícola. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara. Km 15.5 carretera Guadalajara a Nogales, Zapopan, 45101, Jalisco, México. E.mail: jjsanche@cucba.udg.mx.

⁴ Campo Experimental Valle de México. Centro de Investigación Centro. Km 18.5 carretera Los Reyes-Lechería, Chapingo, Texcoco, México. E. mail : garza.ramon@inifap.gob.mx.

De la Paz *et al.*: Efecto de factores climáticos sobre plagas rizófagas.

EFFECTO DE FACTORES CLIMÁTICOS Y EDÁFICOS SOBRE LAS POBLACIONES DE PLAGAS RIZÓFAGAS DEL MAÍZ Y TEOCINTLE

RESUMEN: Los objetivos del presente estudio fueron determinar el efecto de factores climáticos y edáficos sobre la incidencia de plagas de la raíz y proponer algunos modelos de regresión que permitan explicar la dinámica de estos insectos en función de factores ambientales. Para ello se realizaron muestreos de campo en los estados de Jalisco, Michoacán, México y Puebla, en los años de 2001, 2002, y 2003. Los sitios de muestreo variaron entre estados y años de observación. El muestreo de insectos se efectuó con una frecuencia de 15 a 21 días. Los resultados mostraron incidencia importante de gallina ciega, falsos y verdaderos gusanos de alambre, esqueletonizador y diabrotica en maíz y teocintle, en los estados de Jalisco y Michoacán, mientras que en México y Puebla no se presentaron. Las densidades poblacionales de las tres primeras plagas fueron similares en ambos cultivos, no así para el caso de diabrotica, la cual mostró mayor actividad en maíz. La gallina ciega y los falsos y verdaderos gusanos de alambre fueron dominantes. Se determinó la relación existente entre algunas variables climáticas y del suelo con las poblaciones del complejo de plagas rizófagas. Los factores que mostraron mayor influencia, fueron: la altura sobre el nivel del mar, la precipitación pluvial anual, los porcentajes de limo y materia orgánica, y la temperatura promedio del periodo mayo-octubre; su influencia sobre cada una de las plagas fue de diferente magnitud. Se obtuvieron dos modelos de regresión múltiple para el total de plagas en maíz y teocintle. Los valores de sus coeficientes de determinación fueron de 0.80 y 0.83, respectivamente. La comprensión de las interacciones entre la dinámica poblacional del complejo de plagas rizófagas y los factores edafoclimáticos proporcionaron información que puede ser utilizada para determinar zonas que promoverían altas densidades poblacionales, lo que permitiría implementar estrategias adecuadas en el manejo de plagas.

PALABRAS CLAVE: Teocintle, Factores Ambientales, Plagas Rizófagas, Maíz.

EFFECT OF CLIMATIC AND EDAPHIC FACTORS ON THE POPULATIONS OF CORN AND TEOSINTE ROOT PESTS

ABSTRACT: The objectives of the present study were to determine the incidence of root pests of agricultural importance in corn and teosinte, to quantify the effect of climatic and edaphic factors on the root pests and to develop some regression models that explain the

dynamics of these insects in function of environmental factors. Field samplings were carried out in the states of Jalisco, Michoacan, Mexico and Puebla, during the years 2001, 2002, and 2003. The sampling sites varied between states and years of observation. The sampling of insects was made with a frequency of 15 to 21 days. The results showed important incidence of white grub larvae, false and true wire worms, grape colaspis and corn rootworms in corn and teosinte, in the states of Jalisco and Michoacan, while in Mexico and Puebla they were not observed. The population densities of the first three pests were similar in corn and teosinte, however in the case of corn rootworms, they showed a bigger activity in corn. The white grub larvae and false and true wire worms were dominant. Relationships among some climatic and edaphic variables with the populations of the complex of root pests were determined. The factors that showed more influence were: altitude, annual rain, the percentages of lime and organic matter, and the average temperature of the period May-October; its influence on each one of the pests was of different in magnitude. Two models of multiple regression were obtained for the total pests in corn and teosinte. The values of their determination coefficients were of 0.80 and 0.83, respectively. The understanding of the interactions between the population dynamics of the complex of root pests and the edaphic-climatic factors provide information that can be used to determine areas that would promote high population densities; also they may be useful in implementing the best strategies in the management of pests.

KEY WORDS: Teosinte, Environmental Factors, Root Pests, Maize.

INTRODUCCIÓN

El maíz es una planta domesticada descendiente de la especie tropical de teocintle *Zea mays* spp. *parviglumis* Iltis & Doebley, 1980 (Matzuoka *et al.*, 2002). Es uno de los cereales más importantes del mundo, posee gran diversidad genética y se cultiva en una gran diversidad de ambientes, desde el Ecuador, hasta cerca de 50° latitud Norte y 42° latitud Sur, y a alturas hasta de 3800 m (Ortega, 1987). En México, es el cultivo de mayor importancia social y económica, ocupando el primer lugar en superficie cosechada y producción. En 2005, se cosecharon 6.6 millones de hectáreas, estimándose una producción de 19.34 millones de toneladas de grano y un rendimiento medio de 2.93 ton/ha (INEGI, 2006a). La dieta alimenticia del pueblo mexicano se fundamenta en el consumo de este grano que se estima en 186 kg/persona/año (INEGI, 2006b). Este cultivo proporciona empleo y medios de subsistencia al 20% de la población económicamente activa del país (Sierra *et al.*, 2007).

En la República Mexicana, el teocintle se encuentra distribuido casi exclusivamente en áreas tropicales y subtropicales, ubicándosele también en Guatemala, Honduras y Nicaragua. Entre los factores que limitan la producción de las plantas, sobresalen los insectos, enfermedades y maleza, los cuales son importantes en prácticamente todo el

planeta, ya que ocasionan la pérdida del 20% de la producción mundial de granos (WMO, 1988).

La información respecto a insectos plaga y daños causados al maíz, es abundante. Así, Ortega (1987) reportó la presencia de 61 géneros y 26 especies de insectos y ácaros que afectan la producción de maíz a nivel mundial, señalando que estas plagas son capaces de infestar al cultivo en cualquier etapa de su desarrollo, pudiendo atacar cualquier parte de la planta, a menudo con graves consecuencias. En México, Rodríguez-Del Bosque y Marín (2008), estiman que los insectos nocivos del maíz provocan pérdidas en promedio de 30%, aunque bajo ciertas condiciones, los daños son tan severos que las pérdidas pueden ser totales, señalando 23 insectos plaga que comúnmente atacan al cultivo; información similar ha sido reportada por diversos autores (Loera y Sifuentes, 1974; Rodríguez-Del Bosque, 1978; Díaz, 1978; Loya, 1978; Anónimo, 1980; Sifuentes, 1985; Ortega, 1987; De la Paz, 1993; y Marín, 2001).

En el caso del teocintle y otras especies silvestres, las publicaciones son escasas y a veces limitadas en su circulación. En este sentido, Melhus y Chamberlain (1953), al estudiar el teocintle tipo Guatemala [*Zea luxurians* (Durieu & Ascherson) Bird, 1978] encontraron insectos que se alimentaban del cogollo, raíz y tallo; información similar fue obtenida por Moya-Raygoza *et al.* (1988, 1993)

y Serratos *et al.* (1996), al describir la incidencia de insectos asociados al teocintle perenne *Zea diploperennis* Iltis, Doebley & Guzmán, 1979.

En la República Mexicana, las plagas que se alimentan de la raíz del maíz ocupan el segundo lugar en importancia (Ríos, 1986). Investigadores que han trabajado en esta área, mencionan la presencia de varios géneros y especies (Loera y Sifuentes, 1974; Rodríguez-Del Bosque, 1978; Díaz, 1978; Loya, 1978; Anónimo, 1980; Sifuentes, 1985; De la Paz, 1993; y Marín, 2001). Entre los pocos trabajos reportados sobre insectos rizófagos en teocintles anuales, están los de Melhus y Chamberlain (1953), quienes observaron bajo condiciones de campo, la presencia de diabroticas. En los teocintles perennes (*Z. diploperennis*), Branson y Reyes (1983), Serratos *et al.* (1996), y Moya-Raygoza *et al.* (1988, 1993), identificaron larvas de varios géneros y especies asociadas a las raíces y rizomas.

En el país, algunos investigadores mencionan regiones con diferentes gradientes de incidencia de plagas rizófagas, delimitando zonas geográficas (estados, municipios, etc.), o indicando tipos de clima o áreas de cultivo (Loera y Sifuentes, 1974; Díaz, 1978; Rodríguez-Del Bosque, 1978; Loya, 1978; Anónimo, 1980; Sifuentes, 1985; Ortega, 1987; De la Paz, 1993, y Marín, 2001). Estos criterios no responden a una relación causa-efecto y no se fundamentan en la cuantificación de las poblaciones y su interacción con factores ambientales (principalmente temperatura y precipitación pluvial), o de otro tipo como factores edáficos, manejo del suelo, variables del terreno, etc. (Bergman y Turpin, 1986; Gillespie, 1994; French *et al.*, 2004; y Beckler *et al.*, 2004).

Actualmente, la disponibilidad de sistemas de información geográfica y bases de datos geográficos, de clima y otras variables de diagnóstico, como vegetación, topografía, tipos de suelo y manejo del sistema, han probado ser buenas herramientas para investigar áreas potenciales de distribución de plagas (Ruiz *et al.*, 2001; French *et al.*, 2004).

Basados en los aspectos anteriormente señalados, los objetivos de este estudio, fueron:

- a) Determinar las plagas rizófagas de importancia agrícola que inciden en el maíz y teocintle en once localidades de la región Occidente de México.
- b) Identificar qué factores climáticos y edáficos influyen sobre las poblaciones de plagas rizófagas.
- c) Proponer algunos modelos de regresión múltiple que permitan, en una primera aproximación, mejor comprensión de los factores que regulan la presencia de las plagas rizófagas en el maíz y teocintle en el Occidente de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio. El área de estudio comprendió los estados de Jalisco, Michoacán, México y Puebla y los años de observación fueron 2001, 2002 y 2003. El número de sitios de muestreo seleccionados variaron entre estados y años de observación (Cuadro 1).

Caracterización edafo-climática de sitios de muestreo. Para cada predio, se determinó su localización geográfica y altitud mediante un posicionador geográfico. También, se tomó una muestra de suelo representativa antes de la siembra, a una profundidad de 0-30 cm, determinándose en laboratorio los porcentajes de arena, arcilla, limo, materia orgánica, potencial hidrógeno, y conductividad eléctrica. Para caracterizar las condiciones climáticas de los sitios de muestreo se utilizó el Sistema Nacional de Información Ambiental (SNIA) del INIFAP (Medina *et al.*, 1998), el cual está compilado en el sistema de información geográfica IDRISI (Eastman, 1999), en formato "raster" y con una resolución de 900 m. La caracterización climática de los sitios de muestreo se realizó mediante el sistema IDRISI al reconocer las coordenadas geográficas de cada sitio en las imágenes

Efecto de factores climáticos y edáficos

Cuadro 1

Localización de sitios de muestreo.

Estado	Municipio	Sitio de muestreo	Año	No. de muestreos	Altitud (m)	Grados	
						Longitud	Latitud
Jalisco	Guachinango	Km.10	2001	7	1385	104.419	20.629
		Guachinango	2002	11	1385	104.419	20.629
		La Ciénega	2003	9	1385	104.419	20.629
	Ejutla	San Lorenzo	2001	6	950	103.995	19.945
			2002	9	950	103.995	19.945
			2003	8	950	103.995	19.945
		Ejutla	2001	6	1070	104.157	19.912
			2003	8	1334	104.172	19.899
			2001	8	1485	102.632	20.322
	La Barca Villa Purificación	La Providencia	2001	8	1485	102.632	20.322
Talpitita		2001	7	550	104.803	19.715	
Michoacán	Churintzio	Churintzio	2001	7	1880	102.059	20.157
			2002	10	1880	102.059	20.157
			2003	9	1880	102.059	20.157
	Copándaro	San Agustín del Maíz	2001	7	1825	101.179	19.890
México	Texcoco	Santa Lucía	2001	10	2285	98.885	19.443
		Boyeros	2002	12	2250	98.920	19.495
	Zoyatzingo	Zoyatzingo	2001	9	2498	98.776	10.086
Puebla	San Salvador El Seco	San Salvador El Seco	2001	11	2380	97.439	19.187

temáticas del SNIA. Con este procedimiento se obtuvieron las siguientes variables: temperatura media, temperatura máxima media, temperatura mínima media y precipitación acumulada promedio para el periodo anual y periodo mayo-octubre. Este último se seleccionó porque cubre el periodo entre el inicio de siembras y cosecha del maíz, en el que ocurre el mayor porcentaje de lluvia anual, el desarrollo vegetativo de las especies vegetales y el de los insectos rizófagos, además de cubrir etapas consideradas críticas de las plagas, como la emergencia y oviposición. Debido a que los huevecillos, larvas y pupas de las plagas rizófagas permanecen en el suelo, la temperatura del suelo parece ser la unidad térmica apropiada (Elliott *et*

al., 1990). Sin embargo, dado que la mayoría de las estaciones climáticas del área de estudio solo miden la temperatura del aire, se utilizó esta variable.

Muestreo de insectos. Con la finalidad de determinar la incidencia de las diversas especies de insectos que se alimentan de la raíz del maíz y teocintle, se realizaron muestreos cada 15 a 21 días en 2001, y cada 15 días en 2002 y en 2003, una vez que se produjo la nacencia del maíz. Los muestreos se efectuaron durante todo el desarrollo de las plantas bajo condiciones de campo, por un lapso de 6 meses aproximadamente. En cada muestreo, se tomaron al azar cinco plantas de teocintle y cinco de maíz en el 2001, diez plantas de cada especie en el 2002, y diez plantas de maíz y doce de teocintle durante

el 2003. El tallo de cada planta seleccionada se cortó con una rozadera al nivel del suelo, dejando la raíz de la misma como el centro de un cepellón o cubo de suelo de 30 × 30 × 30 cm. Cada cepellón se introdujo a una bolsa de plástico negro de 90 × 120 cm de ancho y largo, respectivamente, para su traslado al Laboratorio de Taxonomía de Insectos del Departamento de Producción Agrícola del CUCBA en donde se separaron los especímenes, contabilizándose por familia y/o género. El estudio consideró los siguientes insectos plaga:

- a) Gallina ciega, constituida por los géneros *Phyllophaga*, *Cyclocephala*, *Anomala* y *Macrodactylus*.
- b) Doradilla *Diabrotica* spp.
- c) Esqueletonizador *Colaspis* spp.
- d) Verdaderos y falsos gusanos de alambre (Familias: Elateridae, Cebrionidae y Tenebrionidae).

La selección de las plagas se determinó considerando su importancia económica reportada para el cultivo del maíz en México.

Análisis estadísticos. Los valores originales de las capturas de las larvas rizófagas primeramente fueron ajustados con base en los diferentes tamaños de muestra utilizados en cada año y especie vegetal, lo cual dio origen al total de larvas por ciclo agrícola (No. de larvas /No. de cepellones), y posteriormente se ajustaron por el número de muestreos realizados en las diferentes localidades y años (No. de larvas/ No. de cepellones/ No. de muestreos), dando lugar al promedio de larvas por cepellón por ciclo.

Los datos promedio de las poblaciones larvales de las plagas colectadas en el maíz y teocintle, fueron comparados entre sí para determinar diferencias entre ellos mediante una prueba de "t". Con el propósito de determinar la relación existente entre los totales y promedios de insectos por grupo y en conjunto del complejo y las variables inde-

pendientes edafoclimáticas: altura sobre el nivel del mar (altitud), precipitación media anual (pma) y precipitación media del periodo mayo-octubre (pmm-o), temperatura máxima anual (tmaxa), temperatura media anual (tmeda), temperatura mínima anual (tmina), temperatura máxima para el periodo mayo-octubre (tmáxm-o), temperatura media para el periodo mayo-octubre (tmedm-o), temperatura mínima para el periodo mayo-octubre (tminm-o), porcentaje de arena (pa), porcentaje de limo (pl), porcentaje de arcilla (parc), porcentaje de materia orgánica (pmo), potencial hidrógeno (pH), y conductividad eléctrica (ce), se realizaron análisis de correlación de Pearson y regresiones lineales, cuadráticas y cúbicas, con el Sistema de Análisis Estadístico (SAS), tanto en maíz como en teocintle. Posteriormente, se propusieron tres modelos completos de regresión múltiple; el primero de ellos (I) con las variables (altitud, pma, tmedm-o, pl y pmo); el segundo modelo (II), consideró las 14 variables edafoclimáticas mencionadas, y finalmente, el tercer modelo (III) incluyó las variables del modelo I pero elevando los valores a las potencias cuadráticas y cúbicas, utilizando la transformación arco-seno. Paralelamente, con los modelos completos, se usó el procedimiento "Stepwise" que selecciona en cada paso sucesivo, la variable que más contribuye al poder discriminador del modelo. El nivel de significancia para que una variable entrara o permaneciera en el modelo fue de 0.10 (SAS Institute, 1998).

En todos los análisis estadísticos se utilizaron las transformaciones arco-seno y arco-seno (x+1) con el fin de normalizar la distribución y disminuir las varianzas de los datos originales, debido a que se presentaron algunas observaciones con valor cero.

RESULTADOS

Se identificaron poblaciones de larvas rizófagas en los tres años de estudio y sitios de muestreo que corresponden a los estados de Michoacán y Jalisco;

en los cuatro sitios restantes pertenecientes a los estados de México y Puebla, no se presentaron plagas rizófagas, lo cual probablemente se debió a la altitud y condiciones de temperatura de estos sitios (Cuadro 2). En Michoacán y Jalisco las plagas presentes constituyeron un complejo conformado por gallina ciega, diabrotica, esqueletonizador y los falsos y verdaderos gusanos de alambre, ocurriendo simultáneamente en maíz y teocintle. La gallina ciega mostró la mayor densidad poblacional seguida por los falsos y verdaderos gusanos de alambre, la diabrotica y finalmente el esqueletonizador. Las pruebas de *t* realizadas con los valores originales y las transformaciones $\log_{10}(x+1)$, y arco-seno $(x+1)$, no detectaron diferencias significativas entre las poblaciones de estos insectos plaga en maíz y teocintle, no así en diabrotica, ya que las tres pruebas indicaron poblaciones significativamente más altas en maíz que en teocintle. Con respecto a las poblaciones del total de plagas en maíz y teocintle, no se encontró diferencia significativa (Cuadro 2).

Los valores de los coeficientes de correlación obtenidos con los datos originales entre las variables edafoclimáticas y las poblaciones promedio de las diversas plagas rizófagas en lo individual y el total en maíz y teocintle, se presentan en el Cuadro 3. Las variables pmo y pl, tmedm-o, tminm-o, tmáxm-o, tmina, tmeda y tmáxa, tuvieron un efecto positivo sobre las poblaciones insectiles, mientras que altitud, pma, pa, parc, pmm-o, y el pH mostraron un efecto negativo sobre la densidad poblacional de las plagas. Se consideró que: pmo, pl, tmedm-o, altitud y la pma, son las variables de mayor importancia, porque sus coeficientes mostraron valores mayores a 0.5 y fueron significativos.

En el Cuadro 4, se presentan las correlaciones y significancia de cinco variables edafoclimáticas seleccionadas y las plagas rizófagas, con los datos transformados mediante la función arco-seno $(x+1)$ que mejoró sustantivamente los valores originales de las comparaciones y su significancia. La asociación entre cada variable agroclimática seleccionada

y las plagas rizófagas, mostró diferente intensidad, pues la gallina ciega fue sensible al efecto de todas las variables, los falsos y verdaderos gusanos de alambre no se vieron afectados por la pma; el esqueletonizador fue reactivo al pl y a la tmedm-o, pmo, y la altitud, e insensible a la pma. La diabrotica solo respondió al pmo.

El pmo fue más importante para los falsos y verdaderos gusanos de alambre, el esqueletonizador, gallina ciega, y la diabrotica, en ese orden, respectivamente. El pl y la tmedm-o tuvieron un efecto similar sobre los falsos y verdaderos gusanos de alambre, gallina ciega, y esqueletonizador, no así sobre la diabrotica. La pma mostró valores bajos y negativos para gallina ciega, indicando que la lluvia abundante reduce sus poblaciones, no siendo igual la respuesta de la diabrotica, el esqueletonizador y los falsos y verdaderos gusanos de alambre fueron insensibles a este factor. Al incrementarse la altitud disminuyeron las poblaciones de los falsos y verdaderos gusanos de alambre y en menor intensidad la gallina ciega y el esqueletonizador; la diabrotica no fue afectada. Al aumentar los valores del pmo y el pl así como la tmedm-o proporcionaron condiciones favorables para el incremento de las poblaciones, no así la altitud y la pma que mostraron un efecto depresor. Al considerar el total de plagas, las variables presentaron valores con un rango de -0.48 a 0.68 y probabilidades de significancia iguales o mayores a 0.05, indicando su importancia en proporcionar condiciones adecuadas al complejo de plagas.

Al comparar las correlaciones y su significancia entre las plagas rizófagas, tanto en forma individual, como el total en maíz y teocintle, sus valores muestran semejanza y consistencia, indicando que su presencia en ambas especies vegetales es similar.

Para describir la relación existente entre las plagas rizófagas y los factores agroclimáticos en forma conjunta, se utilizó regresión múltiple con datos transformados a arco-seno (Cuadro 5).

Cuadro 2

Promedios individuales de plagas rizófagas/ cepellón, y el total en maíz y teocintle en tres años de muestreo y once localidades en cuatro estados de México, y su comparación estadística mediante la prueba de "t".

Estado	Sitio de muestreo	Año	G.ciega		Diabrotica		Esqueletonizador		F. y v. g. alambre		Total Plagas	
			Maíz	Teocintle	Maíz	Teocintle	Maíz	Teocintle	Maíz	Teocintle	Maíz	Teocintle
Jalisco	Guachinango	2001	0.914	1.000	0.257	0.086	0.057	0.114	0.314	0.457	10.800	11.600
		2002	0.354	1.009	0.027	0.063	0.100	0.245	0.054	0.245	5.900	17.200
		2003	0.300	0.342	0.055	0.018	0.611	0.083	0.077	0.222	9.400	5.990
	Talpitita Ejutla	2001	0.885	1.200	0.114	0.057	0.228	0.086	0.228	0.371	10.200	12.000
		2001	1.133	2.333	0.100	0.000	0.066	0.133	0.133	0.100	8.600	15.400
		2003	0.550	0.312	0.062	0.240	0.337	0.062	0.125	0.115	8.600	5.840
	San Lorenzo	2001	0.966	1.066	0.133	0.100	0.100	0.066	0.166	0.100	8.200	8.000
		2002	0.511	0.788	0.055	0.000	0.155	0.266	0.211	0.333	8.400	12.500
		2003	0.162	0.562	0.025	0.041	0.062	0.145	0.212	0.162	3.700	7.290
La Barca	2001	1.700	1.225	0.975	0.375	0.000	0.100	0.300	0.475	23.800	17.400	
	S.S. El Seco	2001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Michoacán	Churintzio	2001	1.800	2.828	0.800	0.200	0.142	0.571	0.285	0.114	21.200	26.000
		2002	1.630	0.910	0.030	0.010	0.170	0.230	0.080	0.180	19.100	13.300
		2003	0.600	1.101	0.266	0.222	0.088	0.148	0.355	0.305	11.800	15.990
	Copándaro	2001	0.400	0.257	0.657	0.028	0.143	0.171	0.057	0.143	8.800	4.200
México	Zoyatzingo	2001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Sta. Lucía	2001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Boyeros	2002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Medias			0.661	0.830	0.198	0.080	0.126	0.134	0.144	0.185	8.806	9.595
Desv.Est.			0.598	0.782	0.298	0.108	0.151	0.137	0.119	0.153	7.050	7.383
Prueba de t (P > t)		ORIG	0.152		0.05		0.845		0.108		0.472	
Prueba de t (P > t)		LOG	0.138		0.046		0.798		0.117		0.520	
Prueba de t (P > t)		ARC	0.142		0.048		0.822		0.112		0.482	

Cuadro 3

Valores de los coeficientes de correlación y su significancia, entre las variables edafoclimáticas y el complejo de plagas rizófagas presentes en maíz y teocintle.

Variables independientes	Gallina ciega		Diabrotica		Esqueletonizador		F. y v. g. alambre		Total plagas	
	Maíz	Teocintle	Maíz	Teocintle	Maíz	Teocintle	Maíz	Teocintle	Maíz	Teocintle
pmo	0.44	0.34	0.27	0.38	0.15	0.47	0.64**	0.61**	0.59**	0.62**
pl	0.47*	0.46	0.27	0.22	0.34	0.38	0.47*	0.49*	0.50*	0.52*
tmedm-o	0.38	0.42	0.01	0.24	0.41	0.24	0.55*	0.58*	0.37	0.48*
tminm-o	0.36	0.44	0.00	0.26	0.43	0.29	0.56*	0.55*	0.37	0.50*
tmáxm-o	0.29	0.30	-0.04	0.22	0.49*	0.13	0.47*	0.54*	0.31	0.36
tmna	0.34	0.41	-0.04	0.23	0.39	0.23	0.53*	0.51*	0.32	0.45
tmeda	0.32	0.36	-0.03	0.23	0.44	0.17	0.50*	0.52*	0.31	0.40
tmáxa	0.28	0.31	-0.02	0.20	0.47	0.12	0.45	0.52*	0.28	0.34
altitud	-0.30	-0.40	0.01	-0.12	-0.37	-0.17	-0.50*	-0.56*	-0.27	-0.41
pma	-0.50*	-0.45	-0.37	-0.43	0.00	-0.39	-0.22	-0.16	-0.51*	-0.53*
pa	-0.34	-0.09	-0.53*	-0.36	0.10	-0.22	-0.16	-0.20	-0.48*	-0.25
parc	0.07	-0.18	0.39	0.24	-0.30	0.00	-0.11	-0.08	0.20	-0.04
pmm-o	-0.44	-0.37	-0.25	-0.38	0.19	-0.26	-0.10	0.06	-0.38	-0.39
pH	-0.39	-0.37	-0.05	-0.28	-0.08	-0.36	-0.52*	-0.30	-0.42	-0.48*

* Significativo al 5%

** Significativo al 1%

Cuadro 4

Correlaciones y su significancia con los datos transformados mediante la función arco-seno ($x + 1$), entre seis variables independientes y diez dependientes (promedios del complejo de larvas rizófagas, así como el total).

Variables	Gallina ciega		Diabrotica		Esqueleto-nizador		F. y v. g. alambre		Total plagas		Maíz		Teocintle	
	Maíz	Teocintle	Maíz	Teocintle	Maíz	Teocintle	Maíz	Teocintle	Maíz	Teocintle	Maíz	Teocintle	Maíz	Teocintle
pmo	0.53	0.53		0.49		0.62	0.66	0.68	0.65	0.68	0.66	0.68	0.65	0.68
	0.02	0.02		0.03		0.005	0.002	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.003	0.001
pl	0.61	0.60			0.55	0.56	0.59	0.62	0.62	0.62	0.59	0.62	0.62	0.62
	0.006	0.008			0.01	0.01	0.009	0.006	0.005	0.006	0.009	0.006	0.005	0.006
tmedm-o	0.59	0.64			0.60	0.51	0.72	0.72	0.58	0.72	0.72	0.72	0.58	0.66
	0.009	0.003			0.007	0.02	0.0007	0.0007	0.01	0.0007	0.0007	0.0007	0.01	0.002
altitud	-0.52	-0.61			-0.55				-0.50	-0.69	-0.67	-0.69	-0.50	-0.59
	0.02	0.007			0.01				0.03	0.001	0.002	0.001	0.03	0.009
pma	-0.48	-0.46							-0.48				-0.48	-0.50
	0.04	0.04							0.04				0.04	0.03

Cuadro 5

Comparación de dos procedimientos estadísticos de regresión múltiple (tres modelos completos conformados con variables seleccionadas vs. el manejo de los modelos mediante "Stepwise") en base a los valores de sus coeficientes de determinación a un nivel de significancia del 0.10, considerando las plagas individualmente y su total en maíz y teocintle, con los datos transformados con la función arco-seno.

Modelo (VARIABLES)	Plagas	Cultivo	Modelo Completo			Stepwise		
			R ²	F	Prob>F	R ²	F	Prob>F
I (X ₁ , X ₂ , X ₈ , X ₁₂ , X ₁₃)	Gallina ciega	Maíz	0.65	4.52	0.02	0.57	9.94	0.002
	Gallina ciega	Teocintle	0.69	5.34	0.01	0.56	9.58	0.002
	Diabrotica	Maíz	0.40	1.60	0.23	0.20	3.99	0.060
	Diabrotica	Teocintle	0.42	1.74	0.20	0.25	5.27	0.040
	Esqueletonizador	Maíz	0.43	1.77	0.19	0.37	9.34	0.008
	Esqueletonizador	Teocintle	0.63	4.05	0.02	0.62	7.47	0.003
	Fy v.g. alambre	Maíz	0.74	6.72	0.003	0.72	19.07	<0.0001
	Fy v.g. alambre	Teocintle	0.78	8.36	0.001	0.75	21.87	<0.0001
	Total	Maíz	0.74	6.66	0.003	0.72	11.87	0.000
	Total	Teocintle	0.81	9.92	0.0006	0.77	15.33	0.000
II (X ₁ , X ₂ , X ₃ , X ₄ , X ₅ , X ₆ , X ₇ , X ₈ , X ₉ , X ₁₀ , X ₁₁ , X ₁₂ , X ₁₃ , X ₁₄)	Gallina ciega	Maíz	0.88	1.60	0.39	0.57	9.94	0.002
	Gallina ciega	Teocintle	0.90	1.93	0.32	0.56	9.42	0.002
	Diabrotica	Maíz	0.90	1.87	0.33	0.20	3.99	0.060
	Diabrotica	Teocintle	0.99	22.02	0.01	0.25	5.27	0.040
	Esqueletonizador	Maíz	0.94	3.24	0.18	0.41	10.99	0.004
	Esqueletonizador	Teocintle	0.87	1.44	0.43	0.62	7.47	0.003
	Fy v.g. alambre	Maíz	0.91	2.11	0.29	0.70	17.83	0.000
	Fy v.g. alambre	Teocintle	0.99	20.03	0.02	0.79	17.88	<0.0001
	Total	Maíz	0.92	2.39	0.26	0.72	11.87	0.0004
	Total	Teocintle	0.95	3.70	0.15	0.83	22.45	<0.0001
III (X ₁ , X ₂ , X ₃ , X ₄ , X ₅ , X ₆ , X ₇ , X ₈ , X ₉ , X ₁₀ , X ₁₁ , X ₁₂ , X ₁₃)	Gallina ciega	Maíz	0.99	13.25	0.07	0.57	9.94	0.002
	Gallina ciega	Teocintle	0.99	11.69	0.08	0.61	11.58	0.001
	Diabrotica	Maíz	0.99	32.04	0.03	0.20	3.99	0.060
	Diabrotica	Teocintle	0.93	1.88	0.40	0.25	5.27	0.040
	Esqueletonizador	Maíz	0.85	0.73	0.71	0.40	10.50	0.005
	Esqueletonizador	Teocintle	0.99	29.17	0.03	0.53	8.50	0.003
	Fy v.g. alambre	Maíz	0.97	4.02	0.22	0.74	20.85	<0.0001
	Fy v.g. alambre	Teocintle	0.98	6.72	0.14	0.78	36.93	<0.0001
	Total	Maíz	0.97	4.61	0.19	0.80	12.56	0.0002
	Total	Teocintle	0.99	21.09	0.05	0.83	15.52	<0.0001

Variables: x₁: altitud; x₂: pma; x₃: pmm-o; x₄: tmina; x₅: tmeda; x₆: tmáxa; x₇: tminm-o; x₈: tmedm-o; x₉: tmáxm-o; x₁₀: pa; x₁₁: parc; x₁₂: pl; x₁₃: pmo; x₁₄: pH.

Se observó que los modelos completos de regresión múltiple mostraron los valores más altos en los coeficientes de determinación (con un rango de 0.40 a 0.99), pero únicamente se presentaron 14 casos significativos al 0.10 de probabilidad. Por su parte el procedimiento "Stepwise" identificó 30 casos de modelos significativos, aunque con valores más bajos en los coeficientes de determinación (de 0.20 a 0.83). Bajo la premisa de que en condiciones de campo se presenta el complejo de insectos rizófagos simultáneamente dañando a los cultivos, y que el modelo III (Cuadro 5) con el procedimiento "Stepwise" presentó valores altamente significativos para el total de plagas, tanto en maíz como en teocintle, y valores razonables en sus coeficientes de determinación (de 0.80 y 0.83, respectivamente), fue que se seleccionaron los siguientes modelos de regresión múltiple como los que mejor explicaron los valores observados de plagas rizófagas:

$$\begin{aligned} \text{Maíz no. insectos} &= 17.456 + 0.000017 (\text{altitud})^2 \\ &\quad - 0.00000000742 (\text{altitud})^3 \\ &\quad - 0.0170 (\text{pma}) + 0.000246 (\text{pl})^3 \\ (r^2 &= 0.80; n = 17) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Teocintle no. insectos} &= 27.757 \\ &\quad - 0.000000000737 (\text{altitud})^3 \\ &\quad - 0.0215 (\text{pma}) + 0.0079 (\text{pl})^2 \\ &\quad + 1.6713 (\text{pmo}). \\ (r^2 &= 0.83; n = 17). \end{aligned}$$

Ambos modelos presentan tres variables comunes: altitud, pma y pl, enfatizando su importancia e indicando que su acción es más relevante que los demás factores edafoclimáticos sobre las poblaciones del total de plagas rizófagas. Cabe señalar que en el modelo del teocintle, el pmo también presentó un efecto significativo. Además de las variables mencionadas, la tmm-o ocurre con un diferente nivel de participación en prácticamente todos los modelos (I, II y III), tanto en las plagas en forma individual como el total de ellas (Cuadro 5), confir-

mando su influencia sobre las poblaciones de plagas rizófagas. En general, los modelos con un mayor número de variables o aquellos en que se incluyeron los términos cuadrático y cúbico, mostraron ventajas relativas sobre los modelos más simples al describir adecuadamente la relación clima-suelo sobre las poblaciones de plagas rizófagas.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio durante tres años en los diferentes sitios de muestreo ubicados en los estados de Michoacán y Jalisco, indican que más que una especie en particular es más frecuente la presencia simultánea de varias familias, géneros y especies de larvas rizófagas de importancia agrícola en el cultivo del maíz, coincidiendo con lo señalado por Loera y Sifuentes (1974); Rodríguez-Del Bosque (1978); Díaz (1978); Loya (1978); Anónimo (1980); Sifuentes (1985); De la Paz (1993), Marín (2001); Rodríguez-Del Bosque y Marín (2008), quienes obtuvieron información similar en estudios realizados en diferentes estados de la República Mexicana.

La información generada en teocintle sólo coincide parcialmente con lo señalado por Melhus y Chamberlain (1953), ya que ellos observaron en teocintles anuales, bajo condiciones de campo, únicamente la presencia de diabroticas.

Sin embargo, hay coincidencia en lo obtenido en este estudio y lo indicado por Branson y Reyes (1983); Serratos *et al.* (1996), y Moya-Raygoza *et al.* (1988, 1993), al identificar la presencia de larvas de varias familias, géneros y especies asociadas a las raíces y rizomas, pero en teocintles perennes.

Del complejo de larvas rizófagas encontrado, la densidad poblacional de diabrotica fue significativamente superior en maíz a la registrada en el teocintle, quizá debido a la presencia de algún mecanismo de resistencia, o bien, que la raíz del maíz es más atractiva para la diabrotica. La posible resistencia en teocintle puede ser una estrategia poblacional relacionada con altos niveles de diver-

sidad genética, mientras que la mayoría de maíces muestreados fueron híbridos comerciales, con relativamente poca diversidad.

La altitud, pma, pl, pmo y tmedm-o, influyeron significativamente en diferentes grados de intensidad sobre las poblaciones larvales, tanto en forma individual, como el total de ellas en maíz y teocintle.

De los cinco factores mencionados, los tres primeros parecen ser de importancia primaria. En este estudio, el pmo fue un factor muy importante principalmente para gallina ciega, y los falsos y verdaderos gusanos de alambre, y en menor intensidad para diabrotica y esqueletonizador, en donde porcentajes de 5.0 a 8.6 los favorecieron, es decir, suelos con buen nivel de mo, favorecen sus poblaciones, coincidiendo con lo señalado por Morón (1983), quien indicó que suelos con buen porcentaje de mo favorecen la presencia de varias especies de gallina ciega con diferentes hábitos alimenticios, pero que su impacto sobre ellas es diferente, pues en las especies rizófagas estrictas actúa como fagoestimulante; en las rizófagas facultativas el daño al cultivo se reduce si existe abundancia de mo, y las saprófagas estrictas presentan altas poblaciones en suelos muy humificados o abonados con estiércol, sin dañar al cultivo.

La influencia positiva de suelos de textura pesada, como los arcillosos y limo arenosos, en la oviposición de diferentes plagas rizófagas como *Conoderus vespertinus* (Fabricius, 1801) y varias especies de *Diabrotica* (*Diabrotica longicornis* (Say., 1824), *Diabrotica virgifera* LeConte, 1858 y *Diabrotica virgifera zea* Krysan & Smith, 1987), fue señalada por Turnipseed y Rabb (1963), Kirk *et al.* (1968), Dominique y Yule (1983), y Branson *et al.* (1982), que si bien en este estudio no se muestreó este estado de desarrollo de las plagas, indirectamente se refleja en las densidades poblaciones larvales, mismas que si se consideraron. Al respecto, Turpin y Peters (1971), Turpin *et al.* (1972), y Lummus *et al.* (1983), señalaron que al

incrementarse las partículas pequeñas del suelo (un mayor porcentaje de arcilla y la porosidad), se obtuvo mayor sobrevivencia de larvas de diferentes especies de *Diabrotica* (*D. virgifera*, *D. longicornis* y *D. undecimpunctata howardi* (Barber, 1947)), asociando esta característica del suelo con mayor capacidad para almacenar agua, ya que la humedad del suelo no solo es función del agua aplicada, sino también de su porosidad. Al respecto, la información generada por estos investigadores fue similar a lo encontrado en este estudio, donde el porcentaje de limo fue un factor relevante que influyó positivamente sobre las poblaciones de los cuatro tipos de plagas rizófagas, así como el total, los valores entre el 25 y 39% de limo fueron muy favorables. También, French *et al.* (2004) y Beckler *et al.* (2004), indicaron que suelos de textura franco-arcillo-limoso favorecen altas poblaciones de adultos de *D. barberi* (Smith & Lawrence, 1967) y *D. virgifera*.

La humedad del suelo es un factor que tiene efecto multifuncional sobre las plagas rizófagas. Un buen contenido de humedad del suelo favorece mayor oviposición y colocación más profunda de los huevecillos, incentiva el inicio del desarrollo embriológico de los mismos, y propicia un incremento en la eclosión. En suelos muy secos y extremadamente húmedos no hay oviposición (Gaylor y Frankie, 1979; Gustin, 1979; Kirk, 1979; Branson *et al.*, 1982; Dominique y Yule, 1983; Rodríguez-Del Bosque, 1988). En los inmaduros de ciclo univoltino, la humedad del suelo favorece a las poblaciones de varios géneros y especies (Turpin y Peters, 1971; Lummus *et al.*, 1983, y Rodríguez-Del Bosque, 1988). Bajo este contexto, la información generada en este estudio con la variable pma que indirectamente está asociada a todos los conceptos anteriormente señalados, coincide, en lo general, a lo mencionado por estos investigadores. La pma, fue más importante que su similar pmm-o, indicando que es una variable importante, principalmente para gallina ciega y

falsos y verdaderos gusanos de alambre que pasan el invierno como larvas (de noviembre a mayo), en contraposición a la diabrotica y el esqueletonizador que lo hacen como huevecillo, remarcándose la susceptibilidad del estado de desarrollo a la humedad del suelo en ese periodo del año. De junio a octubre, también es crítica la presencia de ciertos niveles de humedad en el suelo para que la oviposición, desarrollo embrional, eclosión de huevos, y el desarrollo larval sean óptimos. Los requerimientos de pma más adecuados para gallina ciega, diabrotica y esqueletonizador, fueron entre 664 y 929 mm, los falsos y verdaderos gusanos de alambre requirieron un poco más de humedad (entre 664 y 1035 mm). Precipitaciones anuales superiores a los 1000 mm no son muy favorables para las plagas rizófagas.

En este estudio no se encontraron poblaciones larvales en alturas superiores a los 2250 m; las mayores densidades poblacionales se encontraron entre los 950 y 1880 m. Gallina ciega y falsos y verdaderos gusanos de alambre, aunque se encontraron desde los 550 hasta los 1880 m, sus poblaciones y las del esqueletonizador tendieron a ser mayores entre 950 y 1880 m.

La información obtenida en este estudio respecto a gallina ciega, es congruente con lo señalado por Morón (1983), quien mencionó la presencia de esta plaga desde 150 hasta 2500 m, sin embargo, la respuesta de la diabrotica fue diferente, pues mientras que French *et al.* (2004) encontraron altas poblaciones de *D. barberi* entre los 500 y 509 m, la especie dominante en esta región *D. virgifera zea*, mostró densidades poblacionales altas desde los 1485 hasta los 1880 m, y en proporciones bajas desde alturas superiores a los 550 m, indicando una amplia capacidad de adaptación.

El desarrollo de las poblaciones insectiles depende en gran medida de las condiciones climáticas, siendo la temperatura uno de los factores de mayor influencia, ya que regula las tasas de desarrollo, sobrevivencia y número de generaciones (Gillespie,

1994). Estos conceptos concuerdan con los resultados de este estudio en donde *tmedm-o*, *tmáxa*, *tmeda*, y *tmina*, desempeñaron un papel relevante sobre el complejo de larvas rizófagas, tanto en lo individual como sobre el total.

La *tmedm-o* presentó el mayor número de correlaciones significativas y valores razonables, siendo superior a la *tmeda* que mostró menor número de correlaciones significativas y valores ligeramente menores al primero, indicando que las temperaturas prevalecientes en el periodo (noviembre-abril) no presentaron valores extremos que ocasionaran abatimientos importantes de las poblaciones. La intensidad de respuesta a la temperatura por parte de las plagas, fue en el siguiente orden: los falsos y verdaderos gusanos de alambre, la gallina ciega, el esqueletonizador y la diabrotica. Los valores de temperatura que más favorecieron al total de plagas y en lo individual a la gallina ciega y los falsos y verdaderos gusanos de alambre, fluctuaron entre 20.0 y 26.5 °C; para la diabrotica el rango de 18.0-21.4 °C, y para el esqueletonizador entre 19.3-23.8 °C.

Sobre este importante factor, Bergman y Turpin (1986), indicaron que los modelos de predicción basados en las unidades calor del suelo, proporcionan la mejor descripción de la fenología de las poblaciones de *D. virgifera virgifera* LeConte, 1868 y *D. barberi*, variable congruente con este tipo de estudios finos, que requieren ser más puntuales. En este estudio, la utilización de la temperatura ambiente, permitió determinar su importancia sobre el complejo de plagas rizófagas, sin embargo, es factible que de haberse considerado la temperatura del suelo, los valores de los estadísticos hubieran sido mejores, como lo señalaron Elliott *et al.* (1990). Además de lo anterior, es importante considerar, que en nuestro país, prácticamente toda la información disponible en las estaciones climatológicas, es la temperatura ambiente y muy pocas consideran la del suelo, lo cual podría limitar la posibilidad de utilizar esta información en estudios no muy finos

que pudieran tener aplicación práctica para grandes áreas en donde no se requiera una precisión alta, y que la conductividad térmica del suelo interactúa con el tipo y humedad del suelo.

Es relevante señalar que el empleo de la transformación arco-seno y arco-seno $(x + 1)$ y el manejo estadístico de los datos mediante las técnicas de correlación y modelos de regresión lineales, cuadráticos, cúbicos, y múltiples, generaron información consistente y confiable al complementarse los procedimientos y mostrar diferente sensibilidad, ya que cuando un procedimiento no detectaba diferencia estadística, el otro lo registraba. Mediante este procedimiento se determinó que los factores pmo, pl, pma, altitud, y tmedm-o, al ser evaluados por separado, mostraron tener un efecto importante sobre las poblaciones insectiles, tanto en forma individual, como el total de ellas en ambos cultivos, cuando estas cinco variables se integraron en modelos lineales múltiples. La descripción de las poblaciones mejoró sustantivamente presentando una pequeña mejoría, cuando se usó la transformación arco-seno; los modelos lineales que incorporaron catorce variables a los que consideraron menos variables, pero elevadas al cuadrado y al cubo, también mostraron buen ajuste a los datos observados. La información generada en este estudio coincide con lo enunciado por Bergman y Turpin (1986) y Lawson y Jackai (1987), quienes señalaron que la influencia de otros factores diferentes a la temperatura, como el tipo y textura del suelo, y otros elementos del clima, como la precipitación pluvial, la luz, etc., pueden ser más importantes que la temperatura misma, y que su consideración en los modelos estadísticos incrementan su utilidad.

En este estudio, se subestimaron algunos factores que también adicionan variabilidad a la ocurrencia estacional de las poblaciones de las plagas rizófagas en el campo y no fueron considerados, como suelos con grietas o lisos, o cubiertos con rastrojo de diferentes tipos (Turnipseed y Rabb, 1963; Dominique

y Yule, 1983), la preparación del terreno, sobre todo en invierno (Patel y Apple, 1967; Calkins y Kink, 1969), siembras continuas o discontinuas de maíz y el tamaño de los lotes (Beckler *et al.*, 2004), así como la mortalidad causada por las aplicaciones de plaguicidas.

Los sistemas de información geográfica pueden ser utilizados en investigación para determinar áreas o superficies que propicien altas densidades poblacionales de insectos y que permita poder implementar estrategias de manejo de plagas. La investigación agrícola, programadores regionales, asesores y productores, pueden beneficiarse con esta investigación mediante la comprensión de las interacciones entre el complejo de plagas rizófagas y los factores del clima y suelo.

CONCLUSIONES

- 1) Las plagas rizófagas que inciden en maíz y teocintle en los estados de Jalisco y Michoacán, fueron la gallina ciega, los falsos y verdaderos gusanos de alambre, el esqueletonizador y la diabrotica. En los estados de México y Puebla, no se detectó su presencia. Las densidades poblacionales de la gallina ciega, los falsos y verdaderos gusanos de alambre y el esqueletonizador, fueron similares en maíz y teocintle, no así la diabrotica que mostró mayor actividad en el maíz. La gallina ciega fue el grupo de insectos dominante, siguiéndole en orden de importancia los falsos y verdaderos gusanos de alambre; el esqueletonizador y la diabrotica mostraron las densidades más bajas.
- 2) Los factores climáticos y edáficos que en forma individual mostraron mayor influencia sobre las poblaciones de plagas de la raíz, fueron: los porcentajes de materia orgánica y limo, la temperatura media del periodo mayo-octubre, la altitud y la precipitación media anual. Su impacto sobre cada una de las plagas fue de diferente magnitud.

- 3) Considerando que en el área de estudio las plagas rizófagas ocurren como un complejo, se proponen dos modelos de regresión múltiple que consideran el total de plagas para maíz y teocintle, por describir satisfactoriamente las poblaciones de estas plagas.

AGRADECIMIENTOS

A Monsanto Comercial S.A. de C.V., por el financiamiento parcial de esta investigación, y en especial la colaboración del Dr. Juan Manuel de la Fuente.

LITERATURA CITADA

- ANÓNIMO. 1980. *Principales Plagas del Maíz*. SARH. Dirección General de Sanidad Vegetal. México. 84 p.
- BECKLER, A.A., B.W. FRENCH, AND L.D. CHANDLER. 2004. Characterization of western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) population dynamics in relation to landscape attributes. *Agric. For. Entomol.* 6:129-139.
- BERGMAN, M.K., AND F.T. TURPIN. 1986. Phenology of Field Populations of Corn Rootworms (Coleoptera: Chrysomelidae) Relative to Calendar Date and Heat Units. *Environ. Entomol.* 15:109-112.
- BRANSON, T.F., J. REYES R., AND H. VALDÉS M. 1982. Field biology of Mexican corn rootworm, *Diabrotica virgifera zea* (Coleoptera: Chrysomelidae), in central México. *Environ. Entomol.* 2(5):1078-1083.
- BRANSON, F.F., AND J. REYES R. 1983. The association of *Diabrotica* spp. with *Zea diploperennis*. *J. Kans. Entomol. Soc.* 56(1):97-99.
- CALKINS, C.O., AND V.M. KIRK. 1969. Effect of winter precipitation and temperature on overwintering eggs of northern and western corn rootworms. *J. Econ. Entomol.* 62:541-543.
- DE LA PAZ G., S. 1993. *Plagas del maíz, del frijol y de la asociación maíz-frijol en los Altos de Jalisco*. SAHR. INIFAP. CIPAC. C.E. Altos de Jalisco. México. Libro Técnico No. 1. 89 p.
- DÍAZ C., G. 1978. *Plagas del maíz en el Centro y Occidente de México*. SARH. INIA. CIAB. Campo Agrícola Experimental Bajío. Folleto Misceláneo No. 39. 20 p.
- DOMINIQUE, C.R., AND W.N. YULE. 1983. Influence of soil type, soil moisture, and soil surface conditions on oviposition preference of the northern corn rootworm, *Diabrotica longicornis* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Can. Ent.* Vol. 115:1043-1046.
- EASTMAN, J.R. 1999. Idrisi 32: *Guide To GIS and Image Processing*. Volume 2. Clark Labs., Clark University, Worcester, MA. USA. 169 p.
- ELLIOTT, N.C., J.J. JACKSON AND R.D. GUSTIN. 1990. Predicting western corn rootworm beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) emergence from the soil using soil or air temperature. *Can. Ent.* 122:1079-91.
- FRENCH, B.W., A.A. BECKLER, AND L.D. CHANDLER. 2004. Landscape Features and Spatial Distribution of Adult Northern Corn Rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) in the South Dakota Areawide Management Site. *J. Econ. Entomol.* 97(6):1943-1957.
- GAYLOR, M.J., AND G.W. FRANKIE. 1979. The relationship of rainfall to adult flight activity; and of soil moisture to oviposition behavior and egg and first instar survival in *Phyllophaga crinita*. *Environ. Entomol.* 8(4):591-594.
- GILLESPIE, T.J. 1994. Pest and Disease Relationships. In: J.F. Griffiths (Eds.). *Handbook of Agricultural Meteorology*. Oxford University Press. pp:203-209.
- GUSTIN, R.D. 1979. Effect of Two Moisture and Population Levels on Oviposition of the Western Corn Rootworm. *Environ. Entomol.* 8:406-407.
- INEGI. 2006a. *El Sector Alimentario en México*. Serie de Estadísticas Sectoriales. pp:267.
- INEGI. 2006b. *Anuario estadístico de los Estados Unidos Mexicanos*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Agropecuario, aprovechamiento Forestal y Pesca. pp:334-338.
- KIRK, V.M., C.O. CALKINS, AND F.J. POST. 1968. Oviposition preferences of western corn rootworms for various soil surface conditions. *J. Econ. Entomol.* 61:1322-1324.
- KIRK, V.M. 1979. Drought cracks as oviposition sites for western and northern corn rootworms. *J. Kans. Entomol. Soc.* 52: 769-776.
- LAWSON, T.L., AND L.E.N. JACKAI. 1987. Microclimate and insect pest populations in mono and intercropped cowpea (*Vigna unguiculata* Walp). *Proc. WMO Sem. on Agrometeorology and Crop Protection in the Lowland Humid and Sub-humid Tropics*. pp:231-244.
- LOERA G., J. Y J.A. SIFUENTES A. 1974. *Principales plagas que atacan a los cultivos de maíz, sorgo y algodón en Tamaulipas*. SAG. INIA. CIAT. Campo Agrícola Experimental de Río Bravo, Tamps. México. Circular CIAT No. 5. 17 p.
- LOYA R., J. 1978. *Principales plagas del maíz en Morelos*. SARH. INIA. CIAMEC. Circular No. 99. 11 p.
- LUMMUS, P.F., J.C. SMITH, AND N.L. POWELL. 1983. Soil Moisture and Texture Effects on Survival of Immature Southern Corn Rootworms, *Diabrotica undecimpunctata* Howardi Barber (Coleoptera: Chrysomelidae). *Environ. Entomol.* 12:1529-1531.
- MARÍN J., A. 2001. *Insectos Plaga del maíz. Guía para su identificación*. Celaya, Gto., México. SAGARPA, INIFAP, Campo Experimental Bajío. Folleto Técnico No. 1. 29 p.
- MATSUOKA, Y., Y. VIGOUROUX, M.M. GOODMAN, J. SÁNCHEZ G., E. BUCKLER AND J. DOEBLEY. 2002. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proceedings of The National Academy of Sciences*. 99:6080-6084.
- MEDINA G.,G., J.A. RUIZ C. Y R.A. MARTÍNEZ P. 1998. *Los climas de México: Una estratificación ambiental basada*

Efecto de factores climáticos y edáficos

- en el componente climático. Libro Técnico No. 1. INIFAP-CIRPAC. Ed. Conexión Gráfica. Guadalajara, Jalisco. México. 103 p.
- MELHUS, I.E. AND M. CHAMBERLAIN. 1953. A preliminary study of teosinte in its region of origin. *Iowa State College Journal of Science*. 28: 139-164.
- MORÓN, M.A. 1983. Introducción a la biosistemática y ecología de los coleópteros Melolonthidae edafícolas de México. pp. CI - C13. In: *II Mesa Redonda sobre Plagas del Suelo*. Colegio de Postgraduados y Depto. de Parasitología, UACH., Chapingo, México, y la Sociedad Mexicana de Entomología.
- MOYA-RAYGOZA, G., E. SANTANA C., P. PLAZA L. 1988. Búsqueda de resistencia en *Zea diploperennis* (Gramineae) para disminuir el daño por plagas del suelo en maíz. pp. 179-196. In: *Tercera Mesa Redonda sobre Plagas del Suelo*. Sociedad Mexicana de Entomología. ICI de México. Instituto de Ecología.
- MOYA-RAYGOZA, G., V. BEDOY V. Y E. SANTANA C. 1993. Patrones estacionales de la abundancia de insectos en manchones naturales de *Zea diploperennis*. In: Benz, B. (Compilador). *Biología, ecología y conservación del género Zea*. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal., México. pp:165-177.
- Ortega C., A. 1987. *Insectos nocivos del maíz: una guía para su identificación en el campo*. México, D.F. CIMMYT. 106 p.
- PATEL, K.K., AND J.W. APPLE. 1967. Ecological studies on the eggs of northern corn rootworm. *J. Econ. Entomol.* 60:496-500.
- RÍOS R., F. 1986. Manejo integrado de problemas fitosanitarios del maíz en México. *Memorias del XII Simposio Nacional de Parasitología Agrícola*. pp. 274-285 y 438.
- RODRÍGUEZ-DEL BOSQUE, L.A. 1978. *Clave de campo para identificación de plagas del maíz y su combate*. Norte de Tamaulipas. SARH. INIA. CIAGON. Campo Agrícola Experimental de Río Bravo. Circular CIAGON 6/78. 31 p.
- RODRÍGUEZ-DEL BOSQUE, L.A. 1988. *Phyllophaga crinita* Burmeister (Coleoptera: Melolonthidae): Historia de una plaga del suelo (1855-1988). pp. 53-80. In: *Tercera Mesa Redonda sobre Plagas del Suelo*. Sociedad Mexicana de Entomología. ICI de México. Instituto de Ecología.
- RODRÍGUEZ-DEL BOSQUE, L.A. Y A. MARÍN J. 2008. Insectos plaga y su control. pp:29-46. In: *El cultivo del maíz temas selectos*. Colegio de Posgraduados. Mundi-Prensa México.
- RUIZ C., J.A., J.J. SÁNCHEZ G. Y M. AGUILAR S. 2001. Potential geographical distribution of Teosinte in México: A GIS Approach. *Maydica*. 46:105-110.
- SAS Institute. 1998. *Stat View reference*, 2nd ed. SAS Institute, Cary, NC.
- SERRATOS, J.A., M.C. WILLCOX, AND F. CASTILLO (Eds). 1996. *Flujo genético entre maíz criollo, maíz mejorado y teocintle: implicaciones para el maíz transgénico*. México, D.F., CIMMYT.
- SIERRA M., M., A. PALAFOX C., F.RODRÍGUEZ M., A. ESPINOZA C., R. RODRÍGUEZ R., R. ZETINA L. 2007. Comportamiento de genotipos de maíz en parcelas de validación en el Estado de Veracruz, México. Pp.3. In: *Memoria 2ª. Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal 2007*. Guadalajara Jal., Septiembre del 2007.
- SIFUENTES A., J.A. 1985. *Plagas del maíz en México*. SARH. INIA. Folleto Técnico No.85. México, D.F. 49 p.
- TURNIPSEED, S.G., AND R.L. RABB. 1963. Some factors influencing oviposition by tobacco wireworm, *Conoderus vespertinus* (Coleoptera: Elateridae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 56:751-755.
- TURPIN, T.F., AND D.C. PETERS. 1971. Survival of southern and western corn rootworm larvae in relation to soil texture. *J. Econ. Entomol.* 64:1448-1451.
- TURPIN, F.T., L.C. DUMENILL AND D.C. PETERS. 1972. Edaphic and agronomic characters that affect potential for rootworm damage to corn in Iowa. *J. Econ. Entomol.* 65(6): 1615-1619.
- World Meteorological Organization (WMO). 1988. Agrometeorological aspects of operational crop protection. *WMO. Tech. Note No. 192*.