



Cría de *Diatraea saccharalis*,

barrenador del cultivo de caña
de azúcar para panela en Santander

AGROSAVIA
EDITORIAL

Cría de *Diatraea saccharalis*,

barrenador del cultivo de caña de azúcar para panela en Santander

Nancy del Carmen Barreto-Triana
Stephanie Johana Numa-Vergel
Zaida Xiomara Sarmiento-Naizaque
Diana Lizeth Pinzón Rangel
Pablo Andrés Osorio-Mejía
Ayda Fernanda Barona Rodríguez
Sandra Patricia Romero Niño

Cría de *Diatraea saccharalis*, barrenador del cultivo de caña de azúcar para panela en Santander. / Nancy del Carmen Barreto Triana [y otros seis] - Mosquera (Colombia): AGROSAVIA, 2024.

70 páginas (Colección Alianzas AGROSAVIA)

Incluye referencias bibliográficas, fotografías y gráficos.

ISBN: 978-958-740-770-9

ISBN e-Book: 978-958-740-771-6

1. *Saccharum officinarum* 2. *Diatraea saccharalis* 3. Plaga de plantas 4. Cultivo de insectos 5. Alimentación artificial 6. Manejo del cultivo 7. Santander (Colombia).

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura Agrovoc
Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA)

Sede Central, kilómetro 14 vía Mosquera-Bogotá, Mosquera, Cundinamarca. Código postal 250047, Colombia.

Centro de Investigación La Suiza, kilómetro 32 vía al Mar, vereda Galápagos, Rionegro, Santander. Código postal 687511, Colombia

Esta publicación forma parte de los resultados del proyecto "Fortalecimiento de las capacidades en ciencia, tecnología e innovación del centro de investigación La Suiza para el desarrollo de proyectos en fitosanidad y agroindustria en sistemas de producción priorizados en el departamento de Santander", con código BPIN 2020000100462, financiado por el Sistema General de Regalías y desarrollado por AGROSAVIA.

Colección: Alianzas AGROSAVIA

Tipología: Manual

Fecha de recepción: 10 de octubre de 2023

Fecha de evaluación: 28 de diciembre de 2023

Fecha de aceptación: 8 de febrero de 2024

Primera edición: 400 ejemplares

Impreso en Bogotá, Colombia, noviembre de 2024

Autores

Nancy del Carmen Barreto-Triana
Stephanie Johana Numa-Vergel
Zaida Xiomara Sarmiento-Naizaque
Diana Lizeth Pinzón Rangel
Pablo Andrés Osorio-Mejía
Ayda Fernanda Barona Rodríguez
Sandra Patricia Romero Niño

Preparación editorial

Editorial AGROSAVIA
editorial@agrosavia.co
Líder editorial: Astrid Verónica Bermúdez Díaz
Edición: Verónica Barreto Riveros
Corrección de estilo: Manuel Alejandro Ladino
Diseño: Mónica Cabiativa Daza
Diagramación: Diego Abello
Impresión: DGP Editores

Citación sugerida: Barreto-Triana, N. C., Numa-Vergel, S. J., Sarmiento-Naizaque, Z. X., Pinzón-Rangel, D. L., Osorio-Mejía, P. A., Barona-Rodríguez, A. F., & Romero-Niño, S. P. (2024). *Cría de Diatraea saccharalis, barrenador del cultivo de caña de azúcar para panela en Santander*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

<https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7407716>

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones ni de la información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, y declaran, en este último supuesto, que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación; igualmente, declaran que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros relativa a los derechos de autor u otros derechos que se hubieran vulnerado como resultado de su contribución.

Línea de atención al cliente: 018000121515
atencionalcliente@agrosavia.co
www.agrosavia.co



https://co.creativecommons.org/?page_id=13

Contenido

5 Agradecimientos

6 Introducción

8 Capítulo I. Importancia del cultivo de caña de azúcar para panela e insectos barrenadores en el departamento de Santander

Zaida Xiomara Sarmiento-Naizaque, Pablo Andrés Osorio-Mejía, Ayda Fernanda Barona Rodríguez, Nancy del Carmen Barreto-Triana y Sandra Patricia Romero Niño

9 Generalidades del cultivo en Colombia y Santander

10 Importancia de *Diatraea saccharalis* en caña de azúcar en Colombia y Santander

13 Manejo del cultivo con enfoque en barrenadores

18 Capítulo II. Uso de dietas artificiales para la cría de insectos con énfasis en barrenadores de la caña de azúcar

Nancy del Carmen Barreto-Triana, Zaida Xiomara Sarmiento-Naizaque, Stephanie Johana Numa-Vergel y Diana Lizeth Pinzón Rangel

19 Importancia de la cría de insectos

20 Generalidades del uso de dietas artificiales para cría de insectos

- 21 Criterios para seleccionar una dieta artificial adecuada
- 21 Criterios morfológicos
- 23 La cría de insectos en AGROSAVIA

28 **Capítulo III. Evaluación de tres dietas artificiales para la cría de *Diatraea saccharalis* en laboratorio**

Stephanie Johana Numa-Vergel, Diana Lizeth Pinzón Rangel,
Zaida Xiomara Sarmiento-Naizaque, Sandra Patricia Romero Niño y
Nancy del Carmen Barreto-Triana

- 29 Evaluación de tres dietas artificiales para la alimentación de larvas de *Diatraea saccharalis*
- 31 Resultados
- 37 Verificación del desempeño de las dietas en condiciones de cría a pequeña escala en laboratorio

44 **Capítulo IV. Protocolo para la cría de *Diatraea saccharalis* en laboratorio**

Diana Lizeth Pinzón Rangel, Stephanie Johana Numa-Vergel,
Zaida Xiomara Sarmiento-Naizaque, Sandra Patricia Romero Niño
y Nancy del Carmen Barreto-Triana

- 45 Infraestructura
- 46 Insumos, reactivos y equipos
- 46 Pasos para el mantenimiento de la cría de *D. saccharalis*
- 51 Control de calidad
- 54 Estimación de costos de producción de *D. saccharalis* en laboratorio

60 **Referencias**

66 **Los autores**

Agradecimientos

Los autores agradecen a quienes financiaron el proyecto “Fortalecimiento de las capacidades en ciencia, tecnología e innovación del centro de investigación La Suiza para el desarrollo de proyectos en fitosanidad y agroindustria en sistemas de producción priorizados en el departamento de Santander”. Asimismo, a Claudia María Holguín, investigadora PhD asociada del C. I. La Suiza de AGROSAVIA; a Yajaira Romero, investigadora máster asociada del C. I. Tibaitatá, y a Gustavo Araújo, investigador máster asociado del C. I. Tibaitatá.

Introducción

La industria panelera tiene una gran importancia en el departamento de Santander, Colombia. Se estima que en el año 2023, el área sembrada con caña de azúcar fue de 24 mil hectáreas, con un rendimiento promedio de 8,61 t/ha, lo que significa un aporte a la producción nacional del 16,9 %. Dentro de las principales problemáticas fitosanitarias que afectan al cultivo a nivel nacional se encuentra el complejo de barrenadores del tallo del género *Diatraea* (Lepidoptera: Crambidae). Su impacto en la producción se debe a que sus larvas hacen galerías al interior de los tallos, por lo que se disminuye la concentración de sacarosa en los jugos y ocasiona pérdidas del rendimiento en panela. En el año 2014, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) declaró “Estado de emergencia fitosanitaria en los departamentos de Boyacá y Santander”, dada la alta incidencia y porcentaje de daño causado por estos barrenadores. En el año 2017, mediante la Resolución ICA 017848, *Diatraea* fue declarada “plaga de control oficial” en todos los territorios donde se cultiva caña de azúcar; además, se recomendó su manejo mediante el uso de controladores biológicos.

Como respuesta a esta problemática, desde el año 2014, AGROSAVIA ha desarrollado diferentes proyectos de investigación en algunos municipios de siete departamentos productores de caña de azúcar para la industria panelera, en los cuales se determinó la presencia de las especies como *Diatraea saccharalis* (Fabricius), *D. indigenella* Dyar & Heinrich, *D. tabernella* Dyar y *D. busckella* Dyar & Heinrich, causando daños o porcentaje de intensidad de infestación (% I. I.), entre 8 y 14 %, con un 8,8 % para el departamento de Santander. Estos resultados fueron posibles gracias al uso de una dieta merídica o artificial utilizada para la cría de *Diatraea* en Brasil (Hensley & Hammond, 1968, y modificada por Araújo et al., 1985), la cual permitió el desarrollo de estas cuatro especies, además de otros barrenadores asociados al cultivo de caña; también fue posible la obtención de algunos enemigos

naturales asociados. De igual forma, se implementó una cría a pequeña escala con la dieta utilizada actualmente por Cenicaña (Lastra & Gómez, 2006), con el objetivo de producir larvas de *D. saccharalis* de diferentes edades para estudios de patogenicidad de entomopatógenos y posterior formulación de un prototipo de bioplaguicida.

Por lo anterior, teniendo en cuenta que el uso de dietas artificiales permite la cría o producción masiva de insectos para diferentes estudios, el objetivo de este manual es mostrar al lector la importancia del uso de dietas para la cría de insectos con énfasis en *D. saccharalis* y dar las herramientas para implementar una cría a pequeña escala de acuerdo con los objetivos de esta y los recursos disponibles.

El documento contiene, además, los resultados de la comparación de parámetros biológicos del insecto en tres dietas artificiales y los costos asociados, así como el desarrollo de un protocolo, paso a paso, con la metodología de cría estandarizada, como producto del proyecto “Fortalecimiento de las capacidades en ciencia, tecnología e innovación del centro de investigación La Suiza para el desarrollo de proyectos en fitosanidad y agroindustria en sistemas de producción priorizados en el departamento de Santander”, el cual fue financiado por el Sistema General de Regalías de Santander. La información compilada servirá como insumo base para el desarrollo de estrategias de control de *D. saccharalis* en cultivos de caña de azúcar para la industria panelera en Santander y otras regiones productoras del país.

Capítulo I

Importancia del cultivo de caña de azúcar para panela e insectos barrenadores en el departamento de Santander

Zaida Xiomara Sarmiento-Naizaque
Pablo Andrés Osorio-Mejía
Ayda Fernanda Barona Rodríguez
Nancy del Carmen Barreto-Triana
Sandra Patricia Romero Niño



Generalidades del cultivo en Colombia y Santander

El sector panelero en Colombia es la segunda actividad agroindustrial rural más importante después del café (Barona et al., 2021). La panela se produce en 542 municipios pertenecientes a 29 departamentos; sin embargo, solo en 164 municipios se concentra el 90 % de la producción nacional, convirtiendo a este cultivo en uno de los principales, con más de 200.000 hectáreas sembradas. Los departamentos con mayor producción son Cundinamarca, Antioquia, Santander, Boyacá, Nariño, Cauca, Tolima y Caldas; el 56,4 % del área sembrada corresponde a los primeros cuatro departamentos. Se estima que al sector pertenecen 70 mil productores, hay 320 mil trapiches y se generan más de 350 mil empleos directos, según Minagricultura (2020).

La producción nacional para el año 2022 se estimó en 1.053.674 toneladas, de las cuales solo el 1 % se exportó, según cifras de Fedepanela y el Fondo de Fomento Panelero (Fedepanela, 2022; Minagricultura, 2020).

El departamento de Santander se caracteriza por tener importantes volúmenes de producción, apalancados por la incorporación de nuevas tecnologías y procesos de innovación en algunos casos. Se produce en las siete provincias del departamento, pero son Comunera, Guanentá y Vélez las de mayor producción. Para el año 2022, Santander tuvo un área sembrada de 24.639 ha, de las cuales se cosecharon 16.528, con un promedio de 157.670 toneladas de panela, lo que representa el 14,96 % de la producción nacional (Fedepanela, 2022).

El sistema productivo de caña de azúcar *Saccharum officinarum* L. (Poales: Poaceae) para producción de panela se desarrolla en su gran mayoría bajo condiciones de ladera. Los rendimientos del cultivo y de panela dependen del manejo agronómico imperante en cada una de las regiones productoras del país. Este manejo agronómico difiere en los sistemas de siembra (mateado o chorrillo), las variedades de caña empleadas que fluctúan con el uso de materiales tradicionales y la adopción de nuevos, el manejo de plagas y enfermedades, los planes de fertilización y el sistema de corte empleado por zona (entresaque y parejo) (Wilches et al., 2022).



Agroecosistema de caña de azúcar para panela, Valle del Ropero, Vélez, Santander.

Foto: Agrosavia, 2022

Importancia de *Diatraea saccharalis* en caña de azúcar en Colombia y Santander

Los barrenadores del género *Diatraea* se encuentran dentro las principales problemáticas fitosanitarias en el cultivo de caña de azúcar para producción de biocombustibles y azúcar, así como para la agroindustria panelera del país (Echeverri-Rubiano et al., 2022). El daño directo que ocasionan las larvas al alimentarse de los tallos reduce el peso de la caña cosechada, disminuye la concentración de sacarosa en los jugos y causa pérdidas del rendimiento en panela (Vargas et al., 2015).

En plantas jóvenes menores de seis meses se presenta la muerte de la yema terminal, síntoma conocido como “corazón muerto”, y en plantas con tallos maduros se observan galerías y orificios de salida de las larvas (Vargas et al., 2015) (figura 1).



Figura 1. Daños causados por barrenadores del género *Diatraea* en caña de azúcar. a. Síntoma de corazón muerto; b. Daño en caña madura.

Foto: Nancy Barreto-Triana

En América hay cerca de 41 especies del género *Diatraea*, con alrededor de siete presentes en Colombia (Barrera et al., 2017; Solís & Metz, 2016). AGROSAVIA reportó la presencia de *D. saccharalis*, *D. indigenella*, *D. tabernella* y *D. busckella* en cultivos de caña de azúcar para producción de panela en siete departamentos del país (Barreto-Triana et al., 2022). La distribución de las especies de barrenadores se muestra en la figura 2.

En Boyacá y Santander, en la región conocida como Hoya del río Suárez, se encontró una alta incidencia de *D. saccharalis* y *D. busckella*, con un porcentaje de intensidad de infestación (% I. I.) de entre el 7 y el 9,8 % (Barreto-Triana et al., 2022), lo que se traduce en grandes pérdidas de acuerdo con lo mencionado por Pinto (1990), pues por cada unidad porcentual de daño (% I. I.) se dejan de producir cerca de 105,4 kg de panela.

En condiciones de laboratorio, *D. saccharalis* es la especie que se reproduce de forma más fácil, el establecimiento de la cría es económicamente viable y permite la producción masiva de sus enemigos naturales (Lastra & Gómez, 2006). Un ejemplo de programa de control biológico aumentativo en América es el sistema de cría de *D. saccharalis*

y de la avispa parasitoide *Cotesia flavipes*, en el que resulta crucial el conocimiento del ciclo biológico de ambos insectos (Botelho & Macedo, 2002; Reguilón et al., 2014; Vacari et al., 2012).



Figura 2. Distribución de especies de *Diatraea* en siete departamentos de Colombia.

Fuente: Elaboración propia con base en Barreto-Triana et al. (2022)

La duración del ciclo de vida (huevo - adulto) de *D. saccharalis* es de 42 días, aproximadamente, en dieta artificial y condiciones de laboratorio de 25 ± 2 °C de temperatura, 60 ± 10 % de humedad relativa (HR) y fotoperiodo 12:12 (Barreto-Triana. et al., 2022; Sandoval-Cáceres et al., 2017) (figura 3). No obstante, el tiempo total de desarrollo varía según la dieta, por ejemplo, al emplear maíz y bajo condiciones de temperatura y humedad controladas a 25 ± 1 °C, 70 ± 4 % HR y fotoperiodo 12:12; la duración del ciclo de esta especie es de 39,4 días (Echeverri-Rubiano et al., 2022).

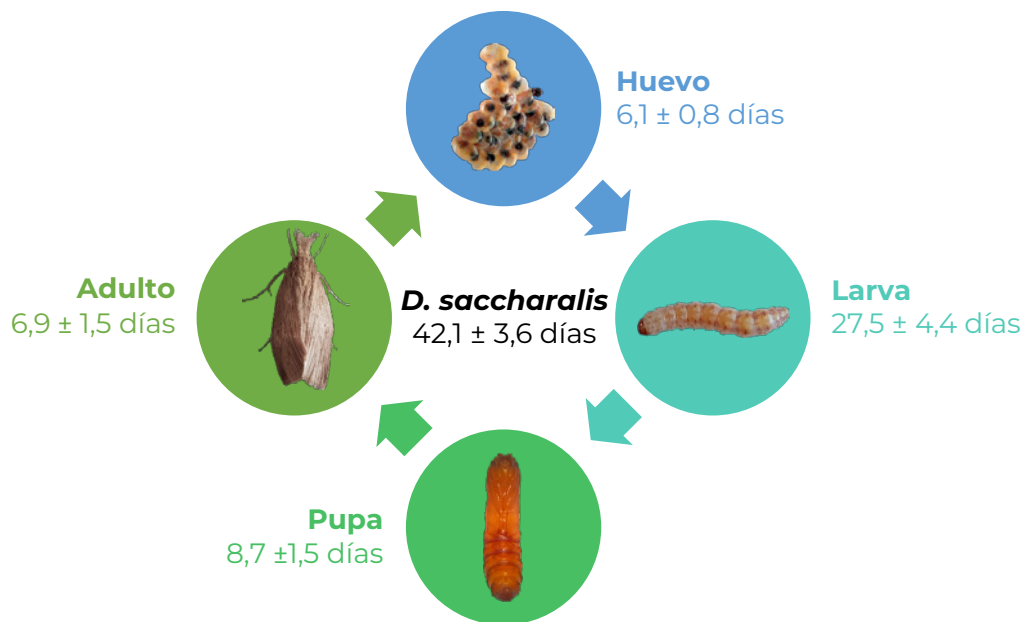


Figura 3. Ciclo de vida de *Diatraea saccharalis* en condiciones de laboratorio (25 ± 2 °C, 60 ± 10 % HR y fotoperiodo 12:12).

Fuente: Elaboración propia
Fotos: Xiomara Sarmiento-Naizaque

Manejo del cultivo con enfoque en barrenadores

Actualmente, los insectos fitófagos y las enfermedades de las plantas cultivadas se controlan desde la óptica del manejo integrado de plagas, con el fin de lograr un menor impacto ambiental; para ello, se combinan diferentes estrategias, puesto que su presencia está

determinada por variables ambientales, genotípicas, fenológicas y culturales (López, 2015; Sánchez & Forero, 2016). Si bien, insectos plaga como el salivazo *Aeneolamia varia* (Fabricius) (Hemiptera: Cercopidae), el cucarrón de invierno *Podischnus aegenor* (Olivier) (Coleoptera: Scarabaeidae) y el picudo rayado *Metamasius hemipterus* (Linnaeus) (Coleoptera: Curculionidae) pueden ocasionar daños considerables en cultivos de caña de azúcar, los barrenadores del tallo, del género *Diatraea* (Lepidoptera: Crambidae) son considerados como la problemática principal de este cultivo (Bustillo, 2013; Osorio-Mejía, 2018).

Al introducirse en el tallo de la caña de azúcar y alimentarse de su biomasa, los barrenadores *Diatraea* spp. ocasionan un daño, cuyo control solo es eficiente mediante métodos biológicos con organismos benéficos que puedan localizar sus huevos protegidos bajo las hojas y yemas de la planta, o sus larvas al interior de los tallos. Además, según resolución del Instituto Colombiano Agropecuario, de diciembre de 2017, los barrenadores de la caña de azúcar *Diatraea* spp. se consideran en nuestro país como “plaga de control oficial”; se recomienda su control biológico, mediante el uso de parasitoides, como alternativa para reducir sus poblaciones (Barreto-Triana et al., 2022, Díaz-Montilla et al., 2022; ICA, 2017).

Dentro de los parasitoides disponibles comercialmente para el control de los barrenadores del complejo *Diatraea* se encuentran la microavispa *Trichogramma exiguum* Pinto & Platner (Hymenoptera: Trichogrammatidae), que actúa sobre el estado de huevo; la mosca *Billaea claripalpis* (Wulp) (Diptera: Tachinidae), y la avispa *Cotesia flavipes* Cameron (Hymenoptera: Braconidae), estas dos últimas especies parasitoides de larvas. Además de estos parasitoides, en fincas productoras de panela de Boyacá y Santander se han encontrado la mosca *Genea jaynesi* (Aldrich) y las avispas *Alabagrus* spp. parasitando larvas de *Diatraea* spp. (Sarmiento-Naizaque et al., 2017, 2021) (figura 4). El control natural ejercido por parte de los insectos mencionados sobre los barrenadores es cercano al 28 % (Barreto-Triana et al., 2022).

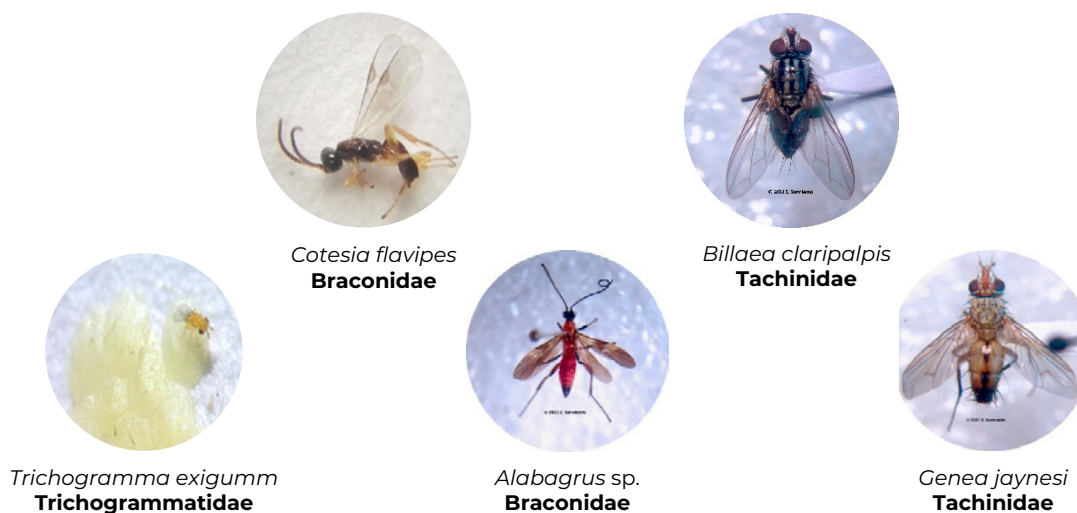


Figura 4. Avispas y moscas parasitoides que atacan barrenadores del complejo *Diatraea* spp.

Fotos: Xiomara Sarmiento-Naizaque y Pablo Osorio-Mejía

En el sistema de cultivo de corte por parejo de caña de azúcar para panela se validó por parte de AGROSAVIA un esquema de liberación de parasitoides en parcelas comerciales de Moniquirá, Boyacá. Con la implementación de este programa, se obtuvo un incremento de 10 toneladas de caña por hectárea (TCH) respecto al manejo tradicional, las cuales representaron un incremento de 2,6 toneladas de panela (TPH). Asimismo, el porcentaje de intensidad de infestación en el lote de manejo integrado se redujo 0,4 % con relación al manejo tradicional (AGROSAVIA, 2021).

En la tabla 1 se presenta el esquema de liberación de parasitoides por hectárea de cultivo de caña para panela mediante el sistema de corte por parejo, validado por AGROSAVIA.

Asimismo, se sugiere conservar la vegetación perimetral de los lotes de cultivo y las plantas arvenses en su interior después de los cinco meses de edad, dado que las inflorescencias y estructuras de múltiples plantas alimentan y dan refugio a los enemigos naturales nativos y liberados, lo que favorece el control biológico por conservación en los agroecosistemas de caña de azúcar para panela (Barreto-Triana et al., 2022).

Tabla 1. Esquema de liberación de parasitoides por hectárea en caña para panela bajo el sistema de corte por parejo

Mes	Corte por parejo
2	50 pulgadas ² <i>Trichogramma exiguum</i>
4	50 pulgadas ² <i>Trichogramma exiguum</i> 30 individuos <i>Billaea claripalpis</i>
6	30 individuos <i>Billaea claripalpis</i> 2 gramos de capullos de <i>Cotesia flavipes</i>
8	2 gramos de capullos de <i>Cotesia flavipes</i>

Fuente: Barreto-Triana et al. (2022)



Capítulo II

Uso de dietas artificiales para la cría de insectos con énfasis en barrenadores de la caña de azúcar

Nancy del Carmen Barreto-Triana
Zaida Xiomara Sarmiento-Naizaque
Stephanie Johana Numa-Vergel
Diana Lizeth Pinzón Rangel



■ Importancia de la cría de insectos

Dada la importancia de entender aspectos bioecológicos de diferentes insectos perjudiciales y benéficos para la agricultura, así como la generación de estrategias de manejo integrado de plagas, la cría de insectos constituye una alternativa que ofrece ventajas, porque permite mantener colonias permanentes y controladas para diferentes estudios de investigación básica y aplicada, supliendo la dependencia de las poblaciones naturales (Parra, 2021).

De acuerdo con Parra (2021), la cría de insectos a diferentes escalas permite desarrollar estudios básicos en taxonomía, morfología, biología, patología, etc., así como, en la parte aplicada, conocer los mecanismos de resistencia a insecticidas o de resistencia de plantas a insectos, producción de feromonas y semioquímicos, producción de enemigos naturales (parasitoides, depredadores y patógenos), transmisión de fitopatógenos, control genético (esterilidad híbrida), aplicación de la técnica del insecto estéril y, más recientemente, el control con tecnologías modernas como RNAi, CRISPR, simbiontes, etc.

En este sentido, desde los años 60 se desarrollaron técnicas para la cría de insectos mediante dietas artificiales, principalmente para especies fitófagas de los órdenes Diptera, Coleoptera y Lepidoptera (Parra, 2017). En Latinoamérica, uno de los países abanderados en la cría masiva de insectos es Brasil, con un alto impacto en la aplicación de su uso en programas de control biológico (Parra & Coelho, 2019).

Sin embargo, es importante tener en cuenta que la cría en laboratorio puede tener efectos adversos sobre el desempeño de los insectos por su adaptación en el laboratorio, la endogamia y la selección por efectos directos de la cría, como por ejemplo el hacinamiento y dietas artificiales, por lo que es necesario el control de calidad tanto numérico como de su desempeño biológico (Sorensen et al., 2012).

De acuerdo con Parra (2021, 2017), dependiendo del tamaño de la población de insectos que se quiera criar semanalmente, se pueden tener tres tipos de crías: a) pequeña escala, que produce centenares de adultos por semana, es utilizada para estudios bioecológicos y puede ser mantenida por una o dos personas; b) cría de porte medio, que debe producir cerca de 1.000 insectos semanales, que se utilizan para desarrollar métodos de control (biológico, semioquímicos, químico, etc.), y c) cría masiva, que produce millones de insectos por semana y son biofábricas automatizadas que producen a gran escala parasitoides

para liberar en campo en programas de control biológico. Un ejemplo es la producción de la avispa *Cotesia flavipes* para el control de *Diatraea* spp. en Brasil, que para el año 2018 fue de más de 21 billones de adultos, liberados en 3,5 millones de hectáreas de caña de azúcar (Pinto, 2021), o también la producción de insectos estériles para liberar en programas de erradicación de plagas como la técnica del insecto estéril caso moscas de la fruta *Anastrepha* sp. o *Ceratitis capitata* (FAO/IAEA/USDA, 2022).

Generalidades del uso de dietas artificiales para cría de insectos

Por regla general, la cría de insectos debe garantizar que se produzcan individuos con características biológicas semejantes a los insectos silvestres de su misma especie (Campos et al., 2017). Así, según los hábitos, el comportamiento y las exigencias nutricionales del insecto, hay algunos grupos como trips, pulgones y ácaros que no se desarrollan bien en dietas artificiales y es necesario mantener en plantas hospederas, aunque se requiere alta mano de obra para su mantenimiento. Por el contrario, el desarrollo de dietas artificiales para la cría de más de 1.000 especies de insectos ofrece una serie de ventajas ya descritas, además de reducir costos por la baja mano de obra (Parra, 2021).

Una dieta artificial debe garantizar todos los nutrientes básicos que exige el insecto: los aminoácidos, vitaminas y sales minerales son considerados nutrientes esenciales; los carbohidratos, lípidos y esteroides son nutrientes no esenciales que deben tener un balance adecuado, especialmente en la relación proteínas (amino-ácido)/carbohidratos. Es necesario tener en cuenta propiedades físicas y fagoestimulantes, además del balance nutricional para garantizar el desarrollo adecuado del insecto (Parra, 2021). En la figura 5 se enumeran las principales características que debe tener una dieta artificial adecuada.

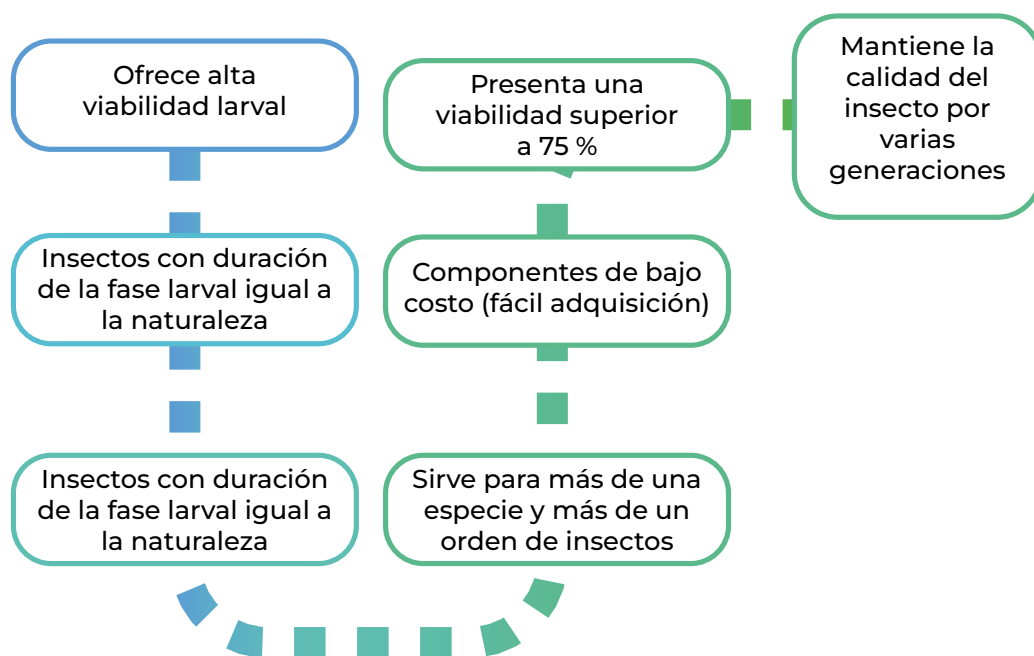


Figura 5. Características de una dieta artificial adecuada.

Fuente: Parra (2021)

Criterios para seleccionar una dieta artificial adecuada

Como ya se mencionó, la dieta artificial debe permitir la obtención de insectos similares a los de su especie en condiciones naturales. Por lo anterior, para la selección de la dieta artificial adecuada se pueden evaluar aspectos morfológicos, biométricos, nutricionales y tablas de vida.

Criterios morfológicos

Una dieta artificial desfavorable para una especie puede causar malformaciones o anomalías asociadas a deficiencias nutricionales. Rodríguez Filho (1985, citado por Parra, 2017), determinó algunas malformaciones en larvas y pupas de *Chloridea virescens* (Fabricius); algunas anomalías sobresalientes en larvas fueron: expansión de la frente y entumecimiento de mandíbulas, así como fusión de la cápsula cefálica en la ecdisis, causando superposición de exuvias. En pupas, por ejemplo, se

han reportado malformaciones como retención de caracteres morfológicos de larvas, alas atrofiadas, antenas deformadas y atrofiadas, deformación de urómeros, desplazamiento de órganos como antenas y piezas bucales, tumores en alas, formación de bolsas acuosas en alas, etc. Algunas malformaciones se muestran en la figura 11 del capítulo III.

En adultos se pueden presentar deformaciones en las alas por deficiencia de ácidos grasos, o por la interacción de estos ácidos y altas temperaturas, también puede suceder por otros factores no nutricionales como falta de espacio para extender las alas o bajas temperaturas de la humedad relativa del aire (Rodríguez Filho, 1985, citado por Parra, 2017).

Criterios biométricos

Se miden parámetros en los diferentes estados biológicos del insecto. Por ejemplo:

Huevo: duración del periodo de incubación, viabilidad o mortalidad medida en porcentaje (%), color.

Larva: número de instares, duración de cada instar, duración del periodo larval, viabilidad o mortalidad (%), deformaciones, presencia de patógenos.

Pupa: duración, peso en una edad fija, viabilidad (%), proporción de sexos y deformaciones.

Adulto: periodo de preoviposición, número de cópulas, fecundidad (número de huevos por hembra, número total y diario), aspecto del órgano reproductivo, longevidad de machos y hembras vírgenes y copulados, sobrevivencia y proporción de sexos.

Tablas de vida

Para comparar dietas, se utilizan las tablas de vida y de fertilidad, que se construyen a partir del registro de los siguientes parámetros biológicos de al menos 20 parejas por dieta: duración del periodo huevo-adulto, viabilidad de fases inmaduras, periodo de preoviposición, razón sexual, mortalidad de machos y hembras, y capacidad de postura diaria (Parra, 2017). Con estos datos se calculan los atributos poblacionales: tasa neta reproductiva (R_0), que corresponde al número de veces que aumenta la población en cada generación; (λ) tasa finita

de crecimiento, es decir, el número de hembras generadas por una hembra; (T) tiempo medio generacional, es decir, la duración de cada generación, y (rm) tasa intrínseca de crecimiento, que es la capacidad innata de aumentar en número (Portilla et al., 2013).

La cría de insectos en AGROSAVIA

Actualmente, AGROSAVIA cuenta con instalaciones a nivel nacional para la producción de insectos de interés agrícola a pequeña escala con fines de investigación básica y aplicada. En la tabla 2 se listan algunas de las especies de insectos criados, el tipo de dieta utilizada y los fines para los cuales se hace la cría.

Tabla 2. Cría de insectos a pequeña escala en AGROSAVIA

Especie	Tipo de dieta	Objetivo de la cría
<i>Tecia solanivora</i> (Povolny, 1973) (Lepidoptera: Gelechiidae) - Polilla guatemalteca de la papa	Tubérculos de papa	Producción del bioplaguicida Baculovirus Corpoica®. Selección de material resistente de papa para manejo del riesgo fitosanitario.
<i>Phthorimaea absoluta</i> Meyrick, 1917 (Lepidoptera: Gelechiidae) - Gusano cogollero del tomate	Plantas de tomate	Distribución, cría en invernadero y métodos de manejo en tomate.
<i>Diatraea saccharalis</i> (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae) - Barrenador del tallo de la caña	Dieta merídica	Estudios de biología, comportamiento sexual, feromona sexual, control biológico con parasitoides y microorganismos entomopatógenos.
<i>Erinnyis ello</i> (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Sphingidae) - Gusano cachón	Plantas de yuca	Estrategias de manejo integrado de plagas; control biológico con entomopatógenos. Producción de bioplaguicida (ERYTEC®)
<i>Helicoverpa zea</i> (Boddie, 1850) (Lepidoptera: Noctuidae) - Gusano elotero	Dieta merídica	Estrategias de manejo integrado de plagas; control biológico con entomopatógenos.
<i>Spodoptera frugiperda</i> (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) - Gusano cogollero	Dieta merídica	Estrategias de manejo integrado de plagas; control biológico con entomopatógenos.

Especie	Tipo de dieta	Objetivo de la cría
<i>Diaphorina citri</i> Kuwayama, 1908 (Hemiptera: Liviidae) - Psílido asiático de los cítricos	Plantas de mirto	Control biológico con parasitoides.
<i>Tamarixia radiata</i> (Waterston, 1922) (Hymenoptera: Eulophidae) - Ectoparasitoide de <i>Diaphorina citri</i>	Parasitismo de <i>Diaphorina citri</i>	Control biológico con parasitoides.
<i>Heilipus lauri</i> (Boheman, 1845) (Coleoptera: Curculionidae) - Barrenador grande de la semilla del aguacate.	Semillas de aguacate	Estrategias de manejo integrado de plagas.
<i>Stenomoma catenifer</i> Walsingham, 1912 (Lepidoptera: Elachistidae) - Taladrador del fruto del aguacate	Semillas de aguacate	Estrategias de manejo integrado de plagas.
<i>Galleria mellonella</i> Fabricius, 1798 (Lepidoptera: Pyralidae) - Polilla de la cera	Dieta merídica	Estrategias de manejo integrado de plagas; control biológico con entomopatógenos.
<i>Montina confusa</i> Stål, 1859 (Hemiptera: Reduviidae) - Depredador de orugas	Depredación de <i>Galleria mellonella</i>	Estrategias de manejo integrado de plagas.
<i>Spodoptera ornithogalli</i> Guenée 1852 (Lepidoptera: Noctuidae) - Gusano cogollero rayas amarillas	Dieta merídica	Estrategias de manejo integrado de plagas; control biológico con entomopatógenos.
<i>Trichogramma pretiosum</i> Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae)	Parasitismo de <i>Sitotroga</i> sp.	Estrategias de manejo integrado de plagas; control biológico con entomopatógenos.
<i>Phyllophaga obsoleta</i> (Blanchard, 1851) (Coleoptera: Scarabaeidae) - Chisa	Dieta merídica	Estrategias de manejo integrado de plagas; control biológico con entomopatógenos.

Fuente: Elaboración propia.

Las crías de *D. saccharalis* están establecidas en la unidad de crías de insectos y la unidad de cuarentena del C. I. Tibaitatá (Mosquera, Cundinamarca). Estas han permitido desarrollar diferentes estudios y aportado al conocimiento de su biología, comportamiento reproductivo y sexual, y control biológico con entomopatógenos o parasitoides.

A continuación, se relacionan los dos tipos de dietas utilizados por AGROSAVIA, así como los resultados relevantes generados mediante el suministro de individuos de *D. saccharalis* en diferentes estados biológicos.

Dieta A (mencionada en los capítulos III y IV). Desarrollada por Hensley & Hammond (1968) y usada en el laboratorio de biología de insectos de la Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz Piracicaba – SP/Universidad de Sao Paulo, fue implementada en la unidad de cuarentena, ya que cumple con varias características mencionadas en la figura 5; además, ha permitido el desarrollo de diferentes barrenadores de la caña encontrados en fincas productoras de caña de azúcar para panela en Colombia:

1. Complejo de barrenadores del género *Diatraea*: *D. busckella*; *D. indigenella*, *D. tabernella* y *D. saccharalis* (Barreto-Triana et al, 2022).
2. La nueva especie para la ciencia *Eoreuma insuastii* Solís & Osorio-Mejía (Lepidoptera: Crambidae), barrenador listado encontrada en la Hoya del río Suárez, el cual causa un daño similar al de *Diatraea* spp. en los tallos de la caña (Solís et al., 2020).
3. El barrenador menor *Blastobasis graminea* Adamski, 1999 (Lepidoptera: Blastobasidae), que ocasiona daño localizado en los nudos (Bustillo, 2013; Sandoval et al., 2015).
4. *Myelobia smerintha* (Hübner, 1821) (Lepidoptera: Crambidae), plaga de la guadua que se encontró en cultivos de caña de azúcar para panela en Cundinamarca (Sandoval-Cáceres et al., 2017).

Además de permitir el desarrollo de estas especies, también se han realizado estudios de biología, comportamiento reproductivo y sexual de *D. saccharalis* (Sandoval-Cáceres et al., 2022, 2023), estudios de ecología química (Barreto-Triana et al., 2018, 2019, 2022) y estudios sobre la preferencia de parasitoides sobre tres morfoespecies de *Diatraea* (Osorio-Mejía, 2018).

Por su parte, la dieta B (mencionada también en el capítulo III y IV), desarrollada por Lastra-Borja & Gómez-Laverde (2006) y modificada en AGROSAVIA por el grupo de Control Biológico de Plagas Agrícolas, también se ha empleado con éxito en la investigación, especialmente de entomopatógenos para el control del complejo de barrenadores de la caña. La alimentación de larvas con esta dieta artificial permite la producción de 120.000 larvas/año de *D. saccharalis* en laboratorio (datos generados por la unidad de crías de AGROSAVIA, sin publicar), con las cuales ha sido posible:

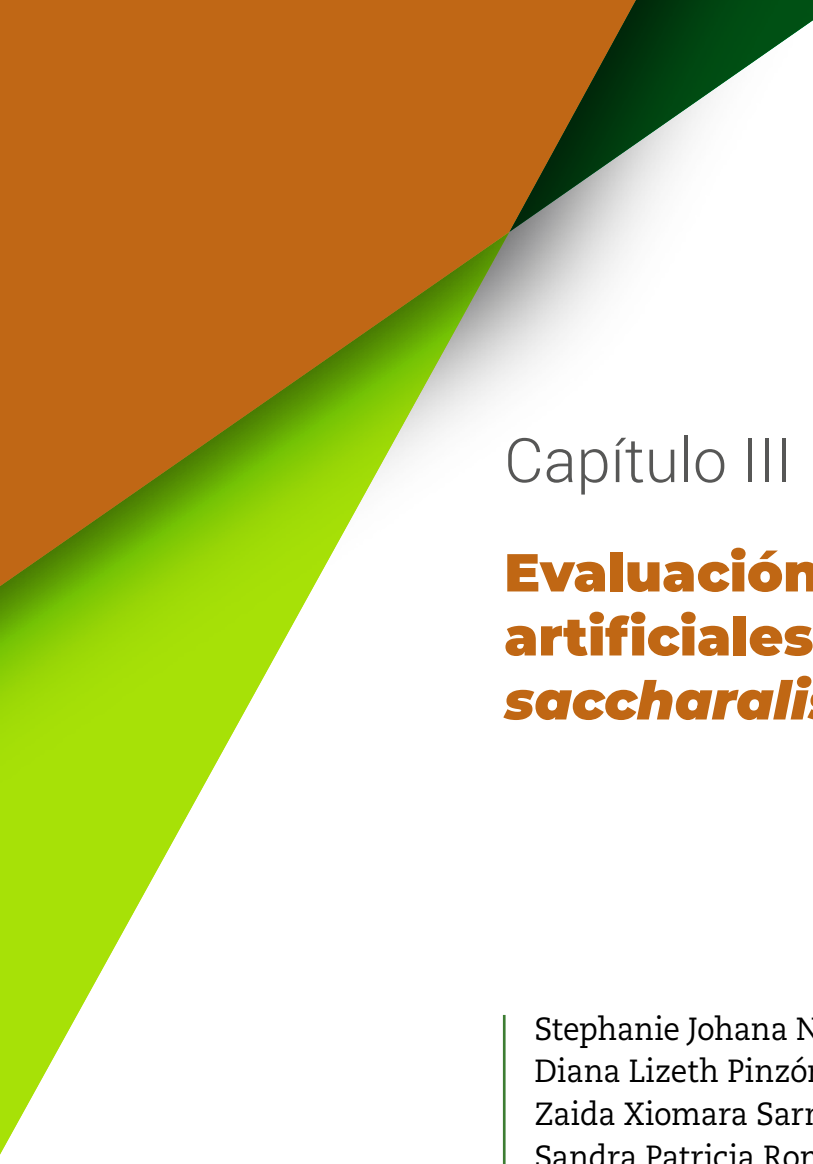
- Aislar, identificar y evaluar cepas de hongos entomopatógenos con potencial para el desarrollo de bioplaguicidas para el control

de *Diatraea* spp. Actualmente, se cuenta con dos cepas del hongo *Beauveria bassiana* aisladas de Boyacá y Nariño (cepas Bv062 y Bv064, respectivamente), con las cuales se ha trabajado en el desarrollo de prototipos de formulación y aplicación en campo (Díaz 2022; Garcia, 2018, 2021).

- Estudiar la potenciación de conidios de *B. bassiana* para el control de *Diatraea* spp., mediante inducción de factores de virulencia y uso de enzimas de microorganismos producidas por fermentación o de manera recombinante (Lovera et al., 2020; Mejía et al., 2020, 2021).

Así, con el fin de optimizar el proceso de producción de *D. saccharalis* en laboratorio, se planteó como objetivo realizar el presente estudio, el cual permitirá estandarizar la cría de este insecto a pequeña escala, tal como se describe a continuación, en el capítulo III.





Capítulo III

Evaluación de tres dietas artificiales para la cría de *Diatraea saccharalis* en laboratorio

Stephanie Johana Numa-Vergel
Diana Lizeth Pinzón Rangel
Zaida Xiomara Sarmiento-Naizaque
Sandra Patricia Romero Niño
Nancy del Carmen Barreto-Triana



Estandarizar procesos dentro de la cría es fundamental para la producción masiva de insectos de interés biológico. Esto permite la optimización de recursos al disminuir costos en insumos, reactivos y mano de obra; además, reduce la mortalidad de individuos por nutrición, espacio, recipientes de cría, condiciones ambientales y contaminación cruzada. Por lo tanto, la producción se hace más eficiente y mejora la calidad de los insectos criados (Pinzón et al., 2022).

Teniendo en cuenta lo anterior y con el propósito de garantizar que los individuos sean viables y tengan características morfológicas similares que generen confiabilidad en la cría, se inició el proceso de estandarización de la dieta artificial que se desea utilizar dentro del protocolo para el mantenimiento y producción de los diferentes estados biológicos de *D. saccharalis* en condiciones de laboratorio, lo cual será un insumo principal para futuros ensayos orientados hacia el conocimiento de la biología y el manejo de la plaga.

En este sentido, la estandarización se realizó en dos etapas: 1) Evaluación de tres dietas artificiales para la alimentación de larvas de *D. saccharalis*, y 2) Verificación del desempeño de las dietas en condiciones de cría a pequeña escala en laboratorio.

Evaluación de tres dietas artificiales para la alimentación de larvas de *Diatraea saccharalis*

La estandarización contó con un diseño completamente al azar (DCA), en el que se evaluaron tres tratamientos correspondientes a tres dietas artificiales y tres réplicas en el tiempo. En cada tratamiento se evaluaron 120 larvas de 7 días después de eclosión. La unidad experimental consistió en un frasco de plástico de 30 mL con tapa acondicionada de malla de acero para permitir el intercambio de aire, y en el que se ubicaron tres larvas sobre la dieta artificial a evaluar (10 mL $\pm$ 0,5 mL).

Para cada una de las dietas se estableció que tuvieran la siguiente composición:

- Proteínas
- Carbohidratos
- Gelificantes

- Vitaminas
- Inhibidores de microorganismos
- Agua

En la figura 6 se pueden observar los componentes principales de las dietas evaluadas.



Figura 6. Dietas artificiales evaluadas para alimentación de larvas de *D. saccharalis* en laboratorio.

Fuente: Elaboración propia

La estandarización se realizó en condiciones de laboratorio (temperatura de $25,7 \pm 0,8$ °C, humedad relativa de $50,6 \pm 2,2$ % y fotoperiodo 12:12). Se partió de posturas de *D. saccharalis*, provenientes del Laboratorio Biocol SAS, y posteriormente se estableció la cría en el laboratorio de entomología del centro de investigación Tibaitatá de AGROSAVIA.

En la figura 7 se muestra la metodología empleada en el ensayo. Las variables evaluadas fueron sobrevivencia en el estado de larva, duración del ciclo de vida, número, peso, longitud y proporción sexual de pupas, así como emergencia de adultos y producción de huevos por hembra (da Silva et al., 2022; Parra, 2021).



Figura 7. Metodología de evaluación de tres dietas artificiales para la alimentación de larvas de *D. saccharalis*.

Fuente: Elaboración propia

Resultados

Los datos obtenidos con las tres dietas artificiales fueron analizados estadísticamente. Se evidenció que no hay diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las variables evaluadas para cada tratamiento.

En la figura 8 se muestra la duración del ciclo de vida de *D. saccharalis* en cada dieta, en donde se observa que la dieta B fue la que presentó mayor duración ($81 \pm 7,7$ días), mientras que la dieta C presentó una menor duración de $57,8 \pm 3,6$ días.

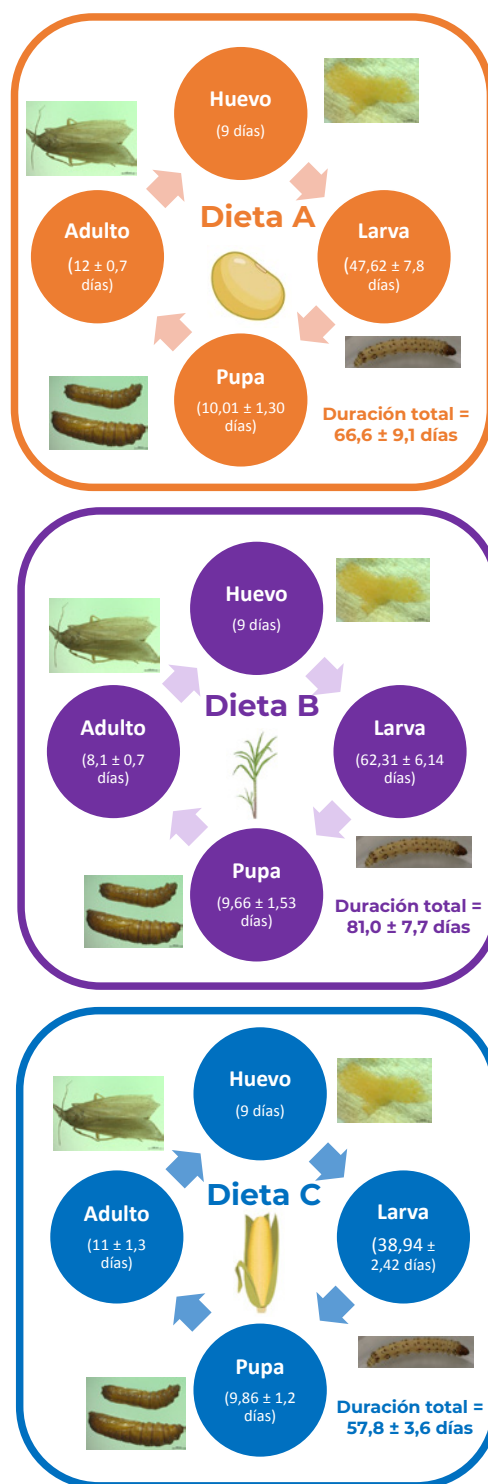


Figura 8. Ciclo de vida de *Diatraea saccharalis* con las tres dietas artificiales evaluadas.

Fuente: Elaboración propia

La variable sobrevivencia del estado larval fue mayor con las dietas A y C (figura 9).

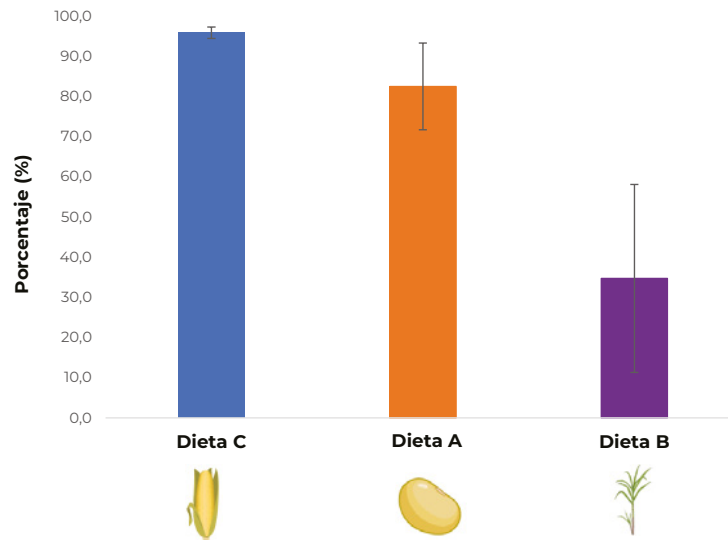
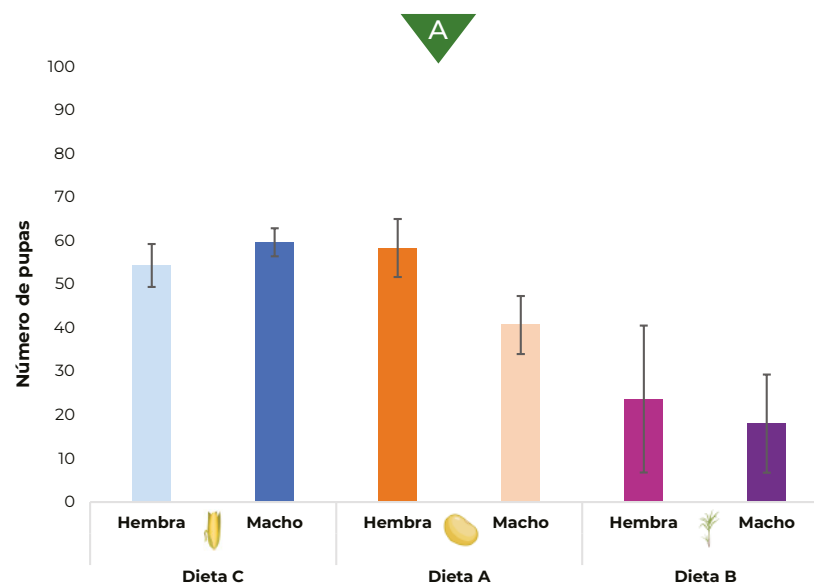


Figura 9. Sobrevivencia en el estado de larva de *D. saccharalis* en cada una de las dietas artificiales evaluadas.

Fuente: Elaboración propia

Solo se presentaron diferencias significativas entre las dietas evaluadas para la variable número de pupas (figura 10a).



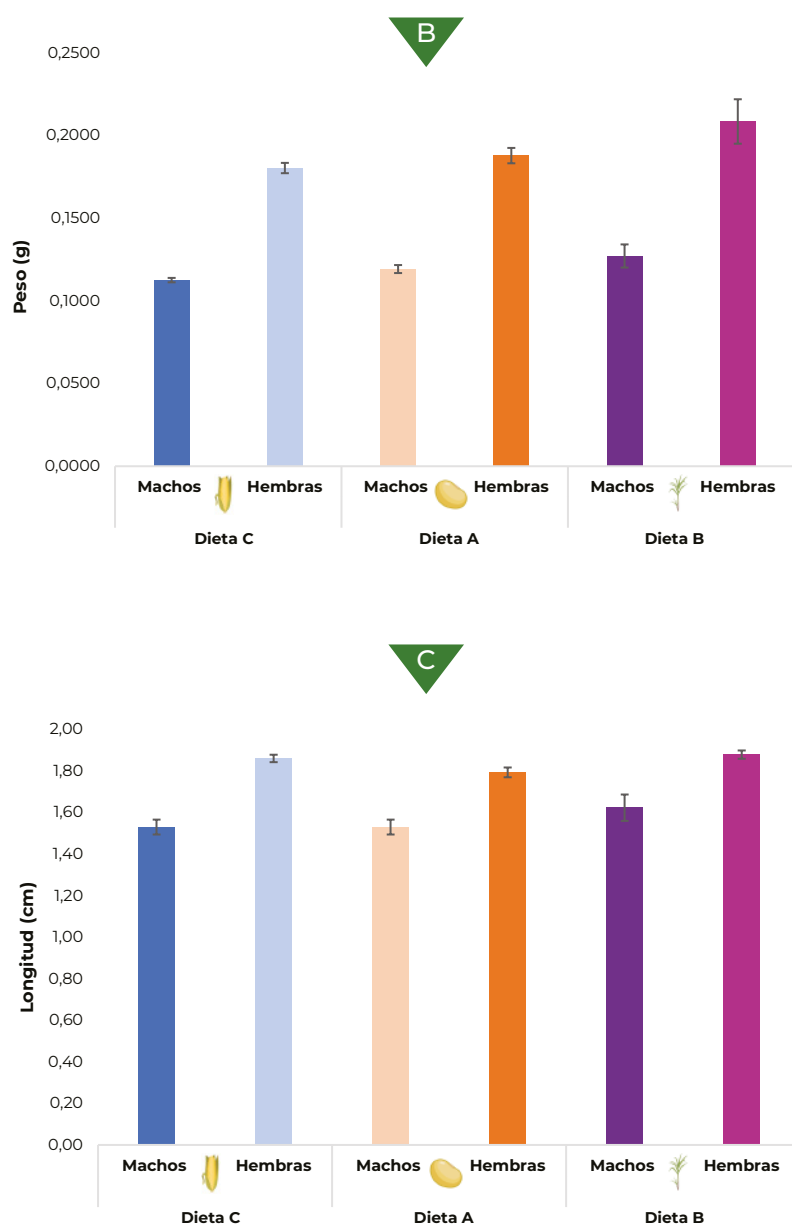


Figura 10. a. Número; b. Peso; c. Longitud de pupas obtenidas de *D. saccharalis* en cada una de las dietas artificiales evaluadas.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 11 se muestran algunas anomalías morfológicas en las pupas provenientes de las tres dietas que, de acuerdo con Parra (2017), posiblemente se deban a deficiencias nutricionales.



Figura 11. Pupas con presencia de anomalías morfológicas en las tres dietas artificiales evaluadas. *a* y *b*. Retención de caracteres morfológicos de larvas; *c*. Tumores en regiones rodeando las alas; *d*. Desplazamiento de órganos de forma específica o generalizada (principalmente antenas y partes de las alas).

Fotos: Stephanie Numa

Por otra parte, se encontró que no existen diferencias significativas entre las tres dietas para la variable de emergencia de adultos, que en todos los casos fue mayor al 95 % (figura 12). Finalmente, se evidenció que el porcentaje de producción de huevos por hembra fue mayor en la dieta C, en comparación con las dietas A y B (figura 13).

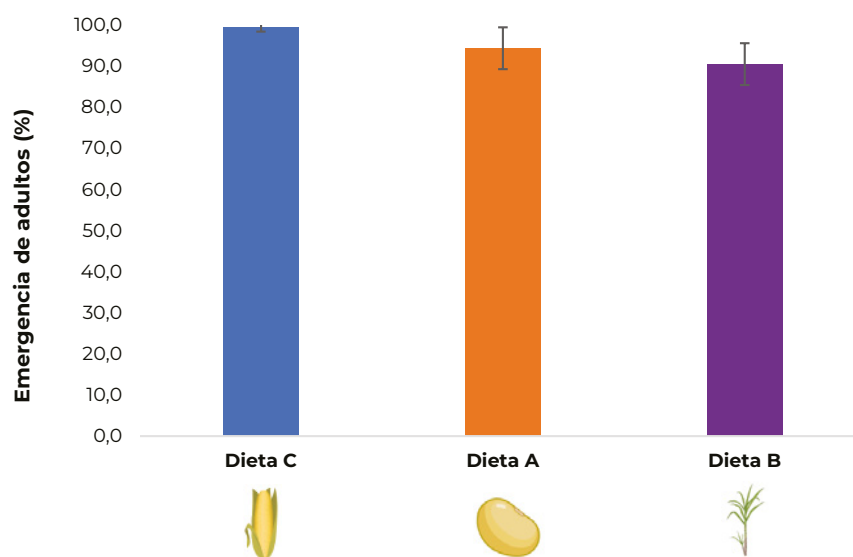


Figura 12. Emergencia de adultos de *D. saccharalis* en cada una de las dietas artificiales evaluadas.

Fuente: Elaboración propia

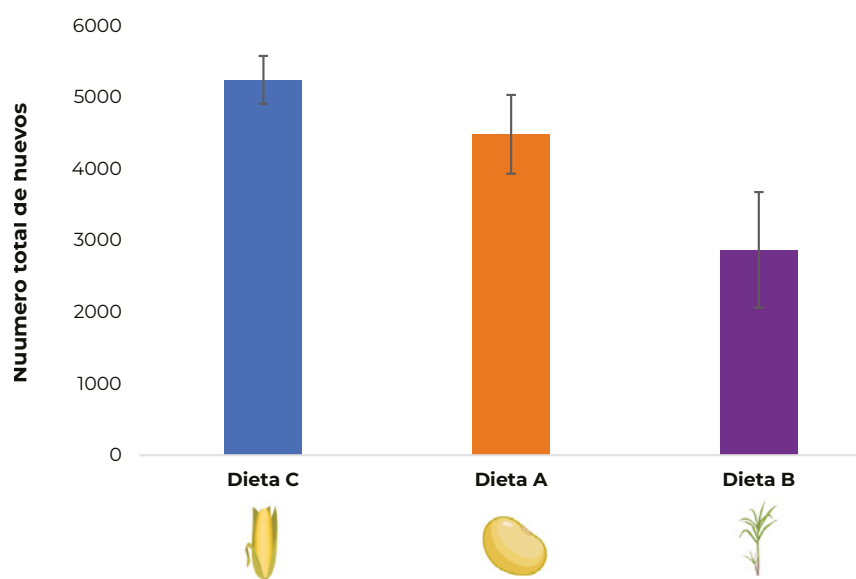


Figura 13. Número de huevos de *D. saccharalis* en cada una de las dietas artificiales evaluadas.

Fuente: Elaboración propia

Verificación del desempeño de las dietas en condiciones de cría a pequeña escala en laboratorio

La segunda etapa de estandarización se realizó debido a la necesidad de optimizar recursos y procesos, de maximizar la disponibilidad de insectos en los diferentes estados de desarrollo, así como las cantidades y frecuencias requeridas para efectuar bioensayos en la búsqueda de estrategias de manejo de este insecto en campo.

Durante la verificación, se evaluaron las tres dietas mencionadas en la figura 6, en las mismas condiciones de la fase anterior. En la figura 14 se muestra la metodología seguida para cada uno de los tratamientos, con tres réplicas en el tiempo y las variables evaluadas, al igual que en la estandarización. La unidad experimental consistió en un recipiente plástico hermético de 4,5 litros con tapa, donde se ubicaron 120 larvas de siete días de edad sobre la dieta artificial a evaluar (45 ± 2 g), para un total de 360 larvas en tres repeticiones en el tiempo.



Figura 14. Metodología para la verificación en el proceso de evaluación de tres dietas artificiales en la cría de *D. saccharalis* en laboratorio.

Fuente: Elaboración propia

Fotos: Stephanie Numa y Diana Pinzón

Resultados

En la figura 15 se observa que, al igual que en la etapa de estandarización, la dieta B presentó mayor duración del ciclo de vida ($62,9 \pm 5,5$ días), mientras que la dieta C presentó una menor duración ($56,6 \pm 5,1$ días).

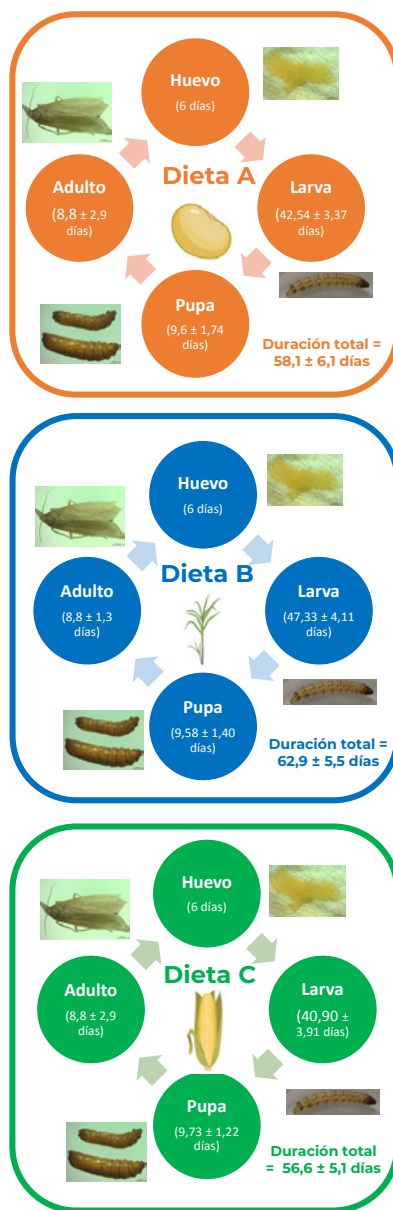


Figura 15. Ciclo de vida de *Diatraea saccharalis* con las tres dietas artificiales evaluadas en la etapa de verificación.

Fuente: Elaboración propia
Fotos: Stephanie Numa

En la figura 16 se presenta la comparación de la duración de los estados de desarrollo de *D. saccharalis* en las tres dietas evaluadas para las etapas de estandarización y verificación. Se observa que, en la dieta A, se presentan diferencias entre la duración de los estados de desarrollo de larva, pupa y adulto; para el caso de la dieta B, se presentan diferencias en los estados de larva y pupa, y, en la dieta C, se presentan diferencias únicamente en el estado de larva. En cuanto a la duración total del ciclo de vida, no se observaron diferencias significativas entre la etapa de estandarización y verificación para la dieta C, y se presentaron diferencias en la duración total del ciclo de vida de larvas alimentadas con las dietas A y B en las dos etapas evaluadas.

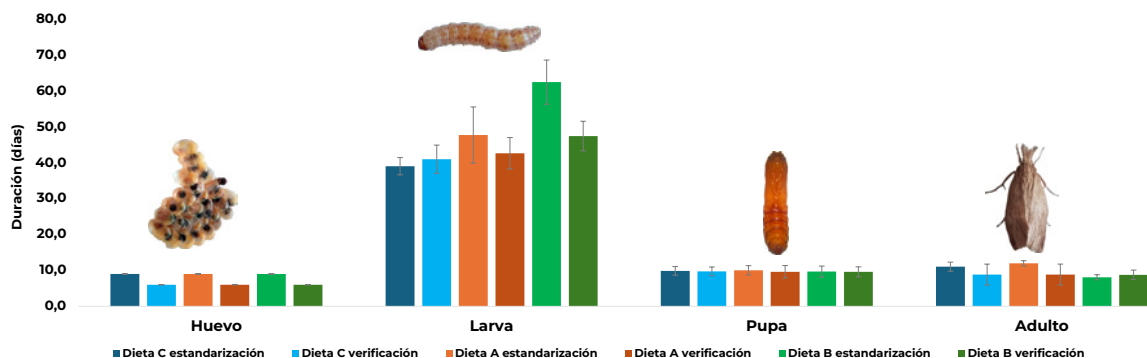


Figura 16. Comparación de la verificación y la estandarización, en la duración promedio de los estados de desarrollo de *D. saccharalis*, para cada una de las dietas artificiales evaluadas. Dieta C estandarización (■); dieta C verificación (■); Dieta A estandarización (■); Dieta A verificación (■); Dieta B estandarización (■); Dieta B verificación (■).

Fuente: Elaboración propia

La sobrevivencia del estado de larva fue mayor con las dietas A y C; sin embargo, al realizar la verificación, se evidenció que no hubo diferencias entre las dos dietas y tampoco entre la sobrevivencia de larvas para la dieta A y la dieta C, en las etapas de estandarización y verificación (figura 17). Adicionalmente, se observa que no se presentan diferencias en la dieta B para las etapas de estandarización y verificación.

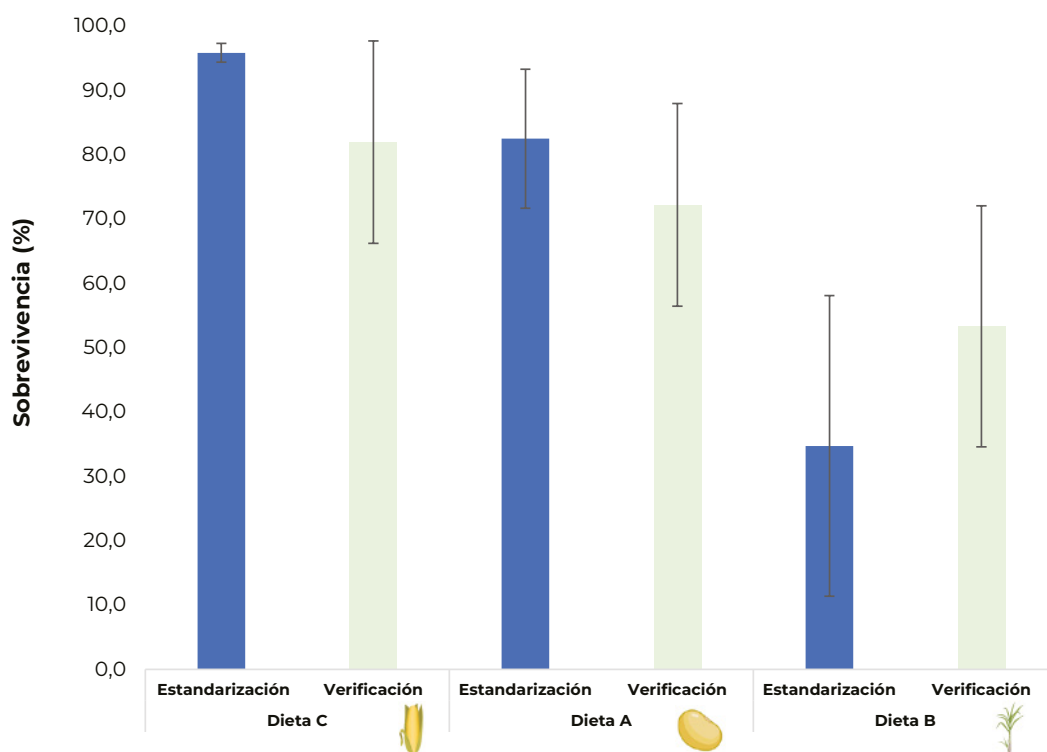


Figura 17. Comparación entre las etapas de estandarización y verificación para la variable de sobrevivencia en el estado de larva de *D. saccharalis*, en cada una de las dietas artificiales evaluadas.

Fuente: Elaboración propia

Para la variable de longitud de pupas, solo se presentaron diferencias en las etapas de estandarización y verificación en la dieta B (figuras 18a y 18b).

En cuanto a la variable emergencia de adultos, solo se presentaron diferencias entre la estandarización y verificación para la dieta C (figura 19).

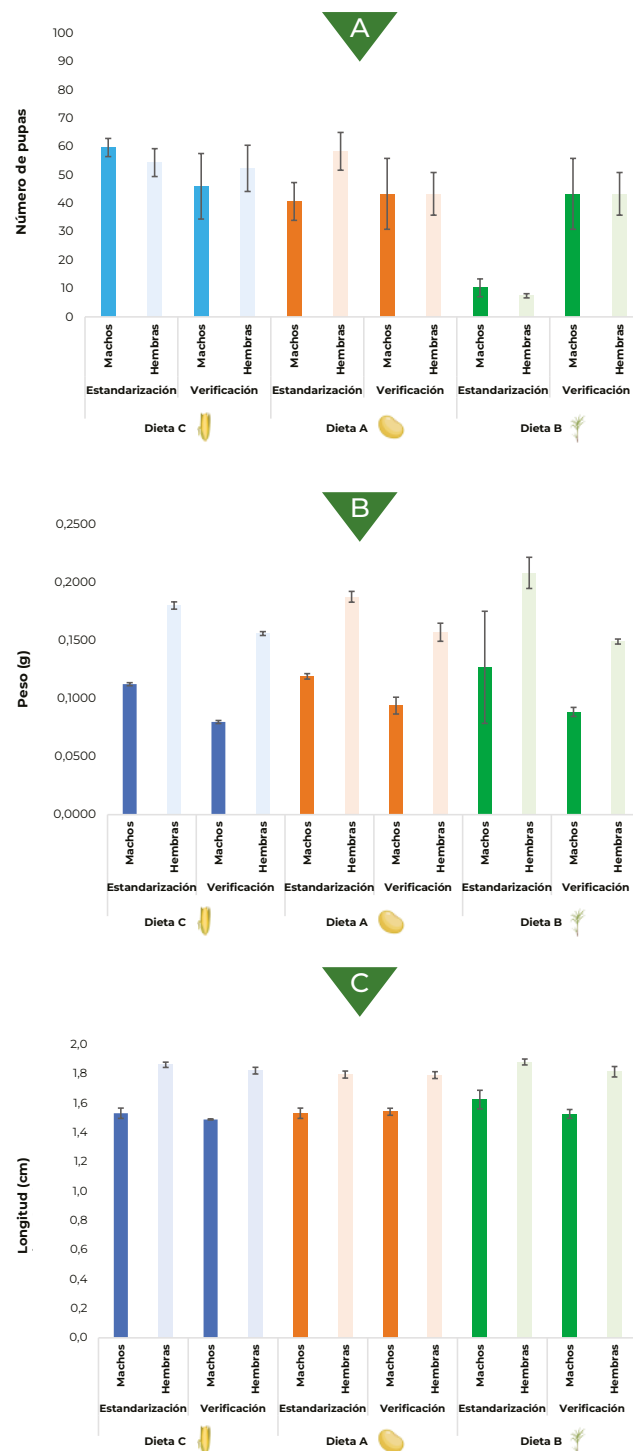


Figura 18. Comparación entre las etapas de estandarización y verificación para las variables de a. Número; b. Peso; c. Longitud de pupas obtenidas de *D. saccharalis* en cada una de las dietas artificiales evaluadas.

Fuente: Elaboración propia

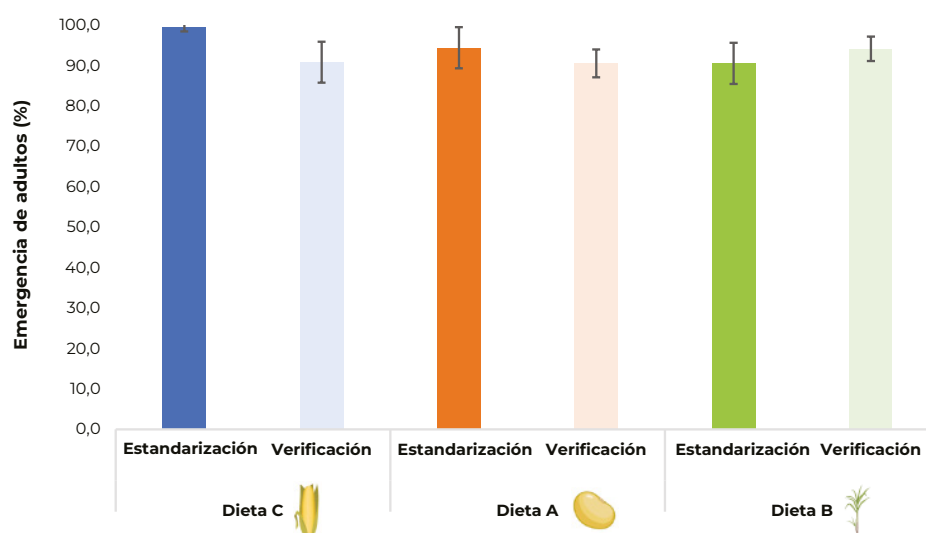


Figura 19. Comparación entre las etapas de estandarización y verificación para la variable de emergencia de adultos de *D. saccharalis*, en cada una de las dietas artificiales evaluadas.

Fuente: Elaboración propia

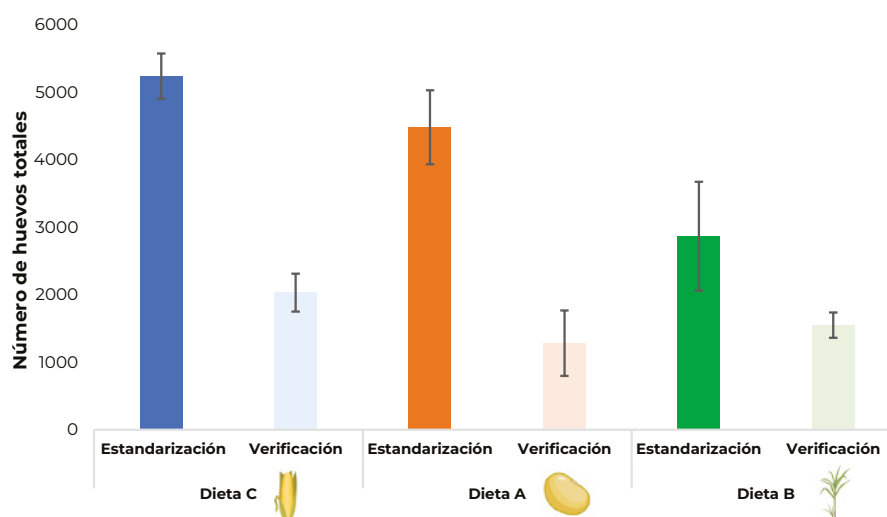


Figura 20. Comparación entre las etapas de estandarización y verificación para la variable producción de huevos de *D. saccharalis*, en cada una de las dietas artificiales evaluadas.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 20 se observa que para la variable producción de huevos se presentaron diferencias significativas para las tres dietas evaluadas. Se evidencia que este parámetro es el más afectado al escalar la cría con producción de mayor cantidad de larvas por recipiente.

Con los resultados del proceso de verificación se concluye que:

1. La elección de la dieta artificial a utilizar depende de la escala y los fines de la cría:
 - a. La dieta A es la más adecuada cuando el propósito es obtener mayor producción de huevos.
 - b. La dieta C es una dieta útil para la alimentación de larvas a pequeña escala, ya que la mayoría de los parámetros biológicos no se ven afectados.
2. El recipiente en el cual se ubican las larvas durante su desarrollo puede influir en las propiedades físicas y químicas de las dietas artificiales.
3. Para futuros estudios, es recomendable realizar al menos tres repeticiones en el tiempo con cohortes diferentes para realizar procesos de estandarización y verificación.

En el capítulo IV se encuentra el protocolo establecido para la cría a pequeña escala de *D. saccharalis* en laboratorio.



Capítulo IV

Protocolo para la cría de *Diatraea saccharalis* en laboratorio

Diana Lizeth Pinzón Rangel
Stephanie Johana Numa-Vergel
Zaida Xiomara Sarmiento-Naizaque
Sandra Patricia Romero Niño
Nancy del Carmen Barreto-Triana



Una vez se ha establecido y estandarizado la cría del insecto en laboratorio, se debe tener un documento que describa todos los requerimientos (infraestructura, insumos, reactivos, entre otros) y actividades que se realizan dentro del proceso de producción del insecto para garantizar la repetibilidad, reproducibilidad, calidad, frecuencia y cantidades del insecto que se requieran para la ejecución de los diferentes proyectos de investigación.

A continuación, se describen los requerimientos generales para el establecimiento de la cría de *D. saccharalis* en laboratorio.

■ Infraestructura

El establecimiento de un pie de cría de *D. saccharalis* en laboratorio se inicia con la recolección de individuos en campo, específicamente en cultivos de caña de azúcar infestados (menores de seis meses de edad) que presenten amarillamiento de la yema terminal, conocido como síntoma de “corazón muerto” (Borja & Laverde, 2006; Reguilón et al., 2014). También es posible adquirir los individuos provenientes de laboratorios que tengan establecidas las crías de insectos como, por ejemplo, el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña) o Laboratorios Biocol SAS, ubicados en el Valle del Cauca.

Para el seguimiento de estos individuos, se debe disponer de un área aislada (área de cuarentena), diferente al área donde se va a establecer la cría, con condiciones ambientales controladas que permitan observar que los individuos recolectados, larvas o pupas, no presenten entomopatógenos como hongos, virus, bacterias o parasitoides.

Una vez se obtenga la primera generación de individuos sanos, se inicia con el establecimiento del pie de cría.

Para el mantenimiento y producción de la cría de *D. saccharalis*, se requiere de un área o sala (cuarto de cría) con condiciones ambientales controladas (temperatura, humedad relativa y fotoperiodo), que permitan el desarrollo del insecto, en las cuales se obtengan individuos sanos y cuya duración del ciclo de vida sea similar entre cohortes. Esta área debe contar con ventana y puerta herméticas, que eviten el ingreso o salida de los insectos y que ayuden a mantener estables las condiciones ambientales programadas.

Insumos, reactivos y equipos

Para la actividad de mantenimiento de la cría del insecto se requieren los siguientes materiales, insumos y reactivos necesarios para la preparación de las dietas artificiales, tal y como se muestra en la figura 7 del capítulo III, y en la figura 21.



Figura 21. Insumos, soluciones y equipos para el mantenimiento de la cría de *D. saccharalis*.

Fuente: Elaboración propia

Pasos para el mantenimiento de la cría de *D. saccharalis*

Antes de realizar todas las actividades para el mantenimiento de la cría de *D. saccharalis* en laboratorio, es importante tener en cuenta la desinfección de las áreas, los materiales e insumos que se van a emplear previamente en cada actividad, así como el uso de los elementos de protección personal y la mano de obra para realizar las actividades dentro de la cría. Lo anterior garantiza la obtención de individuos sanos, evita contaminaciones cruzadas y permite un mayor control del proceso de mantenimiento de la cría.

Además, se debe realizar control y seguimiento de las condiciones ambientales del cuarto de cría (temperatura, humedad relativa y fotoperiodo), así como la preparación de la dieta artificial con la cual se alimentan las larvas del insecto.

A continuación, se describen los pasos para el mantenimiento y la producción de la cría de *D. saccharalis*.

Recolección de individuos en campo

Para iniciar la producción de *D. saccharalis* en el laboratorio, se deben recolectar larvas o pupas en campo procedentes de tallos de caña con síntoma de corazón muerto (figura 1, capítulo I). La identidad taxonómica se debe confirmar mediante el estudio del aparato genital de una muestra de adultos obtenidos en el seguimiento en cuarentena (Solís & Metz, 2016).

Ingreso área de cuarentena

Se ingresan las larvas de *Diatraea* spp. al área de cuarentena y se individualizan en recipientes con dieta artificial, en los cuales se debe observar a través del tiempo que no presenten infección por entomopatógenos o enemigos naturales, como se muestra en la figura 22. Cuando los individuos requieran alimentación adicional, se les administra dieta hasta llegar a estado de pupa.

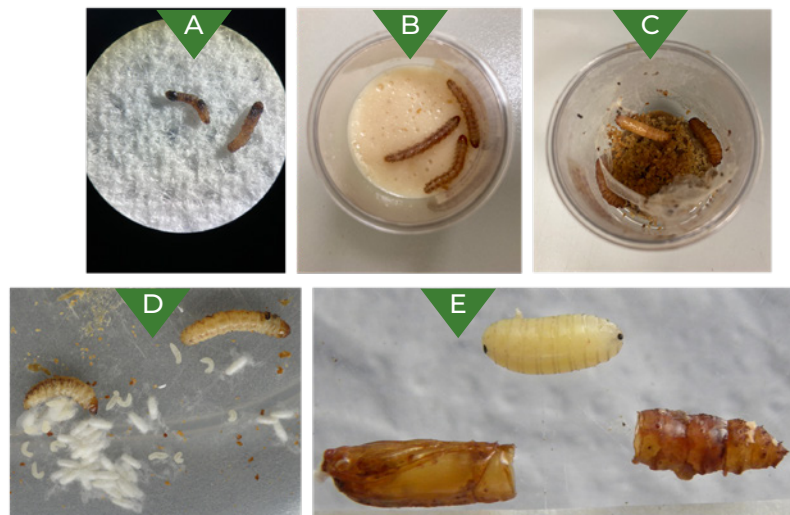


Figura 22. Individuos de *Diatraea* sp. a. Larvas con presencia de patógenos; b. y c. Individuos sin presencia de patógenos; d. Larvas parasitadas por *Cotesia flavipes*; e. Pupa parasitada por larva de una especie de mosca parasitoide (Diptera: Tachinidae).

Fotos: Stephanie Numa y Pablo Osorio-Mejía

Determinación de sexo en pupas

Las pupas sanas que se recolectan en el área de cuarentena se ubican en cajas de Petri y, por observación en el estereomicroscopio, se determina el sexo, detallando el quinto segmento abdominal en vista ventral: la hembra muestra una sutura central en la zona anterior, mientras que el macho exhibe dos puntos semiesféricos en posición apical (figura 23).

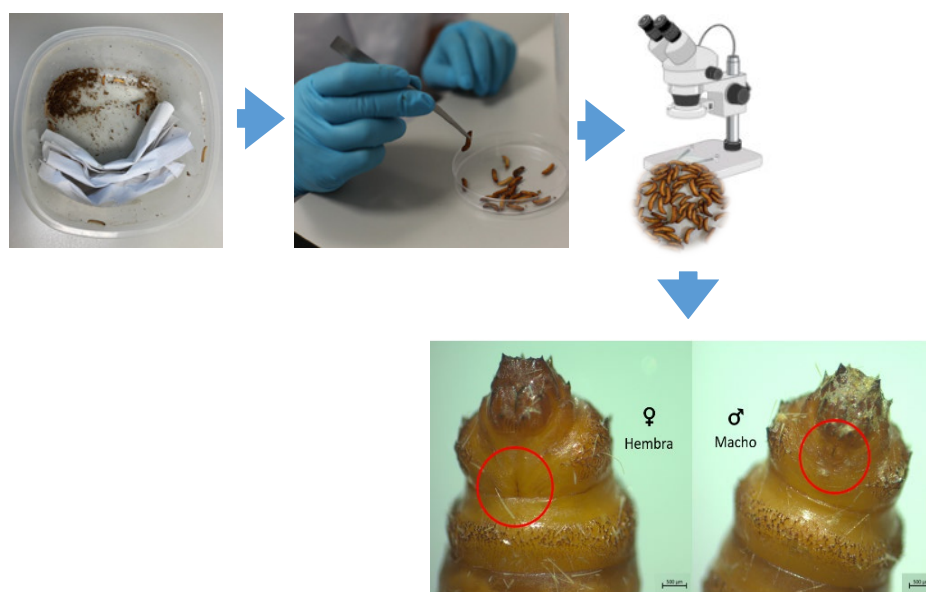


Figura 23. Pasos para la determinación de sexo de pupas de *D. saccharalis*.

Fotos: Stephanie Numa y Diana Pinzón

Montaje de cámaras de cópula y oviposición

Para el montaje de las cámaras donde se ubicarán las pupas (cámaras de cópula), se utilizan recipientes plásticos herméticos a los cuales se les cubren las paredes internas, así como la base y la tapa interna con servilletas. Posteriormente, en la base se coloca una copa con algodón, y se ingresan las pupas manteniendo la proporción de sexos 1:1 (hembra: macho), hasta la emergencia, cópula y oviposición de los adultos (figura 24). Se ubican las cámaras en la sala o cuarto de cría, previamente desinfectada y con las condiciones ambientales ya establecidas.

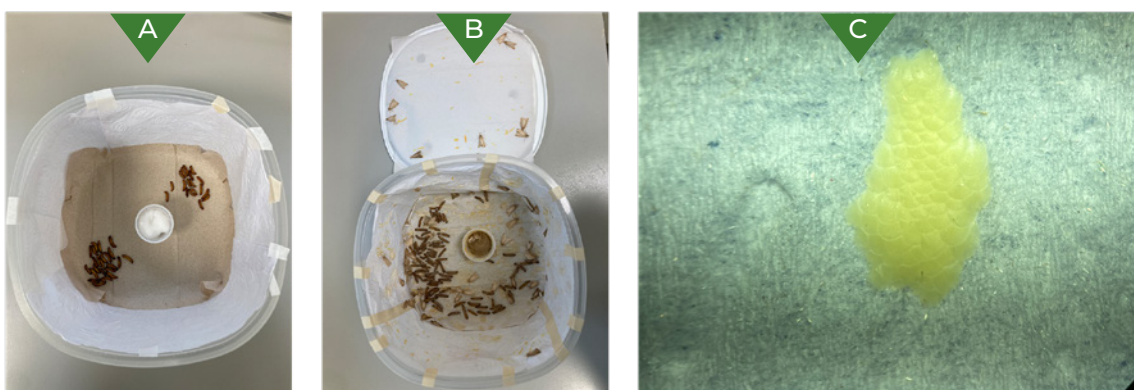


Figura 24. Montaje de cámaras de cópula y oviposición de *D. saccharalis* en laboratorio. a. Cámara de cópula; b. Adultos emergidos y posturas de huevos en servilletas; c. Huevos viables recolectados.

Fotos: Stephanie Numa y Diana Pinzón

Una vez han emergido los adultos, se debe: a) humedecer el algodón (ubicado en la copa) con agua destilada estéril (sustrato de hidratación de adultos); b) recolectar los huevos puestos por los adultos cada dos días, cuyas posturas normalmente se encuentran sobre las servilletas; c) cambiar las servilletas del recipiente y la copa por otras nuevas; d) ubicar el algodón humedecido una vez finalice con el cambio de servilletas y copa; e) ubicar los huevos recolectados por cada cámara de cópula en una caja de Petri y realizar el conteo de estos con apoyo de un contador y estereoscopio; f) registrar el número de huevos viables recolectados en cada cámara de cópula.

Montaje de cámaras de desarrollo de estados inmaduros del insecto

Se ubican los huevos previamente contados dentro de un recipiente plástico hermético. Enseguida, se corta un trozo de dieta artificial rectangular con un peso aproximado de 42 ± 2 gramos para 120 larvas, a la cual se le hacen dos cambios en los últimos instares larvales (figura 25a) y se ubica en la parte superior una servilleta y la tapa. Finalmente, se ubica la cámara en la sala de cría previamente desinfectada y con las condiciones ambientales requeridas.

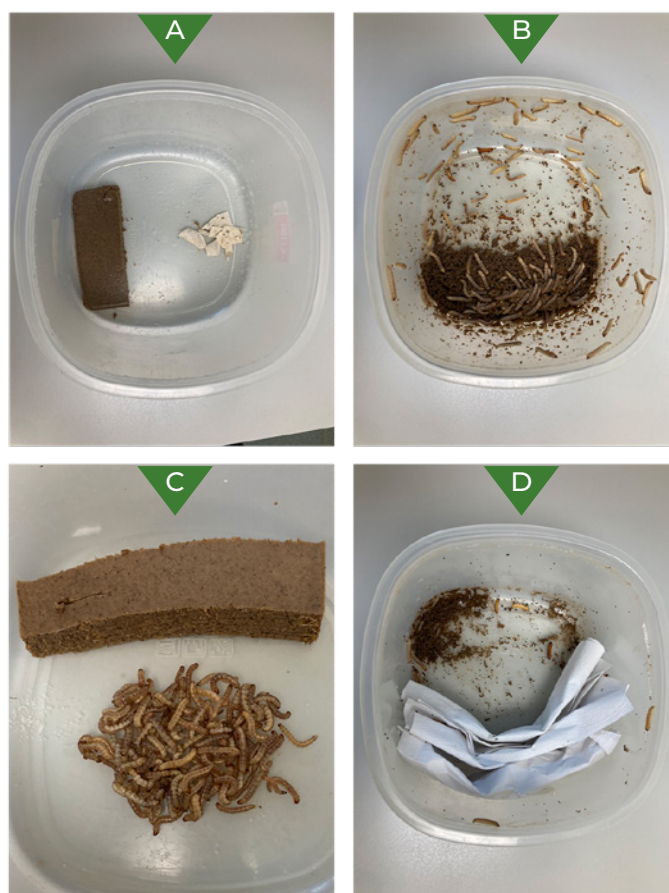


Figura 25. Montaje de cámaras de desarrollo de inmaduros.
a. Ubicación de posturas de huevos recolectados y trozo de dieta artificial; b. Cámara con excrementos de larvas; c. Cámara con cambio de dieta y descarte de excrementos; d. Ubicación de servilletas como sustrato para formación de pupas.

Fotos: Diana Pinzón

Cuando las larvas estén en prepupa, se deben ubicar en la base de la cámara de desarrollo de inmaduros de dos a tres servilletas dobladas, las cuales servirán como sustrato para que pupen las larvas y evitar depredación (figura 25d).

Una vez se obtengan las pupas en las cámaras, se procede a recolectarlas, definir el sexo y separarlas entre hembras y machos, para iniciar de nuevo con el paso 4 (“Montaje de cámaras de cópula y oviposición”).

En la figura 26 se puede observar el diagrama de flujo del proceso de mantenimiento y producción de la cría *D. saccharalis*.

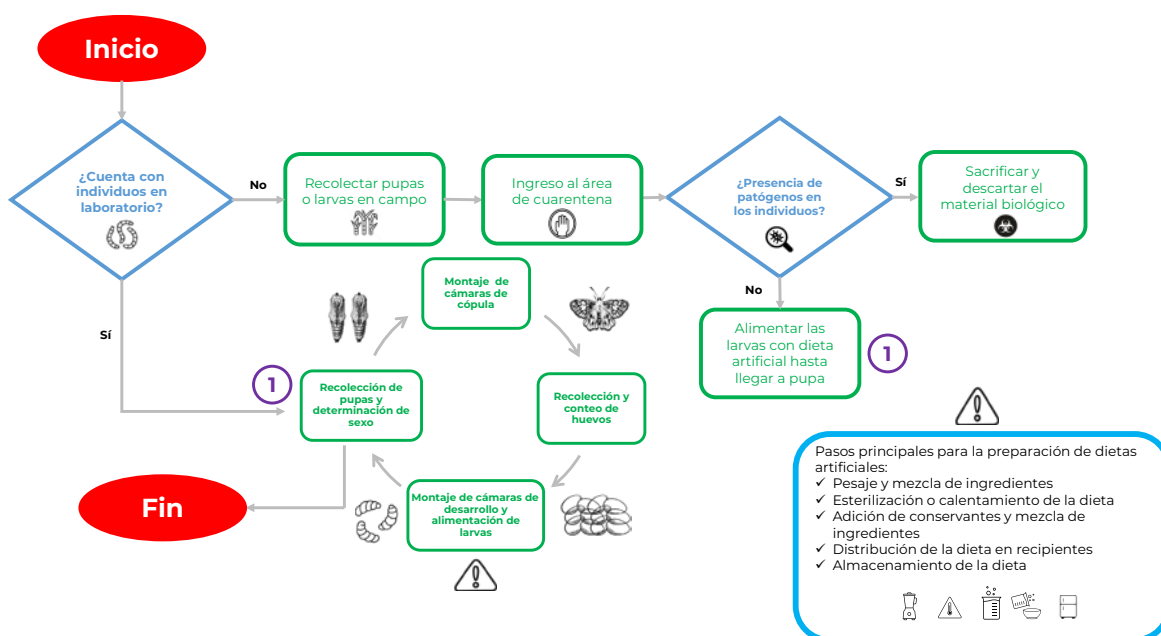


Figura 26. Proceso para la producción y mantenimiento de la cría de *D. saccharalis* en laboratorio.

Fuente: Elaboración propia

Control de calidad

Dentro del proceso de mantenimiento y producción de la cría de *D. saccharalis*, es importante establecer unos parámetros biológicos que permitan medir, verificar y asegurar que los individuos que se están produciendo cumplan y presenten características morfológicas y nutricionales similares. Este control se debe realizar desde el establecimiento de la cría y por lotes de producción teniendo en cuenta los siguientes parámetros mínimos.

Porcentaje de eclosión

Es el porcentaje diario de huevos puestos por hembra y que eclosionan como larvas en instar I (neonatas). Este porcentaje se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Eclosión (\%)} = \left(\frac{\text{Número de larvas neonatas}}{\text{Número de huevos totales viables}} \right) * 100$$

En la figura 27 se muestran los huevos viables e inviables para el cálculo del porcentaje de eclosión.

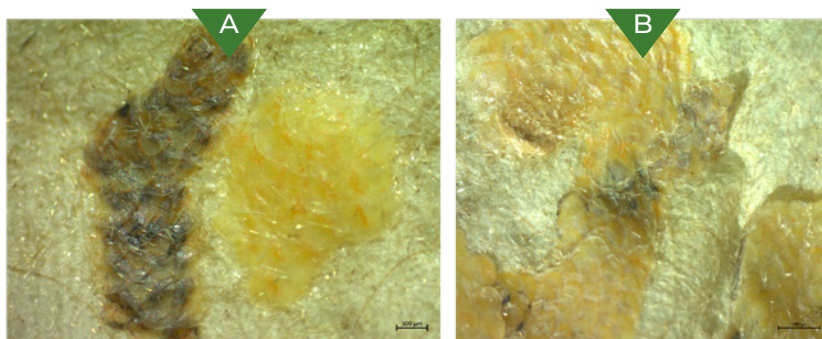


Figura 27. Huevos viables e inviables de *D. saccharalis*. a. Huevos viables y fértiles; b. Huevos deshidratados e inviables.

Fotos: Stephanie Numa

Porcentaje de sobrevivencia de larvas

Es el porcentaje del número de larvas que llegan al estado de pupa sanas por cámara de desarrollo de inmaduros. Este porcentaje se puede calcular mediante la siguiente fórmula (da Silva et al., 2022):

$$\text{Sobrevivencia en larvas (\%)} = \left(\frac{\text{Número de pupas sanas}}{\text{Número de larvas totales}} \right) * 100$$

Proporción sexual en pupas

Es la relación de machos y hembras en un lote o cámara de producción de la cría. En la figura 28 se muestran pupas de los dos sexos.



Figura 28. Pupas de *D. saccharalis*.

Fotos: Stephanie Numa

Porcentaje de emergencia de adultos

Es el porcentaje de pupas que llegan a adultos por cámara. Este porcentaje se puede calcular mediante la siguiente fórmula (da Silva et al., 2022):

$$\text{Emergencia de pupas (\%)} = \left(\frac{\text{Número de adultos}}{\text{Número total de pupas}} \right) * 100$$

La emergencia del adulto se muestra en la figura 29.



Figura 29. Individuos de *D. saccharalis*. a. Exuvia de pupa; b. Adulto.

Fotos: Stephanie Numa

Fecundidad

Es el número de huevos puestos por una hembra (figura 30).



Figura 30. Huevos de *D. saccharalis* fértiles.

Foto: Xiomara Sarmiento-Naizaque

Estimación de costos de producción de *D. saccharalis* en laboratorio

La estimación de costos del proceso para la producción de la cría de *D. saccharalis* a pequeña escala, alimentada con dieta artificial, se realizó en el laboratorio de entomología ubicado en el centro de investigación Tibaitatá (Mosquera, Cundinamarca, Colombia), para las etapas de estandarización y verificación.

Cabe resaltar que la estimación que se presenta es una aproximación de costos del proceso general. Se espera que el lector, con la información suministrada como base, pueda realizar la valoración según los requerimientos específicos y el propósito de la cría.

A continuación, se presentan los costos aproximados para una producción semanal de 1.000 larvas para el año 2023.

En la tabla 3 se presenta el costo de producción (para el año 2023) de las tres dietas artificiales evaluadas, en donde el lector puede elegir la que considere adecuada de acuerdo con los requerimientos de la cría y la facilidad de obtención de los componentes.

Tabla 3. Costos de dietas artificiales evaluadas para la alimentación de larvas de *D. saccharalis*

Componentes	Dieta A (Hensley & Hammond, 1968 modificada por Araújo et al., 1985)		Dieta B (modificada de Lastra-Borja & Gómez- Laverde, 2006)		Dieta C (modificada de Echeverri-Rubiano, 2019)	
	Cantidad/ 1 litro de dieta	Costo total	Cantidad/1 litro de dieta	Costo total	Cantidad/1 litro de dieta	Costo total
Germen de trigo (g)	15	\$ 538	38,0	\$ 1.362	16,7 d	\$ 697
Proteína de soya (g)	54	\$ 3.256	8,0	\$ 482	-	\$ -
Cuchuco de maíz molido (g)	-	\$ -	-	\$ -	100 d	\$ 752
Harina de maíz blanco (g)	-	\$ -	-	\$ -	100 d	\$ 1.080
Zanahoria (g)	-	\$ -	40,0	\$ 160	-	\$ -
Tusa de maíz molida (g)	-	\$ -	11,25	\$ 3.796	-	\$ -
Yagua de caña pulverizada (g)	-	\$ -	80	\$ 48.000	-	\$ -
Levadura activa seca (g)	-	\$ -	40 c	\$ 2.642	20,8 cd	\$ 1.376
Azúcar (g)	52,5 n	\$ 385	20,0	\$ 147	11,1 n	\$ 82
Sales de Wesson (g)	7,5	\$ 3.015	8,6 n	\$ 3.457	3,4 a	\$ 1.385
Complejo B (g)	-	\$ -	0,184 n	\$ 481	-	\$ -
Ácido ascórbico (g)	1,9	\$ 113	2,5 n	\$ 147	5,6 a	\$ 332
Cloruro de colina (g)	0,4	\$ 36	-	\$ -	0	\$ -
Solución vitamínica (mL)	11,3	\$ 2.712	-	\$ -	0	\$ -

Componentes	Dieta A (Hensley & Hammond, 1968 modificada por Araújo et al., 1985)		Dieta B (modificada de Lastra-Borja & Gómez- Laverde, 2006)		Dieta C (modificada de Echeverri-Rubiano, 2019)	
	Cantidad/ 1 litro de dieta	Costo total	Cantidad/1 litro de dieta	Costo total	Cantidad/1 litro de dieta	Costo total
Metil parabeno (g)	3	\$ 323	3,5	\$ 377	1,4 a	\$ 149
Ácido sórbico (g)	-	\$ -	2,3	\$ 173	1,4 a	\$ 104
Formol al 40 % (mL)	0,75	\$ 22	-	\$ -	0	\$ -
Amoxicilina (g)	0,13 ac	\$ 65	0,25 ac	\$ 125	0,28 ac	\$ 149
Agar (g)	12	\$ 5.451	25 a	\$ 11.355	22,2 a	\$ 10.094
Agua destilada (mL)	900	\$4.320	1000	\$ 4.800	1.000 a	\$ 4.800
Total	\$ 20.236		\$ 77.504		\$ 21.000	

a = Aumento de cantidades; d = Disminución de cantidades; n = Incorporación de nuevo componente; c = Cambio de componente.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4 se muestran las actividades realizadas para el mantenimiento de las crías en las etapas de estandarización y verificación.

Tabla 4. Actividades y costo del mantenimiento de la cría de *D. saccharalis* en laboratorio

Actividad	Cría en etapa de estandarización		Cría en etapa de verificación	
	Horas hombre / mes	Costo total*	Horas hombre / mes	Costo total*
Alistamiento de material	0,8	\$ 6.774	0,8	\$ 6.774
Colecta y conteo de huevos	8,0	\$ 65.030	8,3	\$ 67.740
Montaje de cámaras de cópula	1,7	\$ 13.548	1,7	\$ 13.548
Alimentación y cambio de dieta artificial en cámaras de desarrollo de inmaduros	5,0	\$ 40.644	3,8	\$ 30.483

Actividad	Cría en etapa de estandarización		Cría en etapa de verificación	
	Horas hombre / mes	Costo total*	Horas hombre / mes	Costo total*
Colecta de pupas	1,7	\$ 13.548	0,8	\$ 6.774
Determinación de sexo en pupas	5,0	\$ 40.644	5,0	\$ 40.644
Desinfección de cuarto de cría	2,5	\$ 20.322	2,5	\$ 20.322
Lavado de material	5,0	\$ 40.644	3,3	\$ 27.096
Preparación de dieta artificial	6,7	\$ 54.192	4,2	\$ 33.870
Control de calidad	2,1	\$ 16.935	2,1	\$ 16.935
Total	38,4	\$ 312.281	32,5	\$ 264.186

* Costo laboral calculado con el salario mínimo legal vigente (SMLV) del año 2023 para Colombia.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5 se observa que los costos de producción para las dos etapas evaluadas son similares, por lo que el lector puede elegir la que más se ajuste a sus necesidades de investigación o producción con fines comerciales.

Tabla 5. Costos de producción de *D. saccharalis* en laboratorio

Rubros	Etapas de estandarización	Etapas de verificación
Mano de obra	\$ 312.281	\$ 264.186
Insumos y reactivos para mantenimiento de cría	\$ 276.218	\$ 265.731
Total	\$ 588.499	\$ 529.916

Fuente: Elaboración propia

Nota: Es importante tener en cuenta que, dentro de estos costos de producción, se debe incluir lo relacionado con la renovación de la cría, la cual incluye el costo del personal para la búsqueda y recolección de larvas en cultivos de caña, y el transporte de dichas personas. Esta renovación se debe realizar al menos cada 10 generaciones, para evitar pérdida de producción por endogamia.

Observaciones sobre costos de producción

Es importante tener en cuenta que, para la estimación de estos costos, AGROSAVIA ya contaba con el cuarto de cría y cuarentena, los cuales ya tenían los equipos para la regulación de temperatura, humedad relativa y fotoperiodo. No obstante, si se requiere replicar el ejercicio y no se cuenta con las instalaciones, deberá contemplar lo siguiente:

- Costos de sala de cría y de cuarentena con equipos para regulación de condiciones ambientales.
- Equipos ópticos para el conteo de huevos.
- Equipos para el seguimiento de las condiciones ambientales del cuarto de cría.
- Área y equipos para elaboración y almacenamiento de dietas artificiales: mínimo se debe disponer de autoclave o estufa, balanza, licuadora y nevera (para almacenamiento de las dietas).
- Costos asociados al mantenimiento anual de los equipos.
- Costos de servicios públicos como agua y energía.



Referencias

- Araújo, J. R., Botelho, P. S. M., Araújo, S. M., Almeida, L. C., & Degaspari, N. (1985). Nova dieta artificial para criação da *Diatraea saccharalis* (Fabr.). *Saccharum, APC*, 36, 45-48.
- Barona, A., Antolínez, E., Lopez, J. G., Viveros, C., Jiménez, J., Ángel, J. C., & Vargas, G. (2021). Comportamiento agroindustrial de seis variedades de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) para panela en Barbosa (Colombia). *Revista Ciencia y Agricultura*, 18(3), 15-27.
- Barrera G. P., Villamizar, L. F., Espinel, C., Quintero, E. M., Belaich, M. N., & Toloza, D. L. (2017). Identification of *Diatraea* spp. (Lepidoptera: Crambidae) based on cytochrome oxidase II. *PLoS One*, 12(9), e0184053.
- Barreto-Triana, N., Insuasty, O., Sandoval-Cáceres, Y., & Romero, Y. (2018). Evaluation of two commercial pheromones for male capture of *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) in sugarcane crops in Colombia. Book of Abstracts 5th Congress of the Latin American Association of Chemical Ecology (ALAEQ). Valparaíso, Chile.
- Barreto-Triana, N., Sandoval-Cáceres, Y., Cely-Pardo, L., Romero, Y., & Cruz, G. (2019). *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae) male responses in wind tunnel. Abstracts XI Brazilian Meeting on Chemical Ecology. Maceio, Alagoas Brazil.
- Barreto-Triana, N., Sandoval-Cáceres, Y., Cely-Pardo, N., Blassioli-Moraes, C., Borges, M., & Laumann, R. (2021). Estado actual y perspectivas de uso de feromonas sexuales en el manejo integrado de *Diatraea saccharalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae) en Colombia. Memorias del Congreso Sociedad Colombiana de Entomología.
- Barreto-Triana, N., Osorio-Mejía, P., Insuasty Burbano, O., Sarmiento-Naizaque, Z., Sandoval-Cáceres, Y., Barona-Rodríguez, A., Jiménez-Vargas, J., & Gómez-Benavides, J. (2022). *Conozca a sus aliados para el manejo del barrenador Diatraea spp. en caña de azúcar para panela*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA.
- Borja, L. A. L., & Laverde, L. A. G. (2006). *La cría de Diatraea saccharalis* (F.) para la producción masiva de sus enemigos naturales. Cenicaña.
- Botelho, P. S., & Macedo, N. (2002). *Cotesia flavipes* para o controle de *Diatraea saccharalis*. En J. R. Parra, P. S. M Botelho, B. S. Correa Ferreira, & J. M. S. Bento (Eds.), *Controle biológico no Brasil. Parasitóides e predadores* (pp. 409-426). Manole.
- Bustillo, A. (2013). *Insectos plaga y organismos benéficos del cultivo de la caña de azúcar en Colombia*. Cenicaña.

- Campos, L. S., Coelho Junior, A., & Parra, J. R. (2017). Artificial diet for laboratory rearing of *Condyloporrhiza vestigialis* (Guenée, 1854) (Lep.: Crambidae). *Acadêmia Brasileira de Ciências*, 89, 333-340.
- Chang, P. E. C., & Metz, M. A. (2021). Classification of *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae: Gelechiinae: Gnorimoschemini) based on cladistic analysis of morphology. *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, 123(1), 41-54.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (2021). *Informe final de proyecto "Estrategias de manejo integrado de plagas y enfermedades asociadas a cultivos de caña de azúcar en regiones productoras de panela en Colombia"* [Documento interno].
- Da Silva, J. F., de Brito, C. H., De Oliveira Barbosa, V., Alves, J. C. G., & Abreu, K. G. (2022). Influência de dietas e temperaturas na biologia de *Diatraea saccharalis* Fabricius 1794 e *Diatraea flavipennella* Box 1931. *Research, Society and Development*, 11(16).
- Díaz-Montilla, A., Espinel-Correal, C., & Igua Urbano, E. (2022). Principales insectos plaga de la caña de azúcar para panela y su manejo. En A. Díaz-Montilla & J. V. Romero (Eds.), *Recomendaciones tecnológicas para el mejoramiento del sistema productivo de caña de azúcar para panela en el occidente de Nariño* (pp. 63-80). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA.
- Echeverri-Rubiano, C. (2019). *Dieta artificial No. 22. Informe de dietas artificiales para el desarrollo de un método para la evaluación temprana del ataque de larvas de Diatraea en variedades de caña de azúcar. Informe de Avance II Semestre 2019* [Documento sin publicar]. Centro de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña).
- Echeverri-Rubiano, C., Chica-Ramírez, H. A., & Vargas, G. (2022). Biology of the most widely distributed sugarcane stem borers, *Diatraea* spp. (Lepidoptera: Crambidae), in Colombia. *Neotropical Entomology*, 51, 877-885. <https://doi.org/10.1007/s13744-022-00990-7>
- FAO/IAEA/USDA. (2022). *Manual de control de calidad del producto en la cría masiva y liberación de moscas de la fruta estériles (traducción de la versión 7.0 de 2019)*. Agencia Internacional de Energía Atómica.
- Fedepanela - Fondo de Fomento Panelero. (2022). Sistema de Información Panelero - SIPA. <https://www.sipa.org.co/>
- García, J. L., Sotelo, P., Monroy, D. M., Barrera, G., Gómez-Valderrama, J., Espinel, C., ... & Villamizar, L. F. (2018). Identification and characterization of a *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. isolate having a high potential for the control of the *Diatraea* sp. sugarcane stem borer. *Biotecnología Aplicada*, 35(1), 1201-1207.
- García, J. L., Gómez-Valderrama, J. A., Araque-Echeverry, G. A., Vasquez, D. F., & Villamizar-Rivero, L. F. (2021). Actividad insecticida y persistencia de un formulado a base de *Beauveria bassiana* para el control de *Diatraea saccharalis*. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 37(3), 257-269.
- García Riaño, J. L., Quiroga-Cubides, G., Espinel, C., Gómez Valderrama, J. A., Gómez Álvarez, M. I., & Cortés-Rojas, D. F. (2022). Shelf-life study of oil-based formulations of *Beauveria bassiana* enriched with osmoprotectants: effect on conidia

- germination and efficacy on *Diatraea saccharalis*. *Biocontrol Science and Technology*, 32(11), 1285-1301.
- Hensley, S. D. & Hammond, A. M. (1968) Laboratory techniques for rearing the sugar cane borer on an artificial diet. *Journal of Economic Entomology*, 61, 1742-1743.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2017). Resolución N° 00017848 del 20 de diciembre de 2017. "Por medio de la cual se establecen medidas fitosanitarias en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp. L.) en el territorio nacional para la vigilancia y control de las especies barrenadoras del tallo del género *Diatraea* Guilding".
- Lastra, L. A., & Gómez, L. A. (2006). *La cría de Diatraea saccharalis* (F.) para la producción masiva de sus enemigos naturales. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/1103>
- López Lopera, J. G. (2015). *Manejo agronómico del cultivo de la caña de azúcar para panela en Antioquia*. Corpoica.
- Lovera, A., Belaich, M., Villamizar, L., Patarroyo, M. A., & Barrera, G. (2020). Enhanced virulence of *Beauveria bassiana* against *Diatraea saccharalis* using a soluble recombinant enzyme with endo-and exochitinase activity. *Biological Control*, 144, 104211.
- Mejía, C., Espinel, C., Forero, M., Ramos, F. A., Brandão, P. F., & Villamizar, L. (2018). Selection of an adequate substrate to produce high quality conidia with a Colombian isolate of *Beauveria bassiana* to control the sugar cane borer *Diatraea saccharalis*. Conference: International Congress on Invertebrate Pathology and Microbial Control and the 51th Annual Meeting of the Society for Invertebrate Pathology.
- Mejía, C., Espinel, C., Forero, M., Ramos, F. A., Brandão, P. F., & Villamizar, L. (2020). Improving ecological fitness of *Beauveria bassiana* conidia to control the sugar cane borer *Diatraea saccharalis*. *Biocontrol Science and Technology*, 30(6), 513-530.
- Mejia, C., Ardila, H. D., Espinel, C., Brandao, P. F., & Villamizar, L. (2021). Use of *Trichoderma koningiopsis* chitinase to enhance the insecticidal activity of *Beauveria bassiana* against *Diatraea saccharalis*. *Journal of Basic Microbiology*, 61(9), 814-824.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [Minagricultura]. (2020). *Cadena agroindustrial de la panela*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Panela/Documentos/2020-03-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Osorio Cadavid, G. (2007). Buenas prácticas agrícolas BPA y buenas prácticas de manufactura BPM en la producción de caña y panela. FAO; Gobernación de Antioquia; Corpoica.
- Osorio-Mejía, P. A. (2018). *Preferencia de Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae) sobre barrenadores *Diatraea* spp. (Lepidoptera: Crambidae) de caña para panela [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio UN. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/63874>

- Parra, J. R. (2017). Dietas artificiais para criação de insetos. *Laboratorio de Biologia de Insetos*. USP/ESALQ.
- Parra, J. R. P. (2021). Criação massal de inimigos naturais. En J. R. P. Parra, A. de S. Pinto, D. E. Nava, R. C. de Oliveira, & A. J. F. Diniz (Eds.), *Controle biológico com parasitoides e predadores na agricultura brasileira Piracicaba* (pp. 379-426). FEALQ.
- Postali Parra, J. R., & Coelho, A. (2019). Applied biological control in Brazil: from laboratory assays to field application. *Journal of Insect Science*, 19(2), 5.
- Pinto, A. (2021). O caso de *Cotesia flavipes* na cana -de- açúcar no Brasil. En J. R. P. Parra, D. E. Pinto, A. de S. Nava, R. C. Oliveira, & A. J. F. Diniz (Eds.), *Controle biológico com parasitoides e predadores na agricultura brasileira* (pp. 592). FEALQ.
- Pinto, J. L. (1990). Valoración de daño por *Diatraea* spp. en caña panelera. ICA.
- Pinzón-Rangel, D. L., Santos-Díaz, A. M., & Numa-Vergel, S. J. (2022). Optimización para la cría de *Tecia solanivora* (Povolný, 1973) (Lepidoptera: Gelechiidae) en condiciones de laboratorio. *Revista Chilena de Entomología*, 48(3), 663-671.
- Pogue, M. G. (2013). Revised status of *Chloridea* Duncan and (Westwood), 1841, for the *Heliothis virescens* species group (Lepidoptera: Noctuidae: Heliothinae) based on morphology and three genes. *Systematic Entomology*, 38(3), 523-542.
- Portilla, M., Ramos-Morales, J., Rojas, G., & Blanco, C. (2013). Life tables as tools of evaluation and quality control for arthropod mass production. En J. A. Morales-Ramos, M. G. Rojas, & D. I. Shapiro-Ilan (Eds.), *Mass production of beneficial organisms* (pp. 241-275). Academic Press.
- Reguilón, C., Medina Pereyra, P., Ordano, M., Salvatore, A., Barros, M. V., Morsoletto Santos, E., & Vicente Cano, M. A. (2014). Evaluación de los efectos de la composición de la dieta artificial para la cría de *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) y *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo*, 46(1), 45-57.
- Rodriguez Filho, I. L. (1985). Comparacao de dietas artificiais para *Heliotis virescens* (Fabr. 1781) Lepidoptera: Noctuidae) através de estudos biométricos e nutricionais Tesis (Mestrado) -Esalq, Universidade de Sao Paulo, Piracicaba En *Dietas artificiais para criação de insetos*. Laboratorio de Biologia de Insetos. USP/ESALQ.
- Sánchez J., R., & Forero C., C. (2016). *Modelo productivo, manejo agronómico de la caña de azúcar y producción agroindustrial de panela en la hoyo del río Suárez*. Corpoica.
- Sandoval, Y., Osorio-Mejía, P., Gómez, J., Barreto-Triana, N., Espinel, C., & Villamizar, L. (2015). Distribución de especies y enemigos naturales de *Diatraea* spp. (Lepidoptera: Crambidae) en caña panelera *Saccharum officinarum* L. en Colombia. En Sociedad Colombiana de Entomología (Ed.), *Memorias y resúmenes 42 Congreso Socolen* (p. 691).
- Sandoval-Cáceres Y., Osorio-Mejía, P., Sarmiento-Naizaque Z., Barreto-Triana, N. (2017). Biología del complejo de barrenadores del género *Diatraea* (Lepidoptera: Crambidae) en dieta artificial. Resumen 43° Congreso Socolen. Bogotá, Colombia.

- Sandoval-Cáceres, Y. P., Vergara-Navarro, E. V., Landry, B., Perilla-López, J. M., & Barreto-Triana, N. (2017). First record of *Myelobia smerintha* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae: Crambinae) in sugarcane in Colombia. *Journal of Agricultural and Urban Entomology*, 33(1), 105-110. <https://doi.org/10.3954/JAUE17-12.1>
- Sandoval-Cáceres, Y. P., Cruz-Castiblanco, G. N., Diaz-Ortiz, M. C., & Barreto-Triana, N. (2022). Bases conductuales para la identificación de la feromona sexual de *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae) en Cundinamarca, Colombia. *Revista Chilena de Entomología*, 48(3), 663-682.
- Sandoval-Cáceres, Y. P., Cruz-Castiblanco, G. N., Diaz-Ortiz, M. C., Mojica- Ramos, L., & Barreto-Triana, N. (2023). Calling behavior in virgin females of *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae) in laboratory. *Revista Chilena de Entomología*, 49(1), 121-129.
- Sarmiento-Naizaque, Z., Osorio-Mejía, P., Sandoval-Cáceres, Y., Insuasty, O., Romero, Y., & Barreto-Triana, N. (2017). *Parasitoides de Diatraea spp. (Lepidoptera: Crambidae) en caña para panela en Boyacá y Santander* [Ponencia]. XLIV Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología (Socolen). Entomología de impacto. Solución de problemas integrando metodologías, Bogotá, 5, 6 y 7 de julio.
- Sarmiento-Naizaque Z. X., Sarmiento, C. E., & Barreto-Triana, N. (2021). Parasitoides, Braconidae (Hymenoptera) y Tachinidae (Diptera) de barrenadores, Crambidae y Coleophoridae (Lepidoptera) de caña de azúcar para la producción de panela en Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 47(2), e10558. <https://doi.org/10.25100/socolen.v47i2.10558>
- Solís, M. A., & Metz, M. A. (2016). An illustrated guide to the identification of the known species of *Diatraea* Guiling (Lepidoptera, Crambidae, Crambinae) based on genitalia. *ZooKeys*, 565, 73-121.
- Solís, M. A., Osorio-Mejía, P., Sarmiento-Naizaque, Z., & Barreto-Triana, N. (2020). A new species of *Eoreuma* Ely (Pyraloidea: Crambidae: Crambinae) feeding of sugarcane from Colombia. *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, 122(2), 471-481
- Sorensen, J. G., Addison, Mm. F., & Terblanche, J. S. (2012). Mass-rearing of insects for pest management: challenges, synergies and advances from evolutionary physiology. *Crop Protection, Guildford*, 38, 87-94.
- Vacari, A. M., De Bortoli, S. A., Borba, D. F., & Martins, M. I. E. G. (2012). Quality of *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae) reared at different host densities and the estimated cost of its commercial production. *Biological Control*, 63(2), 102-106.
- Vargas, G., Gómez, L. A., & Michaud, J. P. (2015). Sugarcane stem borers of the Colombian Cauca River Valley: current pest status, biology, and control. *Florida Entomologist*, 98, 728-735. <https://doi.org/10.1653/024.098.0249>
- Wilches, W., Ramírez, M., Reyes, L., Pérez, U., Serralde, D., & Peñaranda, M. (2022). Uso de micorrizas arbusculares en dos variedades de caña de azúcar para producción de panela en Suaita, Santander, Colombia. *Siembra*, 9(1), 14. <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i1.3802>



Los autores

Nancy del Carmen Barreto-Triana

Correo: nbarreto@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7516-4761>

Ingeniera agrónoma de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), magíster en Ciencias Agrarias con énfasis en Fitoprotección Integrada de la Universidad Nacional de Colombia y doctorado en Ciencias con énfasis en Ecología Química y Comportamiento de Insectos del programa de entomología de la Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ) de la Universidad de Sao Paulo. Con treinta años de experiencia en investigación para el ajuste y validación de estrategias de manejo integrado de plagas en pastos de clima frío, papa, caña de azúcar para panela y durazno. Actualmente, trabaja como Investigadora PhD Senior en el centro de investigación Tibaitatá de AGROSAVIA y lidera proyectos de investigación para el manejo de barrenadores del tallo y control biológico por conservación en la caña de azúcar para la producción de panela en Colombia.

Stephanie Johana Numa-Vergel

Correo: snuma@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0071-6458>

Bióloga con especialización en Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales y magíster en Biología Aplicada de la Universidad Militar Nueva Granada. Cuenta con 15 años de experiencia en investigación para la generación de estrategias de manejo de artrópodos en cultivos de importancia económica, estandarización y establecimiento de crías de insectos, así como en la formulación y control de calidad de dietas merídicas para insectos, crías de artrópodos en laboratorio e invernadero, evaluación del comportamiento de abejas en laboratorio y modelamiento de sistemas biológicos, con el fin de desarrollar programas de manejo integrado de plagas, para ofrecer a los productores recomendaciones aplicables en sus sistemas productivos. Actualmente, trabaja como Investigadora Máster Asociada en el centro de investigación Tibaitatá de AGROSAVIA, donde desempeña el rol de coordinador técnico-científico de

la Red de Laboratorios de Entomología. Lidera proyectos relacionados con crías de lepidópteros en laboratorio y participa en proyectos de investigación y codesarrollo de bioplaguicidas y causas de mortalidad de colmenas de *Apis mellifera* en Colombia.

Zaida Xiomara Sarmiento-Naizaque

Correo: zsarmiento@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0478-0601>

Bióloga de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) y magíster en Ciencias Agrarias con énfasis en Entomología de la Universidad Nacional de Colombia. Cuenta con 10 años de experiencia en proyectos de biología, taxonomía, comportamiento e implementación de estrategias para el manejo integrado de insectos plaga en los cultivos de caña de azúcar para panela, durazno y guayaba. Además, ha trabajado en ecología, conservación y cría de parasitoides. Actualmente se desempeña como Investigadora Máster en el centro de investigación Tibaitatá de AGROSAVIA. Ha participado en proyectos transversales a la investigación relacionados con el Banco Nacional de Germoplasma Vegetal de Colombia.

Diana Lizeth Pinzón Rangel

Correo: dlpinzon@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5610-4982>

Microbióloga industrial de la Pontificia Universidad Javeriana. Cuenta con 10 años de experiencia en investigaciones asociadas con el uso de bacterias promotoras de crecimiento vegetal, control de calidad de medicamentos, antibióticos y suplementos vitamínicos, manejo integrado de plagas puntualmente con hongos y virus entomopatógenos, así como en el establecimiento de crías de lepidópteros en laboratorio y en la formulación y control de calidad de crías de insectos mantenidos en condiciones de laboratorio. Actualmente se desempeña como Profesional de Apoyo de Laboratorio en el centro de investigación Tibaitatá de AGROSAVIA. Ha participado en proyectos de investigación relacionados con la estandarización de crías de lepidópteros en laboratorio, así como en la formulación y estimación de vida útil de dietas merídicas para insectos.

Pablo Andrés Osorio-Mejía**Correo:** posorio@agrosavia.co**Orcid:** <https://orcid.org/0000-0001-7672-9285>

Licenciado en Biología de la Universidad Pedagógica Nacional, ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia y magíster en Ciencias Agrarias con énfasis en Entomología de la Universidad Nacional de Colombia. Tiene 15 años de experiencia en investigaciones sobre manejo integrado de insectos plaga, taxonomía, biología y comportamiento, así como en reconocimiento, caracterización y cría de organismos benéficos destinados al control biológico. Se ha desempeñado en agroecosistemas como papa, pastos de clima frío, hortalizas, caña para panela, durazno y cítricos. Vinculado actualmente como Investigador Máster del centro de investigación Tibaitatá de AGROSAVIA, con alto interés por la caracterización, conservación y uso sostenible de la biodiversidad.

Ayda Fernanda Barona Rodríguez**Correo:** abarona@agrosavia.co**Orcid:** <https://orcid.org/0000-0001-8487-2727>

Ingeniera agrónoma, especialista en educación ambiental y desarrollo de la comunidad de la Universidad de Cundinamarca (UDEC) y magíster en Ciencias Agrarias con énfasis en Suelos y Aguas de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Tiene experiencia en manejo agronómico, nutrición, manejo de suelos, plagas y enfermedades de importancia económica, producción de semilla y la evaluación de nuevos materiales de caña de azúcar para la producción de panela. Actualmente se desempeña como Investigadora Máster en el centro de investigación Tibaitatá sede Cimpa de AGROSAVIA. Ha participado en proyectos transversales a la investigación relacionados con el liderazgo del Plan de Vinculación para el sistema productivo de caña de azúcar para panela a nivel nacional y Balance Social Corporativo desde el año 2017.

Sandra Patricia Romero Niño

Correo: sromero@agrosavia.co

Bachiller académico con nueve años de experiencia en mantenimiento de crías de insectos, preparación de dietas merídicas, montaje, seguimiento y evaluación de experimentos entomológicos y agronómicos. Actualmente se encuentra finalizando una tecnología en producción agrícola y se desempeña como operaria en el laboratorio de entomología en el centro de investigación Tibaitatá de AGROSAVIA.

Este libro se editó en Mosquera,
Cundinamarca, y se imprimió en Bogotá,
Colombia, en noviembre de 2024.

AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria

En este manual se presenta información general sobre la importancia del cultivo de la caña de azúcar para panela en el departamento de Santander, la biología, daño y manejo del barrenador del tallo considerado la principal plaga y generalidades de dietas para crías de insectos. Se presentan los resultados de la estandarización y verificación de tres formulaciones de dietas artificiales evaluadas para la alimentación de larvas de *Diatraea saccharalis* en condiciones de laboratorio. Se elaboró el protocolo para el mantenimiento y producción a pequeña escala de los diferentes estados biológicos del insecto y una aproximación de los costos del proceso general, para que el lector pueda elegir la dieta que considere adecuada de acuerdo con los requerimientos de la cría y la facilidad de obtención de los componentes. Este documento será un insumo para futuros ensayos orientados hacia el conocimiento de aspectos biológicos y de manejo del insecto.



BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

Correo: bac@agrosavia.co

Teléfono: (+57 601) 4227300 ext. 1257 o 1274

Skype: biblioteca.agropecuaria

www.agrosavia.co

ISBN: 978-958-740-770-9



9 789587 407709

Distribución gratuita
Prohibida su venta