

Incidencia de *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Pyralidae) sobre el rendimiento del cultivo de maíz y cálculo de niveles de daño económico

Serra, G. V. y Trumper, E. V.

DOI: 10.31047/1668.298x.v37.n1.24402

RESUMEN

Diatraea saccharalis es una plaga clave del cultivo de maíz en la región pampeana argentina. Los umbrales económicos que se utilizan no están basados en un cálculo actual del nivel de daño económico. Los objetivos de este trabajo fueron: caracterizar la relación existente entre presión de infestación de *D. saccharalis* y rendimiento del cultivo de maíz, y calcular niveles de daño económico en distintas situaciones de desarrollo del cultivo. Se realizó un ensayo con el híbrido DK696 con riego e infestación natural, siguiendo un diseño experimental de parcelas divididas con cinco fechas de siembra y distintas ventanas de protección al cultivo. El rendimiento mostró una relación lineal con la intensidad de daño medida como número de entrenudos barrenados por larvas grandes. La actividad de las larvas se concentró en el estrato medio e inferior de la planta, independientemente de la fecha de siembra y del estado fenológico en que comenzó el ataque. El daño en el tercio medio de las plantas mostró la mayor influencia en la determinación del rendimiento, seguido por el estrato inferior, mientras que daños en el estrato superior no afectaron el rendimiento. Se proponen niveles de daño económico para distintos escenarios de desarrollo del cultivo.

Palabras clave: barrenador del tallo; *Zea mays*; función de daño.

Serra, G. V. y Trumper, E. V. 2020. Incidence of *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Pyralidae) on corn crop yield and calculation of economic injury levels. Agriscientia 37: 63-73

SUMMARY

Diatraea saccharalis is a key pest of corn cultivation in the Pampas region of Argentina. The economic thresholds used are nominal and are not based on the current calculation of the economic injury level. The goals of this work were: to characterize the relationship between the infestation pressure of *D. saccharalis* and the yield of the corn crop and to calculate economic injury levels in different situations of crop development. A test was carried out with the hybrid DK696

with natural irrigation and infestation, following a split plot experimental design with five sowing dates and different crop protection windows. The yield showed a linear relationship with the intensity of injury caused by *D. saccharalis* and this response was independent of the sowing date. Injury caused to the middle third of the plants showed the greatest influence in the determination of yield, followed by the lower stratum, while damage to the upper stratum did not show a relationship with yield. Economic injury levels are proposed for different price scenarios.

Key words: stem borer; *Zea mays*; damage function.

Serra, G. V. (ORCID: 0000-0002-8348-4586): Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. Felix Marrone 746, Ciudad Universitaria, CP 5000, Córdoba, Argentina. Trumper, E. V. (ORCID: 0000-0002-6637-2494): Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA Manfredi. Ruta Nac. N° 9, km 636, CP 5988, Manfredi Córdoba, Argentina. Correspondencia a: gserra@agro.unc.edu.ar

INTRODUCCIÓN

Después de la caña de azúcar, el maíz es el segundo cultivo con mayor volumen de producción en el mundo: en 2018 fue de aproximadamente 1118 millones de toneladas de grano (FAOSTAT, 2019). En la Argentina, la superficie sembrada con maíz en el ciclo 2017/2018 fue de 5,4 millones de hectáreas y el promedio de las últimas cinco campañas (2013-2018) fue de 4,1 millones de hectáreas con un rendimiento promedio para este período de 78 qq/ha (Hermida, 2018).

El “barrenador del tallo del maíz” *Diatraea saccharalis* (Fabricius) es una plaga clave en la región pampeana de la Argentina y las pérdidas provocadas superaron en promedio los 150 millones de dólares anuales (Iannone, 1999).

En Argentina, como táctica de control contra *D. saccharalis* predomina en la actualidad el uso de maíces genéticamente modificados, conocidos comúnmente como maíces *Bt*. La adopción de maíces *Bt* por parte de productores, se realiza sin conocer si la plaga va a tener incidencia o no en esa campaña y el costo de la táctica de manejo se aplica al 100 % de la superficie sembrada, a diferencia de la táctica de control químico donde solo se aplicaría en aquellos lotes donde la plaga supere un determinado umbral de acción. En este sentido Iannone, Couretot y Cacciamani (2012) al comparar los márgenes brutos de la tecnología de control químico respecto al uso de maíces *Bt*, encontraron que en promedio el control químico

tiene un margen bruto de 54 US\$/ha superior al obtenido con los híbridos *Bt*. Estos autores además resaltan que en la región pampeana solo uno de cada cuatro a cinco lotes de maíz convencional presentan un nivel de densidad de la plaga que justifique el costo del control químico. Esto puede ser consecuencia de un efecto de supresión regional de la población de *D. saccharalis* debido al uso masivo y constante de maíces *Bt* como ya ha ocurrido con diferentes plagas en distintos continentes (Wu, Lu, Feng, Jiang y Zhao, 2008; Hutchison *et al.*, 2010; Wan, Huang, Tabashnik, Huang y Wu, 2012; Dively *et al.* 2018).

El uso de maíces *Bt* requiere de la implementación de refugios con híbridos no *Bt* y monitoreo constante de la resistencia de la plaga (Trumper, 2014). Sin embargo, estos pilares de la estrategia de manejo de la resistencia de insectos a cultivos *Bt* tienen muy bajo nivel de adopción (Signorini *et al.* 2018). Como consecuencia, la tasa de evolución de la resistencia de algunas plagas puede estar ocurriendo a una velocidad mayor que la obtención y autorización de uso comercial de nuevas toxinas o eventos apilados (Flores, 2017). Los cultivos *Bt* no son infalibles, como lo demuestran numerosos estudios que han identificado la evolución de resistencia de diferentes plagas a distintos eventos *Bt* (Tabashnik y Carrière, 2017). En Argentina, se ha confirmado la evolución de resistencia de *Spodoptera frugiperda* a la proteína Cry1F correspondiente al evento TC1507 (Chandrasena *et al.* 2018). Maíces *Bt* con

diversos eventos, han mostrado una disminución de la eficacia de control de la oruga de la espiga, *Helicoverpa zea*, a lo largo de los años (Balbi y Flores, 2015), aunque aún no se ha demostrado que se trate de evolución de resistencia. En el caso particular de *D. saccharalis*, Grimi *et al.* (2018) confirmaron la evolución de resistencia a dos toxinas en la región norte de la provincia de San Luis.

Esta tendencia a la disminución de eficacia de control de los cultivos *Bt* o a la emergencia de biotipos resistentes en las plagas blanco, plantea la necesidad de contar con tácticas alternativas al uso de maíces *Bt*, aprovechando el menor costo de los maíces convencionales y la baja incidencia de la plaga (Leiva, 2013; Luna, I. comunicación personal, 05 de diciembre de 2018), ya que el costo adicional de la semilla de un híbrido *Bt*, en muchos casos no se traduce en el retorno económico esperado.

Independientemente de las variaciones anuales, las pérdidas de producción en los lotes atacados por *D. saccharalis* constituyen un promedio de entre 8 a 10 % de la producción en las siembras tempranas de septiembre. En maíces tardíos de octubre las pérdidas registradas son de alrededor del 15 al 20 %, y en maíces de segunda éstas normalmente varían del 20 al 45 % de la producción (Iannone y Leiva, 2012). Este lepidóptero tiene un potencial de daño de un 10 a un 20 % del rendimiento, a lo que debe sumarse las eventuales pérdidas por caída de plantas y espigas, lo que se conoce como daño mecánico (Aragón, 1996).

Las pérdidas estimadas en una determinada región pueden ser inconsistentes con aquellas registradas en otras regiones del mismo país. Las diferencias regionales en la sincronía entre planta e insecto, el número de generaciones por estación, las características genéticas de los maíces sembrados y las prácticas de producción utilizadas, contribuyen a la variación encontrada. Debido a estas diferencias, la relación entre el daño y el rendimiento debe ser definida para cada área de producción (Calvin, Knapp, Kuang Xinquan, Poston y Welch, 1988). La relación entre la intensidad de ataque de un insecto plaga y el daño que se produce en un cultivo, también conocida como función de daño, es considerada un ingrediente primario en el desarrollo de cualquier tipo de regla de decisión y es una de las preguntas claves del manejo de plagas insectiles (Pedigo, Scott y Higley, 1986).

Los objetivos de este trabajo fueron: caracterizar la relación existente entre la presión de infestación de *D. saccharalis* y el rendimiento del cultivo de maíz, y a partir de la función de daño obtenida,

calcular los niveles de daño económico que se producen en las distintas situaciones de desarrollo del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en la campaña agrícola 1999/2000, en la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Manfredi, ubicada en la Ruta Nacional N.º 9, km 636, provincia de Córdoba, República Argentina 31° 49' S, 63° 46' E.

Se aplicó un diseño en parcelas divididas con una estructura de parcelas en tres bloques completamente aleatorizados. Los factores y sus respectivos niveles fueron: a) siembra, con cinco niveles representados por cinco fechas de siembra; b) perfil de protección, con seis niveles: Protección Total (PT), testigo establecido mediante aplicaciones semanales durante todo el ciclo del cultivo; Libre Infestación (LI), sin ningún tipo de control; y cuatro niveles de desprotección en etapas fenológicas: VE-V4, V6-V10, V12-V16 y R1-R2.

El factor fecha de siembra se asignó a las parcelas principales, y el factor perfil de protección se asignó a las subparcelas. Las parcelas principales constaron de siete hileras de 150 m de longitud y una distancia entre surcos de 0,7 m. En cada una de ellas se asignaron aleatoriamente los tratamientos a las subparcelas de siete hileras por 10 m. En cada subparcela sólo se consideraron para evaluación de daños y rendimientos las tres hileras centrales, mientras que las dos hileras a ambos laterales se reservaron como bordura. Las fechas de siembra se seleccionaron sobre la base de dos criterios: a) la distribución histórica de frecuencias de fechas de siembra correspondientes a la región, buscando la similitud del ensayo con las condiciones que normalmente enfrenta el agricultor, y b) la amplitud en el rango de infestación, para lo cual se tuvieron en cuenta los patrones temporales históricos de abundancia de adultos. Las fechas fueron, en orden cronológico: 08/10/1999, 08/11/1999, 30/11/1999, 20/12/1999 y 07/01/2000.

Se utilizó el híbrido DK696 de la empresa Dekalb. La siembra se realizó mecánicamente con sembradora para siembra directa. Junto con la siembra se aplicó urea en todos los tratamientos totalizando 50 kg de nitrógeno por hectárea. Para proteger las plántulas del ataque de orugas cortadoras en las dos primeras fechas de siembra fue necesario aplicar cebo tóxico entre surcos, el cual se preparó con grano partido de sorgo, aserrín, agua, gaseosa de naranja y 200 cc del insecticida Clorpirifos (CE. 48 %) Lorsban Plus®. Se eligió

este método de control para lograr selectividad al ser aplicado espacial y temporalmente desfasado de la presencia de *D. saccharalis* en el ensayo. El cebo se aplicó una semana después de la siembra. En el resto del ensayo no fue necesaria la aplicación de cebos tóxicos.

El insecticida utilizado para proteger los tratamientos del factor perfil de protección fue Deltametrina 5 % (Decis®). Las dosis que se aplicaron fueron las siguientes:

a) Para proteger a los tratamientos antes de los cuatro niveles de desprotección se realizaron aplicaciones de 50 cc/ha. Esta dosis baja se aplicó con una frecuencia 7 a 10 días, y los tratamientos químicos se suspendieron entre 12 y 14 días antes del inicio de la ventana correspondiente, para evitar el efecto residual de los insecticidas aplicados previamente.

b) Una vez finalizado el período de desprotección, las dosis utilizadas fueron de 250 a 300 cc/ha, y cuando las plantas desplegaron todas sus hojas la frecuencia de aplicación fue de 20 a 25 días, ya que, en estas dosis altas el poder residual es mayor. Para proteger los huevos depositados en el último día estimado de la ventana de desprotección, se dejaron pasar entre 10 y 14 días antes de la aplicación (dependiendo de las temperaturas) para permitir que estos eclosionaran y que las larvas penetraran al tallo. El tratamiento Protección Total se mantuvo libre de insectos mediante la aplicación semanal de 300 cc/ha de Deltametrina, 5 %. Todas las aplicaciones fueron hechas con mochila de aspersión manual y, para asegurar su uniformidad, sólo intervinieron dos operarios. Se realizaron muestreos de huevos durante las ventanas de desprotección para corroborar su funcionamiento. También se realizaron muestreos en parcelas protegidas con control químico (luego del cierre de las ventanas de desprotección) para corroborar que la protección fuera efectiva. En ambos casos los resultados fueron satisfactorios.

El estado fenológico de cada siembra se registró a intervalos de cinco días contando el número de hojas desplegadas durante la etapa vegetativa del cultivo (Ritchie y Hanway, 1993), en diez plantas seleccionadas al azar. A partir de floración (todas las hojas desplegadas), los estados fenológicos se determinaron por el sistema termo-acumulativo (grados-días necesarios para completar el desarrollo de cada etapa) (Andrade, Cirilo, Uhart y Otegui, 1996).

En cada unidad experimental al momento de madurez fisiológica se registró la densidad de plantas y al terminar el ciclo del cultivo se extrajeron aleatoriamente diez plantas completas. Cada planta fue disecada manualmente y su

espiga rotulada para medir las siguientes variables respuesta: 1) barrenado grande, que representa el número promedio de entrenudos con galerías provocadas por larvas de 4°, 5° y ocasionalmente 6° estadio con dos o más milímetros de espesor y más de diez centímetros de longitud (lo que compromete en general la totalidad del entrenudo o más de un entrenudo y frecuentemente están acompañadas de hongos); y 2) peso de la espiga, que indica el peso de los granos de la espiga principal de cada planta disecada expresado en gramos. Las espigas restantes de cada tratamiento se cosecharon para medir el contenido de humedad y para pesar los granos a los efectos de estimar el rendimiento por superficie de cada tratamiento.

Para una mejor caracterización en cada una de las diez plantas disecadas por tratamiento, la variable barrenado grande se discriminó de acuerdo a su posición en la planta en tres estratos: I = inferior, M = medio (que abarca dos entrenudos por debajo de la espiga y dos entrenudos por arriba de la misma) y S = superior.

Nivel de daño económico

Los cálculos de niveles de daño económico (NDE) se basaron en modelo $NDE = C/P * D * K$ (Pedigo *et al.*, 1986), NDE es el nivel de daño económico expresado como número de larvas grandes de *D. saccharalis* por planta de maíz, C= costo de la medida de control seleccionada (\$/ha), P= precio por unidad de producción (\$/qq), D= disminución del rendimiento ocasionada por un insecto por unidad de muestreo (en tn o qq/ha), es decir la función de daño y K= eficiencia de la medida de control, expresada como la proporción de población de la plaga eliminada por el insecticida.

Para realizar los cálculos se tomó un precio estimado de venta de maíz para la cosecha 2019 de \$/qq 505 (Márgenes Agropecuarios, 2018) variando los rendimientos potenciales para obtener los distintos valores en \$/ha del cultivo a proteger. Los distintos costos del control representan la variabilidad de precios de las distintas alternativas de control químico disponibles, los costos de control fueron elaborados teniendo en cuenta precio y dosis por hectárea del producto a utilizar, tipo de aplicación (aérea o terrestre), uso de coadyuvantes y el servicio de monitoreo.

Análisis de costo-beneficio

El análisis de costo-beneficio (Mason *et al.*, 1996) muestra el beneficio expresado en \$/ha por

la aplicación oportuna de la medida de control seleccionada una vez alcanzado el NDE. Como el análisis se hace sobre el daño sufrido en lotes sin control, el beneficio representa la suma que se dejó de percibir por no haber aplicado oportunamente una medida de control. Para el cálculo del NDE se tomó un costo del control de 1000 \$/ha, como rendimiento potencial el obtenido en el tratamiento Protección Total, y como rendimiento sin control de la plaga el registrado en el tratamiento Libre Infestación para cada fecha de siembra. Se consideró que la eficiencia de la medida de control es de 90 %. El análisis presentado tuvo como supuesto que resulta suficiente una única aplicación de insecticida para evitar que la plaga sobrepase el NDE calculado.

Análisis de datos

Las variables relacionadas con el rendimiento por hectárea se analizaron mediante ANOVA a dos vías. La relación entre rendimiento por planta e incidencia de *D. saccharalis*, expresada como número de entrenudos con barrenado grande, se estudió mediante análisis de regresión lineal. Para estudiar el efecto de las distintas fechas de siembra y de los tratamientos sobre dicha relación, se incorporaron al análisis de regresión variables auxiliares (variables *dummy*). La discriminación de esta relación por estrato de la planta atacado, se estudió mediante análisis de regresión múltiple. Se utilizó el programa InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Barrenado por planta

El barrenado grande por planta mostró un rango de cero a diez entrenudos para este ensayo y registró su mayor valor en el tratamiento Libre Infestación, tanto para cada fecha de siembra como para todo el ensayo (Kolmogorov Smirnov, $p < 0,05$) (Figura 1) evidenciando esto la incidencia de *D. saccharalis* en todas las fechas de siembra.

Los tratamientos Protección Total, Desprotección VE -V4, Desprotección V6 - V10, Desprotección V12 - V16 y Desprotección R1 - R2, arrojaron en la primera siembra valores de *barrenado grande* por planta muy superiores a las restantes siembras (Figura 1). Probablemente tal diferencia se deba a que, en la siembra de octubre, se interrumpieron las aplicaciones de insecticida cuando el cultivo estuvo cerca del estado de madurez fisiológica, mientras que en las restantes fechas de siembra se continuaron las aplicaciones hasta el final del ciclo del cultivo, siendo difícil discernir en estos tratamientos el daño producido en la ventana de desprotección del daño ocurrido desde madurez fisiológica cuando se interrumpieron las aplicaciones. Por este motivo los valores de las variables respuesta relacionadas con el daño ocasionado por *D. saccharalis* en la primera fecha de siembra para estos tratamientos fueron excluidos del análisis de la relación del daño con el rendimiento.

Si bien se registró actividad de oviposición

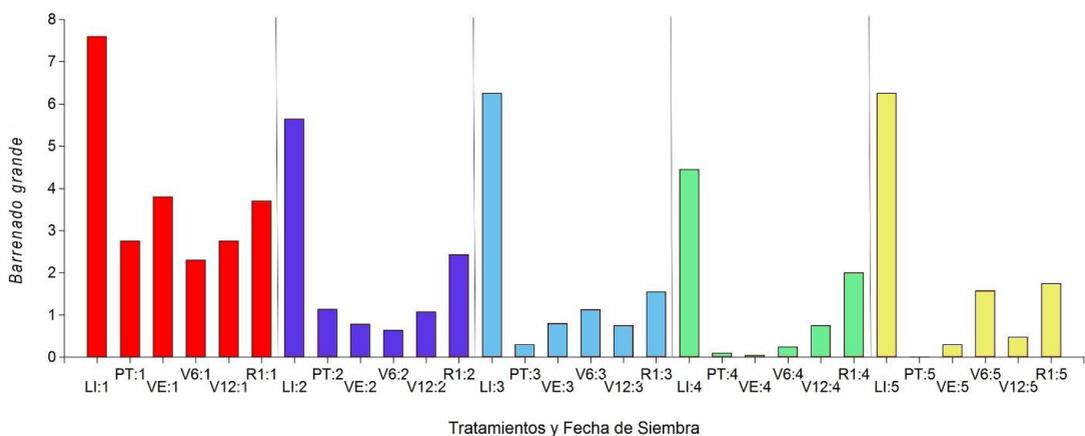


Figura 1. Número medio de entrenudos con barrenado grande por planta por tratamiento para cada época de siembra. LI: Libre Infestación; PT: Protección Total; VE: Desprotección en VE-V4; V6: Desprotección en V6-V10; V12: Desprotección en V12-V16; R1: Desprotección en R1-R2; los números 1, 2, 3, 4 y 5 corresponden a las 5 fechas de siembra

en los tratamientos ventanas de desprotección, estos tratamientos no resultaron efectivos, bajo la metodología utilizada en este ensayo, para discriminar respuesta del cultivo al daño en esas etapas específicas de la fenología del maíz. Probablemente esto se debió a que la dosis de insecticida utilizada después de la ventana de desprotección causó mortalidad en las larvas provenientes de dichas oviposturas. Sin embargo, estas ventanas de desprotección sirvieron para obtener plantas con distinta cantidad de entrenudos barrenados útiles para estudiar su relación con el rendimiento.

Barrenado por estrato

La distribución vertical del barrenado grande en el tratamiento Libre Infestación muestra también que el mayor daño en la planta se produce en el tercio inferior (63 %), seguido en importancia por el estrato medio (32 %), acumulando ambos estratos el 95 % del barrenado correspondiente a las larvas grandes de *D. saccharalis* (Figura 2). Esto indicaría en general que las larvas grandes de *D. saccharalis* tienen preferencia de alimentación por los estratos inferior y medio de la planta, independientemente

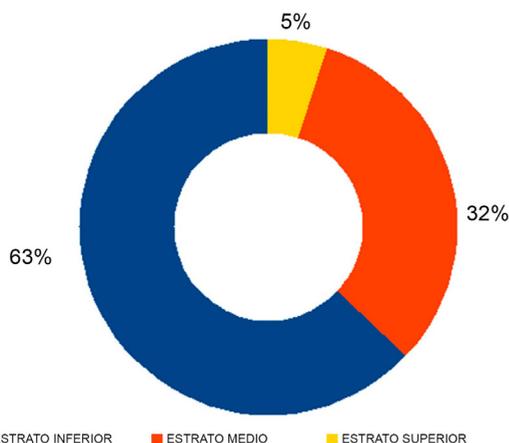


Figura 2. Distribución vertical por estratos del barrenado grande en la planta de maíz del tratamiento Libre Infestación

del estado fenológico de esta al momento de la infestación.

Es interesante destacar que el barrenado total (galerías pequeñas más el barrenado grande) registrado en el estrato superior de la caña está compuesto por un 50 % de barrenado grande, mientras que en el estrato medio el barrenado grande representa el 80,59 % del barrenado total en ese estrato y en el estrato inferior el barrenado grande aporta el 88,91 % del total. Esta ubicación preferencial del barrenado grande en los estratos inferior y medio es relevante, ya que el rendimiento depende del traslado de agua y nutrientes de estas zonas de la planta a la espiga.

Componentes del rendimiento

La densidad promedio de plantas del ensayo fue de 79181 plantas por hectárea y no hubo diferencias significativas entre tratamientos, pero sí entre las distintas fechas de siembra ($p < 0,05$). Cantarero, Luque y Rubiolo (2000) señalan para la zona central de Córdoba que variaciones en la densidad de plantas como las observadas en este trabajo para estas fechas de siembra no influyen sobre el rendimiento del cultivo, debido a que este rango de densidades no produce un estrés de intensidad suficiente para limitar la expresión del rendimiento o afectar la partición de asimilados. Del análisis de la variable *rendimiento por hectárea*, se puede destacar que el tratamiento Libre Infestación rindió, de acuerdo a lo esperado, menos que el resto de los tratamientos a lo largo del ensayo, aunque no siempre las diferencias fueron significativas. El tratamiento Protección Total tuvo en general un buen rendimiento y se mostró superior al tratamiento Libre Infestación en todas las fechas de siembra (Tabla 1).

Relación entre rendimiento por planta e incidencia de *Diatraea saccharalis*

Para estudiar esta relación, se utilizó como variable dependiente el peso de la espiga y como variable independiente, el barrenado

Tabla 1. Rendimiento en quintales por hectárea de cada tratamiento discriminado por fecha de siembra

Tratamiento	08/10/99	08/11/99	30/11/99	20/12/99	07/01/00	Promedio
Protección total	112,98 bc	83,88 ab	112,96 b	91,44 a	75,71 a	95,40 a
Libre infestación	92,41 a	70,73 a	94,25 a	76,88 a	70,06 a	80,87 c
Desprot. VE-V4	105,09 ab	108,37 c	109,63 b	88,31 a	67,68 a	95,82 a
Desprot. V6-V10	121,67 c	93,15 bc	117,96 b	92,30 a	71,91 a	99,40 a
Desprot. V12-V16	106,15 abc	95,24 bc	96,44 a	84,21 a	77,86 a	91,98 a
Desprot. R1-R2	100,25 ab	92,23 abc	92,19 a	83,24 a	73,67 a	88,32 b

Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$), prueba DGC.

grande. Se eligió el barrenado grande como variable regresora por su incidencia directa en el rendimiento de la planta, tanto desde el punto de vista de la cantidad de tejido dañado por las larvas grandes en comparación con las larvas pequeñas, como también por la ubicación de este daño, ya que se concentra en el tercio medio e inferior de la caña, mientras que el barrenado pequeño, tiene importancia solo en el tercio superior.

Debido a la variabilidad de rendimientos registrada, incluso entre plantas con un mismo nivel de daño se decidió realizar el análisis con el rendimiento promedio de plantas con igual nivel de daño (Casanoves, F. Comunicación personal, 11 de noviembre de 2001). La ecuación de regresión lineal obtenida fue:

$$PE = 123,46 - 2,51 \cdot BG \quad (\text{Ec. 1})$$

donde *PE* es el peso de la espiga, y *BG* el barrenado grande (Figura 3). La regresión fue altamente significativa ($p < 0,0001$) y el coeficiente de determinación (R^2) fue de 0,94. El rango de la variable predictiva, fue de 0 a 10 entrenudos con barrenado grande, lo cual abarca los niveles de infestación que se pueden encontrar en el campo. Del análisis de regresión presentado, se desprende que la planta de maíz disminuye su rendimiento en promedio 2,51 g por cada entrenudo barrenado por larvas grandes de *D. saccharalis*, es decir 2,03 % de pérdida de rendimiento por planta por cada entrenudo barrenado. Si se tiene en cuenta que una larva de *D. saccharalis* barrena en promedio dos entrenudos (Iannone, 2001), un cultivo con

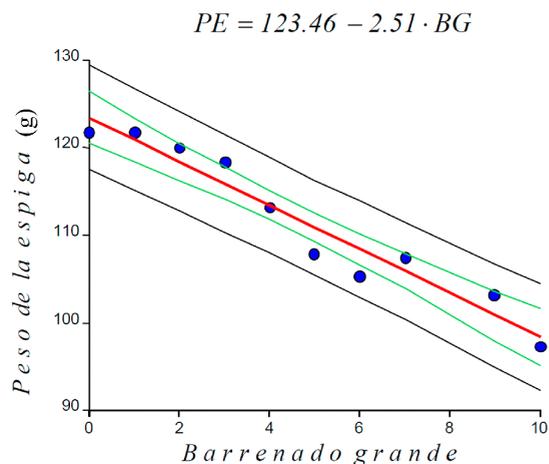


Figura 3. Regresión lineal del rendimiento medio por planta en función del barrenado grande por planta. *PE*: peso de la espiga en gramos; *BG*: barrenado grande.

— bandas de confianza; — bandas de predicción

una larva por planta sufrirá una disminución promedio de su rendimiento de 4,06 %. La disminución de rendimiento ocasionada por larvas de *D. saccharalis* en este trabajo coincide con lo reportado por Dagoberto en 1987, quien, en su trabajo con infestación artificial, informó que un nivel de ataque de cinco a seis larvas por planta produce una disminución de rendimiento del orden del 20,5 %.

Las relaciones estudiadas entre el daño y el rendimiento del maíz por fecha de siembra, muestran que la función de daño no varía con la fecha de siembra e indican además que el rendimiento potencial del cultivo disminuye a medida que se atrasa la fecha de siembra.

De manera similar a la descrita anteriormente se estudió la relación entre el rendimiento por planta y los daños provocados por *D. saccharalis* analizando el efecto épocas de siembra con incorporación de variables auxiliares (variables *dummy*). La Tabla 2 muestra los resultados del análisis de regresión lineal entre el rendimiento por planta y el nivel de daño para las distintas épocas de siembra. En este análisis no hubo diferencias significativas entre las pendientes correspondientes a las cuatro épocas de siembra; en cambio las ordenadas al origen de las siembras tardías de diciembre y enero, fueron significativamente menores a las correspondientes al mes de noviembre.

La relación entre el rendimiento promedio por planta y el barrenado grande fue estudiada también con discriminación del estrato de la planta atacado mediante análisis de regresión múltiple.

El análisis de regresión efectuado con los datos correspondientes al estrato superior, no arrojó un ajuste significativo, razón por la cual la regresión múltiple sólo incluyó el daño registrado en los estratos medio e inferior (Figura 4). La siguiente ecuación de regresión ($p < 0,0001$; $R^2 = 0,73$) representa el modelo ajustado:

$$PE = 128,19 - 2,68 \cdot BGI - 8,63 \cdot BGM \quad (\text{Ec. 2})$$

donde *PE* es el peso de la espiga expresado en gramos, *BGI* es el número de entrenudos que

Tabla 2. Análisis de regresión lineal entre el rendimiento por planta y el número de entrenudos con galerías grandes para las distintas épocas de siembra. Analizados con variables auxiliares (*dummy*)

Siembra	R2	Constante	Pendiente
08/11/99	0,84	134,68	-3,37
30/11/99	0,84	138,69	-3,35
20/12/99	0,84	111,81*	-3,95
07/01/00	0,84	101,21**	-1,67
Diferencias:	*significativas	$p < 0,005$;	**muy significativas
			$p < 0,0001$

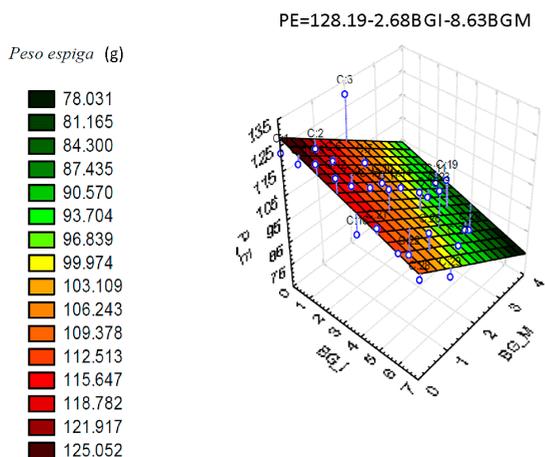


Figura 4. Regresión lineal múltiple del rendimiento medio por planta en función del daño en los estratos inferior y medio. PE: peso de la espiga; BGI: barrenado grande estrato inferior; BGM: barrenado grande estrato medio

presentan galerías ocasionadas por larvas grandes de *D. saccharalis* en el estrato inferior y BGM es el número de entrenudos que presentan galerías ocasionadas por larvas grandes de *D. saccharalis* en el estrato medio. El rango de la regresión va de cero a siete entrenudos para el estrato inferior y de cero a cuatro entrenudos para el estrato medio. De esta relación entre el daño discriminado por estrato y el rendimiento surge que los daños registrados alrededor de la espiga (estrato medio) producen pérdidas de rendimiento mayores que las registradas en el estrato inferior, mientras que los daños ocurridos en el estrato superior no parecen tener influencia sobre el rendimiento. Al alimentarse, las larvas dañan los tejidos de conducción de la planta de maíz interfiriendo particularmente en las etapas reproductivas, con

el ascenso de nutrientes, el movimiento de agua y la producción y translocación de fotosintatos hacia la espiga primaria (Calvin *et al.*, 1988). Cabe especular que la mayor influencia del estrato medio sobre el rendimiento sería consecuencia de que daños cercanos a la espiga producen interferencia en la translocación de fotosintatos de una mayor cantidad de hojas que aquellos daños producidos lejos de la espiga.

Nivel de daño económico

La función de daño descrita en la ecuación 1 se integró al modelo de nivel de daño económico contemplando distintos escenarios de precio de grano, costos y eficiencia del control, y rendimientos potenciales. En la Tabla 3 se puede apreciar que, para un determinado costo de control, mientras mayor es el valor esperado del cultivo a proteger menos larvas de *D. saccharalis* son necesarias para causar daño económico. Por otro lado, mientras más alto es el costo del control se requiere mayor número de larvas para causar daño económico. Los costos de tratamientos más altos se corresponden, en general, con insecticidas de mayor selectividad y menor impacto sobre los enemigos naturales de la plaga y el ambiente en comparación con los insecticidas de acción neurotóxica generalmente usados en el cultivo (piretroides y fosforados). El uso de productos selectivos por su mayor costo en relación a piretroides y fosforados genera un NDE mayor, esto derivaría en una menor frecuencia de aplicación de insecticidas ya que la población de plaga requerirá de un tiempo mayor en crecer hasta alcanzar dicho NDE. Además, durante este mayor tiempo es probable que los enemigos naturales de la plaga y otros factores de mortalidad pueden actuar retrasando y en algunos casos hasta evitando la necesidad de realizar la medida de control. Estos

Tabla 3. Nivel de daño económico para el control de *D. saccharalis* expresado en número de larvas grandes por planta, en función de variaciones tanto en el precio del control como en el valor del cultivo de maíz

		Costo del control (\$/ha)					
		1000	900	800	700	600	500
Valor del cultivo a proteger en \$/ha	40000	0,68	0,62	0,55	0,48	0,41	0,34
	45000	0,61	0,55	0,49	0,43	0,36	0,30
	50000	0,55	0,49	0,44	0,38	0,33	0,27
	55000	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	60000	0,46	0,41	0,36	0,32	0,27	0,23
	65000	0,42	0,38	0,34	0,29	0,25	0,21
	70000	0,39	0,35	0,31	0,27	0,23	0,20
	80000	0,34	0,31	0,27	0,24	0,21	0,17

resultados muestran claramente la diferencia que puede haber en el NDE cuando se calcula sobre la base de las condiciones en que crecerá el cultivo y los costos del tratamiento seleccionado que pueden hacer variar su valor en más del 100 %. Debido a que la toma de decisiones de manejo de *D. saccharalis* en maíces convencionales se basan en el porcentaje de plantas con oviposturas, para obtener umbrales económicos dinámicos que acompañen la variabilidad en el NDE aquí presentada, se necesita estimar la mortalidad desde huevo hasta larva grande para determinar el porcentaje de plantas con oviposturas que va a generar una población de larvas grandes igual al NDE oportunamente calculado. De este análisis se puede destacar que si en lugar de derivar umbrales de acción basados en el cálculo previo del NDE como el aquí propuesto, se utiliza un umbral de acción fijo o nominal a lo largo del tiempo, del espacio y/o de distintas condiciones de cultivo, como lo es la recomendación de aplicar cuando en el lote hay un 10 % de plantas con oviposturas (Iannone, 2001; Iannone *et al.* 2012), se corre el riesgo de tomar decisiones de manejo de la plaga que pueden resultar subóptimas.

Análisis de costo-beneficio

En la Tabla 4 se muestra para las distintas fechas de siembra y para el promedio del ensayo un análisis de costo-beneficio de la aplicación de una medida de control basada en el cálculo de NDE dinámico propuesto. Con los niveles de incidencia de larvas grandes de *D. saccharalis* registrados en este ensayo, en todas las fechas de siembra se hubiera justificado efectuar un control químico. Además, el beneficio de aplicar una medida de control fue mayor al aumentar la incidencia de la plaga y al aumentar del valor del cultivo a proteger (ya sea por mayor valor de mercado y/o rendimiento).

CONCLUSIONES

La actividad de las larvas se concentra principalmente en los estratos inferior y medio de la planta, independientemente del estado fenológico en que comenzó el ataque y de la fecha de siembra. Esto es muy relevante, ya que el daño producido por las larvas de *D. saccharalis* próximo a la inserción de la espiga ocasiona las mayores pérdidas de rendimiento, seguido en importancia por el daño causado en el estrato inferior, mientras que el daño originado en el estrato superior no influye sobre el rendimiento. La fecha de siembra no modifica la relación daño-rendimiento, por lo que la función de daño es válida tanto para siembras tempranas como tardías. En el actual escenario de precios, un umbral económico de 10 a 20 % de plantas con oviposturas (Aragón, 2002), puede resultar inapropiado. El análisis del modelo de NDE obtenido en este trabajo, pone de manifiesto ventajas mayores a las derivadas del uso de umbrales económicos fijos o nominales, normalmente empleados en nuestro país. Los beneficios de una medida de control químico contra *D. saccharalis* están directamente relacionados con el valor monetario del cultivo a proteger y con el grado de incidencia de la plaga. Para obtener un umbral económico dinámico sobre la base del monitoreo de huevos, es necesario que se realicen estudios sobre la relación entre el número de huevos por planta y la colonización efectiva de estas por las larvas grandes de *D. saccharalis*, de manera que dicho umbral acompañe la variabilidad del NDE expresada en este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Sr. Gustavo Rojo y al Biól. Fernando Fava por su colaboración en la atención de los ensayos en el campo. Este trabajo se realizó en el marco del proyecto PICT08-04906

Tabla 4. Análisis de costo-beneficio de una aplicación química para el control de *D. saccharalis*. Costo del control de \$/ha1000, el rendimiento potencial es tomado del tratamiento Protección Total y la incidencia de la plaga es la registrada en el tratamiento Libre Infestación

Siembra	Incidencia larvas/planta	Rendimiento qq/ha	NDE larvas/planta	Beneficio \$/ha
08/10/18	3,73	112,98	0,48	6774,84
08/11/18	2,76	83,88	0,65	3271,96
30/11/18	3,03	112,96	0,48	5315,78
20/12/18	2,16	91,44	0,59	2644,6
07/01/18	3,05	75,71	0,72	3261,01
Promedio del ensayo	2,95	95,4	0,57	4193,14

y con apoyo parcial del proyecto de la Agencia Córdoba Ciencia, dirigidos por E. V. Trumper.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, F., Cirilo, A., Uhart, S. y Otegui, M. (1996). *Ecofisiología del Cultivo de Maíz*. Buenos Aires, Argentina: Editorial La Barrosa
- Aragón, J. (1996). Las principales plagas del cultivo. Métodos de control. MAÍZ. (Cuaderno de Actualización Técnica 57). Buenos Aires, Argentina: Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola.
- Aragón, J. (2002) Guía de reconocimiento y manejo de plagas tempranas relacionadas a la siembra directa. Buenos Aires, Argentina: Agroediciones INTA.
- Balbi, E. y Flores, F. M. (2015). Evaluación del daño causado por el "Cogollero de maíz" (*Spodoptera frugiperda*) y presencia de la "Isoca de la espiga" (*Helicoverpa zea*) en diferentes híbridos de maíz transgénico. Maíz Actualización 2015. Informe de Actualización técnica N 34. Argentina: INTA Ediciones.
- Calvin, D. D., Knapp, M. C., Kuang X., Poston, F. L. y Welch, S. M. (1988). Influence of european corn borer (*Lepidoptera: Pyralidae*) feeding on various stages of field corn in Kansas. *Journal of Economic Entomology*, 81(4), 1203-1208. <https://doi.org/10.1093/jee/81.4.1203>
- Cantarero, M. G., Luque, S. F. y Rubiolo, O. J. (2000). Efecto de la época de siembra y la densidad de plantas sobre el número de granos y el rendimiento de un híbrido de maíz en la región central de Córdoba (Argentina). *Agriscientia*, 17, 3-10. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v17.n0.2619>
- Chandrasena, D. I., Signorini, A. M., Abratti, G., Storer, N. P., Olaciregui, M. L., Alves, A. P. y Pilcher, C. D. (2018). Characterization of field-evolved resistance to *Bacillus thuringiensis*-derived Cry1F -endotoxin in *Spodoptera frugiperda* populations from Argentina. *Pest Management Science*, 74 (3),746-754. <https://doi.org/10.1002/ps.4776>
- Dagoberto, E. (1987). Control de plagas en el cultivo de maíz. CREA. MAÍZ. (Cuaderno de Actualización Técnica 42). Buenos Aires, Argentina: Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M. y Robledo C. W. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Dively, G. P., Venugopal, P. D., Bean, D., Whalen, J., Holmstrom, K., Kuhar, ...Hutchison, W. D. (2018). Regional pest suppression associated with widespread Bt maize adoption benefits vegetable growers. *Proceedings of the National Academy Sciences*, 115 (13), 3320-3325. <https://doi.org/10.1073/pnas.1720692115>
- FAOSTAT(2019). Valores de producción agrícola al 30 de noviembre de 2018. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado de: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Flores, F. (2017). Las contradicciones en la protección vegetal: de la teoría a la práctica. Recuperado de <https://inta.gob.ar/documentos/las-contradicciones-en-la-proteccion-vegetal-de-la-teoria-a-la-practica>
- Grimi, D.A., Parody, B., Ramos, M. L., Machado, M., Ocampo, F., Willse, A., Martinelli, S. y Head, G. (2018). Field-evolved resistance to Bt maize in sugarcane borer (*Diatraea saccharalis*) in Argentina. *Pest Management Science*, 74 (4),905-913.<https://doi.org/10.1002/ps.4783>
- Hermida, G. (2018). Maíz: Evolución de la campaña agrícola 2017/18. Departamento de estimaciones agrícolas. Bolsa de cereales. Recuperado de www.bolsadecereales.com/imagenes/informes/2018-04/46-estimacionescdmaizar06-04-18.pdf
- Hutchison, W. D., Burkness, E. C., Mitchell, P. D., Moon, R. D., Leslie, T. W., Fleischer, S. J., ... Raun, E. S. (2010) Areawide suppression of European corn borer with Bt maize reaps savings to non-Bt maize growers. *Science*,330(6001), 222-225. <https://doi.org/10.1126/science.1190242>
- Iannone, N. (1999). El barrenador del tallo se lleva 170 millones de dólares al año. *ABC Rural*. (Nº 104, p.6)
- Iannone, N. (2001). Control químico de *Diatraea*, tecnología que apunta a la alta producción. *Revista de Tecnología Agropecuaria*, 6 (17), 33-37.
- Iannone, N., Couretot, A. y Cacciamani M. (2003). Tecnología de control del barrenador del tallo *Diatraea saccharalis* Fab. Demostración técnico-económica en cultivo de maíz. *Revista de Tecnología Agropecuaria*, (INTA Pergamino), 8 (22), 10-13. Recuperado de http://www.redagrar.com/divulgaci/F3n%20t%E9cnica/articulos%20de%20dt/06-03_control_barrenador.html
- Iannone, N. y Leiva, P.(2012). Bioecología y control de plagas en el cultivo de maíz. En Eyhérbide, G. (Ed.), *Bases para el manejo del cultivo de maíz (177-202)*. Buenos Aires, Argentina: Ediciones INTA. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_bases_para_el_manejo_de_maiz_region_100-2_2.pdf
- Leiva, P. D. (2013). Monitoreo del barrenador del tallo utilizando trampas de luz y tomas de decisión a campo. Recuperado de <http://www.pregonagropecuario.com/cat.php?txt=4585#KtLeuWMKqCQDYsIH.99>.
- Márgenes Agropecuarios (2018). Año 34 (397).
- Mason, C. E., Rice, M. E., Calvin, D. D., Van Duyn, J. W., Showers, W. B. Hutchison, ... Dively, G. P. (1996). *European corn borer,ecology and management*. Ames, Iowa, Estados Unidos: North Central Regional Extension Publication.
- Pedigo, L. P., Hutchins, S. y Higley, L. G. (1986). Economic injury levels in theory and practice. *Annual Review of Entomology*, 31, 341-368. Recuperado de: <https://>

- www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.en.31.010186.002013
- Ritchie, S. W., Hanway, J. J. y Benson G.O. (1993). How a corn plant develops (Special Report N°. 48). Ames, Iowa, EE.UU.: Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service.
- Signorini, A. M., Abratti, G., Grimi, D., Machado, M., Bunge, F. F., Parody, B., ... Malacarne, M. F. (2018). Management of Field-Evolved Resistance to Bt Maize in Argentina: A Multi-Institutional Approach. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* 6 (67), <https://doi.org/10.3389/fbioe.2018.00067>
- Tabashnik, B. E. y Carrière, Y. (2017). Surge in insect resistance to transgenic crops and prospects for sustainability. *Nature Biotechnology*, 35 (10), 926–935. <https://doi.org/10.1038/nbt.3974>
- Trumper, E. V. (2014). Resistencia de insectos a cultivos transgénicos con propiedades insecticidas. Teoría, estado del arte y desafíos para la República Argentina. *Agriscientia* 31 (2): 109-126. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v31.n2.16538>
- Wan, P., Huang, Y., Tabashnik, B. E., Huang, M. y Wu, K. (2012) The halo effect: Suppression of pink bollworm on non-Bt cotton by Bt cotton in China. *PLoS One*, 7 (7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042004>
- Wu, K. M., Lu, Y. H., Feng, H. Q., Jiang, Y. Y. y Zhao, J. Z. (2008) Suppression of cotton bollworm in multiple crops in China in areas with Bt toxin-containing cotton. *Science*, 321 (5896), 1676–1678. <https://doi.org/10.1126/science.1160550>