

REVISTA

ISSN L 2644-3856

INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ | FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

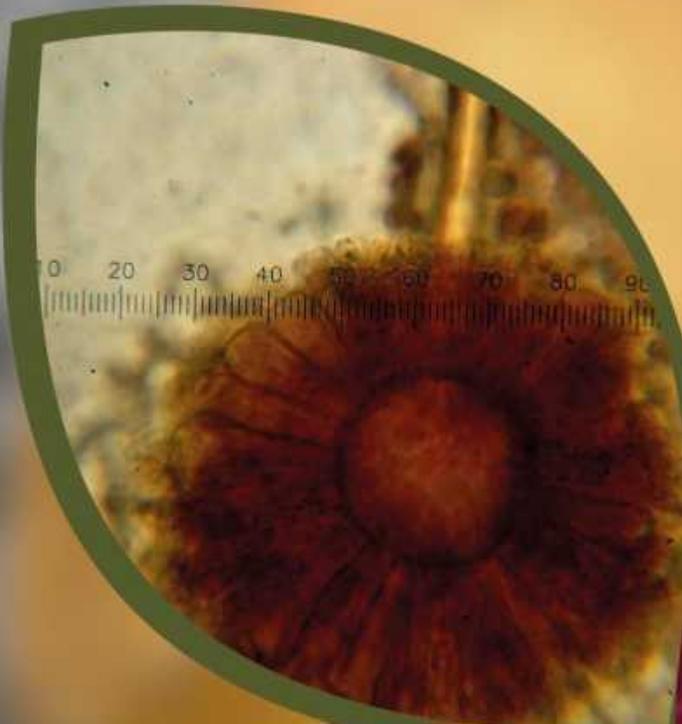
Vol. 7 No. 2 Junio - Noviembre 2025

Publicación Semestral

http://revistas.up.ac.pa/index.php/investigaciones_agropecuarias



Ciencias Agropecuarias



Disponible en:



REVISTA INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

REVISTA CIENTÍFICA ESPECIALIZADA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS,
SERIADA, ARBITRADA EN LÍNEA E INDEXADA DE LA UNIVERSIDAD DE
PANAMÁ

ISSN L 2644-3856

VOLUMEN 7, N°2
JUNIO - NOVIEMBRE 2025

PUBLICACIÓN SEMESTRAL

PANAMÁ



REVISTA INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

Especializada en Ciencias Agropecuarias
Publicación Semestral
Universidad de Panamá
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Dirección de Investigación y Postgrado
Panamá

Volumen 7, Número 2
Junio - Noviembre 2025

ISSN L 2644-3856

Diseño de Portada
Licda. Noris Miranda
noris.miranda@up.ac.pa

Organización, Revisión, Diagramación y Diseño
Mgter. Carmen C. Rovira C.
carmen.rovira@up.ac.pa

Indexada en:



Disponible en:   

Site: https://revistas.up.ac.pa/index.php/investigaciones_agropecuarias

Para la versión electrónica adopta la Licencia de Creative Commons:
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)



INFORMACIÓN DE CONTACTO:

Dr. Reynaldo Vargas, Editor de la Revista Investigaciones Agropecuarias (RIA), Universidad de Panamá. Panamá. E-mail: revistaia_fca@up.ac.pa Tel.: 523-3912

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD DE PANAMÁ

Dr. Eduardo Flores Castro
RECTOR

Dr. Jaime Javier Gutiérrez
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO

Dr. José Emilio Moreno
VICERRECTOR ACADÉMICO

Mgter. Arnold Muñoz
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO

Mgter. Mayanín Rodríguez
VICERRECTOR DE ASUNTOS ESTUDIANTILES

Prof. Ricardo Him
VICERRECTOR DE EXTENSIÓN

Prof. José Luis Solís
**DIRECTOR GENERAL DE CENTROS REGIONALES UNIVERSITARIOS Y EXTENSIONES
UNIVERSITARIAS Y ANEXOS**

Mgter. Ricardo A. Parker D.
SECRETARIO GENERAL

Mgter Eldis Barnes Molinar
DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

COMITÉ EDITORIAL

REVISTA INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

DIRECTOR DE LA REVISTA

Dr. M.V. Reinaldo de Armas Taboada PhD. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Dirección de Investigación y Postgrado. Departamento de Zootecnia. Panamá

 reinaldo.dearmas@up.ac.pa

 <https://orcid.org/0000-0003-2488-0113>

EDITOR DE LA REVISTA

Ing. Agr. Reynaldo Vargas PhD. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Zootecnia. Panamá

 reynaldo.vargas@up.ac.pa

 <https://orcid.org/0000-0002-5420-9761>

JEFE DE EDICIÓN

Licdo. Carmen C. Rovira C. MSc. Universidad de Panamá. Facultad de Informática, Electrónica y Comunicación. Departamento de Informática. Panamá

 carmen.rovira@up.ac.pa

 <https://orcid.org/0000-0003-4277-5691>

CONSEJO CIENTÍFICO EDITORIAL

Ing. Agr. Carlos Him Dr.Sc. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Suelos y Aguas. Panamá

Dr. Carlos Leyva Dr.Sc. Centro de Investigaciones para el Mejoramiento Animal de la Ganadería Tropical (CIMAGT). Cuba

Dr.M.V. Ramón Denis García. DrSc.. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México.

Dr. Alberto Menéndez Buxadera DrSc. Prof Adjunto Universidad de Córdoba España. Investigador Independiente. Estados Unidos

Dr.M.V. Axel Iván Villalobos DrSc. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Panamá

Dr. José Giacomo Baccarin. Professor Economia Rural. UNESP, campus de Jaboticabal (SP). Brazil

Ing. Fidel Ovidio Castro PhD. Universidad de Concepción, Campus Chillan. Chile.

EDITORES TEMÁTICOS

Licdo. Alex Eliesser Ríos Moreno PhD. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Protección Vegetal. Panamá

 alex.morenom@up.ac.pa

 <https://orcid.org/0000-0003-3117-9659>

Ing. Agr. Reggie G. Guerra M. PhD. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Zootecnia. Panamá

 reggie.guerra@up.ac.pa

 <https://orcid.org/0000-0001-8471-2862>

Ing. Agr. Eldis Barnes Molinar, MSc., Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Desarrollo Agropecuario. Panamá

 enriqueasg@hotmail.com

 <https://orcid.org/0009-0000-0122-5103>

Ing. Agr. Zulay Suira O., MSc., Universidad de Panamá, Departamento de Desarrollo Agropecuario, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Panamá

 zulay.suira@up.ac.pa

 <https://orcid.org/0000-0002-1232-506X>

Ing. Agr. Enrique Sánchez-Galán, MSc., Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Desarrollo Agropecuario. Panamá

 enriqueasg@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-9452-8177>

Ing. Agr. Fernando Galvéz Msc. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Fitotecnia. Panamá

 fernando.galvez@up.ac.pa

 <https://orcid.org/0009-0000-5138-1753>

Ing. Agr. Luz I. Loría PhD. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Suelos y Agua. Panamá.

 luz.loria@up.ac.pa

 <https://orcid.org/0000-0002-9977-0894>

Ing. Agr. Carolina Guerra C., MSc. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Suelos y Agua. Panamá.

 carolina.guerra@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-8771-8482>

EQUIPO TÉCNICO

MARCACIÓN Y MAQUETACIÓN

Licda. Carmen C. Rovira C., MSc., Universidad de Panamá. Facultad de Informática, Electrónica y Comunicación. Departamento de Informática. Panamá. Panamá.



carmen.rovira@up.ac.pa



<https://orcid.org/0000-0003-4277-5691>

DISEÑO DE PORTADA

Licda. Noris Miranda. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Oficina de Relaciones Públicas.



noris.miranda@up.ac.pa

Vivimos en un mundo cada vez más agitado, donde los cambios políticos, las tensiones comerciales internacionales y la creciente preocupación por la degradación ambiental reconfiguran las prioridades de las sociedades y los sectores productivos. En este escenario, las ciencias agropecuarias adquieren una relevancia estratégica, no solo por su capacidad de adaptación, sino por su potencial para ofrecer soluciones integrales que promuevan un desarrollo rural más equitativo, responsable y resiliente.

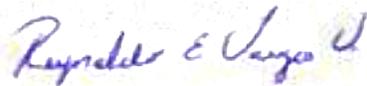
Uno de los retos más visibles de los últimos años ha sido la intensificación de brotes de plagas y enfermedades en cultivos y animales, muchas veces favorecidos por condiciones climáticas cambiantes y por prácticas agrícolas poco sostenibles. Frente a este panorama, el uso de alternativas biológicas para el manejo integrado de plagas se presenta como una solución necesaria y viable, capaz de reducir la dependencia de insumos químicos, proteger la biodiversidad y conservar la salud del suelo, del agua y de los consumidores.

Del mismo modo, el bienestar animal ha dejado de ser un tema marginal para convertirse en un componente central de los sistemas productivos responsables. Atender las necesidades físicas y comportamentales de los animales no solo responde a principios éticos fundamentales, sino que también mejora la productividad, la calidad de los productos y la confianza del consumidor. Asegurar el bienestar animal implica reconocer su valor intrínseco y su rol en la sostenibilidad general de la producción agropecuaria.

En este contexto, la Universidad de Panamá, a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, reafirma su compromiso con el desarrollo del país desde múltiples frentes. Más allá de su función formativa, la universidad actúa como un agente de cambio que genera conocimiento, promueve la conciencia ciudadana, impulsa la equidad social en el ámbito rural y apoya a productores, técnicos y tomadores de decisiones mediante la divulgación científica aplicada y pertinente. La universidad es, por tanto, un eje articulador entre la investigación, la docencia y la proyección social en el entorno agropecuario.

Es con este espíritu que presentamos a la comunidad académica y técnica el Volumen 7, Número 2 de la Revista Investigaciones Agropecuarias, correspondiente al período junio – noviembre 2025. En esta edición, se recogen investigaciones orientadas a generar soluciones para los principales retos que enfrenta la producción agropecuaria contemporánea, desde enfoques multidisciplinarios e innovadores.

Confiamos en que los trabajos presentados en esta edición contribuyan a inspirar nuevas ideas, alianzas estratégicas y políticas públicas orientadas al desarrollo de sistemas agropecuarios más resilientes, inclusivos y sostenibles. El compromiso conjunto de investigadores, productores, estudiantes y responsables de políticas públicas será clave para garantizar un porvenir donde producir alimentos no signifique comprometer el equilibrio ecológico ni el bienestar de las comunidades.



Reynaldo Vargas, PhD

EDITOR

REVISTA INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

INDICE

SECCIONES EN ESTE NÚMERO

ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

Págs.

EVALUACIÓN DE DOS DILUYENTES COMERCIALES PARA LA CONGELACIÓN DE SEMEN BOVINO EN CONDICIONES DE CAMPO 12 - 25

EVALUATION OF TWO COMMERCIAL EXTENDERS FOR FREEZING BOVINE SEMEN UNDER FIELD CONDITIONS

Reinaldo De Armas, Andrick Camaño, Nefthalí Aparicio y Reynaldo Vargas

A DIVERSIDAD DE HONGOS ASOCIADOS A COLMENAS DE *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) 26 - 40

DIVERSITY OF FUNGI ASSOCIATED WITH HIVES OF *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae)

Alex Ríos-Moreno, Franz Robles, Luis González, Luis Vargas, Roberto Guevara, Aurelio Boya y Óscar Martínez González

APLICACIÓN DEL EXTRACTO DE *Artocarpus Heterophyllus* EN LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN EN DOS TIPOS DE CACAO TRINITARIO Y FORASTERO 41 - 56

APPLICATION OF THE EXTRACT OF *Artocarpus Heterophyllus* IN THE OPTIMIZATION OF THE FERMENTATION PROCESS IN TWO TYPES OF TRINITARIO AND FORASERO COCOA

Luis Vásquez, Álvaro Pazmiño y María Cabanilla

EFFECTO DEL TIPO DE CAMA SOBRE EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO, INCIDENCIA DE PODODERMATITIS Y MORTALIDAD EN POLLOS DE ENGORDE 57 - 69

EFFECT OF LITTER TYPE ON PRODUCTIVE PERFORMANCE, INCIDENCE OF FOOTPAD DERMATITIS, AND MORTALITY IN DE ENGORDE CHICKEN

Nathaly Vergara, Nohelys Ríos, Carlos Solís, Reynaldo Vargas y Reggie Guerra

EFFECTO DE DOS PROTOCOLOS DE CRIOPRESERVACIÓN DE SEMEN SOBRE LOS RESULTADOS DE INSEMINACIÓN ARTIFICIAL EQUINA 70 - 79

EFFECT OF TWO SEMEN CRYOPRESERVATION PROTOCOLS ON EQUINE ARTIFICIAL INSEMINATION OUTCOMES)

Carlos Fuentes, Félix Contreras, Pacífico Bonilla y Alex Solís-Corrales

NOTA CIENTÍFICA

Automeris metzli (LEPIDOPTERA: SATURNIIDAE) PLAGA POTENCIAL DE *Artocarpus heterophyllus* (ROSALES: MORACEAE) 80 - 86

Automeris metzli (LEPIDOPTERA: SATURNIIDAE) POTENTIAL PEST OF *Artocarpus heterophyllus* (ROSALES: MORACEAE)

Edgar Araúz-Ábrego, Alonso Santos-Murgas y Rubén D. Collantes-González

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

APORTES DE LOS BIORREGULADORES EN EL MANEJO DE CULTIVOS 87- 108

CONTRIBUTIONS OF BIOREGULATORS IN CROP MANAGEMENT

Rolando Corella, Dayane Littig, Fernando Gálvez y Enrique Sánchez-Galán

MALEZAS-RESISTENTES A HERBICIDAS: ¿ CÓMO ESTO OCURRE? 109 - 117

HERBICIDE-RESISTANT WEEDS: HOW DOES THIS OCCUR?

Dustin Moreno-Serrano

SOBRE LA REVISTA 118- 122



EVALUACIÓN DE DOS DILUYENTES COMERCIALES PARA LA CONGELACIÓN DE SEMEN BOVINO EN CONDICIONES DE CAMPO

EVALUATION OF TWO COMMERCIAL EXTENDERS FOR FREEZING BOVINE SEMEN UNDER FIELD CONDITIONS

*Reinaldo De Armas. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.

reinaldode.armas@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0003-2488-0113>

Andrick Camaño. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.

gabriel.camaño@up.ac.pa

<https://orcid.org/0009-0003-6027-998X>

Neftalí Aparicio. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.

neftali.aparicio@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-8402-6923>

Reynaldo Vargas. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.

reynaldo.vargas@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-5420-9761>

*Autor de Correspondencia: reinaldode.armas@up.ac.pa

Recibido: 20/02/2025

Aceptado: 14/04/2025

DOI <https://doi.org/10.48204/j.ia.v7n2.a7473>

RESUMEN. Se evaluó el efecto de dos diluyentes comerciales (Optidux - liposomas y Triladyl - yema de huevo), sobre variables de calidad y funcionalidad espermática después de la descongelación. Se realizaron tres colectas de un toro cruzado (F1 Simmental x Gyr) mediante electro eyaculación a cuatro días de intervalo. La dilución empleada fue de 1:3. La equilibración se desarrolló en un contenedor de FOAM con hielo por tres horas a 4 °C. Se congelaron 10 pajillas de 0.5 ml por diluyente en cada colecta (consideradas como réplicas). La congelación se inició en vapores de nitrógeno líquido por 15 min antes de introducir las en el mismo. Al semen post descongelación (30 s a 35 °C) se le realizó evaluaciones de motilidad total y progresiva, vigor, viabilidad y patologías morfológicas, las mismas fueron observadas a las cero y dos horas de incubación. El análisis estadístico se realizó mediante la prueba de Chi-Cuadrado, y solo se encontró diferencias estadísticas ($p < 0.02$) para viabilidad espermática a favor del diluyente Triladyl, con una efectividad de 32% a las cero horas de la descongelación; en tanto a las dos horas de incubación su efectividad fue menor, pero se mantuvo el Triladyl como el mejor ($p < 0.007$). Se concluye que tanto el diluyente Optidux como el Triladyl brindaron similares resultados in vitro para calidad seminal post descongelación, lo que nos sugirió que tanto los liposomas como la yema de huevo evitaron daños estructurales durante la congelación - descongelación que permitieron preservar eficientemente la motilidad seminal.

PALABRAS CLAVE: Electroeyaculación, liposomas, motilidad, vigor.

ABSTRACT. The effect of two commercial semen extenders—Optidux (liposome-based) and Triladyl (egg yolk-based)—on post-thaw sperm quality and functionality parameters was evaluated. Semen was collected from a crossbred bull (F1 Simmental × Gyr) using electroejaculation, with three collections performed at four-day intervals. The dilution ratio used was 1:3. Equilibration was conducted in a FOAM container with ice for three hours at 4 °C. For each collection, ten 0.5 ml straws per extender were frozen, and each set was considered a replicate. Cryopreservation was initiated by exposing the straws to liquid nitrogen vapor for 15 minutes before immersion in liquid nitrogen. Post-thaw semen (thawed for 30 seconds at 35 °C) was evaluated for total and progressive motility, vigor, viability, and morphological abnormalities. These parameters were assessed at 0 and 2 hours of incubation. Statistical analysis was performed using the Chi-square test. Significant differences ($p < 0.02$) were observed in sperm viability, with Triladyl® showing superior performance (32% viability at 0 hours post-thaw). Although viability decreased at 2 hours, Triladyl remained the most effective extender ($p < 0.007$). In conclusion, both Optidux and Triladyl provided comparable in vitro results for post-thaw semen quality, suggesting that both liposome- and egg yolk-based extenders effectively mitigated structural damage during the freezing–thawing process, thereby preserving sperm motility.

KEYWORDS: Electroejaculation, liposomes, motility, vigor.



INTRODUCCIÓN

La criopreservación de espermatozoides es una biotecnología reproductiva fundamental que promueve la preservación indefinida y su unión con la inseminación artificial ha permitido la difusión de material genético de óptima calidad y potenciar los programas de mejoramiento genético, así como la preservación de especies en peligro de extinción. De manera similar, ha ayudado a reducir los costos de producción al eliminar el uso de reproductores en monta natural y también el contagio de enfermedades de transmisión sexual (Castelo *et al.*, 2008).

Según Viñán *et al.* (2019), la criopreservación causa diferentes tipos de estrés sobre la célula espermática, principalmente por el enfriamiento, así como por el estrés osmótico y oxidativo o mecánicamente por la formación de cristales de hielo elementos que afectan la fertilidad por daños en la estructura de la membrana, funciones de los organelos y el potencial de la membrana. Consecuentemente, Brass (2001) señaló que estas alteraciones en los espermatozoides están representadas por la pérdida de la motilidad con un incremento de movimientos retrógrados y circulares, se genera en la descongelación lesiones del acrosoma y de la membrana plasmática con una reducción del metabolismo.

Con el propósito de reducir el daño de los espermatozoides producto de la criopreservación en un principio se adicionaba yema de huevo o leche a los diluyentes como crioprotector (Crespilho *et al.*, 2012). En concreto, la posibilidad de sustituir la yema de huevo fresco o la leche resulta muy deseable, dada que la composición heterogénea entre las diferentes fuentes en el tiempo, junto con el potencial riesgo de contaminación por agentes patógenos que representan un peligro inminente de transmisión y diseminación de enfermedades emergentes. Para tratar de minimizar estos efectos dañinos del descenso de temperatura sobre la membrana celular, existen diferentes alternativas como el uso de yema de huevo en polvo pasteurizada o albumina del suero bovino (BSA), de acuerdo con lo publicado por Martínez *et al.*, (2022), o el empleo lecitinas de origen vegetal como la lecitina de soja o el uso de liposomas según Vidal *et al.*, (2013).

La alternativa más reciente como aditivo para los medios de congelación son los diluyentes basados en liposomas, estos poseen una excelente concentración y composición de fosfolípidos que garantizan la protección celular frente a las lesiones criogénicas producidas durante la congelación de semen (Bergeron y Manjunath, 2006). El Optidux es un diluyente de alta calidad para semen fresco o congelación, basado en liposomas sintetizados (sin proteína animal), utilizado para reemplazar el uso de la yema de huevo, permitiendo una preparación y preservación segura y de alta calidad en la dilución de semen fresco o para ser congelado (IMV-Technologies, 2014).

Con esta opción (Optidux), se evita el transporte de microorganismos patógenos, producción de metabolitos y toxinas nocivas de una explotación a otra. Permite un equilibrio seguro de 24 horas, por lo cual brinda la posibilidad de una mejor organización del trabajo, haciéndolo más flexible. Estudios reportaron que la utilización de diluyentes a base de soja en lugar de yema de huevo, para evitar la reducción de la motilidad y obtener mejores resultados postdescongelación (Roof *et al.*, 2012). Funciona significativamente mejor que la yema de huevo con un bajo número de espermatozoides por dosis. Los parámetros de motilidad son significativamente más altos, que en los diluyentes de yema de huevo Tris o lecitina de soja. Por otra parte, al reducir las posibilidades de contaminación por fuentes de origen animal y simplificar la preparación del diluyente y



disminuir el tiempo del procedimiento es “*per se*” una ventaja, ya que este se agrega directamente al semen lo que permite que se puedan realizar los procesos de acondicionamiento del eyaculado en la propia finca, para inseminación en fresco o para su congelación sin disminuir la vitalidad espermática (IMV-Technologies, 2014).

Diferentes medios se han formulado a partir de lecitina de soya y que podrían constituir alternativas potenciales para la criopreservación del semen (Akhter *et al.*, 2012). Por lo anteriormente planteado, han sido empleados sustitutos de la yema de huevo definidos químicamente y que no provienen de fuentes animales, como los ensayados por Gamal, El-Maaty y Rawash (2016) y El-Sisy *et al.*, (2018).

Por tanto, el objetivo de esta investigación fue comparar el efecto de dos diluyentes comerciales (basados en yema de huevo Triladyl® o liposomas Optidux®) sobre algunas variables de calidad y funcionalidad de los espermatozoides después de la descongelación evaluadas *in vitro*.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el experimento se empleó el semen de un toro del cruzamiento F1 (Simmenthal x Gyr) de tres años, obtenido por electro eyaculación y se realizaron tres extracciones a intervalos de cuatro días. La dilución empleada fue de 1:3 (semen-diluyente) para ambos diluyentes (Triladyl-Yema de Huevo y Optidux-Liposomas Sintéticos). La equilibración se desarrolló en un contenedor de espuma de poliestireno con hielo, por tres horas manteniéndose una temperatura de 4 °C. Se congelaron 10 pajillas de 0.5 ml por diluyente en cada colecta (consideradas como réplicas).

La congelación se inició en vapores de nitrógeno líquido por 15 minutos antes de introducirlas finalmente en el mismo. Al semen post descongelado (30 s a 35 °C), se le realizó evaluaciones de motilidad total y progresiva, vigor, viabilidad y patologías morfológicas, las mismas fueron observadas a las cero y dos horas de incubación (37 °C). Se evaluó el efecto de dos diluyentes comerciales, Triladyl y Optidux, sobre la calidad del semen post descongelación.

El diseño experimental incluyó tres repeticiones por tratamiento (diluyente y tiempo), y los datos se analizaron con la prueba de Chi-cuadrado, considerando diferencias estadísticamente significativas valores de $p < 0.05$. Los resultados fueron representados mediante gráficos de barras con proporciones e intervalos de confianza para identificar diferencias significativas entre diluyentes.

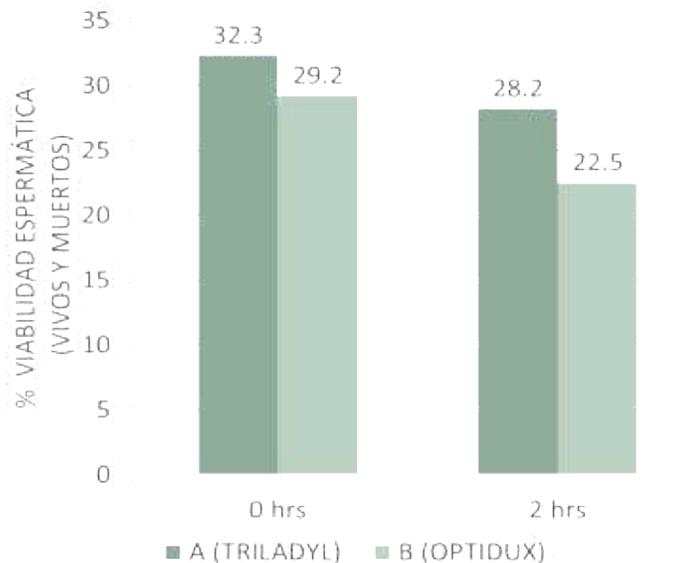
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de viabilidad espermática post descongelación obtenidos por los diluyentes A (Triladyl-Yema de huevo) y B (Optidux-Liposomas sintéticos), se muestran en la figura 1 y evidenciaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.02$) entre las medias de los dos diluyentes a las cero horas post descongelado a favor de tratamiento A.



Figura 1

Porcentajes medios de espermatozoides vivos, A y B indican diferencias significativas entre diluyentes a los distintos tiempos de evaluación, siendo $p < 0.02$ a las cero horas y $p < 0.007$ a las dos horas post descongelación.



Estos resultados difirieron con los publicados por Ramónez (2013), quien encontró que con el diluyente Triladyl se logró una mejor relación de espermatozoides vivos/muertos 51.8% ($p < 0.05$), en comparación a los diluyentes a base de Trehalosa (33.8%) y sacarosa (31.8%) ($p < 0.09$), en este estudio los resultados alcanzados por el Triladyl fueron superiores, mientras que los otros dos crioprotectores evaluados mostraron resultados similares a los alcanzados en nuestro estudio con el Triladyl. A pesar de que en el ensayo se empleó un mismo semental y que en la literatura revisada no se encontró referencias sobre este cruzamiento, es posible que la diferencia entre los resultados de este autor y los nuestros pudieran deberse a un efecto racial o individual del toro empleado.

En apoyo a lo antes planteado, Moncayo (2016), encontró diferencias entre los porcentajes de espermatozoides vivos en diferentes razas bovinas (Holstein, Pizán y Pardo Suizo), dando como resultado que el semen de la raza Pizán congelado con Triladyl presentó un mayor número de espermatozoides vivos (82%), con respecto a las otras razas evaluadas. Esta raza es considerada como criolla, proveniente de los andes ecuatorianos y de origen *Bos taurus*, por lo que su alto grado de adaptación pudiera influir en su gran capacidad de resistencia seminal a las bajas temperaturas; mientras que Córdova *et al.*, (2020) publicó porcentajes de 74.5, 74.5 y 72.5% para las razas Charolais, Brahman y Simbrah respectivamente, no encontrando diferencias estadísticas a la descongelación del semen.

En los resultados obtenidos para los espermatozoides vivos y muertos después de ser sometidos a incubación por dos horas post descongelación (A:28.2% y B:22.5%), mostraron una diferencia altamente significativa ($p < 0.007$), entre los diluyentes evaluados. Nuestros resultados difieren a los publicados por Medina, Pérez y Cruz (2008), quienes encontraron que la viabilidad espermática presentó un descenso durante el periodo de incubación, siendo a la hora cero de 70.6 ± 1.9 % y de



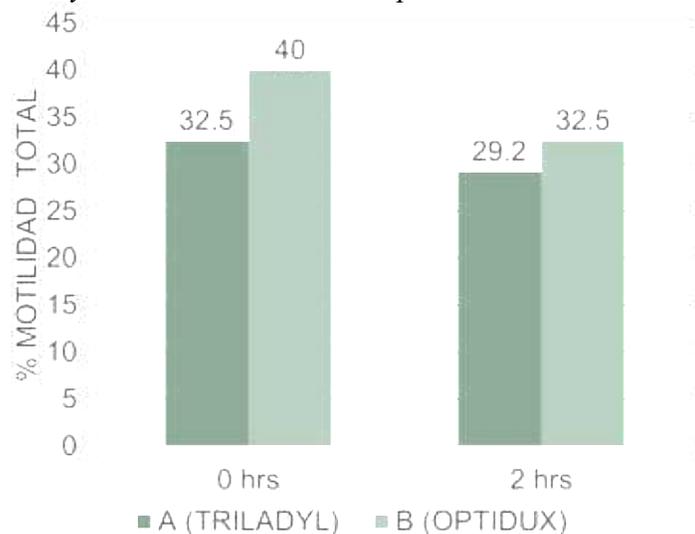
57.8±3.2 % para la hora cuatro. No obstante, solo se observaron diferencias significativas ($p<0.05$) entre la viabilidad determinada en las cuatro horas de incubación (57.8±3.2 %) con respecto a las dos primeras horas (68.69±2.4%).

Motilidad total

Los resultados de motilidad obtenidos al comparar lo obtenidos por los diluyentes A (Triladyl-Yema de huevo) y B (Optidux-Liposomas sintéticos) evaluados post descongelación se muestran en la figura 2 y no evidenciaron diferencias estadísticas significativas ($p<0.05$) para las fuentes evaluadas.

Figura 2

Porcentajes medios de motilidad total, A y B indican que no existen diferencias estadísticas significativas entre los diluyentes a los distintos tiempos de evaluación.



En los resultados obtenidos para motilidad total post descongelación se determinó que no existieron diferencias estadísticas significativas ($p<0.05$) entre los tratamientos A y B. A pesar de esto se apreciaron valores a las cero horas post descongelación para A:32.5 y B:40.0%. Sin embargo, a las dos horas post descongelación, los valores disminuyeron para A: 29.2 y B:32.5%. Dichos resultados concuerdan con Carballo *et al.*, (2005), quienes encontraron en su investigación que el semen diluido con Triladyl mostró una motilidad post descongelación un 30.8%, comparado con el diluido con Andromed que aportó solo un 23.8% de motilidad post descongelación.

Sin embargo, hubo diferencias con los resultados de Jiménez *et al.*, (2020), quienes que obtuvieron una motilidad total mayor después de la descongelación en los espermatozoides criopreservados con Triladyl (60.1 ± 2.3%) y Andromed (58.6 ± 2.4%) en comparación con los otros extensores.

Nuestros resultados en cuanto a la motilidad post descongelación con Liposomas concuerdan con los resultados publicados por Murphy *et al.*, (2018), quienes lograron una motilidad total de 41.93 y 59% cuando emplearon diluyentes Andromed y Optixcell. Sin embargo, nuestros resultados



difieren con los de Lima *et al.* (2018), quienes no encontraron diferencias significativas, pero hallaron una motilidad total de 57.8% para el diluyente Andromed y 58.9% para Optixcell. Por otro lado, estos resultados difieren también con los de Janett *et al.*, (2005), ya que el Andromed, presentó en semen bovino, mejores valores para motilidad total con 66. %, comparado con el Bioxcell con 60.9%, mientras que el Triladyl brindó los resultados más bajos con 52.4%. A pesar de que existen múltiples factores que pueden influir en los resultados de la congelación, el diluyente utilizado es una pieza clave.

Las diferencias encontradas entre los hallazgos de las investigaciones antes mencionadas podrían deberse al método de criopreservación, la concentración espermática por pajuelas, factores genéticos y de raza, método de descongelación y prácticas de manejo de los toros que podrían afectar la calidad de los espermatozoides (Morell *et al.*, 2017). En este mismo aspecto Vélez, Rugeles y Vergara (2014) encontró diferencias significativas en cuanto a las diferentes razas evaluadas, siendo valores para Brahman rojo ($70,83 \pm 21,35$), Brahman Blanco ($68,53 \pm 0,45$), Simmental ($64,06 \pm 25,64$), Simmental x cebú ($75,21 \pm 17,66$) y Romosinuano ($73,08 \pm 23,14$), lo que indicó que el encaste racial juega un papel importante en cuanto a esta variable.

De acuerdo con los resultados publicados de Medina *et al.*, (2008) que mostraron un mayor porcentaje de espermatozoides con motilidad total en la hora cero de incubación ($49.7 \pm 4.7\%$), porcentaje que disminuyó significativamente a la hora uno y dos (19.1 ± 2.1 y $23.3 \pm 1.9\%$, respectivamente). Aunque a la hora cuatro de incubación el semen mostró porcentajes mucho más bajos ($36.8 \pm 3.0\%$), éstos no evidenciaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$).

Sobre este aspecto, nuestros resultados concuerdan con lo publicado por Barth (2018), quien señaló que el semen a utilizar debe tener, según las recomendaciones de la NAAB (National Association of Animal Breeders, USA), puede perder de 25% de células motiles a un vigor tres (0=sin movimiento, 5=movimiento rápido donde es difícil seguir una célula) inmediatamente después del descongelado y un 15 % de células motiles a un vigor dos luego de dos horas de incubación a 37 °C, ya que nuestros valores medios de motilidad total se encuentran en un rango adecuado según lo señalado por este autor.

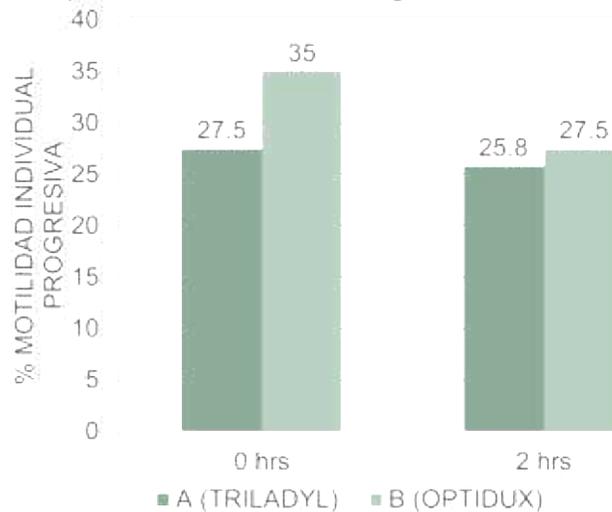
Motilidad individual progresiva

Para la variable de motilidad individual progresiva de las muestras obtenidas post descongelación no se mostraron diferencias ($p < 0.05$, figura 3), sin embargo, se obtuvo valores medios inferiores para el tratamiento A (27.5%) respecto al B (35%), evaluados a las cero horas post descongelación. Mientras que, los valores medios evaluados a las dos horas post descongelación fueron de 25.8% para el tratamiento A y 27.5% para el tratamiento B.



Figura 3

Porcentajes medios de motilidad progresiva, A y B indican que no existen diferencias estadísticas significativas entre los diluyentes a los distintos tiempos de evaluación.



Los valores mínimos aceptables según las normas ISO 9002 para semen bovino post descongelado a las cero y dos horas, indican que se puede perder un 25 y 15 % de células móviles, por lo cual los resultados obtenidos en nuestra investigación se encuentran por encima de dichos valores. De acuerdo con datos publicados por Carballo *et al.*, (2009) y Filipiak *et al.*, (2020), quienes encontraron mayor porcentaje de motilidad con semen criopreservado con diluyente que tenía lipoproteínas de origen animal (30.8%) en contraste al utilizado que poseía lecitina de soya (23.8%), hay similitudes con los valores obtenidos en nuestro estudio; sin embargo, los mismos difieren con Caldevilla, Ferrante y Neild (2020).

En este mismo aspecto, Cabrera y Pantoja (2012), obtuvieron en sus resultados valores de motilidad progresiva post descongelación de cuatro toros se encontraban entre 60 a 70%, mientras que Quispe (2018) publicó valores a las cero y dos horas post descongelación, de 75.5 y 45.3% respectivamente. La diferencia existente en cuanto a estos autores puede deberse a que en el primer caso solo realizó evaluación a las cero horas post descongelado y por ello el porcentaje fue mayor, también se pudiera considerar el protocolo de descongelación empleado y la evaluación subjetiva, ya que esta puede variar los resultados en dependencia de la experiencia individual del investigador que realizó la misma.

Por otro lado, cabe mencionar que nuestros resultados de motilidad individual progresiva con el uso del diluyente a base de liposomas concuerdan con Murphy *et al.*, (2018), quienes evaluaron cinco toros de la raza Holstein Friesian, donde encontraron diferencias significativas para la motilidad progresiva de 31.7 y 45.7%, para Andromed y Optixcell. Sin embargo, difieren con los datos publicados por Bernilla (2024), quien en su investigación señaló para la variable de motilidad individual, los diluyentes y los toros evaluados no evidenciaron diferencias estadísticas significativas, sin embargo, observó que la motilidad fue mayor cuando se empleó Optixcell (62.0%), con respecto al Triladyl (61.7%) y Andromed (51.3%). Sin embargo, Janett *et al.*, (2005), señalaron que el Andromed presentó valores de 33.1%, en comparación con Bioxcell y Triladyl, de 31.0 y 23.5% respectivamente, similar a lo publicado por Calle (2020).



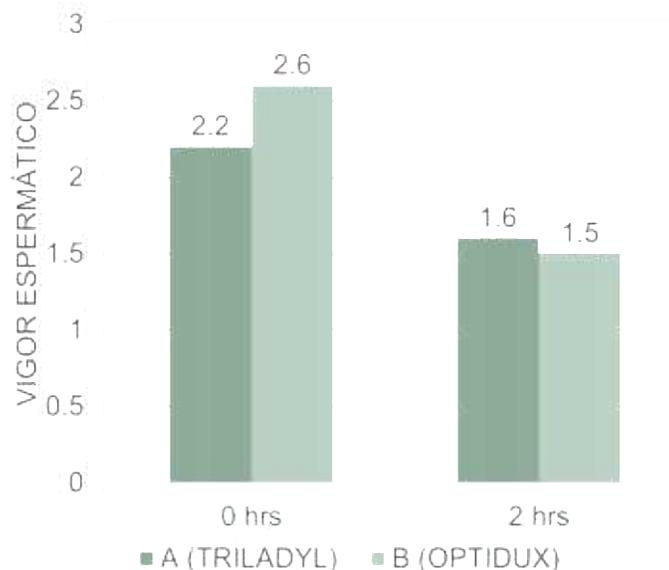
De acuerdo con los datos publicados por Medina *et al.*, (2008), no se observaron diferencias significativas ($p>0.05$) entre las horas de incubación; sin embargo, a las horas se encontraron los valores más altos ($26.5\pm 3.0\%$) y a las cuatro horas los más bajos ($18.2\pm 1.6\%$), lo que indicó que nuestros valores son similares a los presentados por estos autores.

Vigor

Los valores obtenidos para el vigor entre los dos tratamientos no mostraron diferencias estadísticas significativas ($p<0.05$, figura 4). Nuestros resultados, tienen coincidencias con los publicados por Ribeiro *et al.*, (2014), quienes encontraron en una evaluación de la criopreservación de espermatozoides extraídos de la cola del epidídimo al utilizar dos métodos de congelación, para el método convencional 2.1 ± 0.8 ; en una escala de 0 a 5.

Figura 4

Porcentajes medios de vigor a las 0 y 2 horas no presentan diferencias estadísticas significativas entre los diluyentes A y B en los distintos tiempos de evaluación.



En estudios publicados por Moncayo (2016), se encontró un vigor de tres en el semen de un toro de la raza Holstein evaluado post descongelación con Triladyl, respecto a las razas Pardo Suizo y Pizan, donde alcanzaron solamente valores de dos para ambas razas. Sin embargo, este mismo autor encontró un vigor de dos post descongelación para el toro de la raza Pardo Suizo con la utilización de Andromed, con respecto a la raza Holstein y Pizán, que solo lograron valor de uno.

Por otro lado, Catena y Cabodevila (1999), plantearon que un semen de buena calidad, recientemente descongelado, debe tener normalmente un vigor de 3 a 4, pero al ser evaluado a dos horas post descongelación, estos valores disminuyen hasta valores mínimos de dos, lo cual es semejante a nuestros resultados. Aunque en nuestro estudio hubo un descenso más apreciable del vigor entre las cero horas de descongelado y el observado luego de dos horas de cultivo, del semen



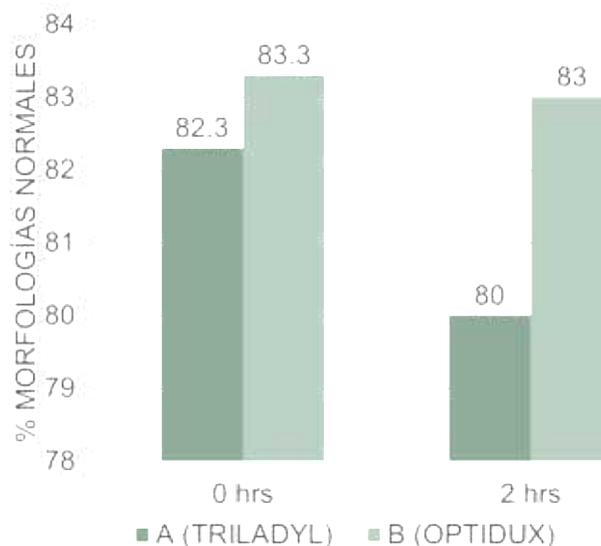
congelado en Optidux, no se evidenció diferencias estadísticas; lo que ocurre debido al consumo de sus reservas de energía y acumulación de desechos metabólicos y nos sugiere que esto ocurre independientemente del diluyente empleado.

Patologías Morfológicas

De acuerdo con lo planteado por Rubio-Guillen *et al.*, (2009) en el proceso de crioconservación la membrana plasmática es la primera estructura en ser afectada por los cambios en la composición química o temperatura del medio y se sugiere que la resistencia del espermatozoide a la congelación y toxicidad del medio es influenciada por la composición química de lípidos y proteínas que constituyen la membrana de manera que estos cambios pueden generar colas dobladas, cambios en la pieza intermedia, desprendimiento del acrosoma entre otras alteraciones morfológicas en los espermatozoides congelados. La evaluación de los espermatozoides normales en las muestras obtenidas post descongelación en nuestro estudio no mostraron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$, figura 5), alcanzaron valores para el tratamiento A:82.3% y B:83. % de espermatozoides normales evaluados a las 0 horas post descongelación. Mientras que para los tratamientos A:80 y B:83% de espermatozoides normales evaluados post descongelación a las dos horas. Por esta razón consideramos que no hubo efecto del diluyente sobre los cambios morfológicos post descongelación.

Figura 5

Porcentajes medios de espermatozoides normales entre el diluyente A y el diluyente B indican que no existe diferencias estadísticas en los tiempos de evaluación.



Estos resultados son consistentes con los publicados por Ramón (2013), quien indicó que no se encontraron diferencias estadísticas significativas en el porcentaje de espermatozoides normales ($p < 0.05$) entre semen sin congelar y semen descongelado.



En este mismo aspecto, Morojon y Morojon (2015), encontraron un valor mínimo de 86% de espermatozoides normales en toros de la raza Brahman, Gyr y razas cruzadas, lo que es una tasa superior a la observada.

En esta misma línea, Vejarano *et al.*, (2005), encontraron una cantidad de espermatozoides normales como promedio fue 86% en toros de diferentes razas, mientras que Montes *et al.*, (2012) en encontraron un 83% de espermatozoides normales, evidenciando un 17% de anomalías espermáticas. En este mismo aspecto, en estudios publicados por Al Makhzoomi *et al.*, (2008), encontraron valores de 83.7% para espermatozoides normales y menos del 15% en formas anormales.

Nuestros resultados superan los encontrados por Quispe (2018), quien en resultados publicados encontraron un valor promedio de 79.1% de espermatozoides normales, indicando que se encuentra por encima del umbral crítico, lo que sugiere que podría tener una capacidad fertilizante adecuada.

Estos estudios publicados reflejan una variabilidad en los resultados sobre la cantidad de espermatozoides normales, en este mismo aspecto respaldan los evidenciados en nuestra investigación en los tratamientos A y B para esta variable.

Por otro lado, según Evans y Maxwell (1990), el semen de rumiantes debe tener menos de un 15 a 20% de espermatozoides morfológicamente anormales para ser considerado normal y con buena capacidad fertilizante. Ellos advierten que, si la proporción de espermatozoides morfológicamente normales es inferior al 60%, la fertilidad se ve afectada negativamente.

Por otro lado, Medina *et al.*, (2008) demostraron que la morfología espermática no presentó diferencias significativas ($p>0.05$) en cada una de las horas de incubación analizadas, sin embargo, se encontraron valores de 95.2 ± 0.5 para las cero horas y 93.8 ± 1.1 para las dos horas de incubación en semen de verracos congelados.

CONCLUSIONES

Ambos diluyentes brindan resultados similares tanto a la descongelación como en cultivo *in vitro*. Tanto el diluyente a base de liposomas como el que empleó yema de huevo evitaron daños estructurales durante la congelación - descongelación que permitieron preservar eficientemente la motilidad seminal.

RECOMENDACIONES

La utilización del Optidux permite mayor facilidad de uso en campo, puesto que, no requiere ninguna preparación adicional como los diluyentes a base de yema de huevo. A su vez elimina las diferencias en composición entre un huevo y otro.



Al simplificar el trabajo en fincas disminuyendo la manipulación del semen y la preparación de diluyente, eliminar la necesidad de equipos de laboratorio para su preparación disminuye las posibilidades de contaminación en la manipulación.

Este diluyente permite reducir el riesgo de transmisión de enfermedades emergentes, como lo son la gripe aviar o vacas locas, al no contener proteína animal (yema de huevo o leche), disminuye las diferencias en composición de los huevos de un animal a otro y reduce el riesgo de contaminación con agentes patógenos de transmisión por la inseminación o saprófitos que disminuirían la capacidad fecundante de las pajuelas de semen.

REFERENCIAS

- Akhter, S., Ansari, M. S., Andrabi, S., Rakha, B., Ullah, N., y Khalid, M. (2012). Soya-lecithin in extender improves the freezability and fertility of buffalo (*Bubalus bubalis*) bull spermatozoa. *Reproduction in Domestic Animals*, 47(5), 815-819.
- Al Makhzoomi, A., Lundeheim, N., Håård, M., y Rodríguez-Martínez, H. (2008). Sperm morphology and fertility of progeny-tested AI dairy bulls in Sweden. *Theriogenology*, 70(4), 682-691.
- Barth, A. (2018). The use of bull breeding soundness evaluation to identify subfertile and infertile bulls. *Animal*, 12(1), 158-164.
- Bergeron, A., y Manjunath, P. (2006). New insights towards understanding the mechanisms of sperm protection by egg yolk and milk. *Molecular Reproduction and Development*, 73(10), 1338-1344.
- Bernilla, C. (2024). Evaluación espermática, según tres diluyentes comerciales, en toros de la raza Gyr en la EEA El Porvenir, Tarapoto, Región San Martín. Repositorio Institucional. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Recuperado en línea de: <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/12495>
- Brass, K. (2001). Inseminación artificial en la especie equina. En: Palma GA. (ed). Biotecnología de la Reproducción. INTA, Buenos Aires, Argentina. 525- 557.
- Cabrera, P., y Pantoja, C. (2012). Viabilidad espermática e integridad del acrosoma en semen congelado de toros nacionales. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 23(2), 192-200.
- Caldevilla, M.; Ferrante, A. y Neild, D. (2020). Utilización de un medio con lecitina de soja para congelar semen equino. *InVet*, 22(1), 41-49.
- Calle, C. (2020). Evaluación de semen bovino utilizando medios comerciales de criopreservación, provincia de Morona Santiago, Ecuador. Trabajo Final Para optar al Grado Académico de Especialista en Reproducción Bovina. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.



- Recuperado en línea de: <https://iracbiogen.com/wp-content/uploads/2021/06/Evaluacion-de-semen-bovino-utilizando-medios-comerciales-de-criopreservacion-provincia-de-morona-santiago-Ecuador-Calle-Crespo.pdf>
- Carballo, D., Canseco, R., Garcia, R., y Montiel, F. (2005). Comparación de dos diluyentes para criopreservar semen de bovino bajo condiciones de campo húmedo. *Tesis Profesional*. Facultad de Medicina y Veterinaria, Universidad Veracruzana. Veracruz, México. 42 p.
- Carballo, D., Canseco, R., García, R., y Montiel F. (2009). Comparación de dos diluyentes comerciales para criopreservar semen de bovino bajo condiciones de campo en el trópico húmedo. *Avances en la Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal y Acuícola en el Trópico Mexicano*. Recuperado en línea de: <https://www.uv.mx/veracruz/cienciaanimal/files/2013/11/Comparacion-de-dos-diluyentes-comerciales-para-preservar-semen-bovino.pdf>
- Castelo, T., Frota, T. y Silva, A. (2008). Consideracoes sobre a criopreservacao do semen de caprinos. *Acta Veterinaria Brasileira*; 2: 67-75. Doi: <https://doi.org/10.21708/avb.2008.2.3.885>
- Catena, M. y Cabodevila, J. (1999). Evaluación de semen bovino congelado. Sitio Argentino de Producción Animal, Recuperado en línea de: http://www.produccion-animal.com.ar/information_tecnica/inseminacion_artificial/05-evaluacion_de_semen_bovino_congelado.pdf
- Crespilho, A., Sá Filho, M., Dell'Aqua, J., Nichi, M., Monteiro, G., Avanzi, B., Martins, A., y Papa, F. (2012). Comparison of in vitro and in vivo fertilizing potential of bovine semen frozen in egg yolk or new lecithin-based extenders. *Livestock Science*, 149(1–2), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.05.011>
- Córdova, C., Guerra, J., Iglesias, A., Huerta, R., Méndez, M., Gómez, A. y Belloda, J. (2020). Efecto de la raza del toro de carne sobre la calidad espermática de semen descongelado. *Agro Productividad*, 13(8).
- El-Sisy, G., El-Badry, D., El-Sheshtawy, R., y El-Nattat, W. (2018). Effects of Phoenix dactylifera pollen grains extract supplementation on post-thaw quality of Arabian stallion semen. *Bulgarian Journal of Veterinary Medicine*. 21(1):40-49. ISSN: 1.311-1477. <https://doi.org/10.15547/bjvm.1044>
- Evans G., y Maxwell W. (1990). Salamon's artificial insemination of sheep and goats. Butterworths. Wisconsin-Madison. U.S.A. 192 p.
- Filipiak, Y., Armstrong, E., Aragunde, R., Fila, D., Gil, J., Alvarez, V., Pereira, M., Boggio, J., Larocca, C., Vila, F., Llambi, S. (2020). Calidad y capacidad fertilizante in vitro de semen de toros Criollo Uruguayo criopreservado en dos diluyentes comerciales. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 28(34).



- Gamal, A., El-Maaty, A., y Rawash, Z. (2016). Comparative blood and seminal plasma oxidant/antioxidant status of Arab stallions with different ages and their relation to semen quality. *Asian Pacific Journal of Reproduction*, 5(5), 428-433.
- IMV-Technologies Spain. (2020). OPTIXcell. <https://www.imv-technologies.es/producto/optixcell#brochures>
- Janett, F., Keo, S., Bollwein, H., Hässig, M., y Thun, R. (2005). Comparison of AndroMed®, Bioxcell® and Triladyl® extender for cryopreservation of bull semen. *Schweiz Arch Tierheilk*, 147, 62.
- Jiménez, S., Rivera del Alamo, M., Álvarez-Rodríguez, M., Hidalgo, C., Peña, A., Muiño, R., Rodríguez-Gil, J., y Mogas, T. (2020). In vitro assessment of egg yolk-, soya bean lecithin- and liposome-based extenders for cryopreservation of dairy bull semen. *Animal Reproduction Science*, 215(106315), 106315. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2020.106315>
- Lima, V., Johannisson, A., Ntallaris, T., Al-Essawe, E., Al-Kass, Z., Nongbua, T., y Morrell, J. (2018). Effect of freezing bull semen in two non-egg yolk extenders on post-thaw sperm quality. *Reproduction in Domestic Animals*, 53(1), 127-136.
- Martínez, J., Duverger, O., Díaz N., Interian, L., Denis, R., López, Z., Quintana, M., y Palacios, A. (2022). Efecto del protector de membrana y la solución descongelante en la calidad in vitro del semen caprino congelado en pastillas. *Revista de Salud Animal*, 44.
- Medina, V., Perez, B., y Cruz, P. (2008). Efecto de la incubación postdescongelación sobre la calidad de espermatozoides crioconservados de cerdo. *Orinoquia*, 12(2), 149-161.
- Moncayo, S. (2016). Evaluación de la calidad seminal de reproductores bovinos antes y después del proceso de criopreservación. Universidad Salesiana. Repositorio Institucional. Recuperado en línea de: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/11654>
- Montes, J., Torres, M., Rugeles, C., Almanza, R., y Guimarães, J. (2012). Inducción in vitro de la reacción acrosómica con heparina en semen congelado de toros brahman y gyr. *Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica*, 15(2), 431-436.
- Morojon, D., y Morojon, L. (2015). *Evaluación de la calidad Seminal en toros reproductores en invierno y verano en el departamento del Cesar*. Barranquilla: Universidad Nacional de Cordoba.
- Morrell J., Nongbua, T., Valeanu, S., Verde, I., Lundstedt-Enkel, K., y Edman, A. (2017). Sperm quality variables as indicators of bull fertility may be breed dependent. *Animal Reproduction Science*, 185:42-52.
- Murphy, E., O'Meara, C., Eivers, B., Lonergan, P., y Fair, S. (2018). Comparison of plant-and egg yolk-based semen diluents on in vitro sperm kinematics and in vivo fertility of frozen-thawed bull semen. *Animal Reproduction Science*, 191, 70-75.



- Quispe, G. (2018). Evaluación Comparativa de la Calidad Seminal y Funcional de Semen Criopreservado Comercial de Origen Nacional en Bovinos Lecheros de Tres Centros de Colección Seminal, Arequipa. Recuperado en línea de: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/b8d62998-3e74-40cd-b9bd-5a9fda23690e>
- Ramónez, C. (2013). Evaluación de dos agentes crioprotectores no permeables y un diluyente comercial (triladyl) en la congelación de semen bovino. Tesis de Maestría en Reproducción Animal. Universidad de Cuenca, Ecuador. Recuperado en línea de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4535/1/Tesis.pdf>
- Ribeiro, A., Munita, L., Yumi, M., Mello, M., y Ferreira de Souza, F. (2014). Criopreservación de espermatozoides bovinos extraídos de la cola del epidídimo utilizando los métodos convencional y automatizado. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 46(1), 31-38. <https://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2014000100005>
- Roof, D., Bowley, S., Price, L., y Matsas, D. (2012). Comparison of two commercial extenders for cryopreservation of goat semen without sperm washing. *Theriogenology*, 77(2), 412-420.
- Rubio-Guillén, L., Quintero-Moreno, A., y González-Villalobos, D. (2009). Efecto de la criopreservación sobre la integridad de la membrana plasmática y acrosomal de espermatozoides de toros. *Revista Científica*, 19(4), 382-389.
- Vejarano, O., Sanabria, R., y Trujillo, G. (2005). Diagnóstico de la capacidad reproductiva de toros en ganaderías de tres municipios del alto Magdalena. *Revista MVZ Córdoba*, 10(2), 648-662.
- Vélez C., Rugeles P., y Vergara G. (2014). Efecto de la raza sobre las características reproductivas de toros manejados en sistemas extensivos. *Revista Científica*, 24(4), 341-346.
- Vidal, A., Batista, A, da Silva, E., Gomes, W., Pelinca, M., Silva, S., y Guerra, M. (2013). Soybean lecithin-based extender as an alternative for goat sperm cryopreservation. *Small Ruminant Research*, 109(1), 47-51.
- Viñán D., Paucar E., y Alvarado M. (2019). Adición de metil- β -ciclodextrina cargada de colesterol sobre la criopreservación de semen de toros Holstein Friesian. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 30(4), 1611-1618. <https://doi.org/10.15381/rivep.v30i4.17159>

A DIVERSIDAD DE HONGOS ASOCIADOS A COLMENAS DE *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae)

DIVERSITY OF FUNGI ASSOCIATED WITH HIVES OF *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae)

Alex Ríos-Moreno. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Panamá.

alex.morenom@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0003-3117-9659>

Franz Robles. Universidad Autónoma de Chiriquí, Vicerrectoría de Investigación y Posgrado. Panamá.

franz.robles@unachi.ac.pa

<https://orcid.org/0009-0004-6820-7179>

Luis González. Universidad Autónoma de Chiriquí, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Panamá.

luis.gonzález2@unachi.ac.pa

<https://orcid.org/0009-0001-6771-3078>

Luis Vargas. Universidad Autónoma de Chiriquí, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Panamá.

luis.vargas1@unachi.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-9683-7547>

Roberto Guevara. Universidad Autónoma de Chiriquí, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Panamá.

roberto.guevara@unachi.ac.pa

<https://orcid.org/0009-0007-6665-8605>

Aurelio Boya. Universidad Autónoma de Chiriquí, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Panamá.

aurelio.boya@unachi.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0001-7630-7023>

*Óscar Martínez González. Universidad Autónoma de Chiriquí, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Panamá.

oscar.martinez@unachi.ac.pa

<https://orcid.org/0009-0001-0720-8678>

*Autor de Correspondencia: oscar.martinez@unachi.ac.pa

Recibido: 21/02/2025

Aceptado: 19/03/2025

DOI <https://doi.org/10.48204/j.ia.v7n2.a7483>

RESUMEN. Las infecciones fúngicas son uno de los problemas emergentes más importantes para la salud de las colonias de abejas. Con el fin de identificar las especies de hongos presentes en las colmenas de *Apis mellifera*, y así reconocer si constituyen un problema en los apiarios de la región, se realizaron dos muestreos de hongos en tres colmenas escogidas al azar, pertenecientes a tres apiarios de la provincia de Chiriquí, (San Lorenzo, Los Algarrobos y Potrerillos), durante la temporada lluviosa y seca. Los hongos se aislaron de la pared y fondo de las colmenas (PF), Larvas de obreras (LO), pupas de obreras (PO), larvas de zánganos (LZ) y pupas de zánganos (PZ). Este estudio servirá como línea base en la identificación de hongos presentes en colmenas de *A. mellifera* en Panamá. Las especies de hongos identificados en las colmenas fueron: *Aspergillus terreus*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus caespitosus*, *Penicillium citrinum*, *Penicillium decumbens*, *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium commune*, *Fusarium oxisporum*, *Fusarium chlamydosporum*, *Cladosporium herbarum*, *Cladosporium cladosporioides*, *Chrysonilia sitophila*, *Curvularia lunata*, *Rhizopus stolonifer*, *Beauveria bassiana* y *Paecylomices javanicus*. Considerados *B. bassiana* y *P. javanicus* como importantes entomopatógenos. El número de especies variaron por temporadas y por condiciones de las colmenas, registrando los géneros *Aspergillus* como los más abundantes y frecuentes en los tres sitios muestreados. Los índices de diversidad de Shannon-Wiener de especies de hongos fueron: San Lorenzo 'H= 1.69, Los Algarrobos 'H= 2.18 y Potrerillos 'H= 2.40. Los apiarios mostraron infecciones aceptables por hongos que provienen principalmente de las plantas hospederas que son visitadas por las abejas.

PALABRAS CLAVE: Apiarios, *Aspergillus*, *Beauveria*, colmena, *Fusarium*, *Penicillium*.

ABSTRACT. Fungal infections are one of the most important emerging problems for the health of bee colonies. To identify the fungal species, present in *Apis mellifera* hives, and thus recognize if they constitute a problem in the apiaries of the region, two fungal samples were taken in three randomly selected hives, belonging to three apiaries in

the province of Chiriqui (San Lorenzo, Los Algarrobos and Potrerillos), during the rainy and dry seasons. The fungi were isolated from the following sites: wall and bottom of the hives (PF), worker larvae (LO), worker pupae (PO), drone larvae (LZ), and drone pupae (PZ). This study will serve as a baseline for identifying fungi present in *Apis mellifera* hives in Panama. The fungal species identified in the hives were: *Aspergillus terreus*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus caespitosus*, *Penicillium citrinum*, *Penicillium decumbens*, *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium commune*, *Fusarium oxisporum*, *Fusarium chlamydosporum*, *Cladosporium herbarum*, *Cladosporium cladosporioides*, *Chrysonilia sitophila*, *Curvularia lunata*, *Rhizopus stolonifer*, *Beauveria bassiana* and *Paecylomyces javanicus*. *B. bassiana* and *P. javanicus* were considered important entomopathogens. The species varied by season and hive conditions, registering the genera *Aspergillus* as the most abundant and frequent in the three sampled sites. The fungal species diversity indices of Shannon-Wiener were San Lorenzo 'H= 1.69, Los Algarrobos 'H= 2.18, and Potrerillos 'H= 2.40. The sampled apiaries showed acceptable infections by fungi that come mainly from the host plants that are visited by honeybees.

KEYWORDS: Apiaries, *Aspergillus*, *Beauveria*, *Fusarium*, hive, *Penicillium*.

INTRODUCCIÓN

La apicultura, es una actividad que se ha practicado desde tiempos ancestrales en diversas partes del mundo, y con el tiempo, ha evolucionado hacia una industria de importancia global. Según las estadísticas más recientes, China continúa siendo el principal productor mundial de miel, contribuyendo con más del 40% de la producción global, lo que subraya la relevancia económica de la apicultura a nivel mundial (FAO, 2023). A pesar de los avances tecnológicos en algunos países, los apicultores enfrentan desafíos significativos relacionados con el manejo de las colonias de abejas, como la proliferación de enfermedades y la presencia de parásitos, entre los que se incluyen los hongos patógenos (Biri y Alemany, 1979; Calderón Fallas *et al.*, 2021).

Las infecciones fúngicas son uno de los problemas emergentes más importantes para la salud de las colonias. Entre los hongos más notorios se encuentra *Ascosphaera apis*, el agente causal de la enfermedad conocida como "cría yesificada" (Root y Deyell, 1960). Este hongo afecta principalmente las larvas de las abejas, lo que puede llevar a la destrucción de las colonias (García Rondón, 2019). Además, otros hongos como *Nosema apis* y *Nosema ceranae*, están asociados con el debilitamiento de las colonias y la disminución en la productividad, afectando tanto a las abejas adultas como a las larvas (Magro, 2019).

En países como Panamá, la apicultura ha estado históricamente limitada por factores como el clima tropical, la falta de infraestructura adecuada y el escaso conocimiento sobre las prácticas apícolas modernas. A pesar de su potencial, la producción de miel en Panamá sigue siendo en su mayoría de subsistencia, con pocas iniciativas para su industrialización o exportación (MIDA, 2024). La provincia de Chiriquí tiene el mayor número de productores apícolas y mayor número de colmenas que el resto del país., sin embargo, ha mostrado un crecimiento en la actividad apícola, lo que podría representar una oportunidad para el desarrollo de la apicultura comercial y la creación de mercados locales e internacionales. Estudios en países como Costa Rica y Cuba, han documentado la presencia de diversas enfermedades fúngicas en los apiarios, lo que ha provocado pérdidas significativas en la producción de miel. La infección fúngica de las abejas ocurre principalmente durante las fases de desarrollo larval y pupal, afectando en mayor medida a las larvas de los zánganos, pero también a las obreras y, en menor medida, a las reinas (Arias Mota *et al.*, 2015; Tejerina *et al.*, 2019). Estos hongos se propagan más fácilmente en condiciones de alta humedad y temperatura, lo que favorece su proliferación dentro de las colmenas, especialmente cuando la ventilación es inadecuada y la población de abejas es baja (Crespo *et al.*, 1991).

La necesidad de monitorear y controlar las enfermedades fúngicas en las colmenas se ha vuelto aún más urgente debido al impacto que tienen no solo sobre la salud de las abejas, sino también sobre la calidad de la miel y otros productos apícolas. La escasez de estudios en Panamá sobre las especies de hongos que afectan a las abejas melíferas limita nuestra comprensión sobre la prevalencia y la severidad de estas infecciones. Por ello, este estudio se centró en la identificación y aislamiento de especies fúngicas presentes en *A. mellifera* y sus colmenas en la provincia de Chiriquí, con el objetivo de contribuir a la creación de una base de datos que sirva para el control y la prevención de enfermedades en la apicultura local.

El presente trabajo proporciona información sobre la diversidad y abundancia de las especies fúngicas que pueden afectar a *A. mellifera*, con un enfoque en su identificación morfológica, así

como la asociación entre factores climáticos, como la temperatura y la humedad, y la proliferación de estos patógenos. Esta investigación no solo servirá para futuras iniciativas de control, sino también como base para la mejora de la productividad de las colmenas y el desarrollo sostenible de la apicultura en Panamá.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y colecta de la muestra

La investigación se llevó a cabo en la provincia de Chiriquí, donde se seleccionaron tres apiarios ubicados en el área de San Lorenzo que se localiza entre los 8°18'36" latitud norte y 82°06'12" Los Algarrobos que se ubica entre los 8°29'42" latitud norte y 82°25'32" longitud oeste y Potrerillos, ubicado a 8°37'58" latitud norte y 82°30'14" longitud oeste'. En todos los apiarios se realizaron giras de colecta en temporada lluviosa y en temporada seca.

En cada apiario se examinaron tres colmenas escogidas al azar. En cada gira de colecta, de las colmenas seleccionadas se tomaron tres muestras de la pared y fondo. Se utilizaron hisopos estériles para la recolección de muestras. Estos se pasaron por la pared y el fondo de la colmena y luego fueron guardados individualmente en tubos de ensayos estériles. Los hisopos utilizados en la recolección de muestras fueron sembrados en platos Petri con Agar Extracto de Malta (MEA). Se colectaron además tres larvas y tres pupas de obreras y tres larvas y tres pupas de zángano, utilizando pinzas estériles y fueron depositadas en platos Petri estériles, que contenían MEA con antibióticos. Se utilizó el antibiótico cloranfenicol 0.05 g/L, para evitar el crecimiento de bacterias. En cada apiario de colecta se registraron los datos de temperatura ambiental y humedad relativa para posibles correlaciones a la presencia o no de las diversas especies de hongos.

Análisis de laboratorio

Todos los platos Petri fueron colocados en un sitio seco libre de humedad, a una temperatura ambiente. Las colonias desarrolladas en los platos Petri se observaron macroscópicamente en forma pura mediante transferencia a platos Petri con MEA que luego se incubaran a 32 °C aproximadamente. Los hisopos se esterilizaron en la autoclave. Luego fueron sembrados mediante la técnica de estriado en platos Petri con MEA para comprobar la pureza del cultivo.

La identificación de los hongos desarrollados en los cultivos puros se realizó mediante la técnica de montaje semipermanente para microscopia de luz, utilizando un microscopio de luz (marca: Stemi SV6. Carl Zeiss). Las observaciones se contrastaron con las claves taxonómicas de de Hoog *et al.*, (2000) y Domsch *et al.*, (2007). Las especies de hongos identificados fueron dibujadas y fotografiadas, utilizando microscopios de luz con escala en micras.



Análisis de Estadístico

Los resultados de aislamientos y número de especies de hongos por apiario y por temporada, se analizaron mediante ANOVA de un factor con el programa Minitab 22. En las comparaciones donde se obtuvieron diferencias significativas se procedió a realizar la prueba post-hoc Tukey con el programa Minitab 22.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se presentan aspectos morfológicos de los hongos asociados a colmenas de *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae). La Figura 2 se muestra imágenes de los hongos asociados a las colmenas en Chiriquí, Panamá.

Figura 1

Hongos asociados a colmenas de *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae), (A: *A. niger*, B: *A. terreus*, C: *A. flavus*, D: *B. bassiana*, E: *A. caespitosus*, F: *P. commune*, G: *C. lunata*, H: *P. javanicus*, I: *P. crisogenum*).

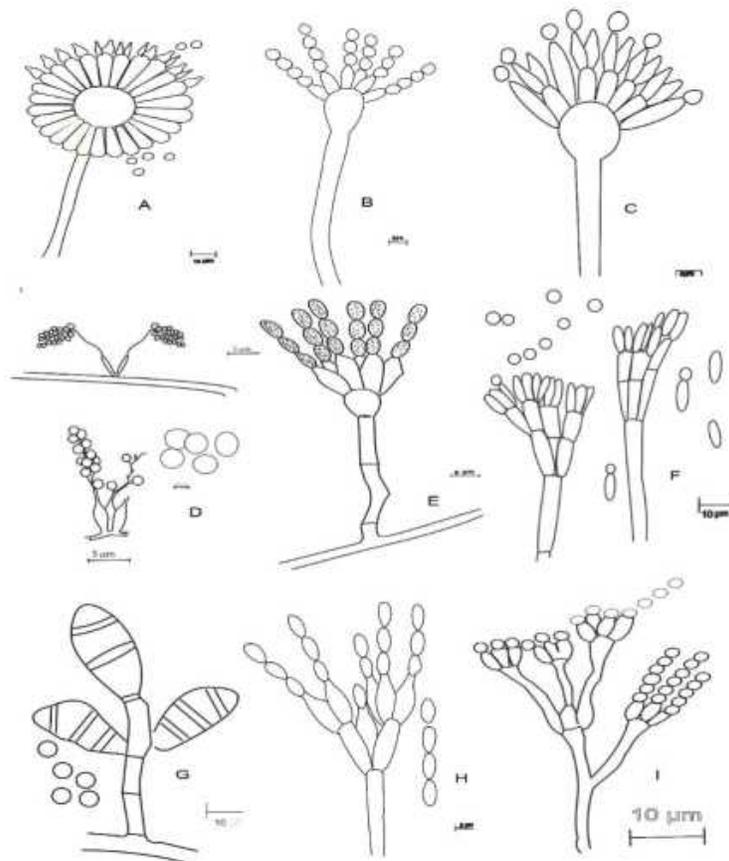
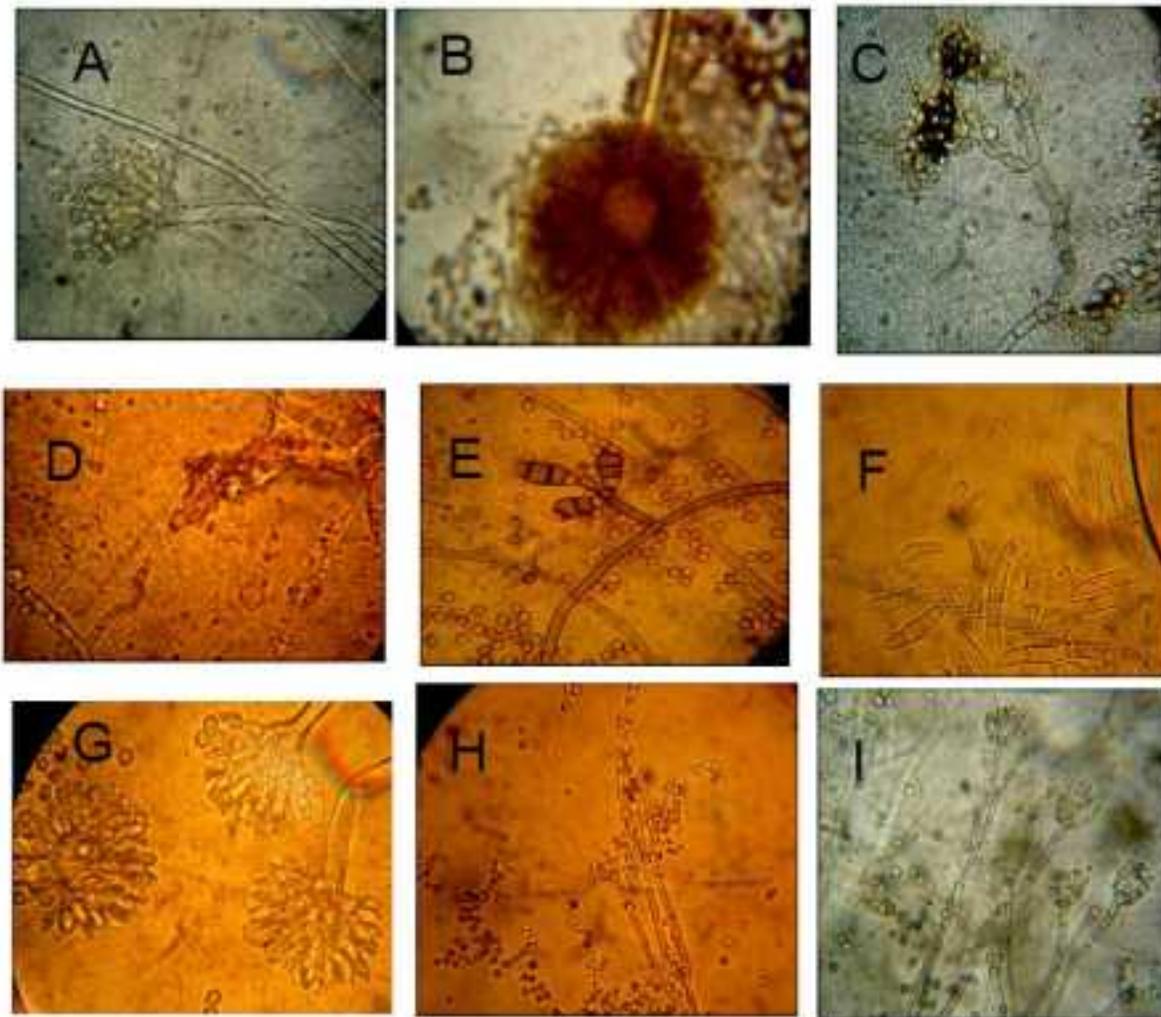


Figura 2

Hongos asociados a colmenas de *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae), Chiriquí- Panamá (A: *A. flavus*, B: *A. niger*, C: *A. terreus* D: *A. caesillus*. E: *C. lunata*, F: *F. clamidosporum*, G: *A. flavus*, H: *P. crysogenum*, I: *P. decumbens*).



Total, de especies por sitio de muestreo:

De los tres apiarios muestreados se tomaron un total de 90 muestras (Tablas 1, 2 y 3), en seis giras realizadas durante las temporadas lluviosa y seca. De las 90 muestras se lograron aislar 103 muestras de hongos, de los cuales se identificaron 9 géneros y 17 especies, 65 aislamientos en temporada lluviosa y 38 en temporada seca Figura 1 y 2. Los géneros *Aspergillus* y *Penicillium* fueron los más aislados. La especie más abundante fue *Aspergillus flavus* con 17 aislamientos con presencia en los tres apiarios (Tabla 1, 2 y 3).

Los datos obtenidos en este estudio son comparables a los obtenidos por Crespo *et al.* (1991), quien obtuvo 98 muestras, 11 géneros y 21 especies en su estudio de especies de hongos, realizado

en apiarios de Puerto Rico, lo que aparentemente puede estar relacionado por la ubicación de los apiarios, en regiones tropicales.

Especies por apiario

Tabla 1

Especies de hongos presentes en la colmena de Apis mellifera en diferentes épocas del año en el apiario de San Lorenzo. Chiriquí, Panamá.

Taxa	PF		LO		PO		LZ		PZ		Total
	I	II									
<i>Aspergillus flavus</i>	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	8
<i>Aspergillus niger</i>	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	8
<i>Curvularia lunata</i>	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	6
<i>Paecilomyces javanicus</i>	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Penicillium citrinum</i>	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	7
<i>Penicillium decumbens</i>	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	3
Total	5	4	3	4	2	2	5	4	3	2	34

I: Temporada lluviosa, II: Temporada seca, PF: Pared y fondo de la colmena, LO: Larva de obrera, PO: Pupa de obrera, LZ: Larva de zángano, PZ: Pupa de zángano.

En el apiario de San Lorenzo se identificaron seis especies en cuatro géneros de hongos en 34 aislamientos, 18 en época lluviosa y 16 en época seca. De PF y LZ se obtuvieron nueve aislamientos. Las especies con mayor presencia fueron *A. flavus* y *A. niger* con ocho cada una y *P. javanicus* fue la menos aislada con dos. *A. niger* se aisló en todas las secciones de la colmena (Tabla 1, Figura 1 y 2). Todas especies muy abundantes en el medio ambiente y cosmopolitas, las cuales se pueden aislar de muchas variedades de plantas y sustratos diversos (Mier *et al.*, 2002; Conradie *et al.*, 2024).

El apiario de San Lorenzo pertenece al IPT Abel T. Miranda, el cual es un colegio agropecuario del oriente Chiricano, por lo que el mismo es utilizado constantemente para instruir a los estudiantes de colegio en la rama de la apicultura. Esta práctica lleva consigo el buen manejo de un apiario (Conradie *et al.*, 2024). Por otro lado, Forsgren *et al.* (2018), indican que las prácticas de manejo y limpieza de los apiarios contribuyen a la prevención y detección de enfermedades en la abeja melífera. Además, estos autores señalan que ayudan a evitar la invasión de diversos agentes patológicos que afectan a esta especie, a la producción de miel, los derivados y a la colmena en general, entre las cuales se asocian algunas especies de hongos, los cuales causan grandes pérdidas a esta industria.

De las seis especies identificadas en este apiario, *A. flavus*, *A. Níger*, *P. citrinum*, *P. decumbens*, *C. lunata* son muy comunes y se han reportado como hongos de ambientes (de Hoog *et al.*, 2000), los cuales también han sido reportados como contaminantes de mieles, vinos y alimentos (Douthat *et al.*, 2006). La especie *Paecilomyces javanicus*, es reportada como frecuente en hojarasca y materia orgánica, aunque pertenece a un género utilizado en el control de insectos y nematodos. Crespo *et al.* (1991), reportaron, *P. variotii* en las paredes y fondos de la colmena, esta especie ha

sido aislada de insectos momificados y utilizada actualmente como control biológico contra insectos parásitos de diversas plantaciones (Domsch *et al.*, 2007). Sin embargo, la poca cantidad de especies identificadas en 34 aislamientos efectuados en el apiario de San Lorenzo muestra una diversidad y riqueza de especies hongos muy baja ($H'=1.69$), lo que concuerda con lo expuesto por Forsgren, *et al.* (2018), los cuales sugieren, entre otras medidas, que la limpieza constante de la colmena es importante para reducir la invasión de hongos, bacterias y ácaros perjudiciales a la colmena. Esta práctica podría explicar la baja diversidad de especies de hongos en el micro ecosistema de la colmena, que se ve constantemente intervenido por el personal encargado de prácticas, permitiendo esto que las especies que se adaptan a tales condiciones de estrés dominen en abundancia, debido a la poca competencia que tienen de otras especies. Otra posible explicación se apoya en lo indicado por Becchimanzi y Nicoletti (2022), quienes sugieren que las especies del género *Aspergillus*, ejercen una presión de selección como saprófito debido a su abundante reproducción lo que aparentemente no permite el crecimiento de otros hongos que pudieran ser perjudiciales a la colmena.

Tabla 2

Especies de hongos presentes en la colmena de Apis mellifera en diferentes épocas del año en el apiario de Potrerillos Chiriquí, Panamá.

Taxa	PF		LO		PO		LZ		PZ		Total
	I	II									
<i>Aspergillus caespitosus</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Aspergillus flavus</i>	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2
<i>Aspergillus niger</i>	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	6
<i>Aspergillus terreus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Chrysonilia sitophila</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2
<i>Curvularia lunata</i>	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	4
<i>Fusarium chlamydosporum</i>	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2
<i>Fusarium oxisporum</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Penicillium citrinum</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	2
<i>Penicillium decumbens</i>	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2
<i>Penicillium chrysogenum</i>	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	3
<i>Rhizopus stolonifera</i>	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	3
Total	4	0	6	1	6	3	4	1	5	0	30

I: Temporada lluviosa, II: Temporada seca, PF: Pared y fondo de la colmena, LO: Larva de obrera, PO: Pupa de obrera, LZ: Larva de zángano, PZ: Pupa de zángano.

En el apiario de Potrerillos, se logró un total de 30 aislamientos, para identificar 7 géneros y 13 especies, 25 en temporada lluviosa y 5 en temporada seca con una diversidad de $H'=2.40$. De PO y LO se obtuvieron seis aislamientos. La especie con mayor presencia fue *A. niger* con seis, que se ubicó en todas las secciones de la colmena (Tabla 2). Este apiario es utilizado por el propietario, para la extracción de miel y su venta a la empresa Cítricos de Chiriquí S.A., ubicado en la misma región. El propietario del apiario mantiene un constante monitoreo en las colmenas, lo que incluye limpieza, alimentación, e intercambio de celdas de las colmenas. Sin embargo, a pesar de este continuo mantenimiento, se identificó en este apiario la mayor cantidad de especies de hongos.

Durante las dos primeras giras de muestreo se observó, que el área donde se ubican las colmenas estaba cubierta por una densa vegetación y cercana a una quebrada, lo que puede contribuir a mayor cobertura vegetal. Si le sumamos otros factores ambientales como su alta precipitación y humedad relativa, propia del área, se reúnen las condiciones necesarias para que prosperen las diversas colonias de hongos (Arias Mota *et al.*, 2015). Las condiciones descritas pueden ser la causa de que en menos cantidad de aislamientos se hayan podido identificar mayor cantidad de especies que en los otros dos sitios de muestreo.

Tabla 3

Especies de hongos presentes en la colmena de Apis mellifera en diferentes épocas del año en el apiario de Los Algarrobos. Chiriquí, Panamá.

Taxa	PF		LO		PO		LZ		PZ		Total
	I	II									
<i>Aspergillus flavus</i>	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	7
<i>Aspergillus terreus</i>	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	6
<i>Beauveria bassiana</i>	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2
<i>Chrysonilia sitophila</i>	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	7
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2
<i>Cladosporium herbarum</i>	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	3
<i>Fusarium chlamydosporum</i>	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	6
<i>Paecilomyces javanicus</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Penicillium commune</i>	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	2
<i>Penicillium decumbens</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
<i>Rhizopus stolonifera</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2
Total	3	3	4	6	6	3	4	4	5	1	39

I: Temporada lluviosa, II: Temporada seca, PF: Pared y fondo de la colmena, LO: Larva de obrera, PO: Pupa de obrera, LZ: Larva de zángano, PZ: Pupa de zángano.

En el apiario de Los Algarrobos, se lograron un total de 39 aislamientos, 22 en la época lluviosa y 17 en la época seca, LO y PO fueron las secciones con mayores aislamientos 10 y 9 respectivamente en 8 géneros y 11 especies, para una diversidad de $H' = 2.18$, y riqueza de especies de 11 (Tabla 1 y 4). *A. flavus* y *B. bassiana* fueron las más aisladas con 7 cada una, *P. javanicus* y *P. decumbens* las menos aislada con solo uno (Tabla 3). Es importante indicar que el apiario de Los Algarrobos es de uso privado para la venta de miel a la población aledaña; La ubicación del apiario se da en una zona de abundante vegetación y excesiva maleza alrededor de las colmenas, por lo que se entiende que los cuidados que recibe la colmena de *Apis mellifera*, durante el año no son los más apropiados según el manual de patología. Puesto que el propietario indica que sólo puede visitarlas en la época de alimentarlas y de cosechar la miel, se obtienen pocos datos del manejo, de producción y cantidad de abejas de la colmena. Según, Forsgren, *et al.* (2018), Arias Mota *et al.* (2015), las condiciones descritas favorecen la colonización de especies de hongos que pueden o no afectar a las abejas; a su vez se detectó la presencia de ácaros en las larvas y pupas de la abeja melífera los cuales son reportados en el manual de patologías apícola como un problema serio entre las colmenas de abejas y provocado por la falta de limpieza (Torres y Torres, 2020).

Aislamientos por sitio de la colmena

Tabla 4

Número de aislamientos de especies de hongos presentes, dentro de la colmena, en diferentes épocas del año. San Lorenzo, Los Algarrobos y Potrerillos Chiriquí, Panamá.

Sección de la colmena San Lorenzo	I	II	Total
PF	5	4	9
LO	3	4	7
PO	2	2	4
LZ	5	4	9
PZ	3	2	5
Total	18	16	34
Sección de la colmena Los Algarrobos	I	II	34
PF	3	3	6
LO	4	6	10
PO	6	3	9
LZ	4	4	8
PZ	5	1	6
Total	22	17	39
Sección de la colmena Potrerillos	I	II	Total
PF	4	0	4
LO	6	0	6
PO	6	3	9
LZ	4	1	5
PZ	5	1	6
Total	25	5	30

PF: Pared y fondo de la colmena, LO: Larva de obrera, PO: Pupa de obrera, LZ: Larva de zángano, PZ: Pupa de zángano. I: Temporada lluviosa, II: Temporada seca.

El número de hongos aislados durante la temporada lluviosa (25) superó ampliamente las especies de hongos identificados en la temporada seca. Así mismo PF y LO presentaron los mayores números en cuanto a infección fúngica.

Para el apiario de San Lorenzo, en comparación con las 11 especies aisladas en Los Algarrobos, solo las especies *Aspergillus flavus*, *Penicillium decumbens* y *Paecilomyces javanicus* repiten, en el apiario de San Lorenzo (Tabla 1). Adicionalmente, *Aspergillus terreus* se reporta (Tabla 2), en el apiario de los Algarrobos, del cual existen informes de haberse aislado de productos agrícolas almacenado (Abarca, 2000; Mier *et al.*, 2002). También se aisló la especie *Penicillium commune*, la cual en altas concentraciones puede causar diarrea, convulsiones y muerte en animales de experimentación, debido a su rápida invasión de alimentos almacenados, por los que es importante mantener la higiene en las colmenas. En el apiario de San Lorenzo se obtuvo la mayor diversidad hongos, en las muestras tomadas de PF con cinco especies en época lluviosa y cuatro especies de

hongos en época seca, para un total de nueve aislamientos (Tabla 1). En LZ se aislaron cinco especies en temporada lluviosa y cuatro en temporada seca (Tabla 4).

Todas las especies presentes en el apiario de Potrerillos han sido reportadas como hongos ambientales (Bucio *et al.*, 2005; Ramos Carvajal 2023), que pueden ser llevados al apiario por las abejas desde la vegetación visitada en la recolección. Pueden ser de cuidado las especies *Aspergillus caespitosus*, *Penicillium chrysogenum* y *Fusarium oxysporum*, reportadas en los apiarios de San Lorenzo, Potrerillos y Los Algarrobos.

Los resultados de los tres apiarios, 43 aislamientos para LO y PO, representa un 42% del total de las muestras tomadas. LZ y PZ con 39 aislamientos representaron un 38% y PF con 21 aislamientos, que representaron el 20% del total de las muestras tomadas en los tres apiarios. Estos datos demuestran que PO y LO son los lugares donde mayormente se ubican las esporas de hongos. Estos resultados pueden relacionarse con el hecho de que son las obreras quienes llevan a cabo la labor de recolección para la elaboración de miel en la colmena y son las que en su mayor parte se exponen a la contaminación fúngica (Álvarez *et al.*, 2017). Como las crías de las obreras reciben mayor atención de las abejas en el proceso de alimentación y demás cuidados, podría esto explicar la mayor concentración de esporas de hongos en PO y LO. Crespo *et al.* (1991), encontraron altos porcentajes de hongos en las muestras de polen, indicando que los hongos en su mayoría son traídos por las obreras adultas, y dispersados en el ambiente de la colmena.

Los datos obtenidos en esta investigación sugieren que podría existir una estrecha relación entre las especies de plantas que rodean los apiarios y las colmenas de abejas. Estas plantas además de ser fuente de nutrientes para las abejas también son los principales reservorios para la contaminación fúngica de las abejas (Bucio *et al.*, 2005; Stamets *et al.*, 2018). Sin embargo, a pesar de haberse aislado diversas especies de hongos en los tres apiarios, no se observaron ni reportaron problemas graves por infección micológica en los diversos apiarios estudiados. Tal situación sugiere que existe una flora típica de especies de hongos en las colmenas sanas (Stamets *et al.*, 2018). Estos hongos en general no parecen ser perjudiciales a las colmenas, si no que desarrollan en diversas relaciones simbióticas. Parish *et al.* (2020), demostraron que las esporas de algunas especies de hongos como *Fusarium sp.* pueden ser colectadas por las abejas para mejorar la calidad de la dieta, cuando los valores nutricionales del polen son bajos (Bucio *et al.*, 2010). Estas relaciones parecieran no afectar negativamente la producción de miel. Estas especies funcionan como control biológico contra virus, bacterias y otras especies de hongos que podrían ser perjudiciales (Douthat *et al.*, 2006).

Es probable entonces que muchas de las especies ambientales aisladas en el presente estudio, puedan ser especies indicadoras de contaminación y a la vez la presencia de especies como *P. chrysogenum*, puedan funcionar como control biológico sobre otras especies de hongos y bacterias que podrían ser de peligro para las colmenas (Fernández Chaguay, 2022). Sin embargo, la diversidad y abundancia de especies de hongos observada en los tres apiarios podría sugerir que su crecimiento en distintas regiones de la colmena pudiera ser no siempre accidental, ya que como se ha mencionado, las abejas obreras pueden colectar las esporas, ya sea por confusión o por motivos de complemento nutricional (Rutkowski *et al.*, 2023).

Comparaciones por apiario, por temporada

El ANOVA de un factor mostró diferencias significativas entre los aislamientos realizados por temporada por apiario ($p=0.003 \leq 0.05$), y las comparaciones Tukey mostraron la formación de dos y tres grupos respectivamente, basados en los números de aislamientos por temporada por apiario (Tabla 5).

Tabla 5

Agrupación de Aislamientos, utilizando el método de Tukey con una confianza de 95%.

	Tukey
Sitio de muestreo	P= 0.003
I Los Algarrobos	3.667 ^a
I San Lorenzo	3.000 ^{ab}
II San Lorenzo_1	2.667 ^{ab}
I Potrerillos	1.923 ^b
II Los Algarrobos_1	1.889 ^b
II Potrerillos_1	1.000 ^b

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Los datos Los Algarrobos (I) (Tabla 5) tiene el mayor número de aislamientos de hongos, lo que sugiere que este apiario está bajo condiciones ambientales más favorables para el crecimiento de hongos. Es probable que los factores climáticos o las prácticas de manejo en este apiario necesiten ser revisados para mitigar el riesgo de enfermedades fúngicas.

Potrerillos_1 (II), al tener la media más baja, parece estar mejor controlado en cuanto a los aislamientos de hongos. Esto podría reflejar mejores prácticas de manejo en cuanto a la ventilación, higiene o control de humedad.

Es importante que los apicultores se concentren en mejorar las condiciones en los apiarios con mayores aislamientos de hongos (como Los Algarrobos (I)), a fin de reducir el riesgo de enfermedades fúngicas que podrían afectar la salud de las colonias de abejas. La prueba LSD de Fisher confirma que las temporadas o condiciones de los diferentes apiarios tienen un impacto significativo en la cantidad de aislamientos de hongos. Los apiarios con medias más altas requieren más atención para mejorar las condiciones de manejo, mientras que aquellos con medias bajas parecen estar mejor controlados. No se encontraron diferencias significativas entre el número de especies aisladas e identificadas por temporada por apiario.

CONCLUSIONES

Ciento tres (103) cepas de hongos fueron aisladas, de los cuales se logró identificar un total de diecisiete (17) especies en nueve (9) géneros.

El apiario de Potrerillos presentó la mayor diversidad de hongos con $H' = 2.40$. El segundo apiario con mayor diversidad fue la de los Algarrobos, con una diversidad de $H' = 2.18$. Por último, el apiario de San Lorenzo con una diversidad de $H' = 1.69$.

Las especies de hongos identificadas son consideradas como ambientales excepto *Paecilomyces javanicus* y *Beauveria bassiana*, que son consideradas como patógenos de insectos.

Los apiarios mostraron infecciones aceptables por hongos que provienen principalmente de las plantas hospedadoras que son visitadas por las abejas recolectoras.

AGRADECIMIENTOS

Al colegio Abel Tapiero Miranda de San Lorenzo.

REFERENCIAS

- Abarca, L. (2000). Taxonomía e identificación de especies implicadas en la aspergilosis nosocomial. *Revista Iberoamericana de Micología*, 17, 78-79.
- Álvarez-Ramírez, A., Jiménez-González, L., Ortiz-Muñoz, E., Ruíz-García, I., y Orozco-Hernández, R. (2017). Influencia de las condiciones ambientales en la presentación de Ascosferosis (*Ascosphaera apis*) o cría de cal en *Apis mellifera* (abeja). *Abanico veterinario*, 7(3), 37-46. <https://doi.org/10.21929/abavet2017.73.4>
- Arias Mota, R. M., Heredia Abarca, G., y Castañeda Ruiz, R. F. (2015). Adiciones al conocimiento de la diversidad de los hongos conidiales saprobios del bosque mesófilo de montaña del estado de Veracruz IV. *Acta Botánica Mexicana*, (113), 87-101. <https://doi.org/10.21829/abm113.2015.1097>
- [Becchimanzi, A., y Nicoletti, R. \(2022\). *Aspergillus*-bees: A dynamic symbiotic association. *Frontiers in Microbiology*, 13, Arthttps://doi.org/10.3389/fmicb.2022.968963](https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.968963)
- Biri, M., y Alemany, A. (1979). Cría moderna de las abejas. Editorial de Verchi, S. A. Barcelona, España. 287 pp.
- Bucio, C., Martínez, O., y Torres, J. (2005). Hongos Asociados al polen recolectado por las abejas. ICA. 1-6

- Bucio, C. M., López Preciado, G., Martínez, O. A., & Torres Morales, J. J. (2010). Micoflora asociada a granos de polen recolectados por abejas domésticas (*Apis mellifera* L). *Nova Scientia*, 2(4), 93-103.
- Calderón Fallas, R. Á., Sánchez Chávez, L. A., y Aguilar Monge, I. (2021). XII Congreso Mesoamericano de Abejas Nativas: Desafíos y oportunidades para la conservación de las abejas nativas, 20 y 21 de noviembre.
- Crespo, D., Laguillo, O., López, B., Pesante, D. y Berrios, A. (1991). Catastro de hongos presentes en colmenas de la abeja melífera (*Apis mellifera*), en el área oeste de Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science*, 27, 75-79.
- Conradie, T. A., Lawson, K., Allsopp, M., y Jacobs, K. (2024). Exploring the impact of fungicide exposure and nutritional stress on the microbiota and immune response of the Cape honeybee (*Apis mellifera capensis*). *Microbiological Research*, 280, 127587.
- de Hoog, G., Guarro, J., Gene, J., y Figueras, M. (2000). Atlas of clinical Fungi, 2ed. CBS. and Universidad Rovira I Virgili. 1126 pp.
- Douthat, L., Chamorro, E., Sequeira, A. y Velasco, G. (2006). Aislamiento e identificación de los hongos en mieles, equipamiento y medio ambiente en una sala de extracción de la zona apícola II de la provincia del Chaco. Conexiones JJ. Grupo de investigación en Química Organiza Y biológico. U. T. N. Colombia.
- Domsch, K., Gams, W., y Anderson, T. (2007). Compendium of soil fungi. Second edition. IHW-Verlag: Eching, Germany, 2007; pp. 1-672.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. (2023). Día Mundial de las Abejas. Retrieved from FAO web site: <https://www.fao.org/world-bee-day/es/>
- Fernández Chaguay, C. F. (2022). Análisis de los métodos de control del Acaro *Varroa destructor* (Oudemans 1904) de colmenas sobre abejas *Apis mellifera* productoras de miel (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2022).
- Forsgren, E., Locke, B., Sircoulomb, F., y Schäfer, M. O. (2018). Bacterial diseases in honeybees. *Current Clinical Microbiology Reports*, 5, 18-25.
- García Rondón, D. (2019). Evaluación del efecto antimicrobiano de un biopreparado probiótico frente a agentes patógenos de *Apis mellifera* L (Doctoral dissertation, Universidad de Matanzas. Facultad de Ciencias Agropecuarias).
- Magro, A. U. (2019). *Factores determinantes de la nosemosis en Apis mellifera iberiensis* (Doctoral dissertation, Universidad Complutense de Madrid).
- Mier, T., Torriello, C. y Ulloa, M. (2002). Hongos microscópicos saprobios y parásitos: Métodos de Laboratorio. UNAM. 88 pp.

Ministerio de Desarrollo Agropecuario. (2024). Actividad apícola se incrementa en Panamá. <https://mida.gob.pa/2024/05/15/actividad>

Parish, J. B., Scott, E. S., y Hogendoorn, K. (2020). Nutritional benefit of fungal spores for honeybee workers. *Scientific Reports*, 10(1), 15671.

Ramos Carvajal, M. G. (2023). Estudio molecular de la prevalencia parasitaria causada por los hongos *nosema ceranae* y *nosema apis* en abejas de la miel *Apis mellifera* y meliponinos en Panamá (Doctoral dissertation, Universidad de Panamá).

Root, A. y Deyell, M. (1960). ABC y XYZ de la apicultura. Enciclopedia de la cría científica y práctica de las abejas. Editorial continental s. a. México. Calderón, R. A., Rivera, G. y L.G. Zamora. 2005. Presencia de cría de Tiza (*Ascosphaera apis*) afectando colmenas de abejas africanizadas (*Apis mellifera*) bajo las condiciones normales de Costa Rica. U. N. de Costa Rica. *Boletín de Parasitología*, 6(2-3).

Rutkowski, D., Weston, M., y Vannette, R. L. (2023). Bees just wanna have fungi: a review of bee associations with nonpathogenic fungi. *FEMS Microbiology Ecology*, 99(8), fiad077.

Stamets, P. E., Naeger, N. L., Evans, J. D., Han, J. O., Hopkins, B. K., Lopez, D., y Sheppard, W. S. (2018). Extracts of polypore mushroom mycelia reduce viruses in honeybees. *Scientific Reports*, 8(1), 13936.

Tejerina, M. R., Cabana, M. J., Flores, J. M., y Ahrendts, M. B. (2019). Estudios de cepas de *Ascosphaera apis* aisladas de pólenes comerciales de diferentes provincias españolas y su capacidad de producción enzimática. *Archivos de zootecnia*, 68(263), 324-330.

Torres, D. J., y Torres, N. A. (2020). Modelado de la influencia de los ácaros en las poblaciones de abejas melíferas. *Ciencias Veterinarias*, 7(3), 139. <https://doi.org/10.3390/vetsci7030139>

APLICACIÓN DEL EXTRACTO DE *Artocarpus Heterophyllus* EN LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN EN DOS TIPOS DE CACAO TRINITARIO Y FORASTERO

APPLICATION OF THE EXTRACT OF *Artocarpus Heterophyllus* IN THE OPTIMIZATION OF THE FERMENTATION PROCESS IN TWO TYPES OF TRINITARIO AND FORASERO COCOA

*Luis Vásquez. Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Ecuador.
lvazquezc@utb.edu.ec <https://orcid.org/0000-0003-1850-0217>

Álvaro Pazmiño. Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Ecuador.
apazmino@utb.edu.ec <https://orcid.org/0000-0002-9869-253X>

María Cabanilla. Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Ecuador.
mcabanillac@utb.edu.ec <https://orcid.org/0000-0001-9494-4499>

*Autor de Correspondencia: lvazquezc@utb.edu.ec

Recibido: 23/02/2025

Aceptado: 22/04/2025

DOI <https://doi.org/10.48204/j.ia.v7n2.a7491>

RESUMEN. El cacao es una de las materias primas más importantes a nivel mundial y constituye el sustento económico para muchos pequeños y medianos agricultores. Este estudio tiene como objetivo evaluar la utilización del extracto de Jackfruit (*Artocarpus Heterophyllus*) en la fermentación del cacao, un proceso crucial que afecta la calidad física y sensorial del producto final al influir en la eliminación del mucílago y en los cambios químicos del cacao. Se empleó un diseño completamente al azar bifactorial, con dos tipos de cacao (Trinitario y Forastero) y tres concentraciones de extracto de Jackfruit (0%, 2.0% y 4.0%), totalizando 6 tratamientos y 18 unidades experimentales. Las evaluaciones morfológicas del fruto y los análisis fisicoquímicos de los granos de cacao (temperatura, pH, °Brix) revelaron que, aunque el cacao Trinitario mostró un mayor aprovechamiento inicial, el mejor tratamiento fue el cacao Trinitario fermentado en cajas microfermentadoras tipo Rohan, según la normativa INEN 176. En cuanto al análisis sensorial, el cacao Trinitario fermentado en cajas Rohan tuvo mayor aceptación. Esta investigación busca mejorar la fermentación del cacao y, en consecuencia, la calidad física y sensorial de las barras de chocolate.

PALABRAS CLAVE: Cacao fino y de aroma, calidad fermentativa, cultivares de cacao, evaluación sensorial de alimentos, procesos bioquímicos poscosecha.

ABSTRACT. Cocoa is one of the most important raw materials worldwide and serves as the economic backbone for many small and medium-sized farmers. This study aims to evaluate the use of Jackfruit extract (*Artocarpus heterophyllus*) in the fermentation of cocoa, a crucial process that impacts the physical and sensory quality of the final product by influencing the removal of mucilage and the chemical changes in cocoa. A completely randomized bifactorial design was employed, involving two types of cocoa (Trinitario and Forastero) and three concentrations of Jackfruit extract (0%, 2.0%, and 4.0%), resulting in six treatments and 18 experimental units. Morphological evaluations of the fruit and physicochemical analyses of the cocoa beans (temperature, pH, °Brix) revealed that while Trinitario cocoa exhibited greater initial efficiency, the best treatment was Trinitario cocoa fermented in Rohan-type microfermentation boxes, in accordance with INEN 176 standards. Regarding sensory analysis, Trinitario cocoa fermented in Rohan boxes was the most favored. This research seeks to enhance cocoa fermentation and, consequently, improve the physical and sensory quality of chocolate bars.

KEYWORDS: Cocoa cultivars, fine and aromatic cocoa, fermentation quality, post-harvest biochemical processes, sensory evaluation of food.

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L); se lo conoce alrededor de todo el mundo, siendo la materia prima para la elaboración de chocolate, perteneciente a la clase *Magnoliopsida*, del orden de las *Malvales*, de la familia *Malvaceae*, cuyo género es *Theobroma* y su especie correspondiente, cacao, acontecido como uno de los frutos más cultivados en el Ecuador por su calidad y propiedades sensoriales que lo hacen único en el mundo (Fouet *et al.*, 2022).

El árbol del cacao (*T. cacao*) es el único capaz de producir las codiciadas almendras de cacao, las cuales son altamente valoradas por los chocolateros para la elaboración de chocolate. Estas almendras pueden ser clasificadas como "cacao fino y de aroma", reconocido por sus complejas notas sensoriales que incluyen matices florales y afrutados. Por otro lado, también existe el "cacao estándar", caracterizado por un perfil sensorial más robusto, con aromas y un amargor más intensos, cualidades que lo hacen distintivo en diversas aplicaciones chocolateras (Vásquez *et al.*, 2022).

Históricamente, se ha sostenido que el origen del cacao se encuentra en Mesoamérica, entre México, Guatemala y Honduras, con usos que datan de aproximadamente 2000 años a.C. Sin embargo, investigaciones recientes sugieren que al menos una variedad tiene su origen en la alta Amazonía, específicamente en Zamora Chinchipe, Ecuador, donde el cacao ha sido utilizado durante más de 5000 años, incluso antes de la llegada de los colonizadores europeos (Loor *et al.*, 2013).

En términos económicos, el cacao es un pilar fundamental del desarrollo ecuatoriano, junto con el banano y la industria petrolera. Ecuador fue históricamente el primer exportador mundial de cacao y actualmente ocupa el tercer lugar, con una producción sostenible y estándares de calidad cada vez más rigurosos. La producción es realizada mayoritariamente por pequeños y medianos agricultores, quienes dependen del cultivo para su sustento. Esta cadena productiva involucra a más de 600,000 ecuatorianos, directa o indirectamente (Santos *et al.*, 2025).

El país se caracteriza por la biodiversidad de sus cultivos de cacao, destacando la variedad Nacional o Fino de Aroma, apreciada mundialmente por sus propiedades sensoriales, y la variedad clonada CCN-51, reconocida por su resistencia y alto rendimiento. Estas almendras son ricas en antioxidantes, vitaminas y minerales, y se consideran un alimento funcional con potencial para prevenir enfermedades cardiovasculares (Llerena *et al.*, 2023).

La calidad del cacao depende de procesos poscosecha como la fermentación y el secado. Durante la fermentación, ocurren reacciones bioquímicas clave que inducen las características sensoriales deseadas. Para el CCN-51, este proceso dura aproximadamente 6 días, siguiendo las etapas alcohólica, acética y oxidativa. Las temperaturas deben mantenerse entre 40 °C y 50 °C para evitar daños en los granos. Posteriormente, el secado reduce la humedad al 6-8%, cumpliendo los estándares internacionales de calidad (Intriago *et al.*, 2023).

Estudios recientes han explorado estrategias innovadoras para mejorar la fermentación del cacao. Por ejemplo, la adición de extractos de frutas ricas en polifenol oxidasa, como el banano (*Musa* spp.), acelera la fermentación y mejora la calidad sensorial de los granos. Asimismo, el uso de

cajas Rohan y la aplicación de pulpas de maracuyá y banano como coadyuvantes ha demostrado incrementar la cantidad de granos fermentados con éxito.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

La presente investigación se llevó a cabo en la finca "Las Juanas", localizada en el recinto El Limón, provincia de Guayas, Ecuador. En este lugar se realizó la recolección de mazorcas de cacao de las variedades Forastero y Trinitario. Además, el fruto de Jackfruit (*A. heterophyllus*) fue obtenido en la ciudad de Quevedo, provincia de Los Ríos, situada en las coordenadas geográficas: latitud -1.029539 y longitud -79.442931.

Diseño de la Investigación

En esta investigación se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con un modelo bifactorial compuesto por 6 tratamientos, distribuidos en 3 repeticiones, lo que resultó en un total de 18 unidades experimentales. El primer factor analizado correspondió a las variedades de cacao (*Theobroma cacao* L.): Forastero y Trinitario. El segundo factor evaluado fue la aplicación de extracto de Jackfruit (*A. heterophyllus*) en diferentes concentraciones: 0%, 2.0% y 4.0%. Para determinar las diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, se aplicó la prueba de rangos múltiples de Tukey con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$.

Variables estudiadas

Ejecución de la Poscosecha

Obtención de la materia prima de las mazorcas de cacao

Durante la cosecha y recepción de la materia prima, se aseguró que las mazorcas de cacao estuvieran libres de *Moniliophthora roreri* (Monilla), ya que la presencia de este patógeno podría afectar negativamente el proceso de fermentación y la calidad del producto final en la elaboración de chocolate (Erazo *et al.*, 2023).

Para esta investigación, se realizó la cosecha de mazorcas de las variedades de cacao Trinitario y Forastero, garantizando que los granos de ambas variedades no se mezclaran, con el fin de mantener la pureza y consistencia en los análisis posteriores.

Determinación morfológica de las mazorcas de cacao

Peso de la mazorca

Se registró el peso de los frutos de cacao cosechados, dividiendo el peso total entre el número de mazorcas sanas recolectadas. Este procedimiento permitió obtener un promedio del peso por mazorca, asegurando la uniformidad en los datos y facilitando el análisis comparativo entre las variedades de cacao evaluadas (Intriago *et al.*, 2023).

Número de almendras por mazorcas

Se realizó un conteo directo del número de granos de cacao presentes en cada fruto recolectado. Posteriormente, se calculó el promedio correspondiente, lo que permitió determinar esta variable

de manera precisa para cada variedad de cacao evaluada. Este procedimiento garantizó la consistencia y confiabilidad de los datos obtenidos (Vásquez *et al.*, 2024).

Largo de la mazorca de cacao

Para determinar el tamaño en longitud de las mazorcas de cacao, se midió la distancia desde la base, en la unión con el pedúnculo, hasta el ápice de cada mazorca. Para ello, se utilizó una escuadra métrica y una hoja centimetrada, asegurando precisión en las mediciones y uniformidad en la recolección de datos (Vásquez *et al.*, 2024).

Extracción de los granos de cacao

Una vez recolectadas las mazorcas necesarias, se procedió al proceso de despulpado, el cual consiste en separar los granos de cacao de la parte carnosa conocida como "placenta" que los rodea dentro del fruto (Gutiérrez *et al.*, 2022).

Posteriormente, se realizaron cortes longitudinales o transversales en las mazorcas para extraer las almendras de cacao. Una vez desulpadas, las almendras fueron cuidadosamente separadas en recipientes limpios.

Estas almendras se colocaron en las celdas de las microfermentadoras, cada una con capacidad para albergar hasta 2 kg de masa fresca de cacao, asegurando condiciones adecuadas para el inicio del proceso de fermentación.

Proceso Fermentativo

Posteriormente, los granos de cacao fueron colocados en cajas microfermentadoras fabricadas con madera de guayacán blanco. Estas cajas cuentan con 30 espacios y dimensiones de 125 × 75 × 10 centímetros, de los cuales se utilizaron únicamente 18 celdas. Cada celda fue cargada con 2 kg de almendras frescas de cacao, resultando en un total de 36 kilogramos de masa para el proceso.

El estudio tuvo una duración de cuatro días y se aplicó a ambas variedades de cacao (Forastero y Trinitario), manteniendo las mismas condiciones experimentales para garantizar la uniformidad del análisis y obtener resultados confiables.

Adición de Extracto de fruta Jackfruit

Preparación del extracto de Jackfruit

Se empleó extracto de Jackfruit (*A. heterophyllus*) como una estrategia para mejorar el proceso poscosecha, específicamente durante la etapa de fermentación. Se aplicaron tres dosis del extracto: 0%, 2.0% y 4.0% (equivalentes a 0, 40 y 80 mL, respectivamente), con el objetivo de evaluar su efecto sobre la calidad de las almendras de cacao (Vásquez *et al.*, 2022).

Para la preparación del extracto, se licuaron 2.7 g de pulpa de Jackfruit. De esta cantidad, se utilizaron 150 g por tratamiento, a los cuales se añadieron 200 mL de agua destilada. La mezcla fue procesada a una temperatura inferior a 40 °C para preservar las propiedades bioactivas del extracto. Este procedimiento permitió obtener una solución uniforme que fue aplicada en las celdas de las microfermentadoras según las dosis correspondientes (Vásquez *et al.*, 2024).

Remociones

Se realizaron remociones controladas durante el proceso de fermentación para asegurar condiciones óptimas y garantizar una fermentación homogénea. Este procedimiento es crucial para evitar irregularidades en la fermentación y permitir una distribución uniforme del calor y los microorganismos involucrados.

La temperatura fue monitoreada cuidadosamente, manteniéndose en un rango entre 40 °C y 50 °C, incrementándose de manera gradual para prevenir una sobre fermentación. La primera remoción se llevó a cabo 24 horas después de la aplicación del extracto de Jackfruit. A partir de ese momento, se realizaron dos remociones diarias durante los días restantes del estudio, optimizando el desarrollo de las características sensoriales y de calidad de las almendras de cacao (Vera *et al.*, 2023).

Secado de las almendras de cacao

Una vez concluido el proceso de fermentación, etapa clave para el desarrollo de precursores de aroma, sabor y otras cualidades sensoriales, se procedió al secado de las almendras de cacao. Este proceso se realizó de forma cuidadosa y bajo luz solar directa, asegurando que no hubiera mezclas entre los granos de diferentes variedades ni de distintas fincas, dado que cada lote estaba sujeto a diferentes tratamientos (Intriago *et al.*, 2019).

El secado se llevó a cabo en superficies de madera adecuadas para evitar la contaminación por agentes externos, ya que el uso de materiales inadecuados podría comprometer la calidad de las almendras. Se realizaron remociones frecuentes y uniformes para garantizar un secado homogéneo, el cual se prolongó durante 7 a 8 días bajo el sol. El objetivo fue alcanzar un nivel óptimo de humedad, que se situó entre el 6% y el 8%, cumpliendo con los estándares requeridos para garantizar la calidad del producto final (Sanchez *et al.*, 2022).

Almacenamiento de las almendras de cacao

Al finalizar el proceso de secado, las almendras de cacao, con una humedad estabilizada en aproximadamente 7%, fueron cuidadosamente almacenadas en bolsas de papel. Este tipo de empaque fue seleccionado para permitir una adecuada ventilación y evitar la acumulación de humedad residual, preservando así la calidad y las propiedades sensoriales de las almendras hasta su análisis o posterior procesamiento (Intriago *et al.*, 2023).

Ecuación 1. Ecuación. Índice de semilla.

$$IM = \frac{\text{Número de mazorcas}}{\text{peso en gramos de las almendras secas}} * 1000$$

Índice de semilla

Para evaluar la variable del índice de semilla, se seleccionaron 100 almendras de cacao previamente fermentadas y secas. Este procedimiento permitió obtener un valor representativo de esta variable, asegurando que las almendras cumplieran con las condiciones estándar de fermentación y secado requeridas para el análisis (Vásquez *et al.*, 2024).

Ecuación 2. Ecuación. Índice de semilla.

$$IS = \frac{\text{Peso en gramos de 100 almendras de cacao fermentadas y secas}}{100}$$

Prueba de testa y cotiledón

El índice de semilla se determinó mediante el peso de las almendras de cacao, utilizando una balanza analítica de precisión. Se pesaron 100 almendras, obteniendo un peso total de 30 g, lo cual sirvió como base para calcular esta variable y analizar las características físicas de las almendras de cacao fermentadas y secas. Este procedimiento permitió garantizar precisión y consistencia en los resultados obtenidos (Vásquez *et al.*, 2024).

Ecuación 3. Prueba de testa y cotiledón.

$$\% \text{ de testa} = \frac{(\text{Peso de la testa})}{\text{Peso de 30 gramos de cacao}} * 100$$

Prueba de corte

El índice de semilla fue calculado mediante la selección aleatoria de 100 almendras de cacao fermentadas y secas. Estas fueron pesadas en una balanza analítica de precisión para asegurar la exactitud del registro. Posteriormente, con la ayuda de un estilete, se realizó un corte transversal en cada haba seca.

La evaluación de las almendras se llevó a cabo mediante un análisis visual basado en un test observacional, siguiendo los lineamientos establecidos en la normativa ecuatoriana INEN 176/2018 (INEN, 2018). Esta normativa proporcionó los criterios necesarios para clasificar y determinar la calidad de las almendras de cacao, asegurando que cumplieran con los estándares requeridos para el mercado y los análisis sensoriales.

Peso de habas de cacao en 100 gramos

En esta etapa, se seleccionaron aleatoriamente 100 g de almendras de cacao fermentadas y secas. Posteriormente, se procedió a contar el número de almendras necesario para completar el peso total de 100 g. Este procedimiento permitió determinar el promedio del peso individual de las almendras, una variable clave para evaluar su calidad física y consistencia, asegurando un análisis detallado y representativo del lote estudiado (Vásquez *et al.*, 2024).

Humedad

Una vez que las almendras de cacao estuvieron secas y fermentadas, se procedió a medir la humedad, una variable clave para garantizar un almacenamiento óptimo y cumplir con los estándares comerciales. El rango adecuado de humedad fue establecido entre el 6% y el 7%, ya que valores inferiores pueden afectar la rentabilidad en la industria cacaotera, disminuyendo el precio y comprometiendo las características necesarias para la elaboración de chocolate de alta calidad (Torres *et al.*, 2023).

Para realizar esta medición, se utilizó el instrumento AQUA BOY III, diseñado específicamente para evaluar la humedad interna en granos, con prioridad para el cacao. Las muestras de almendras

se colocaron cuidadosamente en el sensor del equipo, y la lectura fue tomada siguiendo las instrucciones del manual del dispositivo. Este procedimiento permitió obtener datos precisos y confiables, esenciales para garantizar la calidad del producto final (INEN, 1986).

Muestreo método cuartil

El método utilizado para la clasificación de almendras de cacao consistió en una división aleatoria en cuatro cuadrantes homogéneos (1, 2, 3, 4). Posteriormente, se descartaron de forma aleatoria las almendras de los extremos hasta obtener una muestra reducida. Este procedimiento se repitió al menos dos veces para garantizar la uniformidad de la muestra, hasta alcanzar aproximadamente 100 g de almendras fermentadas y secas.

Este método se desarrolló conforme a la normativa INEN 175 y sirvió como paso previo a la prueba de corte, descrita en la normativa (INEN, 1986).

Pasos para la elaboración de pasta de cacao con una pureza del 100%

Primero: se llevó a cabo la clasificación de la materia prima del cacao, eliminando cualquier cuerpo extraño ajeno de los granos de cacao.

Segundo: posterior se procedió a tostar los granos de cacao en una vasija de barro a una temperatura media de 120 °C para evitar que se quemen, por un tiempo aproximado de 18 a 25 minutos ayudando a desprender cualquier agente, y disminución de la humedad.

Tercero: luego se procedió a realizar el descarrillado de manera manual separando la testa del cotiledón, se almaceno en fundas de papel.

Cuarto: en esta fase se realizó una molienda con la utilización de un molino manual tradicional, lo cual se debe buscar una reducción del grosor del cotiledón a un tamaño que facilite el refinado.

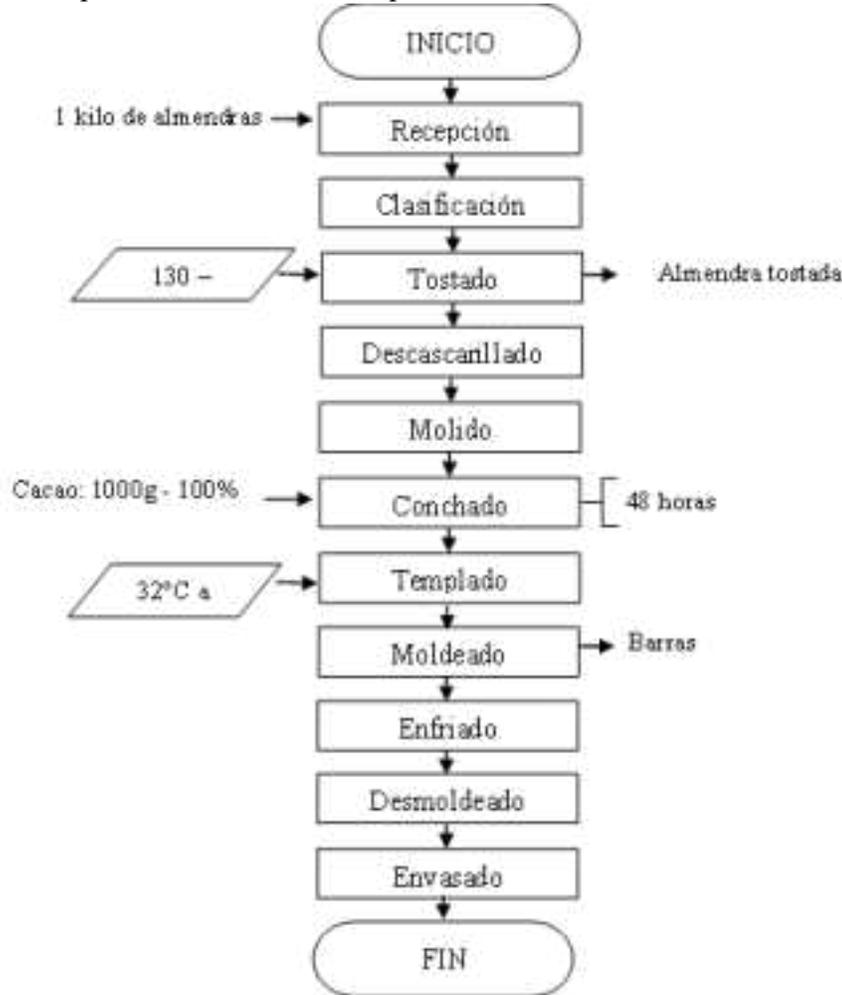
Quinto: el refinado ayuda a que se disminuya la cantidad de gránulos y este no tenga inconvenientes a la hora de consumir o no sea de gusto para las papilas gustativas, es óptimo que estas sean menores de 40 micras los gránulos.

Sexto: en este sexto paso se utilizó la conchadora de capacidad de 8 kilogramos, se aplicó las muestras de cacao de manera paulatina, con la finalidad que este equipo pueda atrapar todo el material que queda en la pared, se mantuvo durante 48 horas cada tratamiento.

Séptimo: Se procedió a esperar hasta que la pasta de cacao se atempere, se reduzca la temperatura para pasar a los moldes donde reposó la muestra hasta tener consistencia.

Octavo: En este último punto se realizó la envoltura la pasta de cacao en papel de aluminio para su almacenamiento en refrigeración a una temperatura de 4°C, clasificadas según el croquis experimental (Vásquez *et al.*, 2022).

Figura 1
Diagrama del proceso de elaboración pasta de cacao.



Análisis Sensorial

Se realizó el análisis organoléptico de la pasta de cacao donde se tomó 20 g de cada muestra, lo cual se llevó a baño maría hasta tener una pasta líquida, con ayuda de un equipo constituido por 20 jueces semientrenados previamente. Cada evaluador del panel de cata se encargó de verificar si existe un efecto concluyente en el mejoramiento de las propiedades sensoriales de los precursores de notas de sabor y aromas.

Pasos para la evaluación sensorial

Posterior a tener lista la pasta de cacao, se procedió a colocar en recipientes calentando las muestras en baño maría para derretir a una temperatura de aproximadamente 45 °C para la degustación a los panelistas.

Luego se colocó las pastas derretidas en vasos de muestra de material de plásticos de una forma uniforme para la respectiva catación. Debe colocarse para la degustación lo que cabe en la paleta,

la muestra en las papilas gustativas alrededor de 15 a 20 segundos para la aparición de los sabores y aromas; se le debe indicar que se debe anotar lo percibido en la hoja de atributos.

Aquel proceso se debe continuar por cada muestra de manera individual; es recomendable repetir la gustación de 2 a 3 veces por muestra o, dependiendo en este caso del panelista, es aconsejable para la siguiente enjuagarse la boca con agua.

Es aconsejable que el tiempo de descanso por panelista sea entre de 1 a 2 entre muestra. Estas muestras que haya sobrado deben ser desechadas lo cual no debe ser almacenada nuevamente.

Atributos

Principales sabores: acidez, amargor, astringencia, cacao

Generalidades: Aroma, sabor, intensidad

Defecto: quemado, mohosos, sustancias químicas

Específicos: floral, frutal, dulzor, nuez

RESULTADOS

Variables físicas (prueba de corte)

La Tabla N°1 revela diferencias estadísticamente significativas en el Índice de Mazorca (IM) y el Índice de Semilla (IS) de la variedad Trinitario, según el análisis de la prueba de rangos múltiples de Tukey ($P \leq 0.05$). Asimismo, la variedad Trinitario se destacó en la variable correspondiente al porcentaje de granos fermentados, evidenciando su superioridad frente a la variedad Forastero en términos de calidad fermentativa.

La aplicación del extracto de Jackfruit al 4.0% demostró un impacto positivo significativo en varias variables relacionadas con la calidad de las almendras de cacao. Este tratamiento incrementó el porcentaje de testa y cotiledón, optimizando las características físicas de los granos. Además, contribuyó a un aumento en el porcentaje de granos fermentados y a una reducción en el porcentaje de granos violetas. Cabe destacar que el uso del extracto al 4.0% también evitó la presencia de defectos comunes, como granos pizarrosos y mohosos, destacando su eficacia como una herramienta innovadora para mejorar el proceso de fermentación y la calidad poscosecha.

Estos resultados resaltan el potencial del extracto de Jackfruit como coadyuvante en la mejora de la calidad del cacao, especialmente en la variedad Trinitario, optimizando los parámetros físicos, químicos y sensoriales necesarios para satisfacer los estándares de la industria chocolatera.

Tabla 1

Efecto de la interacción del extracto de Jackfruit en los aspectos sobre las variables de sobre las variables físicas (prueba de corte).

Factor		Variable							
Variedad	Extracto de Jackfruit	IM	Peso Seco	IS	%Testa	%Cotiledón	Fermentados	Violetas	Humedad
Trinitario	0	21,00	988,66	1,62	12,69	87,30	66,00	34,00	7,33
Trinitario	2	21,00	979,66	1,48	12,69	86,40	84,66	16,66	7,03
Trinitario	4	21,66	981,33	1,85	10,00	90,00	88,33	11,66	7,00
Forastero	0	19,33	966,00	1,55	13,37	86,62	65,00	35,00	7,33
Forastero	2	20,33	953,33	1,51	15,03	84,97	86,66	13,33	7,13
Forastero	4	20,33	948,33	1,64	10,66	89,33	89,66	10,33	7,00
	CV	2,55	2,50	4,86	7,16	1,03	2,85	10,58	3,81
	EEM±	0,18	8,09	0,03	0,03	0,30	0,76	0,71	0,09
	Variedad	0,002 *	0,0354 *	0,0509	0,0509	0,0492	* 0,4841	0,2478	0,7992
Probabilidad	Extracto de Jackfruit	0,1328	0,6519	0,0005 *	0,0005 *	<0,0001	* <0,0001 *	<0,0001 *	0,1287
	Variedad*Extra cto de Jackfruit	2,55	0,9252	0,0611	0,0611	0,7035	0,5099	0,2521	0,9349

Álvarez *et al.* (2022), destacan que la evaluación de la calidad de las almendras de cacao y la adecuación del proceso de fermentación se logran a través de la prueba de corte, la cual permite determinar características clave de las almendras. Según la norma INEN, (2018) esta prueba es indispensable antes de la elaboración de licor de cacao, ya que la presencia de almendras violetas puede afectar negativamente la calidad del producto final, generando sabores no deseados. Además, se subraya que una humedad adecuada, entre el 6% y el 8%, es fundamental para prevenir la formación de mohos y garantizar la calidad poscosecha.

Alvarado *et al.* (2022), señalan que el uso de cajas microfermentadoras fabricadas con madera blanca tipo Rohan facilita el desarrollo de precursores de aroma durante la fermentación, minimizando el riesgo de contaminación de los granos de cacao. Por su parte, Erazo *et al.* (2021), encontraron que al realizar la fermentación en cajas de madera blanca, los licores de cacao elaborados artesanalmente presentaron propiedades sensoriales similares a las obtenidas en el presente estudio, con notas sensoriales bien definidas y adecuadas. Además, el color marrón característico del licor de cacao se atribuyó al proceso oxidativo que ocurre durante la fermentación y el secado.

Estos hallazgos refuerzan la importancia de implementar prácticas estandarizadas y materiales adecuados en las etapas de fermentación y poscosecha para garantizar la calidad y características sensoriales óptimas de las almendras de cacao.

Análisis Sensorial

La Tabla 2 evidencia diferencias estadísticamente significativas en las variables sensoriales evaluadas mediante la prueba de cata, destacando el impacto del extracto de *Jackfruit* y su

interacción con las variedades de cacao. El tratamiento con extracto de *Jackfruit* incrementó notablemente la intensidad del aroma en ambas variedades, siendo más pronunciado en el cacao Trinitario al 4.0%.

La acidez y el amargor también presentaron diferencias significativas, con valores destacados en la variedad Trinitario, lo que sugiere una respuesta diferencial de esta variedad al tratamiento, optimizando características organolépticas esenciales.

Asimismo, notas sensoriales como *nuez, fruto seco, floral, intensidad y color* mostraron interacciones significativas entre la variedad de cacao y las concentraciones del extracto de *Jackfruit*, siendo estas mejoras particularmente evidentes en el cacao Trinitario. Estas variables reflejan el desarrollo de perfiles sensoriales complejos, especialmente con la adición del extracto al 4.0%.

En conclusión, la aplicación del extracto de *Jackfruit* demostró ser una herramienta eficaz para mejorar atributos sensoriales clave, con una interacción más pronunciada en la variedad Trinitario, consolidándola como una opción preferente para optimizar la calidad sensorial en procesos poscosecha.

Tabla 2

Efecto de la interacción del extracto de Jackfruit en los aspectos sobre las variables sensoriales.

Factor		Variable								
Variedad	Extracto de Jackfruit	Aroma	Acidez	Amargor	Cacao	Nuez	Fruto seco	Floral	Intensidad	Color
Trinitario	0	2,96	2,00	4,56	2,88	2,00	1,00	3,00	3,00	3,64
Trinitario	2	4,28	1,00	5,00	2,96	3,08	4,00	4,56	5,00	4,28
Trinitario	4	4,92	1,00	5,00	5,00	4,48	4,40	5,00	5,00	4,80
Forastero	0	3,00	2,48	5,00	2,36	2,00	2,00	2,88	2,72	3,44
Forastero	2	4,20	1,00	5,00	3,44	3,28	3,40	4,16	4,12	4,48
Forastero	4	5,00	1,00	5,00	4,92	5,00	4,00	4,88	4,52	4,76
	CV	8,67	14,73	4,50	10,72	9,77	14,58	8,37	7,66	11,09
	EEM ±	0,04	0,02	0,02	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,05
	Variedad	0,8169	<0,0001 *	<0,0001 *	0,5258	<0,0001 *	>0,9999	0,0002 *	<0,0001 *	0,8622
Probabilidad	Extracto de Jackfruit	<0,0001 *	<0,0001 *	<0,0001 *	<0,0001 *	<0,0001 *	<0,0001 *	<0,0001 *	<0,0001 *	<0,0001 *
	Variedad*Extracto de Jackfruit	0,4985	<0,0001 *	<0,0001 *	<0,0001 *	0,0008 *	<0,0001 *	0,0641	<0,0001 *	0,1042

Según Intriago *et al.* (2024), el tipo de fermentación aplicado durante la etapa de poscosecha de las almendras de cacao es un factor determinante en la calidad sensorial del producto final, influyendo directamente en el desarrollo del aroma, sabor y color característicos del licor de cacao. Este proceso comienza con una fermentación microbiológica, en la cual microorganismos específicos, como levaduras, bacterias lácticas y acéticas, desempeñan un papel crucial en la transformación de los compuestos químicos presentes en las almendras. Durante esta fase, se llevan a cabo reacciones bioquímicas clave que generan precursores de aroma y sabor, esenciales para obtener un licor de cacao de alta calidad. La correcta gestión de este proceso es fundamental

para garantizar que las almendras adquieran las características sensoriales deseadas, las cuales serán apreciadas en productos derivados como el chocolate.

Con respecto a lo encontrado por Bravo y Tuárez, (2023), los estudios realizados sugieren que los valores sensoriales y de calidad de las almendras de cacao pueden variar significativamente debido a las condiciones ambientales y a las prácticas de secado empleadas. Estas condiciones pueden influir en el nivel de acidez del cacao, ya que, durante el secado, especialmente en climas húmedos o con técnicas inadecuadas, es posible que una mayor cantidad de ácidos volátiles, como el ácido acético, quede atrapada en las almendras.

Esto puede impactar negativamente el perfil sensorial del licor de cacao, afectando características clave como el aroma y el sabor. Por ello, el control preciso de las condiciones de secado, como la temperatura, la humedad y la remoción constante, es esencial para garantizar una evaporación adecuada de los ácidos volátiles y preservar la calidad final del cacao.

En el mismo contexto Vásquez *et al.* (2024) en un estudio previo, se evaluaron el uso de extractos de banano y manzana como coadyuvantes para mejorar la calidad fermentativa de las almendras de cacao. Los resultados obtenidos fueron altamente significativos, mostrando mejoras en los parámetros clave durante el proceso de fermentación. Entre los hallazgos destacados, se observó un aumento en la cantidad de almendras bien fermentadas y una reducción notable en la presencia de almendras violetas, lo que refleja una fermentación más homogénea y eficiente.

Estos resultados coinciden con los hallazgos de la presente investigación, en la que el uso del extracto de Jackfruit también mejoró la calidad fermentativa y redujo defectos en las almendras de cacao. Lo anterior refuerza la hipótesis de que la utilización de extractos de frutas como coadyuvantes en la etapa de fermentación es una estrategia efectiva para optimizar la calidad del grano, contribuyendo al desarrollo de las características sensoriales deseadas en el cacao. El autor del estudio sugiere que esta práctica puede ser ampliamente implementada para mejorar los procesos poscosecha en la producción de cacao.

Análisis químico de extracto de Jackfruit

En la Tabla 3, los análisis químicos realizados sobre la pulpa de *Jackfruit* (*A. heterophyllus*) revelan una composición detallada que respalda su potencial como coadyuvante en aplicaciones agroindustriales y alimentarias. La pulpa presentó un contenido de humedad del 79.61%, lo que refleja su naturaleza mayormente acuosa, un factor clave a considerar en su manejo y conservación. Asimismo, se registró un porcentaje de cenizas del 4.27%, representando el contenido mineral total, lo cual aporta información valiosa sobre su valor nutricional.

El análisis determinó un bajo contenido de extracto etéreo (0.71%), lo que indica una proporción reducida de lípidos, mientras que el contenido de proteína alcanzó un 6.50%, posicionándola como una fuente moderada de este macronutriente. Por otro lado, la pulpa contiene un 3,78 % de fibra, un parámetro relevante para aplicaciones en alimentos funcionales debido a sus beneficios en la salud gastrointestinal.

En cuanto a los elementos libres de nitrógeno (ELN), el valor fue de 84.74%, lo que refleja una alta proporción de carbohidratos disponibles y compuestos nitrogenados no proteicos, contribuyendo al aporte energético del fruto. Además, se identificó un contenido de polifenoles de 1.71 mg de ácido gálico/g, lo que resalta su capacidad antioxidante, un atributo de creciente interés para la industria alimentaria y de salud.

Según en la Tabla 4 indica el contenido de carbohidratos fue calculado en un 13.65%, reforzando el potencial de la pulpa como una fuente energética con aplicaciones en productos nutritivos. Los métodos de análisis empleados, basados en estándares reconocidos como los de la Universidad de Florida (1970) y el método de Cros y Marigo G. (1982/1973), garantizan la fiabilidad y precisión de los resultados obtenidos.

En conclusión, la caracterización química de la pulpa de *Jackfruit* demuestra su versatilidad como ingrediente funcional en diversas aplicaciones agroalimentarias. Su perfil nutricional equilibrado, combinado con compuestos bioactivos como los polifenoles, la posiciona como un recurso innovador y sostenible, especialmente en procesos como la fermentación de cacao, donde puede contribuir a la mejora de la calidad sensorial y funcional del producto final.

Tabla 3*Análisis de pulpa de Jackfruit.*

Análisis	Tipo de muestra	Código de la muestra	Método interno	Método de referencia	Resultado	Unidad
Humedad	Pulpa de fruta Jackfruit	24-0137	MO-LSAIA-01.01	U. FLORIDA 1970	79.61	%
Cenizas Ω	Pulpa de fruta Jackfruit	24-0137	MO-LSAIA-01.02	U. FLORIDA 1970	4.27	%
Extracto etéreo (EE) Ω	Pulpa de fruta Jackfruit	24-0137	MO-LSAIA-01.03	U. FLORIDA 1970	6.71	%
Proteína Ω	Pulpa de fruta Jackfruit	24-0137	MO-LSAIA-01.04	U. FLORIDA 1970	6.5	%
Fibra Ω	Pulpa de fruta Jackfruit	24-0137	MO-LSAIA-01.05	U. FLORIDA 1970	3.78	%
Elementos libres de nitrógeno E.L.N.	Pulpa de fruta Jackfruit	24-0137	MO-LSAIA-01.06	U. FLORIDA 1970	84.74	%
Polifenoles Ω	Pulpa de fruta Jackfruit	24-0137	MO-LSAIA-15	CROS Y E. MARIGO G. (1982/1973)	1.71	mg Ác. Gálico/g

Tabla 4*Contenido de Carbohidratos Estimado*

Ensayo	Lote	Unidades	Resultados	Incertidumbre U (k=2)	Norma Mínimo	Norma Máximo	Método de análisis
Carbohidratos	N/A	%	13.65				Cálculo

CONCLUSIONES

Al evaluar la calidad fermentativa de las almendras de cacao conforme a la Normativa INEN 176:2018, se observó una mejora significativa en los granos tratados con extracto de Jackfruit durante la fermentación, como se evidencia en la prueba de corte. Además, se destacaron notas sensoriales preferidas por los panelistas en las barras de chocolate con mayores concentraciones de extracto de Jackfruit. Estos hallazgos ofrecen nuevas oportunidades de investigación en la industria agroalimentaria, mitigando pérdidas derivadas de una fermentación inadecuada de las almendras de cacao.

REFERENCIAS

- Alvarado, K., Jaime, V., Diego, T., y Intriago, F. (2022). Fermentación de Cacao (*Theobroma cacao* L.) Con Adición de Levadura (*Saccharomyces Cerevisiae*) y Enzima (PPO's) En La Disminución de Metales Pesados. *Centrosur*, 2014, 1-24.
- Álvarez, C., Liconte, N., Pérez, E., Lares, M., y Perozo, J. (2022). Revisión Sobre Los Atributos Físicos, Químicos y Sensoriales Como Indicadores de La Calidad Comercial Del Cacao. *Petroglifos*, 5(1), 1-19. doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6548316>.
- Bravo, K., y Tuárez, D. (2023). *Micro Fermentación de Cacao (Theobroma Cacao L.) En Cajas de Madera No Convencionales: Impacto En La Calidad Del Licor*. Vol. 1. 1st ed. edited by C. Zambrano. Quevedo-Ecuador: Universidad Técnica de Manabí.
- Erazo, C., Bravo, K., Tuárez, D., Fernández, A., Torres, Y., y Vera, J. (2021). Efecto de La Fermentación de Cacao (*Theobroma cacao* L.), Variedad Nacional y Trinitario, En Cajas de Maderas No Convencionales Sobre La Calidad Física y Sensorial Del Licor de Cacao. *Revista de Investigación Talentos*, 8(2), 42-55. doi: 10.33789/talentos.8.2.153.
- Erazo, C., Vera, J., Tuarez, D., Vásquez, L., Alvarado, K., Zambrano, C., Mindiola, V., Mora, R., y Revilla, K. (2023). Caracterización Fenotípica En Flores de Cacao (*Theobroma cacao* L.) En 40 Híbridos Experimentales En La Finca Experimental La Represa. *Revista Bionatura*, 8(3), 1-9. doi: <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2023.08.03.11>.
- Fouet, O., Loor, R., Rhoné, B., Subia, C., Calderón, D., Fernández, F., Sotomayor, I..... Lanaud, C. (2022). Collection of Native *Theobroma cacao* L. Accessions from the Ecuadorian Amazon Highlights a Hotspot of Cocoa Diversity. *Plants People Planer*, 19, 23-35. doi: <https://doi.org/10.1002/ppp3.10282>.
- Gutiérrez, H., Suárez, M., Hernández, Z., Castellanos, O., Alonso, R., Rayas, P., Cano, C., Figueroa, C., y González, O. (2022). Yeasts as Producers of Flavor Precursors During Cocoa Bean Fermentation and Their Relevance as Starter Cultures: A Review. *Fermentation*, 8(331), 1-18. doi: <https://doi.org/10.3390/fermentation8070331>.

- INEN. (1986). Cacao En Gramo, Ensayos de Corte NTE INEN 175. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 1-3.
- INEN. (2018). Granos de Cacao. Requisitos NTE INEN 176-5. *Norma Técnica Ecuatoriana*, 5:8.
- Intriago, F., Cedeño, J., Carlos Parraga, C., Alvarado, K., Vásquez, L., Revilla, K., y Aldas, J. (2024). Induction of Effective Microorganisms (EM) in the Fermenting Mass of Cacao (*Theobroma cacao* L.) and Their Impact on Physicochemical and Antioxidant Characteristics. *Biocencia*, 26(2422), 1-8. doi: <https://doi.org/10.18633/biocencia.v26.2422>.
- Intriago, F., Chávez, G., Vásquez, L., Alvarado, K., Revilla, K., Vera, J., Radice, M., y Raju, M. (2023). Evaluación Del Contenido de Cadmio y Caracterización Fisicoquímica de Almendras y Pasta de Cacao (*Theobroma cacao*). *Innovaciencia*, 11(1), 1-11. doi: <https://doi.org/10.15649/2346075X.3411>.
- Intriago, F., Talledo, M., Cuenca, G., Macías, J., Álvarez, J., y Menjívar, J. (2019). Evaluación Del Contenido de Metales Pesados En Almendras de Cacao (*Theobroma cacao* L.) Durante El Proceso de Beneficiado. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 3(26), 17-23. doi: 10.29018/issn.2588-1000vol3iss26.2019pp17-23.
- Llerena, W., Samaniego, I., Vallejo, C., Arreaga, A., Zhunio, B., Coronel, Z., Quiroz, J., Angós, I., y Carrillo, W. (2023). Profile of Bioactive Components of Cocoa (*Theobroma cacao* L.) By-Products from Ecuador and Evaluation of Their Antioxidant Activity. *Foods*, 12(13), 1-18. doi: <https://doi.org/10.3390/foods12132583>.
- Lloor, R., Fouet, O., Lemainque, A., Pavék, S., Boccara, M., Argout, X., Amores, F., Courtois, B., Risterucci, A., y Lanaud, C. (2013). Insight into the Wild Origin , Migration and Domestication History of the Fine Flavour Nacional *Theobroma cacao* L. Variety from Ecuador. *Plos One*, 8(2), 1-11. doi: <https://doi.org/10.1371/annotation/2357f0f1-7dc3-4781-afb0-29a8ce56b3f0>.
- Sanchez, M., Viteri, S., Burbano, A., Abril, M., Vargas, T., Suarez, S., y Mestanza, C. (2022). New Characteristics in the Fermentation Process of Cocoa (*Theobroma cacao* L.) ‘Super Á Rbol’ in La Joya de Los Sachas, Ecuador. *Sustainability*, 14(7564), 1-14. doi: <https://doi.org/10.3390/su14137564>.
- Santos, A., Jim, T., Romero, M., Lundy, M., Quintero, M., y Pulleman, M., (2025). The Bittersweet Economics of Different Cacao Production System in Colombia, Ecuador and Peru. *Agricultural Systems*, 224, 1-14. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.104235>.
- Torres, A., Vásquez, L., Vera, J., Alvarado, K., y Intriago, F. (2023). Extraction of Cocoa Powder for the Preparation of a Drink by Adding Mucilage and Guava. *Sarhad Journal of Agriculture*, 39(2), 1-10. doi: <https://dx.doi.org/10.17582/journal.sja/2023/39/s2.10.18>.
- Vásquez, L., Alvarado, K., Intriago, F., Raju, N., y Prasad, R. (2024). Banana and Apple Extracts with Efficient Microorganisms and Their Effect on Cadmium Reduction in Cocoa Beans

(*Theobroma cacao* L.). *Discover Food*, 4(163), 1-13. doi: <https://doi.org/10.1007/s44187-024-00205-5>.

Vásquez, L., Vera, J., Erazo, C., y Intriago, F. (2022). Induction of *Rhizobium Japonicum* in the Fermentative Mass of Two Varieties of Cacao (*Theobroma cacao* L.) as a Strategy for the Decrease of Cadmium. *International Journal of Health Sciences*, 3, 11354-71. doi: <https://doi.org/10.53730/ijhs.v6nS3.8672> Induction.

Vera, J., Benavides, J., Vásquez, L., Alvarado, K., Reyes, J., Intriago, F., Naga, M., y Castro, V. (2023). Effects of Two Fermentative Methods on Cacao (*Theobroma cacao* L.) Trinitario, Induced with *Rhizobium Japonicum* to Reduce Cadmium. *Revista Colombiana de Investigación Agroindustriales*, 10(1), 95-106. doi: <https://doi.org/10.23850/24220582.5460>.

**EFFECTO DEL TIPO DE CAMA SOBRE EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO, INCIDENCIA DE
PODODERMATITIS Y MORTALIDAD EN POLLOS DE ENGORDE**

**EFFECT OF LITTER TYPE ON PRODUCTIVE PERFORMANCE, INCIDENCE OF FOOTPAD
DERMATITIS, AND MORTALITY IN DE ENGORDE CHICKEN**

Nathaly Vergara. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Panamá.

nathalyvergara514@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0006-8115-175X>

Nohelys Ríos. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Panamá.

nohelys.rios@up.ac.pa

<https://orcid.org/0009-0005-8822-2904>

Carlos Solís. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Panamá

carlos.solis@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0003-2472-556X>

Reynaldo Vargas. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Panamá

reynaldo.vargas@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-5420-9761>

**Reggie Guerra*. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Panamá

reggie.guerra@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0001-8471-2862>

**Autor de Correspondencia*: reggie.guerra@up.ac.pa

Recibido: 27/02/2025

Aceptado: 03/04/2025

DOI <https://doi.org/10.48204/j.ia.v7n2.a7492>

RESUMEN. El objetivo del estudio fue comparar tres tipos de cama en la crianza de pollos de engorde y evaluar su efecto en el bienestar animal y productividad. Se utilizaron 240 pollos tipo de engorde, distribuidos aleatoriamente en tres tratamientos según el tipo de cama: cascarilla de arroz (T1), viruta de madera (T2) y arena (T3). Cada tratamiento contó con dos repeticiones de 20 aves. Hubo evaluaciones en tres etapas (inicio, crecimiento y engorde) y dos épocas del año (seca y lluviosa). Se midieron los parámetros productivos de consumo de alimento, ganancia de peso, conversión alimenticia y rendimiento de canal. Las lesiones podales se evaluaron en tres niveles (ausencia, leves y severas). Finalmente se realizó un análisis económico, mediante el cálculo de presupuesto parcial. Los resultados muestran diferencias significativas ($p < 0.05$) en los parámetros productivos y en las lesiones podales para los tipos de cama y las épocas del año. La cama de cascarilla de arroz resultó ser la más efectiva en prevenir lesiones severas y en mantener un alto porcentaje de ausencia de lesiones. La época seca mostró mejores resultados en ganancia de peso en todas las etapas comparadas con la época lluviosa. Económicamente la cama de viruta de madera fue la más rentable, sobre todo en la época seca. Se concluye que para variables de productividad y bienestar animal la cascarilla de arroz y la viruta de madera dieron mejores resultados para las variables evaluadas y pueden ser consideradas al momento de establecer una parvada de pollos de engorde.

PALABRAS CLAVE: Consumo, época del año, ganancia de peso, lesiones podales, rentabilidad.

ABSTRACT. The objective of this study was to compare three types of litter in broiler chicken rearing and to evaluate their effects on animal welfare and productivity. A total of 240 broiler chickens were randomly assigned to three treatments according to litter type: rice husk (T1), wood shavings (T2), and sand (T3). Each treatment included two replicates with 20 birds each. Evaluations were conducted across three production phases (starter, grower, and finisher) and during two seasons (dry and rainy). Productive performance parameters measured included feed intake, weight gain, feed conversion ratio, and carcass yield. Footpad lesions were assessed on three levels (none, mild, and severe). An economic analysis was also conducted through partial budget analysis. The results revealed significant differences ($p < 0.05$) in productive parameters and footpad lesion scores across litter types and seasons. Rice husk litter proved most effective in preventing severe lesions and maintaining a high percentage of lesion-free birds. The dry season yielded better weight gain results across all phases when compared to the rainy season. Economically, wood shavings were the most profitable, particularly during the dry season. In conclusion, regarding productivity and animal welfare indicators, both rice husk and wood shavings outperformed sand. These materials can be recommended when planning the establishment of broiler chicken flocks.

KEYWORDS: Feed intake, season, weight gain, footpad lesions, profitability

INTRODUCCIÓN

El sector avícola mundial se espera que continúe creciendo ya que la demanda de carne y huevos es impulsada por la creciente población, los crecientes ingresos y la urbanización (Mottet y Tempio, 2017). Siguiendo esta tendencia, Mulder (2020), proyectó que para el año 2025 la producción mundial de carne de pollo aumentaría, en promedio, dos por ciento anualmente.

La estimación de la población de pollos de engorde en Panamá para el año 2023 fue de 30,102,539 aves (INEC, 2024), siendo la provincia de Veraguas la cuarta en producción con un total de 3,241,967 pollos. A pesar del desarrollo progresivo que ha experimentado la avicultura panameña, la demanda de carne de pollo aumenta a un ritmo acelerado por lo que debemos tener presente que este escenario exige la implementación de prácticas de manejo eficientes para poder ejercer una exitosa producción.

En este sentido uno de los factores que puede influir es el correcto uso de materiales para camas. Al respecto, Gernat (2009), en evaluaciones de peso, rendimiento de canal caliente y el rendimiento de molleja encontró diferencias, con los mejores pesos en canal y rendimiento de molleja para pollos criados sobre arena o arena con una mínima capa de viruta que aquellos que utilizaron viruta y cascarilla de arroz como material de cama.

El contar con un material de cama adecuado reviste mayor importancia debido a que uno de los problemas que más afecta a los pollos de engorde es la pododermatitis por contacto, que es una inflamación de la piel, y afecta principalmente la superficie de los metatarsos, la articulación del tarso, el cojinete plantar y con menor frecuencia el área pectoral. Esta patología se presenta en las aves de producción alojadas en el interior de galpones, con una mayor o menor incidencia en dependencia de los diferentes tipos de sustrato para cama (Villamañe *et al.*, 2020).

La prevalencia de las dermatitis plantares en pollos de engorde está fuertemente relacionada con la calidad de la cama, aumentando cuando está húmeda, pegajosa y endurecida. La mejor manera de prevenir la pododermatitis en pollos de engorde es manteniendo la cama seca y friable, especialmente durante el período inicial, cuando los pollos parecen ser más susceptibles al desarrollo de lesiones (Jong y Harn, 2012).

Por tanto, el objetivo del estudio fue comparar tres tipos de materiales de cama utilizados en la crianza de pollos de engorde y evaluar sus efectos en parámetros productivos, la incidencia de pododermatitis y mortalidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

a. Manejo general de los pollos

El ensayo se realizó en el corregimiento de San Antonio, Distrito de Atalaya, provincia Veraguas, ubicado en las coordenadas geográficas: 8°04'09" N, 80°55'11" W.

Como sujetos experimentales se utilizaron 240 pollos de engorde comerciales. Para la crianza de estos, se utilizó un área total de 15 m² dividido en seis corrales de 2.5 m² cada uno. Cada corral contaba con 20 pollos. El área fue desinfectada previa la colocación de la cama mediante el uso de cal y agua con yodo al 5%. En cada corral se contaba con camas de tres materiales a saber, cascarilla de arroz, viruta de madera y arena las cuales debían tener un espesor de 2 pulgadas, en caso de que hubiese un exceso de humedad o de material orgánico se procedió a retirar esa porción de la cama y volver a rellenar con material nuevo respetando el espesor antes mencionado.

Al recibir los pollitos se colocaron seis focos amarillos, uno en cada corral, para conservar la temperatura adecuada para ellos que, según Tolentino *et al.* (2008), debe mantenerse alrededor de 35 °C.

Se utilizaron bebederos tipo campana con distribución automática de agua y se colocó un bebedero por cada división. El bebedero de acuerdo con la etapa del pollo se fue ajustando gradualmente para que quede a nivel del dorso de los pollos.

La alimentación se basó en alimento concentrado comercial con el perfil nutricional de acuerdo con las etapas de crecimiento como se observa en la tabla 1. El alimento se suministró en comederos cilíndricos de los cuales se contaba uno por división.

Tabla 1.

Perfil nutricional del alimento suministrado durante el ensayo.

Nutrientes	Etapa		
	Inicio	Crecimiento	Engorde
Proteína cruda (%)	22.50	21.50	17.50
Calcio (%)	1.00	0.85	0.75
Fosforo (%)	0.75	0.75	0.65
Metionina + cistina (%)	0.71	0.65	0.60
Fibra cruda (%)	3.20	2.92	3.13
Energía Metabolizable (Mcal/ kg)	3.10	3.14	2.99

La etapa de inicio comprendió desde la llegada de los pollos al día 15, la etapa de crecimiento del día 15 hasta el día 30 y la de engorde desde el día 30 hasta el sacrificio a los 50 días.

Previo al sacrificio de los pollos se les dio 8 a 12 horas de ayuno para que el buche estuviese vacío y la matanza se realizó a horas tempranas de la mañana para disminuir el estrés.

b. Diseño experimental y análisis de datos.

Los tratamientos evaluados consistieron en la utilización de tres materiales para la cama de los pollos, siendo ellos: T1=viruta de madera, T2= cascarilla de arroz y T3= arena. Para esto los 240 pollos fueron distribuidos de forma aleatoria en cada uno de los tratamientos antes descritos. También se evaluó el comportamiento dentro de cada etapa de desarrollo de los animales (inicio,

crecimiento y engorde) y en cada época de evaluación (seca y lluviosa). Las variables productivas que se midieron fueron el consumo de alimento, ganancia de peso, conversión alimenticia, rendimiento en canal. En el caso de las variables de bienestar animal se evaluó la presencia de lesiones podales de acuerdo con el sistema de puntuación sueco (Jong y Harn, 2012), el cual considera las lesiones en una escala que va de cero a dos, donde cero corresponde a ausencia de lesiones, uno a lesiones leves y dos a lesiones severas. Finalmente se evaluó la mortalidad como indicativo de bienestar igualmente.

Los datos obtenidos se tabularon en una hoja de cálculo de Microsoft Excel®. Se verificó la normalidad y los valores atípicos de todos los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk, y posteriormente, la prueba de Levene para verificar la homocedasticidad de varianzas, antes de realizar cualquier análisis estadístico.

Las variables productivas fueron analizadas mediante modelos lineales generales mediante el PROC GLM del programa SAS. Para las lesiones podales se utilizó el PROC GENMOD. En ambos casos la prueba post hoc aplicada fue la prueba de Tukey los resultados se expresaron como media \pm EE (Error Estándar). Se utilizó un nivel de significancia de $P < 0.05$.

A partir de los datos ajustados mediante el PROC GENMOD, se estimó la probabilidad ajustada de aparición de lesiones en dependencia de los factores evaluados mediante el PROC SGPLOT del SAS.

Finalmente se realizó un análisis para la evaluación económica, de las parvadas según el tipo de cama utilizada, mediante el cálculo de presupuesto parcial. El análisis del presupuesto parcial se determinó con base en el cálculo de beneficios netos y costos que varían; en tanto, el beneficio bruto de campo por cada tratamiento se calculó multiplicando el precio en campo por el índice de mortalidad y por el rendimiento ajustado (CIMMYT, 1988).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al evaluar las variables productivas en los diferentes tipos de cama, no se observaron diferencias significativas (Tabla 2).

Tabla 2

Medias \pm error estándar para el peso final, consumo de alimento, ganancia de peso y conversión alimenticia acumulados en pollos alojados sobre distintos materiales de cama.

Tipo de cama	Peso (g)	Consumo (g)	Ganancia (g/día)	Conversión
Cascarilla de arroz	2177.00 \pm 55.22	4803.95 \pm 334.66	2136.85 \pm 51.90	2.24 \pm 0.11
Viruta de madera	2323.31 \pm 186.91	4604.15 \pm 208.74	2282.31 \pm 186.79	2.03 \pm 0.07
Arena	2329.47 \pm 178.62	4716.78 \pm 381.99	2288.95 \pm 178.55	2.06 \pm 0.06

En cuanto a la época del año hubo diferencias significativas en todas las variables con excepción de la conversión (Tabla 3).

Tabla 3

Medias \pm error estándar para el peso final, consumo de alimento, ganancia de peso y conversión alimenticia en pollos de acuerdo con la época del año.

Época	Peso (gr)	Consumo (gr)	Ganancia (gr)	Conversión
Lluviosa	2053.48 \pm 34.13 ^a	4201.46 \pm 74.37 ^a	2013.46 \pm 34.48 ^a	2.09 \pm 0.04
Seca	2499.70 \pm 93.47 ^b	5214.72 \pm 122.64 ^b	2458.62 \pm 93.55 ^b	2.13 \pm 0.10

^{a, b}: letras diferentes denotan diferencias entre épocas ($P < 0.05$).

Los resultados de los tratamientos en las variables productivas presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) para el peso final y rendimiento en canal (Tabla 4), sin embargo, el peso en canal no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$). La cama de arena resultó en el mayor peso final, mientras que la cama de cascarilla de arroz proporcionó el mejor rendimiento en canal.

Tabla 4

Medias \pm error estándar para el peso final, peso en canal y rendimiento en canal de pollos alojados sobre distintos materiales de cama.

Tipo de cama	Peso final (g)	Peso canal (g)	Rendimiento canal (%)
Cascarilla de arroz	2175.79 \pm 31.29 ^a	1662.82 \pm 36.68	75.19 \pm 1.14 ^a
Viruta de madera	2314.79 \pm 50.86 ^b	1666.92 \pm 43.04	71.76 \pm 0.74 ^b
Arena	2329.45 \pm 55.96 ^b	1670.36 \pm 50.58	71.05 \pm 0.73 ^b

^{a, b}: letras diferentes denotan diferencias entre tipos de cama. ($P < 0.05$).

En cuanto a los resultados en las épocas (Tabla 5), hubo diferencias significativas ($p < 0.05$), en todas las variables productivas, los mejores resultados se encontraron en la época seca, en todas las variables.

Tabla 5

Medias \pm error estándar para el peso final, peso en canal y rendimiento en canal de pollos de acuerdo con la época del año.

Época	Peso final (g)	Peso canal (g)	Rendimiento canal (%)
Lluviosa	2051.99 \pm 26.73 ^a	1400.47 \pm 22.23 ^a	68.15 \pm 0.51 ^a
Seca	2494.69 \pm 38.12 ^b	1926.28 \pm 28.33 ^b	77.56 \pm 0.66 ^b

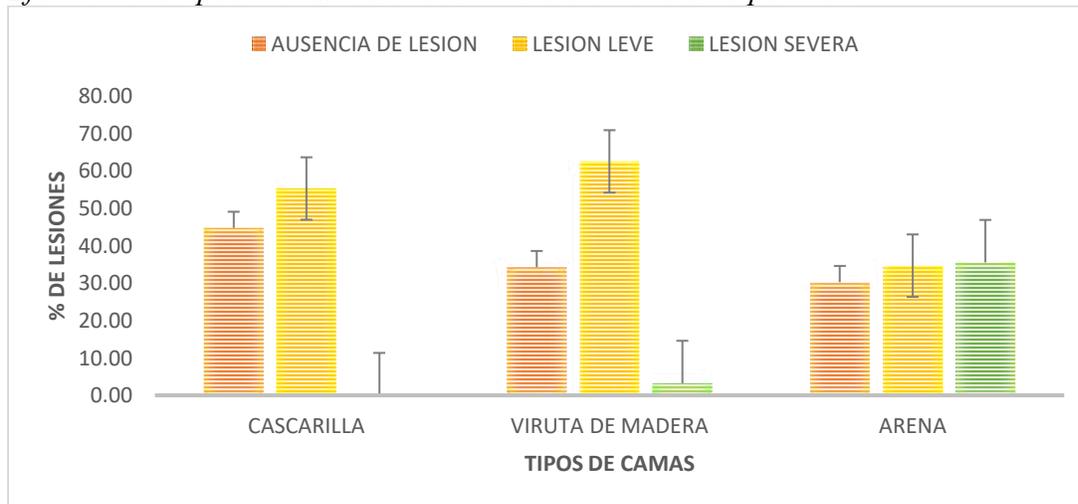
^{a, b}: letras diferentes entre columnas denotan diferencias entre épocas ($P < 0.05$).

Al evaluar las variables de bienestar animal, la cama de cascarilla de arroz fue más efectiva en cuanto a salud podal, observándose 45% de los animales evaluados con ausencia de lesiones (Figura 1). La cama de viruta de madera tuvo el mayor porcentaje (63%) de lesiones leves, lo que sugiere que, aunque las lesiones son menos severas, no es tan efectiva para prevenir las mismas. En tanto, la cama de arena fue la menos efectiva en términos de salud podal, con el mayor porcentaje (36%) de lesiones severas.



Figura 1

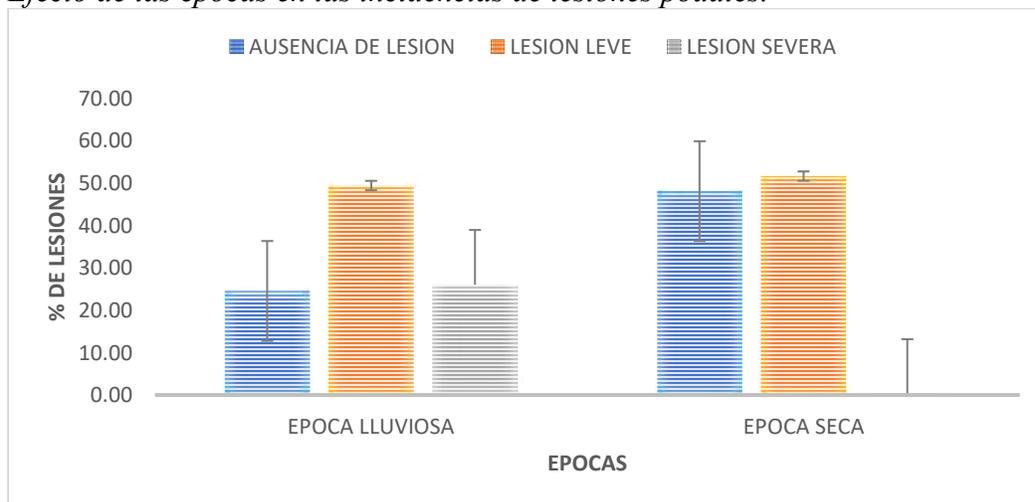
Efecto de los tipos de cama en las incidencias de lesiones podales.



En cuanto a la salud podal de los pollos de engorde, se observa que la época seca fue mejor, ya que fue donde se mostró el mayor porcentaje (48%) de ausencias de lesiones (Figura 2). Por el contrario, observamos un aumento de lesiones severas (26%) en la época lluviosa.

Figura 2

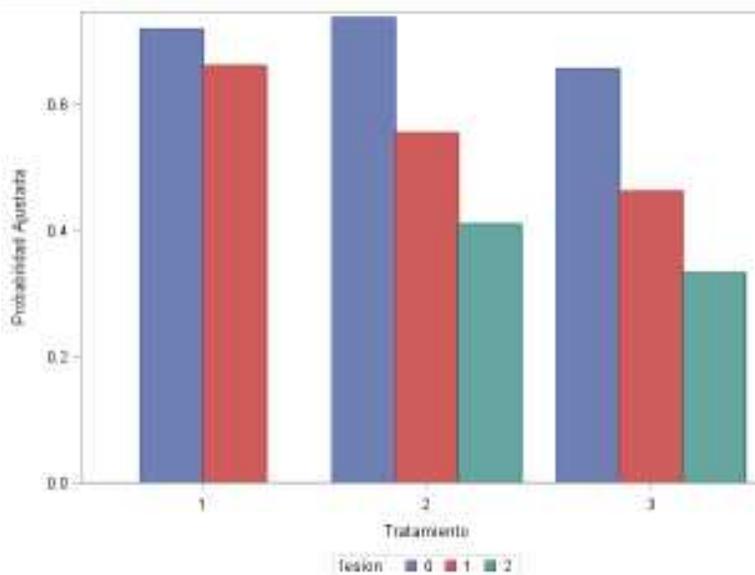
Efecto de las épocas en las incidencias de lesiones podales.



Cuando se evaluaba la probabilidad de aparición de lesiones de acuerdo con el tipo de cama (Figura 3), se evidenció que la menor probabilidad de lesiones la presentaba la cama de cascarilla de arroz y la de mayor, la cama de arena.

Figura 3

Probabilidad ajustada de aparición de lesiones podales según el tipo de cama cascarilla de arroz (1), viruta de madera (2) o arena (3).



Al evaluar la mortalidad, se observa un aumento significativo de un 7.5% en la época lluviosa hasta llegar al 12.5% en la época seca (Figura 4).

Figura 4

Porcentaje de mortalidad de pollos de engorde en dependencia de la época del año.



Al evaluar la rentabilidad del estudio se observó que la cama de arena fue la de mayor costo de producción en ambas épocas, esto más que todo por el costo de la arena en el mercado (Tabla 6).

Tabla 6

Costos totales (Dólares americanos) con relación al tipo de cama utilizado en la época seca y lluviosa.

Tratamiento	Época	
	Seca	Lluviosa
Cascarilla de arroz	140.33	120.50
Viruta de madera	140.33	120.50
Arena	151.43*	131.60*

Si analizamos la rentabilidad según el tipo de cama y época del año, el tratamiento que utilizaba la cama de viruta de madera presentó los mejores resultados, ya que el beneficio o ganancia neta fue el mejor en la época seca, en tanto en la época lluviosa su comportamiento fue muy similar a la cascarilla de arroz, con un costo promedio menor (Tabla 7).

Tabla 7

Costo promedio, beneficio bruto (BB) y beneficio neto (BN) en dólares americanos asociados al uso de distintos tipos de cama en la cría de pollos de engorde durante la época seca (ES) o lluviosa (EL).

Tratamiento	Costo promedio (EL)	Costo promedio (ES)	BB (EL)	BB (ES)	BN (EL)	BN (ES)
Cascarilla de arroz	3.26	4.39*	4.71*	6.21	1.45*	1.82
Viruta de madera	3.26	3.79	4.68	6.36	1.42	2.57*
Arena	3.56*	4.21	4.49	6.54*	0.93	2.33

*valores más altos para la variable analizada

DISCUSIÓN GENERAL

Los tratamientos que utilizaron cascarilla de arroz como cama mostraron consistentemente menores niveles de lesiones podales en los pollos. Esta tendencia sugiere que la cascarilla de arroz como material de cama puede estar asociada con condiciones más favorables para la salud podal de las aves.

Las lesiones podales pueden afectar de manera significativa el bienestar y la productividad de los pollos de engorde, por lo tanto, es crucial considerar alternativas de manejo de cama que puedan mitigar este problema. Estos resultados concuerdan con los presentados por Strašifák y Juhas, (2023), quienes afirman que los tratamientos que utilizaron cascarilla de arroz como cama no presentaron consistentemente mayores niveles de lesiones podales en los pollos.

Según los autores antes mencionados, la cascarilla de arroz como cama proporcionó una superficie más suave y cómoda para los pollos, lo que ayudó a reducir la fricción a nivel del tejido de las patas y disminuir el riesgo de lesiones, aunado a que en el estudio en cuestión se demostró que la cama de cascarilla tiene propiedades antibacterianas y absorbentes como también han indicado Pérez *et al.* (2021), lo que contribuyó a mantener un ambiente más limpio y seco, mejorando así la salud de los pollos. Por lo que estos resultados concuerdan con la afirmación inicial y sugieren que el uso de cascarilla de arroz como cama puede tener beneficios para la salud podal de los pollos.

En cuanto a la mortalidad la cascarilla de arroz no fue la más ventajosa en este estudio, por lo que en cuanto a bienestar animal no es la mejor opción, argumento mencionado por Bravo (2023), quien difiere con los resultados anteriores, ya que, hace una comparación entre las camas de viruta de madera y la cama de cascarilla de arroz, resaltando sus diferencias claves que impactan el bienestar animal.

La cascarilla, aunque es muy utilizada, en su estudio notaron que retiene más humedad, lo que puede incrementar los problemas de salud, aumentando la mortalidad. En contraste la viruta de madera ofrece un entorno más seco, reduciendo las complicaciones y mejorando el bienestar animal (Almeida *et al.*, 2010; Garcês *et al.*, 2013). Esto posiciona la viruta de madera como la mejor opción para mantener el bienestar animal, ya que ofrece un mejor balance junto a la productividad, aunque no sea la mejor opción reduciendo las lesiones podales, tiene baja incidencia en lesiones severas y su baja mortalidad, la posicionan como la opción más viable.

Con respecto a la época, en la lluviosa, se observó un incremento notable en la incidencia de lesiones podales en los pollos. Este fenómeno puede explicarse por varios factores ambientales adversos asociados con las condiciones de humedad elevada. Las camas, como la cascarilla de arroz, pueden volverse más compactas y retener más humedad durante períodos de lluvia, creando un ambiente propicio para el desarrollo de bacterias y hongos patógenos. Estas condiciones aumentan el riesgo de irritaciones y lesiones en las patas de las aves, comprometiendo su bienestar y salud. Por lo tanto, durante la época lluviosa, es crucial implementar estrategias de manejo adecuadas, como un monitoreo más frecuente de la calidad de la cama y ajustes en el manejo ambiental, para minimizar el impacto negativo en la salud podal de los pollos de engorde.

Los resultados antes mencionados concuerdan con los presentados por Fairchild (2021), quien expone que condiciones ambientales pueden tener un impacto significativo en la salud y el bienestar de las aves. A través de su estudio pudo demostrar que las condiciones húmedas pueden aumentar el riesgo de lesiones podales en aves de corral. Esto se debe a que la humedad excesiva puede contribuir a un mayor crecimiento bacteriano y a la formación de lodo en las áreas donde las aves caminan, lo que aumenta la probabilidad de lesiones. Estos resultados también coinciden con los presentados por Ramos (2021), quien reporta que, durante la época lluviosa, se observa un aumento significativo en la incidencia de lesiones podales en pollos debido a las condiciones resbaladizas y el aumento de la humedad en el entorno de cría.

Sin embargo, en la época seca se presentaron altos niveles de mortalidad para la etapa de engorde, lo cual está asociado a diversos factores relacionados a problemas metabólicos propios de los pollos de engorde como son la poca capacidad de disipación calórica y alta tasa metabólica que dificulta la termorregulación (Díaz *et al.*, 2016). En primer lugar, la baja humedad relativa y las altas temperaturas pueden aumentar el estrés térmico en las aves, lo que puede conducir a un mayor riesgo de deshidratación y problemas respiratorios. Además, la menor disponibilidad de agua durante la época seca puede resultar en una hidratación inadecuada de los pollos, lo que los hace más susceptibles a enfermedades y trastornos metabólicos. Igualmente, la menor humedad ambiental puede contribuir a un aumento en el polvo y las partículas en el aire, lo que podría desencadenar problemas respiratorios y oculares en las aves.

Por lo tanto, como sugieren Olivares *et al.* (2013) en su estudio, es crucial implementar medidas

para garantizar un adecuado manejo del estrés térmico, así como proporcionar suficiente agua y mantener una buena calidad del aire durante la época seca para reducir la mortalidad de los pollos en la etapa de engorde, además las horas de la mañana, específicamente entre las 7:00 y 10:00 am, son las horas más aprovechadas por los animales, ya que las temperaturas son más moderadas, lo que reduce el estrés térmico y mejora el bienestar de las aves. Así, la combinación de estrategias de manejo ambiental y la consideración de las horas del día puede ser eficaz para reducir la mortalidad en aves durante la época seca.

En lo referente a la rentabilidad se pudo determinar que los costos más significativos tanto en la época lluviosa como en la seca estaban directamente relacionados con el uso de cama de arena. Este tipo de cama resultó en pollos con menor peso, lo cual se tradujo en el tratamiento menos rentable económicamente. Mientras que la cama de viruta de madera emergió como la opción preferida debido a su capacidad para generar mayores ganancias y beneficios globales. Esta elección se basa en su capacidad para optimizar el rendimiento de los pollos, mantener condiciones higiénicas adecuadas y contribuir a la salud general del lote, asegurando así una mejor rentabilidad a largo plazo.

Estos resultados coinciden con los presentados por Bravo (2023), quien encontró que el uso de viruta como material de cama en la cría de pollos no solo reducía la incidencia de lesiones en las patas, sino que también estaba asociado con menores costos operativos en comparación con otros materiales.

En cuanto a la evaluación de la productividad se observó que la cama de viruta de madera favoreció un mejor rendimiento en términos de peso de los pollos. En ambas épocas del año y en diferentes condiciones de temperatura, los pollos criados sobre cama de viruta mostraron un crecimiento más uniforme y rápido en comparación con los criados sobre cama de arena. Esto sugiere que la elección del tipo de cama puede influir significativamente en la productividad de la explotación avícola. Igualmente, este tipo de cama proporciona un ambiente más seco y cómodo para los pollos, lo que favorece su crecimiento y desarrollo.

En relación con la prevalencia de lesiones podales como indicativo de bienestar animal, se encontró que los pollos criados sobre cama de viruta presentaron una menor incidencia de lesiones en las patas en comparación con los criados sobre cama de arena. Esto indica que la cama de viruta proporciona un ambiente más confortable y seguro para los pollos, lo que se traduce en un mejor bienestar animal y posiblemente en una menor incidencia de problemas de salud relacionados con las patas. Los resultados presentados por Villamañe *et al.* (2020), concuerdan con los presentados en el presente estudio, puesto que observaron una menor incidencia de lesiones en los pollos criados sobre cama de viruta en comparación con aquellos criados sobre cama de arena. Los cual confirma la importancia del tipo de material de cama en la salud y bienestar de las aves de corral.

Al evaluar la rentabilidad en dependencia del tipo de cama en pollos de engorde, se determinó que la cama de viruta de madera resultó ser la opción más rentable a largo plazo. A pesar de que inicialmente la cama de arena mostró beneficios en términos de peso de los pollos, la cama de viruta demostró ser más eficiente en términos económicos al mejorar el rendimiento general del lote, reducir la incidencia de lesiones podales y contribuir a un mejor bienestar animal. Por lo tanto, la elección del tipo de cama puede tener un impacto significativo en la rentabilidad de la

explotación avícola, destacando la importancia de considerar este factor al tomar decisiones relacionadas con la crianza de pollos de engorde. Estos resultados coinciden con los presentados por Huamán (2024), quien reporta que los pollos criados en viruta de madera generaron los mayores rendimientos y relación costo-beneficio.

CONCLUSIONES

Se observa un efecto del tipo de cama y de la época del año sobre las variables productivas y de bienestar animal evaluadas en la crianza de pollos de engorde. En general, los mejores resultados se obtuvieron durante la época seca, destacándose la cama de cascarilla de arroz como la más favorable tanto en términos productivos como de bienestar.

Desde el punto de vista del análisis costo-beneficio, la cascarilla de arroz resultó ser la opción más rentable durante la época lluviosa. Sin embargo, esta tendencia no se mantuvo en la época seca, donde la viruta de madera presentó una mayor rentabilidad, posiblemente debido a la menor mortalidad asociada al uso de este material en dichas condiciones.

REFERENCIAS

- Almeida, I., Garcia, R., Bernardi, R., Nääs, I., Caldara, F., Freitas, L., y Cavichiolo, F. (2010). Selecting appropriate bedding to reduce locomotion problems in broilers. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 12, 189-195.
- Bravo, N. (2023). *Reutilización de diferentes sustratos de cama en la producción de pollos de engorde sobre aspectos productivos y sanitarios*. [Universidad Laica Eloy Alfaro De Manabí]. <https://repositorio.ulead.edu.ec/bitstream/123456789/4617/1/ULEAM-AGRO-0137.pdf>
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) (1988). La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. Un manual metodológico de evaluación económica. Edición Completamente Revisada. México, CIMMYT.
- Díaz, E., Narváez-Solarte, W., y Giraldo, J. (2016). Alteraciones hematológicas y zootécnicas del pollo de engorde bajo estrés calórico. *Información tecnológica*, 27(3), 221-230. Fairchild, B. (2021). Que Factores Ambientales Hay Que Controlar En El Arranque De Los Pollitos. *Selecciones Avícolas*, 10–15.
- Garcês, A., Afonso, S., Chilundo, A., y Jairoce, C. (2017). Evaluation of different litter materials for broiler production in a hot and humid environment: 2. Productive performance and carcass characteristics. *Tropical Animal Health and Production*, 49(2), 369–374.

- Gernat, A. (2009). Uso de arena como cama de pollos. In I. Avícola (Ed.), *X Congreso de Avicultura Centroamericano y del Caribe* (p. 3). Conferencia presentada durante el XX Congreso de Avicultura Centroamericano y del Caribe. <https://www.industriaavicola.net/manejo-produccion-y-equipo/uso-de-arena-como-cama-de-pollos/>
- Huamán, F. (2024). Efecto del uso de viruta, cascarilla de arroz y arena como materiales de cama sobre los índices productivos y económicos de pollos parrilleros, en Cajamarca [Universidad Nacional de Cajamarca]. https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/6716/Tesis_Fraiser_Huamán%286%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC. (2024). *Cuadro 5. Existencia de gallinas, gallos, pollas, pollos, pollitas y pollitos en la república, según provincia y comarca indígena: años 2001-23* (Issue 1). https://www.inec.gob.pa/publicaciones/Default3.aspx?ID_PUBLICACION=1258&ID_CATEGORIA=4&ID_SUBCATEGORIA=13
- Jong, I., y Harn, J. (2012). Prácticas de Manejo para Reducir la Pododermatitis en el Pollo de Engorde. *Aviagen*. http://es.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/AviaTech-FoodpadDermatitis2012-ES.pdf
- Mottet, A., y Tempio, G. (2017). Producción avícola global: estado actual, perspectivas de futuro y retos. *AECA Boletines Semanales*, 73(2), 10.
- Mulder, N. (2020). *Perspectivas para la avicultura mundial en el 2020*. AviNews. Consultado El 16 de Agosto de 2021. Disponible En. <https://avicultura.info/perspectivas-para-la-avicultura-mundial-en-el-2020/>
- Olivares, B., Guevara, E., Oliveros, Y., y López, L. (2013). Aplicación del índice de confort térmico como estimador del estrés calórico en la producción pecuaria de la Mesa de Guanipa, Anzoátegui, Venezuela. *Zootecnia Tropical*, 31(3), 209–223.
- Pérez, D., Durán, C., Rosales, R., y Rico, R. (2021). Efecto del xilano y la cascarilla de arroz sobre la actividad feruloil esterasa en *Penicillium Rubens*. *Revista MVZ Córdoba*, 26(1), 8.
- Ramos, M. (2021). *Factores predisponentes de pododermatitis en pollos de engorde* [Universidad Católica De Valencia]. https://riucv.ucv.es/bitstream/handle/20.500.12466/1810/TFG_Maria_Elena_Ramos_García.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Strašiftnák, J., y Juhas, P. (2023). El efecto de los materiales de cama sobre el rendimiento, el bienestar y el comportamiento de los pollos de engorde. *Revista de Agricultura de Europa Central*, 24(2), 311–321.
- Tolentino, C., Icochea, E., Reyna, P., & Valdivia, R. (2008). Influencia de la temperatura y humedad ambiental del verano e invierno sobre parámetros productivos de pollos de carne criados en la ciudad de Lima. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 19(1), 9-14.

Villamañe, R., Rodríguez, E., Rebagliati, J., y Yuño, M. (2020). Pododermatitis por contacto en pollos de engorde bajo diferentes condiciones de cama. *Revista Veterinaria*, 31(1), 66–68. <https://doi.org/10.30972/vet.3114634>

EFFECTO DE DOS PROTOCOLOS DE CRIOPRESERVACIÓN DE SEMEN SOBRE LOS RESULTADOS DE INSEMINACIÓN ARTIFICIAL EQUINA

EFFECT OF TWO SEMEN CRYOPRESERVATION PROTOCOLS ON EQUINE ARTIFICIAL INSEMINATION OUTCOMES)

Carlos Fuentes. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Panamá.

carlosf0784@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0009-1983-501X>

Félix Contreras. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Panamá.

fcontreras199627@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0002-9866-3533>

Pacífico Bonilla. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Panamá.

pacifico.bonilla@up.ac.pa

<https://orcid.org/0009-0006-2123-9282>

*Alex Solís-Corrales. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Panamá.

alex.solis@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-1764-2654>

*Autor de Correspondencia: alex.solis@up.ac.pa

Recibido: 12/03/2025

Aceptado: 30/04/2025

DOI <https://doi.org/10.48204/j.ia.v7n2.a7493>

RESUMEN. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de dos protocolos de criopreservación de semen sobre los resultados de inseminación artificial equina. En el Tratamiento uno (T1) se realizó una centrifugación de 600 g durante 11 minutos, en cambio el Tratamiento dos (T2) se empleó una fuerza de 750 g durante ocho minutos. Se utilizaron 13 yeguas de la raza Cuarto de Milla, en edades entre cuatro a ocho años. La condición corporal de las mismas era aproximadamente entre seis y siete (en escala de uno a nueve). Se realizaron 13 inseminaciones con semen criopreservado (T1: siete inseminaciones y T2: seis inseminaciones con semen de 750 g por ocho minutos). Los datos fueron ordenados en una tabla de contingencia. Para el análisis estadístico se llevó a cabo la prueba de Chi Cuadrado, utilizando el programa IBM SPSS Statistics versión: 29.0.0.0 (241), donde se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) para las tasas de preñez cuando se empleó el semen criopreservado en el T1 sobre el T2 (T1: 71.40% y T2: 16.70%). Se concluye que el semen criopreservado en el T1 ofreció las mejores tasas de preñez utilizando una inseminación artificial a tiempo fijo.

PALABRAS CLAVE: Congelación de semen, inseminación intracornual, semen equino, sincronización del celo, tasas de preñez.

ABSTRACT. The objective of this study was to evaluate the effect of two semen cryopreservation protocols on equine artificial insemination results. Treatment one (T1) used a centrifugation of 600 g for 11 minutes, while treatment two (T2) used a force of 750 g for eight minutes. Thirteen Quarter Horse mares, aged between four and eight years, were used. The body condition of the mares was approximately six to seven (on a scale of one to nine). Thirteen inseminations were performed with cryopreserved semen (T1: seven inseminations and T2: six inseminations with 750 g semen for eight minutes). The data were arranged in a contingency table. For the statistical analysis, the ChiSquare test was performed, using the IBM SPSS Statistics version: 29.0.0.0 (241), where significant differences ($P < 0.05$) were found for pregnancy rates when cryopreserved semen was used in T1 over T2 (T1: 71.40% and T2: 16.70%). It is concluded that T1 cryopreserved semen gave the best pregnancy rates using fixed-time artificial insemination.

KEYWORDS: Equine semen, estrus synchronization, intracornual insemination, pregnancy rates, semen freezing.

INTRODUCCIÓN

La inseminación artificial (IA) con semen congelado implica la introducción oportuna de una cantidad adecuada de espermatozoides en el útero de la yegua (Samper et al., 2007). La IA es una base para otras biotecnologías que van desde la transferencia de embriones hasta la clonación. Durante décadas, la investigación sobre la IA se ha centrado en el ganado Bovino, pero durante los últimos 35 años, esta biotecnología ha ganado cada vez más popularidad en la cría de caballos.

Durante la última década, se han logrado importantes logros en el procesamiento, congelación y la inseminación con semen equino congelado. Este progreso se ha asociado con el uso de nuevas técnicas de IA, como la inseminación intracornual, nuevos diluyentes disponibles que dan como resultado una mejor criosupervivencia de los espermatozoides y técnicas de selección de espermatozoides para aumentar la calidad del semen congelado (Alvarenga et al., 2016).

Al parecer, los dos factores de mayor relevancia hacen referencia al semen empleado en el momento de la IA, así como el sitio de inseminación (Metcalf, 2007), pues a pesar de que la fertilidad de la yegua y su manejo reproductivo son factores claves en el establecimiento de gestaciones, es importante suministrar semen de buena calidad para la IA (Vidament et al., 1997; Samper, 2008).

Al igual que en la monta natural, la longevidad de los espermatozoides dentro del tracto reproductivo de la yegua y el período de viabilidad del óvulo, determinarán el momento óptimo de la inseminación (Olguín y Esquivel, 2011).

Debido a estos factores es importante tener en cuenta la influencia de un buen proceso de criopreservación, para así preservar la capacidad fecundante del semen equino (RestrepoBetancurt et al., 2012). Es por esto que se han desarrollado diferentes agentes criopreservantes que mantienen la viabilidad de las células espermáticas después del proceso de congelación y descongelación, y que han demostrado buenas tasas de preñez.

Además, el manejo reproductivo de la yegua para IA con semen congelado puede ser costoso, y predecir el momento exacto de la ovulación es un desafío (Immonen y Cuervo-Arango, 2018), por lo cual se considera conveniente inducir la ovulación cuando la yegua presenta un folículo mayor o igual a 35 mm, y realizar la IA 24 a 48 horas después (Alonso et al., 2016).

Dicha técnica es la más recomendada cuando se insemina con semen congelado, ya que la criopreservación precapacita a los espermatozoides y reduce su capacidad de fertilización a un lapso aproximado de seis horas post IA, por lo tanto, es necesario inseminar sobre la ovulación (Alonso et al., 2016).

Las tasas de preñez en yeguas inseminadas con semen congelado varían, pero en promedio se encuentran alrededor del 50 % (Sánchez et al., 2009). Sin embargo, Loomis (2001), señaló que se pueden obtener tasas de preñez con semen congelado similares a las obtenidas con semen enfriado, pues, en un estudio realizado por este autor las yeguas inseminadas con semen enfriado (74.7% de preñez) fueron similares a las de semen congelado (75.6% de preñez).

Diversos investigadores reportan que la centrifugación, genera daños mecánicos sobre los espermatozoides equinos, los cuales dependen de la duración y fuerza con que sea ejecutada (Ramires-Neto et al., 2013). En un estudio realizado por Alvarenga et al. (2017), determinaron que la menor pérdida de células espermáticas, por daños asociados a la centrifugación, se presentó a 600 g durante 10 minutos en lugar de 1000 g durante 20 minutos.

Esto fue corroborado por Love et al. (2012), donde centrifugaron semen a 1000 g durante 20 minutos, y observaron una reducción en la movilidad y en la velocidad de los espermatozoides. Al respecto Mari et al. (2015), señalaron que una alta fuerza de centrifugación, es perjudicial para la integridad de los espermatozoides.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en los distritos de David (Corregimiento de Chiriquí) y San Lorenzo, ambos ubicados en la provincia de Chiriquí. El distrito de David se encuentra en las coordenadas 8°22'00" N y 82°18'00" W, con una elevación promedio de 27 m s.n.m. y una temperatura media anual de 32 °C. San Lorenzo está localizado en las coordenadas 8°18'00" N y 82°06'00" W, con una altitud de 32 m s.n.m. y temperaturas medias anual de 33 °C.

Para este estudio se emplearon 13 yeguas de la raza Cuarto de Milla, con edades entre cuatro y ocho años. La condición corporal de estas yeguas en promedio fue de aproximadamente entre seis y siete (en escala de 1-9) (Harvey *et al.*, 2022).

Las yeguas fueron evaluadas reproductivamente mediante ultrasonografía transrectal, para lo cual se empleó un ecógrafo marca SIUI®, modelo CTS-800 de transductor lineal de 7.5 MHz, para descartar patologías del sistema reproductor y diagnosticar actividad cíclica normal se tomó como referencia la presencia de un cuerpo lúteo normal.

El tratamiento para realizar la inseminación a tiempo fijo consistió en sincronizar el celo de las yeguas y posteriormente a inducir la ovulación de las mismas. Para la sincronización de celo se utilizó un análogo de la hormona prostaglandina F₂ alfa (PGF₂α) (Ciclase DI®) y para inducir la ovulación se utilizó gonadotropina coriónica humana (hCG), (Veterin Corion®). El protocolo utilizado se describe a continuación: El día cero se aplicaron dos centímetros cúbicos de PGF₂α por vía intramuscular (IM). A partir del día tres, se inició la detección de celo exponiendo la yegua a un semental. Una vez que se manifestados los signos característicos del estro, se procedió a monitorear el tamaño del folículo preovulatorio mediante ultrasonografía. En el día cinco o seis, si el folículo presentó un tamaño igual o superior a 35 mm, se aplicaron 1500 unidades internacionales (UI) de hCG con el propósito de inducir la ovulación.

Las yeguas fueron inseminadas de 12 a 24 horas después (19.69±7.43) de la aplicación de la hCG, se utilizó semen criopreservado procedente de dos caballos Cuarto de Milla. El protocolo empleado consistió en la dilución inicialmente (1:1) con extensor. Posteriormente el semen diluido se centrifugo empleando dos fuerzas centrifugas que correspondió a dos tratamientos experimentales (T1: semen centrifugado a 600 g por 11 minutos y T2: semen centrifugado a 750 g por ocho minutos). Para su congelación, los espermatozoides se resuspendieron en diluyente

Botucurio®, a una concentración de 350×10^6 espermatozoides/ml progresivamente motiles para ambos tratamientos. Seguido se envasó en pajuelas de 0.5 ml y se enfrió a 5 °C por 30 minutos, posteriormente se realizó la congelación del semen, las pajuelas se colocaron a 2.5 cm por encima de nitrógeno líquido durante 20 min y luego se sumergieron en él. La descongelación del semen se realizó a una temperatura de 37 °C por 30 segundos. Seguidamente se vertió en un tubo cónico de 2 ml, y por último fue eyectado con una jeringuilla de 3 ml.

Para realizar la IA intracornual se empleó una pipeta de 65 centímetros de largo marca Minitube® indicada para IA, donde primeramente se insertó una mano en la vagina para localizar el cuello uterino con el dedo índice, luego se pasó la pipeta a través de la vagina hasta el cuello uterino, se retiró la mano de la vagina y se introdujo por el recto previamente evacuado para guiar la pipeta hacia el cuerno ipsilateral al folículo preovulatorio, una vez logrado esto, se procedió a adaptar la jeringuilla con el semen a emplear y depositar el mismo. El diagnóstico de gestación se realizó a los 16 días postinseminación.

En la Tabla 1 se presenta los valores de motilidad progresiva, vigor espermático y tasa de sobrevivencia del semen empleado para realizar el proceso de IA. De acuerdo con Sharafi *et al.* (2022), la motilidad progresiva corresponde a la capacidad de los espermatozoides para moverse de manera activa y rectilínea en un medio líquido. El vigor espermático se refiere a la rapidez y energía con que se mueven los espermatozoides en un medio líquido. La tasa de sobrevivencia hace referencia al porcentaje de espermatozoides que permanecen vivos luego de la descongelación del semen previamente criopreservado.

Tabla 1

Valores del semen postdescongelación para la IA.

Protocolo de centrifugación	Motilidad progresiva (%) Media y desviación estándar	Vigor espermático Escala (1-5)	Tasa de sobrevivencia (%) Media y desviación estándar
600 g por 11 minutos	70.83 ± 10.21	2.83 ± 0.4	46.67 ± 8.16
750 g por 8 minutos	71.67 ± 10.21	2.83 ± 0.4	56.67 ± 8.16

Análisis estadísticos

Para el análisis estadístico se utilizó una prueba de Chi-cuadrado (X^2), se utilizó el programa IBM SPSS Statistics Versión: 29.0.0.0 (241). Para determinar si existieron diferencias significativas entre los resultados de preñez en las yeguas al utilizar semen criopreservado mediante dos protocolos.

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_o - f_t)^2}{f_t}$$

X^2 = Chi-Cuadrado

F_o = Frecuencias observadas

F_t = frecuencias teóricas o esperadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los mayores porcentajes de preñez en este trabajo se encontraron en el T1, en el cual se utilizó un semen criopreservado con una fuerza centrífuga de 600 g por 11 minutos mientras que en el T2 que se basó en el empleo de un semen criopreservado empleando una fuerza centrífuga de 750 g por ocho minutos aportó menos porcentajes.

Figura 1

Tasas de preñez obtenidas por protocolos.

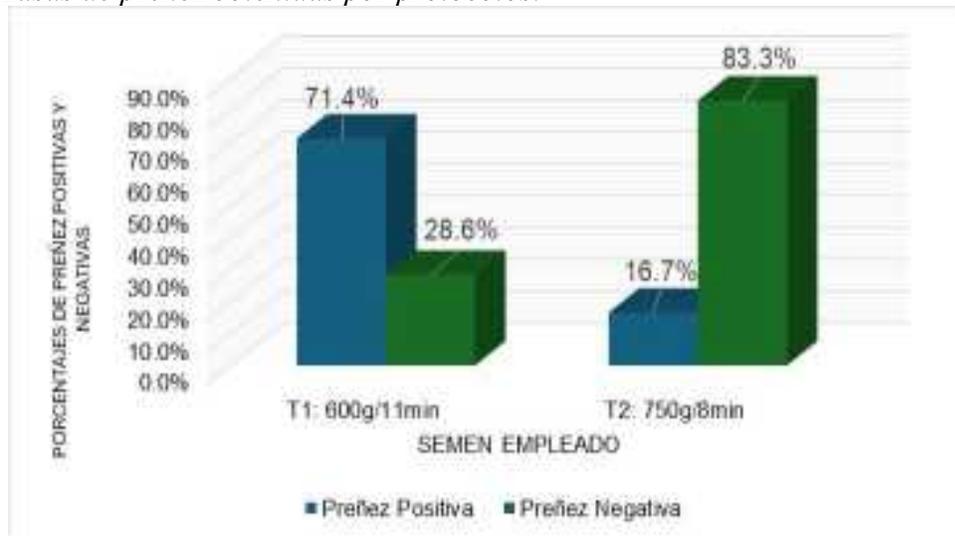


Tabla 2

Contingencia de semen empleado por porcentaje de preñez.

Semen Empleado		Porcentaje de Preñez		Total
		Preñadas	No Preñadas	
T1: 600g/11min	Recuento	5	2	7
	Recuento esperado	3.2	3.8	7.0
	% dentro de Semen Empleado	71.4%	28.6%	100.0%
	Recuento	1	5	6
	Recuento esperado	2.8	3.2	6.0
	% dentro de Semen Empleado	16.7%	83.3%	100.0%
Total	Recuento	6	7	13
	Recuento esperado	6.0	7.0	13.0
	% dentro de Semen Empleado	46.2%	53.8%	100.0%
	Empleado			

Al analizar la Tabla 1 mediante la prueba estadística de Chi-cuadrado nos indica que existe una diferencia significativa ($P < 0.05$) entre ambos tratamientos sobre los resultados de inseminación en las yeguas.

El tratamiento con semen centrifugado a 600 g por 11 minutos T1 arrojó una tasa de preñez notablemente superior (71.4%) frente al escaso 16.7% obtenido con el protocolo de 750 g por 8 minutos T2. Las tasas de preñez en yeguas con semen congelado oscilan entre el 30% a 60% según lo publicado por autores como Sánchez *et al.* (2009), del 25% al 40% Oliveira *et al.* (2013), o del 10% al 70% Alonso *et al.* (2016). A su vez los resultados se ven influidos por la calidad del semen, fertilidad de la yegua, manejo correcto del protocolo de IA que se realice, además del volumen y dosis de semen (Loomis, 2001; Sánchez *et al.*, 2009).

A pesar de su relevancia, el efecto de la centrifugación del semen sobre los resultados reproductivos en yeguas ha sido escasamente abordado en la literatura científica, la cual tiende a enfocarse principalmente en variables como el método de inseminación artificial o el momento de la inducción de la ovulación.

Con el tratamiento uno se alcanzaron resultados similares (71.4%) a los reportados por Pillet *et al.* (2008), quienes obtuvieron porcentajes de preñez de 71%, donde se utilizó una fuerza centrífuga muy parecida a la de este trabajo en el proceso de criopreservación de semen 600 g por 10 minutos. Otros autores han reportado tasas de preñez muy variables al emplear semen centrifugado a una fuerza de 600 g por 10 min, como es el caso de Cerny *et al.* (2012) donde encontraron 60% de preñez, Oliveira *et al.* (2013), y Sielhorst *et al.* (2016), con 40% de preñez.

Contreras (2022), encontró que la centrifugación del semen a 750 g durante 8 minutos permitió una mejor preservación y por ende una mayor viabilidad espermática postdescongelación, en comparación con la centrifugación a 600 g por 11 minutos.

Restrepo-Betancourt *et al.* (2016), afirman que incluso bajos niveles de fuerza de centrifugación logran alterar la movilidad espermática, la integridad del acrosoma y el potencial de la membrana interna mitocondrial de los espermatozoides equinos. Además, menciona que estos daños se acentúan al incrementar las fuerzas y tiempos de centrifugación.

Del mismo modo, se ha demostrado que utilizar altas fuerzas centrifugas al procesar un semen de baja viabilidad o de un semental considerado subfétil, puede disminuir incluso más los porcentajes de preñez, como es el caso de Sielhorst *et al.* (2016), donde reportaron tasa de preñez de solo 10% utilizando un semen centrifugado a 1500 g por 15 minutos.

Ribeiro *et al.* (2015), demostraron que utilizar semen de un semental fértil, centrifugado a 600 g por 10 minutos en una inseminación artificial a tiempo fijo, que consistía en dos inseminaciones una vez inducida la ovulación (24 horas y 40 horas después de la inducción) se pueden obtener tasa de preñez de 80%. En este estudio con una sola inseminación realizada a las 19.69 ± 7.43 horas después de la inducción de la ovulación, se logró una tasa de preñez muy similar a la encontrada por estos investigadores al emplear dos inseminaciones.

Entre los factores que influyen en la eficacia de la inseminación artificial, la dosis y el sitio de deposición del semen resultan determinantes, aunque su relación directa con los resultados reproductivos no siempre es sencilla de establecer. Según Cazales *et al.* (2020), una dosis de 250 millones de espermatozoides progresivamente móviles (PMS, siglas en inglés) es adecuada para inseminaciones en el cuerpo uterino, mientras que Fernández *et al.* (2008), emplearon dosis de hasta 1000 millones de PMS, logrando tasas de preñez cercanas al 80%.

En este estudio, se emplearon 800 millones de PMS por dosis, obteniéndose tasas de preñez comparables a las publicadas por Crowe *et al.* (2008); Avanzi *et al.* (2015), quienes utilizaron cantidades similares, entre 700 y 800 millones de PMS. Cabe destacar que dichos resultados favorables están estrechamente vinculados a un manejo riguroso de todo el proceso de IA.

CONCLUSIONES

La fuerza centrífuga empleada en los protocolos de criopreservación puede afectar la capacidad de fecundación de este.

Emplear una fuerza centrífuga de 600 g por 11 minutos en los protocolos de criopreservación de semen permite obtener un semen capaz de alcanzar resultados satisfactorios en cuanto a las tasas de preñez de las hembras inseminadas.

Una sola inseminación aplicada entre las 12 y 24 horas de la inducción de la ovulación brinda tasas de preñez satisfactorias con el protocolo descrito en este estudio.

REFERENCIAS

- Avanzi, B. R., Ramos, R. dos S., Araujo, G. H. M., Fioratti, E. G., Trinca, L. A., Dell'Aqua, J. A., Melo e Oña, C. M., Zahn, F. S., Martin, I., Alvarenga, M. A. y Papa, F. O. (2015). Fixed-time insemination with frozen semen in mares: is it suitable for poorly fertile stallions? *Theriogenology*, 83(9), 1389-1393. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2014.07.007>
- Alonso, A., Baca Castex, C., Pinto, M., Caldevilla, M., Ferrante, A. y Miragaya, M. (2016). Uso de semen congelado en programas de inseminación artificial en equinos. *Spermova*, 2(6), 107-109. <https://doi.org/10.18548/aspe/0004.04>
- Alvarenga, M. A., Papa, F. O. y Neto, C. R. (2017). Técnicas para incremento da qualidade do sêmen de garanhões. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, 41(1), 81-85.
- Alvarenga, M. A., Papa, F. O. y Ramires Neto, C. (2016). Advances in Stallion Semen Cryopreservation. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 32(3), 521-530. <https://doi.org/10.1016/j.cveq.2016.08.003>

- Cazales Penino, N., Estradé, M. J., Costa Mattos, R., Cazales Penino, N., Estradé, M. J. y Costa Mattos, R. (2020). Inseminación artificial con semen congelado equino: reacción inflamatoria, transporte espermático y técnica de inseminación. *Veterinaria (Montevideo)*, 56(214). <https://doi.org/10.29155/vet.56.214.2>
- Cerny, K. L., Hughes, S., Campos, J. R., Coleman, R. J., Troedsson, M. H. T. y Squires, E. L. (2012). Fertility of Mares Inseminated With Frozen-Thawed Semen Processed by Single Layer Centrifugation Through a Colloid. *Journal of Equine Veterinary Science*, 32(5), 289-291. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2011.09.075>
- Contreras, F. A. (2022). Evaluación de dos protocolos de criopreservación de semen equino. [Tesis de Licenciatura]. Universidad de Panamá (Panamá). Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Crowe, C. A. M., Ravenhill, P. J., Hepburn, R. J. y Shepherd, C. H. (2008). A retrospective study of artificial insemination of 251 mares using chilled and fixed time frozen-thawed semen. *Equine Veterinary Journal*, 40(6), 572-576. <https://doi.org/10.2746/042516408x281199>
- Fernández, F., Hernández, J., Rodríguez, S. y Velásquez, H. (2008). Fertilidad en yeguas cuarto de milla tratadas con gonadotropina coriónica humana (hCG) utilizando semen congelado. *Revista de Salud Animal*, 30(3); 184-188.
- Harvey, A. M., Ramp, D. y Mellor, D. J. (2022). Review of the Foundational Knowledge Required for Assessing Horse Welfare. *Animals*, 12(23), 3385. <https://doi.org/10.3390/ani12233385>
- Immonen, I. y Cuervo-Arango, J. (2020). Effect of Timing of Postovulatory Insemination Relative to Human Chorionic Gonadotropin/Buserelin Treatment With 1 Straw of Frozen-Thawed Semen on Mare Fertility. *Journal of Equine Veterinary Science*, 87, 102900. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2019.102900>
- Loomis, P. R. (2001). The equine frozen semen industry. *Animal Reproduction Science*, 68(3-4), 191-200. [https://doi.org/10.1016/s0378-4320\(01\)00156-7](https://doi.org/10.1016/s0378-4320(01)00156-7)
- Love, C. C., Blanchard, T. L., Varner, D. D., Brinsko, S. P., Voge, J., Bliss, S., Sudderth, K., Teague, S. y LaCaze, K. (2012). Effect of daily semen centrifugation and resuspension on the longevity of equine sperm quality following cooled storage. *Theriogenology*, 77(9), 1911-1917. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2012.01.010>
- Mari, G., Bucci, D., Love, C. C., Mislei, B., Rizzato, G., Giaretta, E., Merlo, B. y Spinaci, M. (2015). Effect of cushioned or single layer semen centrifugation before sex sorting on frozen stallion semen quality. *Theriogenology*, 83(6), 953-958. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2014.11.031>
- Metcalf, E. S. (2007). The efficient use of equine cryopreserved semen. *Theriogenology*, 68(3), 423-428. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2007.04.039>
-



- Olguín, R. O. y Esquivel, V. R. (2011). Manual de inseminación artificial para la operatividad de semen congelado en yeguas (*Equus caballus*) del Criadero Militar de Ganado Santa Gertrudis Chihuahua. Universidad Autónoma Chapingo. Recuperado de <https://zootecnia.chapingo.mx/assets/11olguin.pdf>
- Oliveira, R. A., Rubin, M. I. B. y Silva, C. A. M. (2013). Índice De Prenhez Com Sêmen Congelado De Garanhões Da Raça Crioula Usando Glicerol Ou Dimetilformamida Como Crioprotectores. *Ciência Animal Brasileira*, 14(4). <https://doi.org/10.5216/cab.v14i4.18923>
- Pillet, E., Batellier, F., Duchamp, G., Furstoss, V., Vern, Y. L., Kerboeuf, D., Vidament, M. y Magistrini, M. (2008). Freezing stallion semen in INRA96®-based extender improves fertility rates in comparison with INRA82. *Dairy Science and Technology*. 88, 257-265 <https://doi.org/10.1051/dst:2008002>
- Ramires-Neto, C., Monteiro, G. A., Soares, R. F., Pedrazzi, C., Dell'aqua, J. A., Papa, F. O., Castro-Chaves, M. y Alvarenga, M. A. (2013). New seminal plasma removal method for freezing stallion semen. *Theriogenology*, 79(7), 1120-1123.e1. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2013.01.014>
- Restrepo-Betancurt, G., Cantero-Nanclares, J. y Montoya-Páez, J. (2016). Efecto De La Centrifugación Sobre La Integridad Y La Funcionalidad De Espermatozoides Equinos. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(1), 119-125. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)119-125](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)119-125)
- Restrepo-Betancurt, G., Duque Cortés, J. y Montoya-Páez, J. (2012). Effect of two protocols of cryopreservation on fertilizing capacity of stallion (*equus caballus*) semen / efecto de dos protocolos de criopreservación sobre la capacidad fecundante de semen equino (*equus caballus*). Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/71546/36504-154209-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ribeiro, B., Ramos, R., Araujo, G.H., Fioratti, E. G., Trinca, L.A., Dell'Aqua, J.A., Melo E Oña, C.M., Zahn, F.S., Martin, I., Alvarenga, M.A., y Papa, F.O. (2015). Fixed – time insemination with frozen semen in mares: is it suitable for poorly fertile stallions? *Theriogenology*, 83(9), 1389 – 1393. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2014.07.007>
- Samper, J., Estrada, A. J. y McKinnon, A. O. (2007). Insemination with Frozen Semen. *Current Therapy in Equine Reproduction*, 285-288. <https://doi.org/10.1016/b978-0-7216-0252-3.50049-7>
- Samper, J. C. (2008). Induction of estrus and ovulation: Why some mares respond and others do not. *Theriogenology*, 70(3), 445-447. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.04.040>

- Sánchez, R., Gómez, I. y Samper, J. C. (2009). Artificial Insemination with Frozen Semen. *Elsevier EBooks*, 175-183. <https://doi.org/10.1016/b978-1-4160-5234-0.00015-5>
- Sharafi, M., Borghei-Rad, S. M., Hezavehei, M., Shahverdi, A. y Benson, J. D. (2022). Cryopreservation of Semen in Domestic Animals: A Review of Current Challenges, Applications, and Prospective Strategies. *Animals*, 12(23), 3271. <https://doi.org/10.3390/ani12233271>
- Sielhorst, J., Hagen, C., Behrendt, D., Schuette, B., Burger, D., Martinsson, G. y Sieme, H. (2016). Effect of Multiple Freezing of Stallion Semen on Sperm Quality and Fertility. *Journal of Equine Veterinary Science*, 40, 56-61. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2016.01.014>
- Vidament, M., Dupere, A. M., Julienne, P., Evain, A., Noue, P. y Palmer, E. (1997). Equine frozen semen: Freezability and fertility field results. *Theriogenology*, 48(6), 907-917. [https://doi.org/10.1016/s0093-691x\(97\)00319-1](https://doi.org/10.1016/s0093-691x(97)00319-1)



Automeris metzli (LEPIDOPTERA: SATURNIIDAE) PLAGA POTENCIAL DE *Artocarpus heterophyllus* (ROSALES: MORACEAE)

Automeris metzli (LEPIDOPTERA: SATURNIIDAE) POTENTIAL PEST OF *Artocarpus heterophyllus* (ROSALES: MORACEAE)

Araúz-Ábrego, Edgar. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Panamá.
edgar.arauza@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0003-3702-0315>

Santos-Murgas, Alonso. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Panamá.
santosmurgasa@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-9339-486X>

*Collantes-González, Rubén D. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá, Estación Experimental de Cerro Punta, Panamá.
rdcg31@hotmail.com <https://orcid.org/0000-0002-6094-5458>

*Autor de Correspondencia: rdcg31@hotmail.com

Recibido: 10/06/2024

Aceptado: 22/01/2025

DOI <https://doi.org/10.48204/j.ia.v7n2.a7494>

RESUMEN. El árbol de yaca o jaca *Artocarpus heterophyllus* Lam. (Rosales: Moraceae), es una especie originaria de Asia, cuyos frutos son consumidos por su sabor y contenido nutricional, además de que su madera es empleada en ebanistería y para la confección de instrumentos musicales. Esta planta está presente en varios países del Neotrópico y sobre la cual existen reportes de algunas especies de insectos plaga; sin embargo, en incursiones desarrolladas en un terreno de aproximadamente 7500 m² en proceso de adecuación para la producción agroecológica de frutales, situado en Bágala, distrito de Boquerón, Chiriquí, Panamá, se observó la presencia numerosa de orugas provistas de espinas urticantes (las cuales pueden afectar la salud de las personas) alimentándose del follaje de *A. heterophyllus*, por lo que el presente trabajo tuvo por objetivo identificar la especie insectil en cuestión y determinar si la misma es plaga del cultivo. El estudio fue de naturaleza conservacionista, descriptiva y exploratoria. Los especímenes fueron fotografiados en campo para observar en detalle caracteres morfológicos externos de las orugas (pigmentación y forma de los *scoli*, principalmente) y se consultó literatura especializada para confirmar la identidad del insecto. Los resultados reflejaron que, las orugas urticantes corresponden a *Automeris metzli* (Sallé, 1853) (Lepidoptera: Saturniidae), especie polífaga de amplia distribución en la provincia de Chiriquí y la cual afecta otros cultivos como cocotero y frijol de palo; sin embargo, este es un nuevo reporte como plaga potencial de *A. heterophyllus*.

PALABRAS CLAVE: Árbol de jaca, Boquerón, cultivo, orugas urticantes, plaga potencial.

ABSTRACT. Jackfruit tree *Artocarpus heterophyllus* Lam. (Rosales: Moraceae), is a species native to Asia, whose fruits are consumed for their flavor and nutritional content, in addition to its wood being used in cabinetmaking and for the crafting of musical instruments. This plant is present in several Neotropical countries and about which there are reports of some species of pest insects; However, in raids carried out on a plot of approximately 7,500 m² in the process of adaptation for the agroecological production of fruit trees, located in Bagala, district of Boqueron, Chiriqui, Panama, the presence of many caterpillars provided with stinging spines (which can affect people's health) feeding on the foliage of *A. heterophyllus* was observed, so the aim of this work was to identify the said insect species and to determine if it is a pest of the crop. The study was conservationist, descriptive and exploratory in nature. The specimens were photographed in the field to observe in detail external morphological characters of the caterpillars (pigmentation and shape of the *scoli*, mainly) and specialized literature was consulted to confirm the identity of the insect. The results reflected that the stinging caterpillars correspond to *Automeris metzli* (Sallé, 1853) (Lepidoptera: Saturniidae), a polyphagous species with wide distribution in the province of Chiriquí and which affects other crops such as coconut and pigeon pea; However, this is a new report as a potential pest of *A. heterophyllus*.

KEYWORDS: Boqueron, crop, jackfruit tree, potential pest, stinging caterpillars.



INTRODUCCIÓN

El árbol de yaca o jaca, *Artocarpus heterophyllus* Lam. (Rosales: Moraceae), es una especie vegetal de origen asiático, específicamente de los Ghats occidentales de la India, siendo común en Asia, África y varios países de Suramérica. Árboles de hasta 20 m de altura, con frutos comestibles que pueden llegar a pesar 50 kg cada uno, son considerados los más grandes del mundo, siendo apreciados por su contenido nutricional en lo referido a carbohidratos, proteínas, vitaminas, minerales y fitoquímicos; su madera es apreciada en la ebanistería y confección de instrumentos musicales; las hojas, tronco y otras partes de la planta son ocupadas en medicina tradicional (propiedades contra el cáncer, bacterias, hongos, antiinflamatorias, efecto hipoglicémico), para teñir textiles, como especia y para la elaboración de conservas alimenticias. Pese a todas estas bondades, se considera que los frutos y otras partes de esta planta están siendo subutilizados a escala comercial en Asia (Ranasinghe *et al.*, 2019; NT.GOV.AU, 2024).

Este frutal se introdujo en Panamá a inicios del nuevo milenio, adaptándose muy bien a suelos franco-arenosos, con altitudes por debajo de los 1000 m s. n. m. y precipitación promedio anual superior a 1500 mm (Araúz, 2012; NT.GOV.AU, 2024). Este tipo de condiciones agroclimáticas son propias del área de Bágala, distrito de Boquerón, donde la temperatura varía entre 22 y 33° C (con mínimas de 20° C y máximas de 35° C), con precipitación promedio anual de 1720.9 mm, siendo el mes más seco febrero (18 mm) y el mes más lluvioso octubre (230 mm) (Weather Spark, 2024); además de que predominan suelos franco-arenosos (Villarreal *et al.*, 2013).

Otro aspecto importante que considerar son las plagas que podrían afectar dicha especie frutal. Se conoce que los países productores de Asia, la especie de mayor importancia en este cultivo es el barrenador de brotes y frutos *Diaphania caesalis* (Walker) (Lepidoptera: Crambidae), además de otros insectos como los gorgojos *Ochyromera artocarpi* (Marshall), *Onychocnemis careyae* (Marshall), *Teluropus ballardi* (Marshall) (Coleoptera: Curculionidae), los pulgones *Greenidia artocarpi* (Westwood) y *Toxoptera aurantii* (Boyer de Fonscolombe) (Hemiptera: Aphididae), por mencionar algunos ejemplos (Balaji Raikumar *et al.*, 2018).

En incursiones desarrolladas recientemente en la localidad de Ojo de Agua, Bágala, específicamente en un lote de aproximadamente 7500 m² (el cual se encuentra en etapa de transición agroecológica para la producción diversificada de frutales), se observó de manera abundante la presencia de orugas provistas de espinas urticantes (*scoli*), alimentándose del follaje del árbol de jaca (Figura 1), por lo que el objetivo del presente estudio fue identificar la especie insectil en cuestión y determinar si la misma es una plaga reportada para el cultivo de jaca en Panamá u otras latitudes.

**Figura 1**

Jaca en Ojo de Agua, Bágala: A) Planta afectada; B) Orugas urticantes consumiendo el follaje.

**MATERIALES Y MÉTODOS**

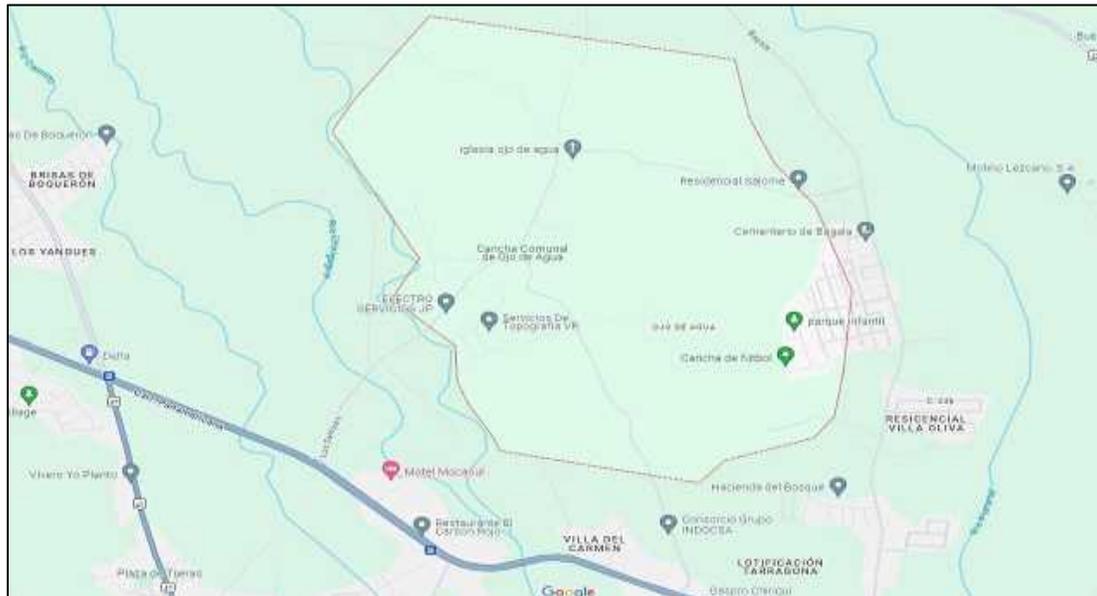
El área de estudio correspondió a la localidad de Ojo de Agua, situada en el corregimiento de Bágala, distrito de Boquerón, provincia de Chiriquí, Panamá 8°29'3" N 82°32'5" O, 127 m s. n. m. (Figura 2). En esta zona es frecuente el desarrollo de rubros como cultivos de maíz, yuca, frijol, ñame, crianza de cerdos, aves de corral y ganado lechero (IMA, 2022).

La investigación fue de naturaleza conservacionista, descriptiva y exploratoria. Los especímenes fueron fotografiados para observar el hábito, con especial detalle en caracteres morfológicos externos como la pigmentación y los *scoli* (tubérculos provistos de espinas urticantes). Se consultó literatura especializada (Collantes *et al.*, 2022; Collantes-González *et al.*, 2022; Santos-Murgas *et al.*, 2022), para confirmar la identidad de la especie, además de revisarse publicaciones sobre plagas asociadas al árbol de jaca (Butani, 1978; Balaji Raikumar *et al.*, 2018; Khan *et al.*, 2021).



Figura 2

Ubicación del área de estudio.



Fuente: Google Maps (2024).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las orugas urticantes corresponden a *Automeris metzli (dagmarae)* (Sallé, 1853) (Lepidoptera: Saturniidae), la cual se caracteriza por presentar una coloración verde amarillenta, con manchas negras dispersas en todo el cuerpo y los *scoli* erectos, de longitud considerable (hasta 13 mm) y en tonalidades rosadas (Aragón, 2014). La sinonimia entre *A. metzli* y *A. dagmarae* fue reafirmada por Jerkovic *et al.* (2023), tomando como base los especímenes analizados en dicho trabajo.

Este insecto es polífago y de amplia distribución en la provincia de Chiriquí, encontrándose en sitios como Volcán, Tierras Altas (Figura 3), así como en Aserrió de Gariché afectando otros cultivos como cocotero (*Cocos nucifera* L.) y frijol de palo (*Cajanus cajan* L.) (Santos-Murgas *et al.*, 2023); sin embargo, hasta donde se conoce, este representa un nuevo reporte como plaga potencial de *A. heterophyllus*.

**Figura 3**

Adulto de Automeriz metzli en Volcán, Tierras Altas, Chiriquí.



Considerando que el cultivo de jaca es relativamente reciente, sumado a los riesgos para la salud que representa para las personas el contacto directo con estas orugas urticantes (Jerkovic *et al.*, 2023), se recomienda continuar investigando las posibles interacciones tróficas que ocurran en estos agroecosistemas productivos.

CONCLUSIONES

Las orugas urticantes encontradas alimentándose del follaje de jaca en Ojo de Agua, Bágala, corresponden a la especie *Automeris metzli* (Lepidoptera: Saturniidae), de amplia distribución en la provincia de Chiriquí, tanto en áreas urbanas como periurbanas; pudiendo ser plaga potencial, tanto por las afectaciones directas al cultivo como por el riesgo que representa para la salud de las personas. Se sugiere continuar desarrollando investigaciones sobre la materia.

AGRADECIMIENTOS

Al Doctor José E. Villarreal (IDIAP), por atender las consultas realizadas respecto a tipos de suelo.



REFERENCIAS

- Aragón, K. (2014). *Automeris dagmarae* (Saturniidae). Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica. <https://www.acguanacaste.ac.cr/paginas-de-especies/insectos/102-saturniidae/649-saturniidae>
- Araúz, C. (2012). *La jaca: nueva variedad de fruta tropical en Panamá*. Panamá América. <https://www.panamaamerica.com.pa/economia/la-jaca-nueva-variedad-de-fruta-tropical-en-panama-790672>
- Balaji Rajkumar, M., Gundappa, B., Tripathi, M. M. y Rajan, S. (2018). Pests of Jackfruit. En: Omkar (Ed.), *Pests and Their Management*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8687-8_18
- Butani, D. K. (1978). Pests and diseases of jackfruit in India and their control. *Fruits*, 33(5), 351-357. ISBN 0248-1294. <https://eurekamag.com/research/000/456/000456423.php>
- Collantes, R., Muñoz, J. y Santos-Murgas, A. (2022). Larvas urticantes (Lepidoptera) en cultivos de traspatio en Volcán, Chiriquí, Panamá. *Aporte Santiaguino*, 15(2). <https://doi.org/10.32911/as.2022.v15.n2.950>
- Collantes-González, R. D., Jerkovic, M. y Santos-Murgas, A. (2022). Larva urticante *Automeris metzli* (Salle, 1853) (Lepidoptera: Saturniidae) en áreas verdes urbanas de David, Chiriquí, Panamá. *Revista Investigación Agraria*, 4(3), 27-32. <https://doi.org/10.47840/ReInA.4.3.1554>
- Google Maps. (2024). *Mapa de Ojo de Agua, Bágala*. https://www.google.com/maps/place/Ojo+de+Agua,+B%C3%A1gala,+Provincia+de+Chiriqu%C3%AD/@8.4861596,-82.5470065,15.25z/data=!4m6!3m5!1s0x8fa59f155ae3dba5:0x73846eed3ee80c4a!8m2!3d8.4841634!4d-82.5348172!16s%2Fg%2F11h0vk3q_?entry=ttu
- IMA (Instituto de Mercadeo Agropecuario, Panamá). (2022). *Productores de la provincia de Chiriquí reciben beneficios*. <https://ima.gob.pa/noticias/productores-de-la-provincia-de-chiriqui-reciben-beneficios/>
- Jerkovic, M., Collantes, R. D. y Santos-Murgas, A. (2023). Larvas urticantes (Lepidoptera) y sus potenciales riesgos para la salud humana. *Llalliq*, 3(2), 364-377. <https://revistas.unasam.edu.pe/index.php/llalliq/article/view/1050>
- Khan, A. U., Choudhury, Md. A. R., Maleque, Md. A., Dash, C. K., Talucder, M. S. A., Maukeeb, A. R. Md., Ema, I. J. y Adnan, M. (2021). Management of insect pests and diseases of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) in agroforestry system: a review. *Acta Entomology and Zoology*, 2(1), 37-46. <https://doi.org/10.33545/27080013.2021.v2.i1a.29>
- NT.GOV.AU (Northern Territory Government, Australia). (2024). *Jackfruit*. <https://nt.gov.au/environment/home-gardens/growing-vegetables-at->



[home/jackfruit#:~:text=Jackfruit%20prefers%20a%20tropical%20climate,tolerate%20moderate%20winds%20and%20salt.](#)

Ranasinghe, R. A. S. N., Maduwanthi, S. D. T. y Marapana, R. A. U. J. (2019). Nutritional and Health Benefits of Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.): A Review. *International journal of food science*, 2019, 4327183. <https://doi.org/10.1155/2019/4327183>

Santos-Murgas, A., Jerkovic, M., Atencio V, R. y Collantes G., R. D. (2022). Larvas urticantes *Automeris* (Lepidoptera: Saturniidae) en *Cajanus cajan*: riesgo para la salud de productores panameños. *Revista Peruana De Ciencias De La Salud*, 4(4), 226-231. <https://doi.org/10.37711/rpcs.2022.4.4.390>

Villarreal, J., Name, B. y García, R. (2013). Zonificación de suelos de Panamá en base a niveles de nutrientes. *Ciencia Agropecuaria*, 21, 71-89. <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/184>

Weather Spark. (2024). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Bágala*. <https://es.weatherspark.com/y/16736/Clima-promedio-en-B%C3%A1gala-Panam%C3%A1-durante-todo-el-a%C3%B1o>



APORTES DE LOS BIORREGULADORES EN EL MANEJO DE CULTIVOS
CONTRIBUTIONS OF BIOREGULATORS IN CROP MANAGEMENT

**Rolando Corella*. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.

rolando.corella@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0003-0122-0358>

Dayane Littig. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil.

dayanelittig@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-0399-160X>

Fernando Gálvez. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.

fernando.galvez@up.ac.pa

<https://orcid.org/0009-0000-5138-1753>

Enrique Sánchez-Galán. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.

enrique.sanchezg@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-9452-8177>

*Autor de Correspondencia: rolando.corella@up.ac.pa

Recibido: 07/10/2024

Aceptado: 27/01/2025

DOI <https://doi.org/10.48204/j.ia.v7n2.a7495>

RESUMEN. La producción de cultivos necesita tecnologías que potencialicen procesos intrínsecos de importancia para la productividad, o que representen soluciones para los problemas en el manejo de los cultivos; considerando que situaciones adversas pueden comprometer la viabilidad económica del mismo. El uso de biorreguladores vegetales (PGRs) es una alternativa altamente viable; ya que estos pueden promover, inhibir o modificar el comportamiento de los cultivos; beneficiando aspectos de importancia como el crecimiento, el desarrollo, el florecimiento, el cuajado y la calidad de los frutos, la tolerancia a factores estresantes, la eficiencia en el uso de los nutrientes, del carbono fijado y del agua. Los biorreguladores tienen diferentes efectos, los cuales dependen del tipo de cultivo, del comportamiento eco fisiológico según la fase fenológica y la dosis. Lo más importante es el objetivo de su utilización. La información aquí presentada propone un acceso a la información aplicada al manejo agronómico de cultivos, como referencia para la investigación, en la generación de nuevos conocimientos científicos y de tecnologías agrícolas aplicadas.

PALABRAS CLAVE: Auxinas, bioestimulantes, etileno, fitohormonas, manejo agronómico, productividad de cultivos.

ABSTRACT. Crop production requires technologies that enhance intrinsic processes of importance for productivity, or that represent solutions to problems in crop management, considering that adverse situations can affect the economic viability of the crop. The use of plant bioregulators (PGRs) is highly viable alternative, since they can promote, inhibit or modify the behavior of crops, benefiting important aspects such as growth, development, flowering, fruit set, quality, tolerance to stress factors, efficiency in the use of nutrients, fixed carbon, and water. PGRs have different effects, which depend on the type of crop, the ecophysiological behavior according to the phenological phase and the dose. The most important is the objective of use. The information presented here proposes access to information applied to the agronomic management of crops, as a reference for research, in the generation of new scientific knowledge and applied agricultural technologies. The most important is the objective of use.

KEYWORDS: Crop yield, agronomic management, biostimulants, phytohormones, auxins, ethylene.



INTRODUCCIÓN

En el manejo agronómico de los cultivos, los biorreguladores pueden promover beneficios cualitativos y cuantitativos en la productividad agrícola.

Los biorreguladores son compuestos orgánicos que en concentraciones bajas son capaces de inhibir o modificar procesos morfológicos y fisiológicos en plantas (Macedo y Castro, 2016). Pueden ser clasificados según varios criterios, a saber, según sus efectos inhibitorios o estimulantes, su estructura molecular, o su actividad a nivel vegetal (Cortes *et al.*, 2019). Tradicionalmente se han utilizado biorreguladores en el cultivo *in vitro* y en la propagación vegetativa para mejorar el desarrollo de las plántulas, entre otros variados efectos. Por lo tanto, la aplicación de biorreguladores en los cultivos puede ayudar en el desempeño agronómico de los cultivos.

Estos compuestos también mejoran el rendimiento de los cultivos y sus características cualitativas en la cosecha; mediante la alteración de los niveles hormonales internos o del efecto de hormonas específicas. La concentración, el equilibrio e interacción hormonal, las formas activas, el nivel de sensibilidad de la planta son factores de importancia para el crecimiento y el desarrollo vegetal, aunado a aspectos fisiológicos importantes y a factores externos, como el manejo agronómico y factores del ambiente (Ordoñez Trejo *et al.*, 2023).

Dado que cambios en la productividad de los cultivos, en el crecimiento, en la expresión genética y en el metabolismo celular son respuestas de las plantas afectadas por factores como el estrés, como lo afirman Lambers *et al.*, (2009), los efectos benéficos de los biorreguladores conllevaron a recomendar su uso en diversos cultivos. Estos son una buena alternativa cuando se trata de lidiar con situaciones adversas provocadas por factores bióticos, como la acción mediadora del ácido salicílico en las respuestas de defensa de las plantas ante la infección de fitopatógenos (Lefevere *et al.*, 2020), o al potencializar o inducir respuestas fisiológicas del crecimiento y desarrollo en la propagación vegetativa, en la mejora de la calidad de frutos de uva mediante la aplicación de citoquininas (Rojas *et al.*, 2021) o hasta en la inducción del florecimiento y mejora de la productividad en el cultivo del mango mediante el uso de paclobutrazol (Coelho *et al.*, 2014).

En general los biorreguladores son aplicados vía foliar usando agua como solvente; las formulaciones comerciales deben contener disolventes tensoactivos y coadyuvantes, con el propósito de promover una mejor penetración en la epidermis y demás membranas de la planta; además se debe atender debidamente el tratamiento al cultivo, adecuado a la fase fenológica, y prestar mucha atención a las condiciones ambientales antes y después de la aplicación del biorregulador (Rademacher, 2015).

Diversos biorreguladores son reconocidos por su influencia en el desarrollo y la capacidad de las plantas de tolerar situaciones adversas; como las citocininas, giberelinas, ácido abscísico, auxinas, poliaminas, estrigolactonas, ácido el ascórbico y brasinoesteroides (Zulfiqar y Ashraf, 2020).

El entendimiento sobre la utilización de los biorreguladores vegetales en el manejo agronómico de los cultivos, teniendo en cuenta la interacción cultivo – medio ambiente, es un importante aliado para que los productores los utilicen adecuadamente. Bajo ese contexto, esta revisión recopila



información sobre las propiedades de algunos biorreguladores comunes, su utilización en algunos cultivos, sus efectos y oportunidades para mejorar el desempeño agronómico de los cultivos agrícolas; así como servir de referencia en los campos de la enseñanza e investigación agrícola.

MATERIALES Y MÉTODOS

Por medio de una revisión bibliográfica de la información disponible en los diversos medios de la literatura existente, se extrajeron aspectos de importancia sobre los biorreguladores. Conceptos, aportes en el manejo de cultivos, mecanismos de acción y potencialidades en los campos de producción, y en la investigación agronómica. La información fue seleccionada de obras de firmeza científica sobre conceptos fundamentales, agronómicos y agroecofisiológicos, como libros, revistas internacionales, bases de datos, periódicos y plataformas de interés.

La metodología de selección de la información incluyó la exploración, selección, análisis criterioso y la interpretación; por lo que se le atribuye a esta obra un carácter cualitativo. La información seleccionada incluyó artículos y otras fuentes que cumplieran con un enfoque pragmático y objetivo, en aporte para mejorar el desempeño, y en consecuencia, la productividad de los cultivos agrícolas.

Los aportes del material citado e interpretado en esta revisión comprenden oportunidades de aprovechamiento del potencial que tienen los biorreguladores, como tecnologías y alternativas, que bien pueden ser mayormente adecuadas y promovidas en beneficio de la productividad, las ciencias agrícolas, la sostenibilidad y la inocuidad en el manejo de cultivos.

Las fuentes de la literatura consultada comprendieron en mayor proporción el idioma inglés, seguido del portugués y el español.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Biorreguladores y su rol en cultivos agrícolas

1.1- Biorreguladores y su relación con los cultivos agrícolas

El concepto de biorreguladores hace referencia a compuestos con acción biológica reguladora en organismos vivos; cuyo efecto puede resultar favorables o desfavorable a los objetivos de una actividad agrícola o relacionada. Estos compuestos promueven, inhiben o modifican procesos morfológicos o fisiológicos en las plantas (Macedo y Castro, 2016; Castro *et al.*, 2017) son análogos a las fitohormonas, y con efectos semejantes, también llamados “Reguladores de Crecimiento” (Sampaio, 2010), o “Biorreguladores” (Castro *et al.*, 2017).

En el caso de los reguladores del crecimiento vegetal (PGRs) (Bhatla y Lal, 2018) se refieren a estos como compuestos naturales o sintéticos que actúan principalmente en bajas concentraciones, afectan procesos metabólicos y de desarrollo en las plantas superiores; a su vez no poseen valor nutritivo, ni tienen efectos fitotóxicos en las dosis adecuadas. Estos autores en su obra separan a



los PGRs en dos categorías, a saber: “verdaderos” y “atípicos”, siendo los verdaderos, aquellos que actúan directamente sobre las acciones de los sistemas hormonales en plantas superiores, y los atípicos, aquellos que provocan un efecto fitotóxico local o transitorio; también citan a los "retardantes del crecimiento" sin especificar a cuál categoría pertenecen.

Entre los biorreguladores conocidos están las hormonas vegetales más comunes: auxinas, giberelinas, citoquininas, retardadores, inhibidores y el etileno, llamados fitohormonas de forma amplia; también se han incluido a este grupo de biorreguladores los brasinoesteroides, jasmonatos, ácido salicílico y poliaminas (Macedo y Castro, 2016; Castro *et al.*, 2017; Castro y Carvalho, 2019).

Para enriquecer mejor esta conceptualización, sugerimos revisar a Bhatla y Lal, (2018), en donde ofrecen una categorización interesante de los principales PGRs, según su ruta biosintética; la cual resumimos en la Tabla 1.

Tabla 1

Categorías de los algunos biorreguladores en plantas, según su ruta de biosíntesis.

Categoría	Ruta biosintética	PGRs
I	Vía de los isoprenoides, a partir del difosfato de isopentenilo	Citoquininas, giberelinas, brasinoesteroides, ácido abscísico y estrigolactonas
II	Derivados de aminoácidos	Ácido indol-3-acético (AIA); serotonina y melatonina derivadas del triptófano; etileno derivado de metionina y poliaminas derivadas de arginina u ornitina; óxido nítrico derivado de la arginina.
III	Derivados de lípidos	Ácido jasmónico derivado del ácido α -linolénico.

Fuente: Adaptado de Bhatla y Lal, (2018).

Los PGRs pueden actuar promoviendo, inhibiendo o modificando el crecimiento vegetal (Sampaio, 2010), que al señalar procesos fisiológicos o de desarrollo (Taiz *et al.*, 2017), producen efectos como el enraizamiento, formación de brotes laterales, crecimiento apical, cierre estomático, el florecimiento, fructificación, entre otros.

A nivel agronómico, la utilización de biorreguladores busca lograr resultados prácticos de interés en la solución de problemas agrícolas de campo, pues los cultivos en la actualidad son vulnerables a condiciones climáticas estresantes, lo que se acentúa cuando existen limitantes en la disponibilidad de tecnologías de manejo nutricional, hídrico y sanitario a un nivel tecnificado, dejando clara la necesidad de implementar estrategias de mitigación, como el uso de compuestos orgánicos compensadores que ayuden principalmente a mantener o mejorar la productividad.



Los biorreguladores ofrecen la oportunidad de ser usados de muchas formas, a fin de realizar un ajuste fino que varía de acuerdo con los intereses de la actividad agrícola, principalmente en las plantas cultivadas en ambientes abiertos, donde existe un alto riesgo debido a factores no controlables (Rademacher, 2015).

Aunque el uso de los biorreguladores ha ido en aumento debido a su acción sobre el crecimiento y actividad bioquímica en las plantas, incluso más potente que sus correspondientes análogos naturales, es fundamental considerar factores de importancia como la sensibilidad del cultivar utilizado, su estado fenológico o condición general, dosis y oportunidad de aplicación (Cortes *et al.*, 2019). El mismo biorregulador puede expresar respuestas diferentes, dependiendo del estado de desarrollo de la planta (Raven, 2001).

Los biorreguladores generalmente vienen incluidos dentro de los bioestimulantes agrícolas comerciales, en forma de mezcla junto con nutrientes (Klahold *et al.*, 2006), estos bioestimulantes también incluyen aminoácidos. Su uso ha demostrado excelentes resultados con mejoras significativas en la producción de frutas, en cultivos anuales y perennes, cultivos olerícolas, e incluso en plantas ornamentales (Castro *et al.*, 2017).

1.2- Las fitohormonas y reguladores de crecimiento: una relación con los aminoácidos de las plantas

Existen muchas sustancias endógenas identificadas, capaces de regular el crecimiento vegetal, así como también, involucradas en la señalización de múltiples procesos fisiológicos en las plantas cultivadas; es decir la señalización involucra recepción, interpretación y respuestas a estas señales, que pueden ser de origen físico o químico. Entre las diferentes sustancias responsables de la regulación y señalización de procesos fisiológicos en las plantas, podemos mencionar moléculas orgánicas, compuestos volátiles, iones no orgánicos, péptidos y ácidos ribonucleicos (Smith *et al.*, 2017).

El término fitohormona (FH) u hormonas vegetales se refiere a compuestos sintetizados naturalmente en las células vegetales, pudiendo ser movilizados y utilizados para múltiples procesos fisiológicos específicos; sin embargo, comúnmente este término es utilizado como semejante a regulador de crecimiento vegetal. De acuerdo con la literatura, un regulador de crecimiento vegetal es una sustancia química de síntesis exógena a la planta, capaz de actuar produciendo efectos similares a los causados por las fitohormonas. Por otro lado, una fitohormona tiene origen endógeno en las plantas, es decir que todas las sustancias semejantes en estructura y efecto, sintetizadas por algún método exógeno (xenobiótico) a las plantas, forman parte del grupo de los reguladores de crecimiento vegetal (Cortes *et al.*, 2019; Agudelo-Morales *et al.*, 2021).

Luego del descubrimiento de la primera fitohormona en los años 30's cuando se identificó la auxina ácido indol acético (Davies, 2010), diferentes sustancias han sido reportadas como hormonas vegetales. Algunas son: giberelinas, citoquininas, ácido abscísico, ácido salicílico, poliaminas, ácido jasmónico, brasinoesteroides, estrigolactonas, etileno, óxido nítrico y péptidos (Davies, 2010; Li *et al.*, 2017; Cortes *et al.*, 2019; Agudelo-Morales *et al.*, 2021).



Varias fitohormonas han sido relacionadas con diferentes aminoácidos, pues estos ejercen el rol de precursores. A lo largo de los años, múltiples investigaciones en fisiología y metabolismo de plantas han demostrado que para la síntesis de diversas fitohormonas existe dependencia directa de algunos aminoácidos (Davies, 2010; Qadir *et al.*, 2011; Zhao, 2012; Agudelo-Morales *et al.*, 2021; Kumar y Ohri, 2023; Ullah *et al.*, 2023) (Tabla 2).

Tabla 2

Fitohormonas y sus aminoácidos precursores reportados en la literatura.

Fitohormona	Precursor	Autores
Auxinas	Triptófano	(Zhao, 2012); (Cortes <i>et al.</i> , 2019)
Etileno	Metionina	(Qadir <i>et al.</i> , 2011)
Ácido salicílico	L- Fenilalanina	(Ullah <i>et al.</i> , 2023)
Óxido nítrico	L- arginina	(Astier <i>et al.</i> , 2017)
Poliaminas	Arginina y ornitina	(Davies, 2010)
Péptidos	Aminoácidos aromáticos	(Song <i>et al.</i> , 2017); (Olsson <i>et al.</i> , 2019)

1.2.1- Auxinas

Las auxinas (AUX), ampliamente conocidas y utilizadas en la agricultura, son capaces de regular procesos fisiológicos y morfológicos, entre estos, el alargamiento de estructuras vegetales como el coleóptilo de las semillas en germinación, el crecimiento del tallo, la dominancia apical, la formación de raíces adventicias, la división celular, y también la inhibición de la raíz primaria de las plantas. El uso de las AUX ha demostrado mejorar la productividad de los cultivos al estar involucrada en la regulación de la floración de algunas especies como las bromeliáceas, además en el cuajado y crecimiento de frutos (Burg y Burg, 1966; Godoy *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2021). Las auxinas en altas concentraciones han sido utilizadas como agentes para el control de plantas indeseables, donde se destacan el ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), el ácido 2-Metil-4-clorofenoxiacético (MCPA) y el ácido 4-amino-3,5,6-tricloropicolínico (Picloram), conocidos como herbicidas del grupo de las hormonales con acción selectiva (Horton y Fletcher, 1968; Grossmann, 2009).

Se ha planteado que el ácido indolacético, auxina más importante en las plantas al regular la mayoría de los aspectos del crecimiento y desarrollo de las plantas (Tang *et al.*, 2023), es sintetizada principalmente a partir de precursores generados a través de la ruta metabólica del Shikimato, de la cual se derivan diferentes aminoácidos aromáticos (L- triptófano, L- Fenilalanina y L- Tirosina), compuestos alcaloides, ligninas, flavonoides y otros metabolitos aromáticos; siendo el triptófano, el principal precursor de las auxinas (Jiang *et al.*, 2017).

1.2.2- Etileno

La fitohormona etileno es considerada la hormona del estrés vegetal (Van de Poel y de Vries, 2023); relacionada a mecanismos de adaptación y supervivencia en las plantas (Chen *et al.*, 2022). Esta molécula está compuesta por dos átomos de carbono y cuatro de hidrógeno (C₂H₄) es un gas que está involucrado en múltiples eventos fisiológicos y de desarrollo ocurridos en las plantas, desde mecanismos de defensa frente a agentes bióticos, así como una señal ambiental para la



adaptación de las plantas frente a situaciones de estrés abiótico (Hao *et al.*, 2017; Chen *et al.*, 2022).

Esta fitohormona es liberada en respuesta al ataque de herbívoros, está involucrada en la acumulación de diversos compuestos de naturaleza proteica, y también de metabolitos secundarios (Lu *et al.*, 2014). Por otro lado, se ha descubierto su incremento frente a diversas condiciones como sequía, calor, frío, encharcamiento, alta salinidad, estrés por metales pesados, y estrés osmótico (Chen *et al.*, 2022).

El etileno en la agricultura tiene un rol importante tanto en la producción en campo, como en la etapa postcosecha (Iqbal *et al.*, 2017). La síntesis biológica del etileno ha sido extensamente estudiada, y es considerada una de las rutas metabólicas más sencillas. Esta fitohormona es considerada la hormona de la maduración de frutas, actuando por aplicación exógena o por autocatalisis, principalmente en frutas climatéricas (Pholoma, 2020), se sintetiza a partir de la forma activa del aminoácido metionina (S-adenosil metionina) a través de la acción de las enzimas ACC sintasa y ACC oxidasa (Wang *et al.*, 2002).

1.2.3- Ácido salicílico

El ácido salicílico (AS) es un compuesto fenólico (metabolito secundario) hoy en día considerado una biomolécula dentro del grupo de las fitohormonas en plantas; es capaz de regular muchos procesos fisiológicos.

El primer reporte de su presencia en la señalización de plantas fue emitido el 1974 (Maruri-López *et al.*, 2019). Además, está involucrado en la respuesta defensiva (expresión de genes de defensa) de las plantas ante estrés ambiental, o por agentes fitopatógenos; es decir, como inductor de resistencia sistémica local adquirida (Arif, 2015; Lefeverre *et al.*, 2020).

Se han dilucidado dos vías para la síntesis del AS en las plantas, que ocurren simultáneamente, la vía de la enzima isocorismato sintasa (más del 90% de la síntesis del AS) y la vía de la fenilalanina amoniaco-liasa (alrededor de un 10% de la síntesis de AS). En la primera ruta, ocurre la conversión de corismato en una molécula de isocorismato por medio de la enzima isocorismato sintasa (ICS), luego ocurre un proceso de conjugación de la ICS con el aminoácido L-glutamato para formar el compuesto isocorismato-9-glutamato, para después descomponerse y producirse el AS. En la ruta de la fenilalanina amoniaco-liasa (PAL) el aminoácido fenilalanina es transformado por la PAL en ácido trans-cinámico para luego generarse el ácido salicílico (Mishra y Baek, 2021; Kaya *et al.*, 2023).

1.2.4- Óxido nítrico

El óxido nítrico (ON) es una molécula gaseosa producida en respuesta a condiciones del ambiente, y está relacionado con la respuesta defensiva ante diferentes tipos de estrés de origen biótico, como infecciones por bacterias y hongos fitopatógenos, de esta forma es considerado un señalizador químico relacionado con la respuesta adaptativa ante fenómenos estresantes de tipo abiótico, como el déficit nutricional, hídrico, salinidad y exceso de radiación ultravioleta (Mur *et al.*, 2013; Domingos *et al.*, 2015; Simontacchi *et al.*, 2015).



Aunque la presencia de ON en las plantas ha sido bien sustentada, el proceso endógeno de biosíntesis y señalización no ha sido claramente definido; sobre lo cual se cree que las rutas metabólicas para su generación son por medio de la oxidación y reducción; en la primera ruta propuesta se asume que se da por medio de la oxidación del precursor L-arginina denominada vía síntesis L-arginina dependiente, a través de la enzima óxido nítrico sintasa NOS; y el segundo tipo es a través de la reducción no enzimática de nitratos y nitritos a ON (Graska *et al.*, 2023).

1.2.5- Poliaminas

Las poliaminas (PAs) son biomoléculas con actividad biológica significativa en las plantas; las caracteriza el tener un bajo peso molecular, las cuales en su estructura pueden estar conformadas por dos o más aminoácidos. Estas sustancias están presentes en organismos unicelulares y pluricelulares; en el caso de las plantas se han identificados tres formas libres de PAs, estas son la putrescina, espermidina y espermina (Chen *et al.*, 2019; Kapoor, 2023).

Diversos autores (Chen *et al.*, 2019; Walters, 2003), han reportado recientemente que estas biomoléculas están asociadas con múltiples procesos fisiológicos en diferentes etapas de la vida de las plantas (embriogénesis, organogénesis, reproducción, maduración y senescencia); además, se ha comprobado que tiene vinculación en la respuesta frente a agentes estresantes de origen ambiental (salinidad, sequía, exceso de agua, temperatura y otros) y bióticos (endógenos y exógenos), tales como infecciones por hongos y virus.

El primer eslabón en la biosíntesis de las PAs en las plantas inicia con la putrescina, dado que para su formación se han derivado al menos tres rutas metabólicas: la primera ocurre a través de la remoción de un carbono de la arginina, como principal ruta en plantas. La segunda ruta es por medio de la descarboxilación de la ornitina, proveniente de la arginina luego de la acción de la arginasa, y la tercera ruta ocurre debido la conversión de la arginina en citrulina para luego la enzima citrulina descarboxilasa, convertir finalmente la citrulina en putrescina; adicionalmente se cree que las poliaminas están involucradas en la síntesis de etileno y óxido nítrico (Kapoor, 2023).

1.2.6- Péptidos

Los péptidos actualmente han sido considerados como un nuevo tipo de fitohormonas, involucradas en el crecimiento y desarrollo vegetal, así como también en mecanismos de defensa de las plantas, habiéndose reportado al menos 30 familias diferentes de fitohormonas pépticas, estas son constituidas de entre dos a cien aminoácidos, unidos por enlaces peptídicos, existiendo extensa evidencia que asocian a los péptidos con actividad antibacteriana, antifúngica e incluso antiviral, nematocida, insecticida y herbicida (Zhang *et al.*, 2023). También existen reportes de que existen péptidos involucrados en la señalización para la respuesta de las plantas frente a situaciones hostiles de altas temperaturas, sequía, escasez de nutrientes y estrés por salinidad (Kim *et al.*, 2021).

Algunas especies de la familia solanácea como tomate, pimentón y papa tienen la capacidad de producir un péptido de 18 aminoácidos denominado sistemin; esta molécula actúa como señal para inducir la producción de inhibidores de proteasa que pueden suprimir la función de las proteasas endógenas de insectos. En este mismo sentido se ha comprobado que péptidos como las defensinas



vegetales en altas concentraciones, son capaces de inhibir enzimas digestivas de fitopatógenos, como la α -amilasa (Farrokhi *et al.*, 2008).

Respecto a su biosíntesis gran parte de los péptidos vegetales se originan de proteínas precursoras; y son producidos por síntesis no ribosomal, como el glutatión y las fitoquelatinas (Breiden y Simon, 2016).

2. Beneficios en el crecimiento, desarrollo y en la calidad de la producción agrícola

Cuando los biorreguladores se aplican a las plantas también pueden influir en diferentes mecanismos morfológicos y fisiológicos, como la inducción de enzimas y proteínas específicas capaces de preservar el vigor celular, incluso en condiciones de estrés, induciendo en consecuencia una mejor productividad agrícola (Castro y Carvalho, 2019).

Fue demostrado por El-Hady *et al.*, (2021) que la aplicación exógena de ácido salicílico en plantas de tomate, especialmente en los tratamientos de 0.50 mM y 1.00 mM, influyó positivamente en las características de crecimiento y contenido de antioxidantes, respectivamente.

Los productos con acción bioestimulante incluyen biorreguladores de gran interés como las giberelinas (GAs), que también pueden aplicarse para brindar a los procesos esenciales tolerancia bajo situaciones de estrés. Se descubrió que en el tomate el contenido de GAs aumenta en el ovario después de la polinización, así pues, existe dependencia de las GAs una vez se da este proceso; y también en el crecimiento inicial de la planta, específicamente GA₁ que es la forma activa de giberelinas utilizada para inducir el desarrollo de frutos (Serrani *et al.*, 2007), desempeñando un papel importante en el desarrollo de semillas, en el proceso de germinación y control del peso de frutos (Chen *et al.*, 2016).

La baja producción de tubérculos y el tamaño superior al rango óptimo requerido para el procesamiento de papa cultivar Bondi en la industria de papas congeladas, son dos limitantes para su cultivo; sin embargo, el tratamiento con GA₃ aplicado en las semillas previo al sembrado, disminuyó la dominancia apical, incrementó la formación de tubérculos por planta y redujo el tamaño medio de los tubérculos (Herman *et al.*, 2016).

En la industria citrícola el beneficiado de los frutos con GAs ayuda a mantener su coloración verde, retrasando la maduración hasta la entrega a los mercados de destino, y beneficia la vida postcosecha (Porat *et al.*, 2001; Jomori *et al.*, 2003; Corella *et al.*, 2020).

Las GAs muestran efectos de gran interés agrícola, principalmente por sus beneficios en la productividad, calidad y vida de almacenamiento en el periodo postcosecha de frutos en diferentes cultivares de pimiento (Bagnazari *et al.*, 2018; Pichardo-González *et al.*, 2018; Ahmed *et al.*, 2022; Singh y Singh, 2022), también en características de importancia como la masa seca de cultivares de pimiento (Maboko y Du Plooy, 2015).

En el cultivo del pimentón, la aplicación precosecha de GA₃ (0,05 g L⁻¹) y CaCl₂ (0,5%), reveló un aumento en la calidad postcosecha de los frutos durante el almacenamiento, mostrando menos daño por frío, mayores niveles de clorofila y mayor actividad antioxidante de la peroxidasa y catalasa, en comparación con el control (Bagnazari *et al.*, 2018).



Las GAs son conocidas como biorreguladores con un efecto promotor del crecimiento y el alargamiento celular. Por otro lado, existen otros reguladores del crecimiento vegetal, con efectos inhibidores, antagonistas de las giberelinas y las auxinas. Entre estos, el Paclobutrazol (PBZ) que actúa inhibiendo la biosíntesis de giberelinas y ha sido utilizado en agricultura para reducir la altura de las plantas, evitando el efecto de acame en los cultivos; para protección contra estreses abióticos relacionados con déficit hídrico, frío, salinidad, y también promueve mejoras en el rendimiento y en la calidad de los frutos (Desta y Amare, 2021).

El paclobutrazol, perteneciente al grupo químico de los triazoles, actúa bloqueando la biosíntesis de giberelina en la vía terpenoide, uniéndose a otras moléculas e inhibiendo enzimas que catalizan reacciones metabólicas, provocando la supresión del crecimiento de las plantas (Chaney, 2005). El bloqueo de la síntesis de giberelinas es el resultado de la inhibición de reacciones catalizadas por la enzima kaureno oxidasa, sin embargo, este efecto inhibitor resultante de la acción de los triazoles promueve una reducción del crecimiento vegetativo y puede inducir la floración (Taiz *et al.*, 2017). No obstante, las respuestas inhibitorias de la síntesis de GAs debido a la acción del paclobutrazol, también conducen a desviaciones de compuestos intermedios acumulados, lo que permite un aumento del ácido abscísico y otros componentes importantes capaces de promover muchos beneficios, incluyendo una mayor tolerancia al estrés abiótico y resistencia a enfermedades (Rademacher, 1997; Chaney, 2005).

En maní, la aplicación de paclobutrazol fue sugerida por Zhao *et al.*, (2023), como práctica con mayor potencial para la producción. En sus estudios se observó que la aplicación de PBZ a dosis de 100 mg L⁻¹ a una densidad de siembra de 2.85 × 10⁵ plantas ha⁻¹ incrementó el rendimiento de vainas de maní, redujo el porcentaje de acame, disminuyó la altura de las plantas y mejoró la capacidad fotosintética.

En el cultivo de papa, las aplicaciones foliares de paclobutrazol a dosis de 120 mg L⁻¹ en la fase previa a la tuberización, aumentaron el número de tubérculos y redujeron su tamaño sin disminuir la productividad, también disminuyó el crecimiento de las hojas. Estos resultados son interesantes ya que permiten la producción de tubérculos de tamaño mediano que satisfacen las demandas del mercado, especialmente cuando se trata de cultivares que generalmente producen tubérculos exageradamente grandes (Ellis *et al.*, 2020).

En otros estudios con papa, se observó que con la aplicación de paclobutrazol a los 28 días de la siembra, además de reducir la longitud del tallo y aumentar su diámetro, se observó un aumento significativo en la productividad (Mabvongwe *et al.*, 2016). Los autores indicaron que estos resultados se deben a que se distribuyeron más fotoasimilados para el crecimiento y desarrollo de los tubérculos, ya que el efecto de la aplicación redujo el crecimiento vegetativo, y la longitud del tallo en estos tratamientos.

Como inhibidor de la síntesis de GA, el paclobutrazol también es una gran referencia para inducir la floración en algunas especies de frutales. La eficiencia de los efectos del PBZ sobre la planta lo caracteriza como un producto esencial ampliamente utilizado en las regiones productoras de mango de países como Brasil, por ejemplo, donde permite una floración uniforme y un escalado de producción durante todo el año (Oliveira, 2020).



Fue demostrado por Oliveira *et al.* (2020), que con el uso de paclobutrazol para la inducción floral en mango cultivar Palmer se observó diferenciación floral en trece días posteriores, donde se formaron los ejes de las inflorescencias y se inició el desarrollo las primeras flores.

El efecto de diferentes dosis de paclobutrazol fue estudiado en mango irrigado cultivar Rosa de ocho años. Los resultados indicaron un aumento y anticipación de la floración y consecuentemente mayor productividad de frutos en plantas en las que se aplicó PBZ en drench, a una dosis de 0.80 g p.a.m⁻¹ (gramos por metro de dosel) (Cardoso *et al.*, 2007). Esta anticipación permite producir frutas fuera de temporada, lo que la hace interesante para el productor que busca una mayor rentabilidad, proporcionada por un mejor precio durante este período en el que hay mayor escasez de ofertas.

Por otro lado, con el uso de PBZ aplicado vía suelo en la dosis de 1.5 g por metro de diámetro de dosel en mango irrigado cultivar Tommy Atkins de 4 a 5 años, se obtuvo un porcentaje de floración del 88% (Coelho *et al.*, 2014). También Ferreira *et al.*, (2020) evaluando dosis, observo que 1.4 g a.i.m⁻¹ (gramos por metro lineal de dosel), fue la más eficiente en mango cultivar Tommy Atkins de ocho años, logrando mayor número de frutos y producción por planta cuando se aplicó mediante el sistema de riego.

Además de la dosis, se recalca la relevancia de tener en cuenta algunos factores importantes para la exitosa floración del cultivo, combinado con la alicación del producto, como los tipos de cultivares; edad y vigor de las plantas; nutrición mineral; manejo del riego y poda, ya que todos estos influyen en la respuesta de las plantas al uso de PBZ (Oliveira, 2020).

2.1- Efectos en la asimilación de nutrientes y en el transporte de asimilados fotosintéticos

En cuanto a los biorreguladores, las citoquininas tienen especial importancia en la absorción y transporte de nutrientes, ya que este biorregulador al ser promotor del crecimiento, estimula la división celular. Por lo tanto, ejerce un importante rol en el crecimiento radicular (Izhar *et al.*, 2022) y en la translocación de fotoasimilados (Yang *et al.*, 2016).

La interacción entre citoquininas y auxinas regula la dominancia apical, siendo las citoquininas importantes en la movilización de nutrientes, en el desarrollo floral y en la regulación del mecanismo fuente-sumidero para la distribución de fotoasimilados en la planta (Bertolin *et al.*, 2010), además de las evidencias de que su biosíntesis promueve la respuesta del córtex de la raíz en el proceso de nodulación en fabáceas (Reid *et al.*, 2017).

El tratamiento con la citoquinina CPPU (forclorfenurón, N-(2-cloro-4-piridinil)-N'-fenilurea) en inflorescencias de uva cultivar Thompsons seedless en etapas pre-antesis produjeron frutos más grandes, de mejor calidad, y con mayor firmeza en la cosecha (Jáuregui-Riquelme *et al.*, 2017; Rojas *et al.*, 2021); lo cual sugiere que las citoquininas ejercen un rol importante en el transporte y contenido de calcio, actuando en el metabolismo de la pared celular de frutos en desarrollo, lo cual fue correlacionado con ovarios mayores observados en la antesis y un mayor número de células en el mesocarpio externo (Rojas *et al.*, 2021).



Es realmente interesante el efecto que promueven las citoquininas en la relación fuente-sumidero en plantas cultivadas. El tejido tratado con citoquininas se comporta como un fuerte sumidero, es decir, canaliza los fotoasimilados en su dirección; como sucede en las raíces de plantas con alta demanda de nutrientes, en donde se estimula el crecimiento radicular al aumentar el nivel de citoquininas en las mismas (Bhatla y Lal, 2018). En concordancia, con la aplicación exógena de citoquininas, fue observado por Yang *et al.*, (2016) un efecto de distribución acelerado de fotoasimilados hacia el sumidero en el cultivo del trigo, comprobado por la alta acumulación de carbohidratos en el llenado del grano.

2.2- Incrementando la tolerancia a factores abióticos estresantes, y las defensas ante factores bióticos.

Recientemente Siddiqui *et al.*, (2020) estudiaron el papel del óxido nítrico al aplicar vía foliar 100 μM de nitroprusiato de sodio (SNP) como donador de ON en plántulas de tomate bajo estrés nutricional por deficiencia de azufre, reduciendo la concentración de especies reactivas de oxígeno (ROS) en hojas y raíces, lo que alivió la peroxidación lipídica.

En otro estudio reciente, Badem y Söylemez, (2022) evaluaron el efecto del óxido nítrico y el silicio sobre pimentones dulces cultivar Mert F1 sometidos a estrés salino.; observando que la aplicación de óxido nítrico aumentó la materia seca en tallos, hojas y raíces, además de un aumento de la biomasa y del peso de los frutos; demostrando posibles sus beneficios en el rendimiento comercializable de hortalizas de fruto bajo estrés salino.

En relación al déficit hídrico en tomate (*Solanum lycopersicum*), la aplicación foliar de ácido salicílico fue eficiente en reducir los efectos causados por el estrés, influyendo positivamente en los parámetros de asimilación de CO_2 , conductancia estomática, transpiración, eficiencia de carboxilación y producción de frutos de las plantas sometidas a déficit hídrico continuo (Aires *et al.*, 2022). En concordancia, recientemente Chen *et al.*, (2023) relataron que una excelente manera de promover la producción sostenible de cultivos agrícolas es el uso de ácido salicílico, el cual, en pequeñas dosis en el manejo de cultivos, aumenta la resistencia contra los impactos negativos del estrés abiótico en la planta.

Se observó que los tratamientos radiculares con aplicación exógena de glutamato indujeron resistencia a enfermedades sistémicas como el añublo del arroz, y los resultados proporcionaron evidencia de que esta inducción sistémica de la respuesta de defensa por aminoácidos depende parcialmente del ácido salicílico (Kadotani *et al.*, 2016).

También fue verificado por Li *et al.*, (2019) que la aplicación de ácido salicílico (AS) puede aumentar la resistencia de las plantas de tomate al TYLCV (Tomato yellow leaf curl virus), influyendo en la actividad de las enzimas e induciendo la expresión de genes que eliminan ROS. Los autores sugirieron que el AS puede utilizarse como factor inductor de resistencia en los métodos de control para prevenir y tratar la enfermedad.

La aplicación exógena de bajas concentraciones de ácido salicílico (1 y 3 mM) durante la postcosecha en melones cultivar Hami, mostro una mejor tolerancia de los frutos al daño por frío (Song *et al.*, 2022); indicando que esta fitohormona también está involucrada en la respuesta al



estrés por factores abióticos. En concordancia Zhang *et al.*, (2022), observaron efectos beneficiosos en la vida útil al reducir la pérdida de peso, evitando el deterioro y mejorando el brillo de frutos de fresa al evaluar la combinación de luz azul LED y ácido salicílico (2 mM) luego de la cosecha.

En el cultivo del arroz, Kantharaj *et al.*, (2022) evaluaron el efecto de la aplicación de ácido indol acético (AIA) como protector de semillas, frente a la hidroxiurea (HU), agente nocivo para el ADN vegetal al incrementar la producción de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) que se genera cuando existe algún estrés ambiental. Los resultados de este experimento mostraron que al aplicar HU (1 mM de) +AIA (0.3 mM) hubo una mejor tolerancia de las plántulas de arroz bajo estrés por hidroxiurea, reduciendo la acumulación de ROS.

Otros biorreguladores fueron aplicados junto a diferentes enmiendas de suelos frente al estrés salino en el cultivo de trigo. En un estudio realizado por Khedr *et al.*, (2022), al realizar la aplicación de la auxina ácido naftalenoacético en una dosis de 30 mg L^{-1} a los 30 y 45 días después de la siembra, fue observado un aumento de la actividad de la catalasa (CAT). Esta enzima está relacionada a la tolerancia al estrés en plantas mediante la eliminación de peróxido de hidrógeno (Barbosa *et al.*, 2014), el cual es una ROS con participación contribuyendo al estrés oxidativo en plantas proteínas, pudiendo afectar a componentes celulares importantes, lípidos de membrana e inducir la muerte celular programada (Habibi, 2014). Además, se encontró mayor rendimiento en grano, plantas más altas y un contenido de clorofila superior respecto al tratamiento control, indicando una buena respuesta del uso de esta auxina en la tolerancia a estrés.

CONCLUSIONES

La acción de los biorreguladores sobre el crecimiento y desarrollo de los cultivos puede generar un fenotipo con mejor desempeño agronómico e incrementar la productividad agrícola en general.

En el presente escenario de eventos climáticos adversos, que involucran factores estresantes para los cultivos agrícolas, la aplicación de biorreguladores representa una alternativa para que los productores potencialicen o mejoren el comportamiento de sus cultivos, mediante los diferentes efectos que estos ofrecen; con lo que consecuentemente podrán aumentar la productividad y los atributos de calidad de las cosechas.

La información sobre la acción de los biorreguladores en las plantas goza de una buena difusión; no obstante, existe necesidad de explorar aún más los efectos de diferentes biorreguladores en diferentes cultivos; lo que crea un interesante nicho de desarrollo para la investigación agrícola en términos de recomendaciones prácticas en el manejo agronómico de diferentes cultivos.



REFERENCIAS

- Agudelo-Morales, C., Lerma, T., Martínez, J., Palencia, M., y Combatt, E. (2021). Phytohormones and Plant Growth Regulators - A Review. *Journal of Science with Technological Applications*, 10, 27–65. <https://doi.org/10.34294/j.jsta.21.10.66>
- Ahmed, I. H. M., Ali, E. F., Gad, A. A., Bardisi, A., El-Tahan, A. M., Abd Esadek, O. A., El-Saadony, M. T., y Gendy, A. S. (2022). Impact of plant growth regulators spray on fruit quantity and quality of pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivars grown under plastic tunnels. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(4), 2291–2298. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.11.062>
- Aires, E. S., Ferraz, A. K. L., Carvalho, B. L., Teixeira, F. P., Putti, F. F., de Souza, E. P., Rodrigues, J. D., y Ono, E. O. (2022). Foliar Application of Salicylic Acid to Mitigate Water Stress in Tomato. *Plants*, 11(13), 1775. <https://doi.org/10.3390/plants11131775>
- Arif, T. (2015). Salicylic acid as a peeling agent: A comprehensive review. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology*, 8, 455–461. <https://doi.org/10.2147/CCID.S84765>
- Astier, J., Gross, I., y Durner, J. (2017). Nitric oxide production in plants: An update. *Journal of Experimental Botany*, 69(14), 3401–3411. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx420>
- Badem, A., y Söylemez, S. (2022). Effects of nitric oxide and silicon application on growth and productivity of pepper under salinity stress. *Journal of King Saud University - Science*, 34(6), 102189. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102189>
- Bagnazari, M., Saidi, M., Mohammadi, M., Khademi, O., y Nagaraja, G. (2018). Pre-harvest CaCl₂ and GA₃ treatments improve postharvest quality of green bell peppers (*Capsicum annuum* L.) during storage period. *Scientia Horticulturae*, 240(5), 258–267. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.043>
- Barbosa, M. R., Silva, M. M. de A., Willadino, L., Ulisses, C., y Camara, T. R. (2014). Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. *Ciencia Rural*, 44(3), 453–460. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014000300011>
- Bertolin, D. C., de Sa, M. E., Arf, O., Furlani, E. J., Colombo, A. de S., y de Carvalho, F. L. B. M. (2010). Increase of the productivity of the soybean crop with the application of biostimulants. *Bragantia*, 69(2), 339–347. <https://doi.org/10.1590/s0006-87052010000200011>
- Bhatla, S. C., y A. Lal, M. (2018). Plant Physiology, Development and Metabolism. In Springer (Ed.), *Plant Physiology, Development and Metabolism*. Springer Nature Singapore Pte Ltd. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2023-1_32
- Breiden, M., y Simon, R. (2016). QyA: How does peptide signaling direct plant development? *BMC Biology*, 14(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/s12915-016-0280-3>



- Burg, S. P., y Burg, E. A. (1966). Auxin-Induced Ethylene Formation: Its Relation to Flowering in the Pineapple. *Science*, 152(3726), 1269. <https://doi.org/10.1126/science.152.3726.1269>
- Cardoso, M. G. S., São José, A. R., Viana, A. E. S., Matsumoto, S. N., y Rebouças, T. N. H. (2007). Florescimento e frutificação de manga (Mangifera indica L.) Cv. Rosa promovidos por diferentes doses de paclobutrazol. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 29(2), 209–212. <https://doi.org/10.1590/s0100-29452007000200004>
- Castro, P., y Carvalho, M. (2019). Biorreguladores e bioestimulantes agrícolas. In *Produtor Rural* 71(1).
- Castro, P., Carvalho, M., Mendes, A. C., y Angelini, B. (2017). *Manual de estimulantes vegetais: nutrientes, biorreguladores, bioestimulantes, bioativadores, fosfitos e biofertilizantes na agricultura tropical* (A. Ceres, Ed.). Agronômica Ceres.
- Chaney, W. R. (2005). Growth retardants : A promising tool for managing urban trees. In *Purdue Extension*, 1–5.
- Chen, S., Wang, X., Zhang, L., Lin, S., Liu, D., Wang, Q., Cai, S., El-Tanbouly, R., Gan, L., Wu, H., y Li, Y. (2016). Identification and characterization of tomato gibberellin 2-oxidases (GA2oxs) and effects of fruit-specific SIGA2ox1 overexpression on fruit and seed growth and development. *Horticulture Research*, 3(10), 1–9. <https://doi.org/10.1038/hortres.2016.59>
- Chen, D., Shao, Q., Yin, L., Younis, A., y Zheng, B. (2019). Polyamine function in plants: Metabolism, regulation on development, and roles in abiotic stress responses. *Frontiers in Plant Science*, 9(1), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01945>
- Chen, H., Bullock, D. A., Alonso, J. M., y Stepanova, A. N. (2022). To fight or to grow: The balancing role of ethylene in plant abiotic stress responses. *Plants*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/plants11010033>
- Chen, S., Zhao, C. B., Ren, R. M., y Jiang, J. H. (2023). Salicylic acid had the potential to enhance tolerance in horticultural crops against abiotic stress. *Frontiers in Plant Science*, 14(2), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1141918>
- Coelho, E. F., Batista, L. dos S., y Alves, A. A. C. (2014a). Flowering and Fruit Set of Mango in Different Doses of Paclobutrazol (PBZ). *Enciclopedia Biosfera*, 10(19), 1117–1123.
- Corella, R. I. C., De Figueiredo, A. C., Arrieta, R. G., y Jacomino, A. P. (2020). Ácido giberélico y cera de carnauba prolongan la calidad del limón persa (Citrus latifolia Tanaka) durante el almacenamiento. *Revista Científica Semilla Del Este*, 1(1), 7.
- Cortes, J., Acero, J., Cortés, J., y Mora, R. (2019a). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *Nova*, 17(32), 109–129.



- Davies, P. J. (2010). The Plant Hormones: Their Nature, Occurrence, and Functions. In P. J. Davies (Ed.), *The Plant Hormones: Their Nature, Occurrence, and Functions*, 1–15. Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2686-7_1
- Desta, B., y Amare, G. (2021). Paclobutrazol as a plant growth regulator. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 8(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s40538-020-00199-z>
- Domingos, P., Prado, A. M., Wong, A., Gehring, C., y Feijo, J. A. (2015). Nitric oxide: A multitasked signaling gas in plants. *Molecular Plant*, 8(4), 506–520. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2014.12.010>
- El-Hady, N. A. A. A., ElSayed, A. I., El-saadany, S. S., Deligios, P. A., y Ledda, L. (2021). Exogenous application of foliar salicylic acid and propolis enhances antioxidant defenses and growth parameters in tomato plants. *Plants*, 10(1), 74. <https://doi.org/10.3390/plants10010074>
- Ellis, G. D., Knowles, L. O., y Knowles, N. R. (2020). Increasing the Production Efficiency of Potato with Plant Growth Retardants. *American Journal of Potato Research*, 97(1), 88–101. <https://doi.org/10.1007/s12230-019-09759-y>
- Farrokhi, N., Whitelegge, J. P., y Brusslan, J. A. (2008). Plant peptides and peptidomics. *Plant Biotechnology Journal*, 6(2), 105–134. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2007.00315.x>
- Ferreira, K. M., Simões, W. L., Mouco, M. A. do C., Silva, J. L. da, Silva, J. S. da, y Mesquita, A. C. (2020). Manejo da aplicação do paclobutrazol na produção e qualidade de mangas ‘Tommy Atkins.’ *Research, Society and Development*, 9(8), e348984894. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i8.4894> Manejo
- Godoy, F., Kühn, N., Muñoz, M., Marchandon, G., Gouthu, S., Deluc, L., Delrot, S., Lauvergeat, V., y Arce-Johnson, P. (2021). The role of auxin during early berry development in grapevine as revealed by transcript profiling from pollination to fruit set. *Horticulture Research*, 8(1), 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41438-021-00568-1>
- Graska, J., Fidler, J., Gietler, M., Prabucka, B., Nykiel, M., y Labudda, M. (2023). Nitric Oxide in Plant Functioning: Metabolism, Signaling, and Responses to Infestation with Ecdysozoa Parasites. *Biology*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/biology12070927>
- Grossmann, K. (2009). Auxin herbicides: Current status of mechanism and mode of action. *Pest Management Science*, 66(2), 113–120. <https://doi.org/10.1002/ps.1860>
- Habibi, G. (2014). Chapter 19 - Hydrogen Peroxide (H₂O₂) Generation, Scavenging and Signaling in Plants. In P. Ahmad (Ed.), *Oxidative Damage to Plants*, 557–584. Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-799963-0.00019-8>
- Hao, D., Sun, X., Ma, B., Zhang, J.-S., y Guo, H. (2017). Ethylene. In J. Li, C. Li, y S. M. B. T.-H. M. and S. in P. Smith (Eds.), *Hormone Metabolism and Signaling in Plants*, 203–241. Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811562-6.00006-2>



- Herman, D. J., Knowles, L. O., y Knowles, N. R. (2016). Differential Sensitivity of Genetically Related Potato Cultivars to Treatments Designed to Alter Apical Dominance, Tuber Set and Size Distribution. *American Journal of Potato Research*, 93(4), 331–349. <https://doi.org/10.1007/s12230-016-9507-7>
- Horton, R. F., y Fletcher, R. A. (1968). Transport of the Auxin, Picloram, Through Petioles of Bean and Coleus and Stem Sections of Pea. *Plant Physiology*, 43(12), 2045–2048. <https://doi.org/10.1104/pp.43.12.2045>
- Iqbal, N., Khan, N. A., Ferrante, A., Trivellini, A., Francini, A., y Khan, M. I. R. (2017). Ethylene role in plant growth, development and senescence: interaction with other phytohormones. *Frontiers in Plant Science*, 8(4), 1–19. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00475>
- Izhar, S., Rizvi, S., Sahab, A., y Afaq, U. (2022). *Plant growth regulators-Physiological role and agricultural uses*.
- Jáuregui-Riquelme, F., Kremer-Morales, M. S., Alcalde, J. A., y Pérez-Donoso, A. G. (2017). Pre-anthesis CPPU Treatment Modifies Quality and Susceptibility to Post-harvest Berry Cracking of *Vitis vinifera* cv. ‘Thompson Seedless.’ *Journal of Plant Growth Regulation*, 36(2), 413–423. <https://doi.org/10.1007/s00344-016-9649-3>
- Jiang, Z., Li, J., y Qu, L.-J. (2017). Auxins. In J. Li, C. Li, y S. M. B. T.-H. M. and S. in P. Smith (Eds.), *Hormone Metabolism and Signaling in Plants* (pp. 39–76). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811562-6.00002-5>
- Jomori, M. L., Kluge, R. A., Jacomino, A. P., y Tavares, S. (2003). Conservação refrigerada de lima ácida “tahiti”: uso de 1-metilciclopropeno, ácido giberélico e cera. *Rev. Bras. Frutic*, 25(3), 406–409.
- Kadotani, N., Akagi, A., Takatsuji, H., Miwa, T., y Igarashi, D. (2016). Exogenous proteinogenic amino acids induce systemic resistance in rice. *BMC Plant Biology*, 16(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0748-x>
- Kantharaj, V., Ramasamy, N. K., Yoon, Y. E., Cheong, M. S., Kim, Y. N., Lee, K. A., Kumar, V., Choe, H., Kim, S. Y., Chohra, H., y Lee, Y. B. (2022). Auxin-Glucose Conjugation Protects the Rice (*Oryza sativa* L.) Seedlings Against Hydroxyurea-Induced Phytotoxicity by Activating UDP-Glucosyltransferase Enzyme. *Frontiers in Plant Science*, 12(2), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.767044>
- Kapoor, R. T. (2023). *Chapter 13 - Role of polyamines in plants under abiotic stresses: regulation of biochemical interactions* (M. Ghorbanpour y M. B. T.-P. S. M. Adnan Shahid, Eds.; pp. 209–220). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89871-3.00023-9>
- Kaya, C., Ugurlar, F., Ashraf, M., y Ahmad, P. (2023). Salicylic acid interacts with other plant growth regulators and signal molecules in response to stressful environments in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 196(11), 431–443. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.02.006>



- Khedr, R. A., Sorour, S. G. R., Aboukhadrah, S. H., El Shafey, N. M., Abd Elsalam, H. E., El-Sharnouby, M. E., y El-Tahan, A. M. (2022). Alleviation of salinity stress effects on agro-physiological traits of wheat by auxin, glycine betaine, and soil additives. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(1), 534–540. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.09.027>
- Kim, J. S., Jeon, B. W., y Kim, J. (2021). Signaling Peptides Regulating Abiotic Stress Responses in Plants. *Frontiers in Plant Science*, 12(11), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.704490>
- Klahold, C. A., Guimarães, V. F., Echer, M. D. M., Klahold, A., Contiero, R. L., y Becker, A. (2006). Resposta da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) à ação de bioestimulante. *Acta Scientiarum. Agronomy*.
- Kumar, D., y Ohri, P. (2023). Say “NO” to plant stresses: Unravelling the role of nitric oxide under abiotic and biotic stress. *Nitric Oxide - Biology and Chemistry*, 130(11), 36–57. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2022.11.004>
- Lambers, H., Chapin III, F. S., y Pons, T. L. (2009). Plant physiological ecology. In *Choice Reviews Online* 46(8). <https://doi.org/10.5860/choice.46-4432>
- Lefevre, H., Bauters, L., y Gheysen, G. (2020b). Salicylic Acid Biosynthesis in Plants. *Frontiers in Plant Science*, 11(4), 1–7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00338>
- Li, J., Li, C., y Smith, S. (2017). *Hormone Metabolism and Signaling in Plants* (J. Li, C. Li, y S. M. B. T.-H. M. and S. in P. Smith, Eds.). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811562-6.01001-X>
- Li, T., Huang, Y., Xu, Z. S., Wang, F., y Xiong, A. S. (2019). Salicylic acid-induced differential resistance to the Tomato yellow leaf curl virus among resistant and susceptible tomato cultivars. *BMC Plant Biology*, 19(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s12870-019-1784-0>
- Lu, J., Li, J., Ju, H., Liu, X., Erb, M., Wang, X., y Lou, Y. (2014). Contrasting effects of ethylene biosynthesis on induced plant resistance against a chewing and a piercing-sucking herbivore in rice. *Molecular Plant*, 7(11), 1670–1682. <https://doi.org/10.1093/mp/ssu085>
- Maboko, M. M., y Du Plooy, C. P. (2015). Effect of plant growth regulators on growth, yield, and quality of sweet pepper plants grown hydroponically. *HortScience*, 50(3), 383–386. <https://doi.org/10.21273/hortsci.50.3.383>
- Mabvongwe, O., Manenji, B. T., Gwazane, M., y Chandiposha, M. (2016). The Effect of Paclobutrazol Application Time and Variety on Growth, Yield, and Quality of Potato (*Solanum tuberosum* L.). *Advances in Agriculture*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/1585463>
- Macedo, W. R., y Castro, P. R. de C. e. (2016). Biorreguladores, bioestimulantes e bioativadores na agricultura tropical. *Avanços Tecnológicos Aplicados à Pesquisa Na Produção Vegetal*, November 2015, 530.



- Maruri-López, I., Aviles-Baltazar, N. Y., Buchala, A., y Serrano, M. (2019). Intra and extracellular journey of the phytohormone salicylic acid. *Frontiers in Plant Science*, 10(4), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00423>
- Mishra, A. K., y Baek, K. H. (2021). Salicylic acid biosynthesis and metabolism: A divergent pathway for plants and bacteria. *Biomolecules*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/biom11050705>
- Mur, L. A. J., Mandon, J., Persijn, S., Cristescu, S. M., Moshkov, I. E., Novikova, G. V., Hall, M. A., Harren, F. J. M., Hebelstrup, K. H., y Gupta, K. J. (2013). Nitric oxide in plants: An assessment of the current state of knowledge. *AoB PLANTS*, 5, 1–17. <https://doi.org/10.1093/aobpla/pls052>
- Oliveira, G. P. (2020). Uso do paclobutrazol na produção de manga. *Research, Society and Development*, 9(7), e939975183. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.5183>
- Oliveira, M. B., Figueiredo, M. G. F., Pereira, M. C. T., Mouco, M. A. do C., Ribeiro, L. M., y Mercadante-Simões, M. O. (2020). Structural and cytological aspects of mango floral induction using paclobutrazol. *Scientia Horticulturae*, 262(11), 109057. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109057>
- Olsson, V., Joos, L., Zhu, S., Gevaert, K., Butenko, M. A., y De Smet, I. (2019). Look Closely, the Beautiful May Be Small: Precursor-Derived Peptides in Plants. *Annual Review of Plant Biology*, 70, 153–186. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042817-040413>
- Ordoñez Trejo, E. J., Brizzolara, S., Cardillo, V., Ruperti, B., Bonghi, C., y Tonutti, P. (2023). The impact of PGRs applied in the field on the postharvest behavior of fruit crops. *Scientia Horticulturae*, 318(1). <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112103>
- Pholoma, S. B. (2020). Is Ethylene the Ripening Hormone. *Journal of Experimental Agriculture International*, 42(5), 1–7. <https://doi.org/10.9734/jeai/2020/v42i530510>
- Pichardo-González, J. M., Guevara-Olvera, L., Couoh-Uicab, Y. L., González-Cruz, L., Bernardino-Nicanor, A., Medina, H. R., González-Chavira, M. M., y Acosta-García, G. (2018). Efecto de las giberelinas en el rendimiento de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(5), 925–934. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i5.1502>
- Porat, R., Feng, X., Huberman, M., Galili, D., Gore, R., y Goldschmidt, E. (2001). Gibberellic acid slows postharvest degreening of “Oroblanco” citrus fruits. *HortScience*, 36(5), 937–940.
- Qadir, A., Hewett, E. W., Long, P. G., y Dille, D. R. (2011). A non-ACC pathway for ethylene biosynthesis in *Botrytis cinerea*. *Postharvest Biology and Technology*, 62(3), 314–318. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.06.003>
- Rademacher, W. (1997). Bioregulation in crop plants with inhibitors of gibberellin biosynthesis. *Proceedings Plant Growth Regulation Society Of America Annual Meeting*, 24, 27–31.



- Rademacher, W. (2015). Plant Growth Regulators: Backgrounds and Uses in Plant Production. *Journal of Plant Growth Regulation*, 34(4), 845–872. <https://doi.org/10.1007/s00344-015-9541-6>
- Raven, P. H. (2001). *Biología vegetal*. (R. F. Evert, S. E. Eichhorn, A. P. P. Costa, y A. Salatino, Eds.; 6th ed.). Guanabara Koogan.
- Reid, D., Nadzieja, M., Novák, O., Heckmann, A. B., Sandal, N., y Stougaard, J. (2017). Cytokinin biosynthesis promotes cortical cell responses during nodule development. *Plant Physiology*, 175(1), 361–375. <https://doi.org/10.1104/pp.17.00832>
- Rojas, B., Suárez-Vega, F., Saez-Aguayo, S., Olmedo, P., Zepeda, B., Delgado-Rioseco, J., Defilippi, B. G., Pedreschi, R., Meneses, C., Pérez-Donoso, A. G., y Campos-Vargas, R. (2021a). Pre-anthesis cytokinin applications increase table grape berry firmness by modulating cell wall polysaccharides. *Plants*, 10(12), 1–19. <https://doi.org/10.3390/plants10122642>
- Sampaio, E. (2010). *Fisiología vegetal teoría e experimentos*. Editora UEPG.
- Serrani, J. C., Sanjuán, R., Ruiz-Rivero, O., Fos, M., y García-Martínez, J. L. (2007). Gibberellin regulation of fruit set and growth in tomato. *Plant Physiology*, 145(1), 246–257. <https://doi.org/10.1104/pp.107.098335>
- Siddiqui, M. H., Alamri, S., Alsubaie, Q. D., Ali, H. M., Khan, M. N., Al-Ghamdi, A., Ibrahim, A. A., y Alsadon, A. (2020). Exogenous nitric oxide alleviates sulfur deficiency-induced oxidative damage in tomato seedlings. *Nitric Oxide - Biology and Chemistry*, 94(7), 95–107. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2019.11.002>
- Simontacchi, M., Galatro, A., Ramos-Artuso, F., y Santa-María, G. E. (2015). Plant survival in a changing environment: The role of nitric oxide in plant responses to abiotic stress. *Frontiers in Plant Science*, 6(11), 1–19. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00977>
- Singh, S., y Singh, T. (2022). Effect of Gibberellic Acid and Naphthalene Acetic Acid on Growth, Yield and Quality of Chilli (*Capsicum annum* L.). *International Journal of Environment and Climate Change*, 8(2), 1239–1244. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2022/v12i1131100>
- Smith, S. M., Li, C., y Li, J. (2017). Hormone function in plants. In J. Li, C. Li, y S. M. B. T.-H. M. and S. in P. Smith (Eds.), *Hormone Metabolism and Signaling in Plants* (1–38). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811562-6.00001-3>
- Song, X.-F., Ren, S.-C., y Liu, C.-M. (2017). Peptide hormones. In J. Li, C. Li, y S. M. B. T.-H. M. and S. in P. Smith (Eds.), *Hormone Metabolism and Signaling in Plants* (pp. 361–404). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811562-6.00011-6>
- Song, W., Zhang, P., Zhang, H., Xue, Y., Zhang, Q., Ning, M., Zhao, X., Cai, W., Liu, X., Zhang, X., Tang, F., y Shan, C. (2022). A low concentration of exogenous salicylic acid enhances cold tolerance in Hami melons (*Cucumis melo* var. *saccharinus*) by modulating salicylic



- acid-response CmGST genes. *Postharvest Biology and Technology*, 193(7), 112034. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.112034>
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., y Murphy, A. (2017). *Fisiología e desenvolvimento vegetal*. (L. Taiz, E. Zeiger, I. M. Moller, A. Murphy, A. A. Mastroberti, y P. L. de Oliveira, Eds.). Artmed Editora LTDA.
- Tang, J., Li, Y., Zhang, L., Mu, J., Jiang, Y., Fu, H., Zhang, Y., Cui, H., Yu, X., y Ye, Z. (2023). Biosynthetic Pathways and Functions of Indole-3-Acetic Acid in Microorganisms. In *Microorganisms* (Vol. 11, Issue 8). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/microorganisms11082077>
- Ullah, C., Chen, Y. H., Ortega, M. A., y Tsai, C. J. (2023). The diversity of salicylic acid biosynthesis and defense signaling in plants: Knowledge gaps and future opportunities. *Current Opinion in Plant Biology*, 72, 102349. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2023.102349>
- Van de Poel, B., y de Vries, J. (2023). Evolution of ethylene as an abiotic stress hormone in streptophytes. *Environmental and Experimental Botany*, 214(7), 105456. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2023.105456>
- Walters, D. R. (2003). Polyamines and plant disease. *Phytochemistry*, 64(1), 97–107. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(03\)00329-7](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(03)00329-7)
- Wang, K. L. C., Li, H., y Ecker, J. R. (2002). Ethylene biosynthesis and signaling networks. *Plant Cell*, 14(SUPPL.), 131–151. <https://doi.org/10.1105/tpc.001768>
- Yang, D., Li, Y., Shi, Y., Cui, Z., Luo, Y., Zheng, M., Chen, J., Li, Y., Yin, Y., y Wang, Z. (2016). Exogenous Cytokinins Increase Grain Yield of Winter Wheat Cultivars by Improving Stay-Green Characteristics under Heat Stress. *PLoS ONE*, 11(5), 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155437>
- Zhang, S., Gu, X., Shao, J., Hu, Z., Yang, W., Wang, L., Su, H., y Zhu, L. (2021). Auxin Metabolism Is Involved in Fruit Set and Early Fruit Development in the Parthenocarpic Tomato “R35-P.” *Frontiers in Plant Science*, 12(8), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.671713>
- Zhang, Y., Li, S., Deng, M., Gui, R., Liu, Y., Chen, X., Lin, Y., Li, M., Wang, Y., He, W., Chen, Q., Zhang, Y., Luo, Y., Wang, X., y Tang, H. (2022). Blue light combined with salicylic acid treatment maintained the postharvest quality of strawberry fruit during refrigerated storage. *Food Chemistry: X*, 15(6), 100384. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100384>
- Zhang, Y. M., Ye, D. X., Liu, Y., Zhang, X. Y., Zhou, Y. L., Zhang, L., y Yang, X. L. (2023). Peptides, new tools for plant protection in eco-agriculture. *Advanced Agrochem*, 2(1), 58–78. <https://doi.org/10.1016/j.aac.2023.01.003>
- Zhao, J., Lai, H., Bi, C., Zhao, M., Liu, Y., Li, X., y Yang, D. (2023). Effects of paclobutrazol application on plant architecture, lodging resistance, photosynthetic characteristics, and



peanut yield at different single-seed precise sowing densities. *Crop Journal*, 11(1), 301–310. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2022.05.012>

Zhao, Y. (2012). Auxin biosynthesis: A simple two-step pathway converts tryptophan to indole-3-Acetic acid in plants. *Molecular Plant*, 5(2), 334–338. <https://doi.org/10.1093/mp/ssr104>

Zulfiqar, F., y Ashraf, M. (2020). Bioregulators : unlocking their potential role in regulation of the plant oxidative defense system. In *Plant Molecular Biology* 0123456789). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s11103-020-01077-w>

**MALEZAS-RESISTENTES A HERBICIDAS: ¿ CÓMO ESTO OCURRE?****HERBICIDE-RESISTANT WEEDS: ¿HOW DOES THIS OCCUR?**

*Dustin Moreno-Serrano. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Panamá.

dustin.moreno@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0001-9134-2222>

*Autor de Correspondencia: dustin.moreno@up.ac.pa

Recibido: 07/04/2025

Aceptado: 05/05/2025

DOI <https://doi.org/10.48204/j.ia.v7n2.a7496>

RESUMEN. Desde su introducción a mediados de la década de 1920, los herbicidas se han convertido en una herramienta fundamental para el control de malezas en los sistemas de producción agrícola modernos. Sin embargo, el uso continuo de herbicidas con el mismo sitio de acción ha promovido el desarrollo y la proliferación de malezas resistentes en los campos de cultivo. En años recientes, los esfuerzos por comprender los mecanismos de resistencia a nivel molecular se han convertido en un componente clave para prevenir la evolución de la resistencia. Tanto los mecanismos de resistencia por alteración del sitio de acción (TSR) como aquellos no relacionados con el sitio de acción (NTSR) se han identificado como las formas más comunes de resistencia a herbicidas. El TSR suele estar caracterizado por mutaciones que afectan la proteína blanco del herbicida, lo que limita su acceso al sitio de acción. La mayoría de estas mutaciones ocurren en el dominio catalítico o en sus proximidades. Además, el aumento en el número de copias del gen que codifica la proteína blanca puede estar involucrado dentro de los mecanismos de resistencia TSR. Por otro lado, NTSR abarca una gama más amplia de mecanismos de resistencia como degradación metabólica, la reducción en la absorción y translocación del herbicida. Usualmente en los mecanismos NTSR suelen estar involucradas múltiples familias de genes, que incluyen, pero no se limitan a citocromo P450, glutatión S-transferasas, entre otros. Ambos mecanismos, TSR y NTSR pueden coexistir en una misma planta, como resultado de un proceso evolutivo que conduce a la ineficacia de uno o varios herbicidas con diferentes modos de acción.

PALABRAS CLAVE: Citocromo P450, glutatión S-transferasas, mecanismos de resistencia, NTSR, reducida absorción - translocación, TSR.

ABSTRACT. Since their introduction in the mid-1920s, herbicides have become a fundamental tool for weed control in modern agricultural production systems. However, the continued use of herbicides with the same site of action has promoted the development and proliferation of resistant weeds in crop fields. In recent years, efforts to understand resistance mechanisms at the molecular level have become a key component in preventing the evolution of resistance. Both target-site resistance (TSR) and nontarget-site resistance (NTSR) mechanisms have been identified as the most common herbicide resistance mechanisms. TSR is usually characterized by mutations that affect the herbicide's target protein, limiting its access to the site of action. Most of these mutations occur either in or near the catalytic domain. Furthermore, increased copy numbers of the gene encoding the target protein and also involved in TSR resistance mechanisms. On the other hand, NTSR encompasses a broad range of resistance mechanisms, such as herbicide-enhanced metabolism, reduced uptake, and translocation. NTSR mechanisms typically involve multiple gene families, including, but not limited to, cytochrome P450, glutathione S-transferases, and others. Both TSR and NTSR mechanisms can coexist in the same plant, resulting in an evolutionary process that leads to the ineffectiveness of one or more herbicides with different modes of action.

KEYWORDS: Cytochrome P450, glutathione S-transferases, resistance mechanisms, NTSR, reduced translocation and uptake, TSR.



INTRODUCCIÓN

En su gran mayoría, las plantas no deseadas que se encuentran en campos de cultivos agrícolas se consideran malezas, ya que interfieren y afectan un cultivo de interés. Esto ocurre no solo dificultando las labores de siembra y cosecha, sino que también compitiendo por recursos esenciales como agua, nutrientes, espacio y luz. La continua presión de malezas en la agricultura moderna conllevó la introducción de herbicidas, permitiendo a los agricultores obtener un control efectivo y económico y logrando así obtener altos rendimientos bajo diferentes escenarios. La introducción de los herbicidas revolucionó notablemente la agricultura global, al igual que el manejo de malezas por los últimos 70 años (Oerke, 2006). Sin embargo, la introducción de los herbicidas impulsó una fuerte dependencia por los agroquímicos como parte fundamental en los sistemas agrícolas, dando paso a la idea de que el control químico es la alternativa más eficaz para controlar y reducir las poblaciones de malezas.

Actualmente, el uso de herbicidas se ha convertido en la principal herramienta utilizada por los agricultores en el control de malezas. No obstante, es evidente que el incremento en el uso de herbicidas ha conllevado la constante presión de selección en plantas y, por lo tanto, la evolución y desarrollo de resistencia no solo a uno, sino a múltiples herbicidas con diferentes modos y mecanismos de acción. En la actualidad existen un gran número de clases químicas de herbicidas, las cuales actúan en más de 25 sitios de acción específicos dentro de la célula vegetal (Gaines *et al.*, 2020). Recientemente, en el año 2024, el Comité de Acción de Resistencia a los Herbicidas (HRAC, por sus siglas en inglés) publicó la nueva clasificación de herbicidas, con el objetivo de proveer una fuente confiable de información que pueda ser empleada en el manejo de malezas, y por lo tanto retrasar la evolución de resistencia.

La resistencia a herbicidas es uno de los desafíos más significativos en la agricultura global, impactando directamente la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Este fenómeno ocurre cuando una población de malezas es sometida constantemente a la aplicación de herbicidas, y como resultado, evoluciona mecanismos que le permiten sobrevivir a dosis que antes eran letales. Usualmente, esto sucede donde no existe una rotación eficiente de herbicidas con diferentes sitios de acción, lo que favorece el desarrollo y la proliferación de biotipos resistentes. Estos mecanismos de resistencia se agrupan en dos grandes categorías: resistencia por alteración del sitio de acción (TSR, por sus siglas en inglés), que implica cambios en la proteína o enzima objetivo, impidiendo su acción al limitar la capacidad de unión del herbicida al sitio de acción; y la resistencia no relacionada con el sitio de acción (NTSR), que abarca un grupo más complejos de mecanismos como rápida detoxificación o metabolismo mejorado, reducción de absorción o translocación (Bo *et al.*, 2017).

Ante esta problemática, resulta esencial comprender cómo ocurre la resistencia a herbicidas, ya que este conocimiento es fundamental para crear estrategias de manejo eficiente y sostenibles de malezas. Por lo tanto, la presente revisión de literatura busca brindar una actualización sobre los mecanismos de resistencia más comunes reportados en malezas.



MATERIALES Y MÉTODOS

La revisión se realizó por medio de una búsqueda intensiva en literatura existente, de las cuales se extrajeron aspectos importantes sobre mecanismos de resistencia a herbicidas en diversas especies de malezas y su impacto en la agricultura.

La metodología de selección de la información incluyó: exploración, selección, análisis criterioso e interpretación de los datos de literatura relevante. Se priorizaron artículos experimentales que permitirán identificar los mecanismos de resistencia y sus implicaciones en el manejo de malezas en cultivos agrícolas.

Los aportes de la presente revisión brindan una comprensión integral sobre los principales mecanismos de resistencia a herbicidas en malezas reportados, así como de sus implicaciones en el manejo agronómico. Este aporte busca contribuir al desarrollo de estrategias eficientes en el manejo de malezas perniciosas, y a su vez, prolongar la evolución de resistencia, lo cual representa, sin lugar a duda uno de los desafíos para la agricultura a nivel global.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evolución de Resistencia en Malezas

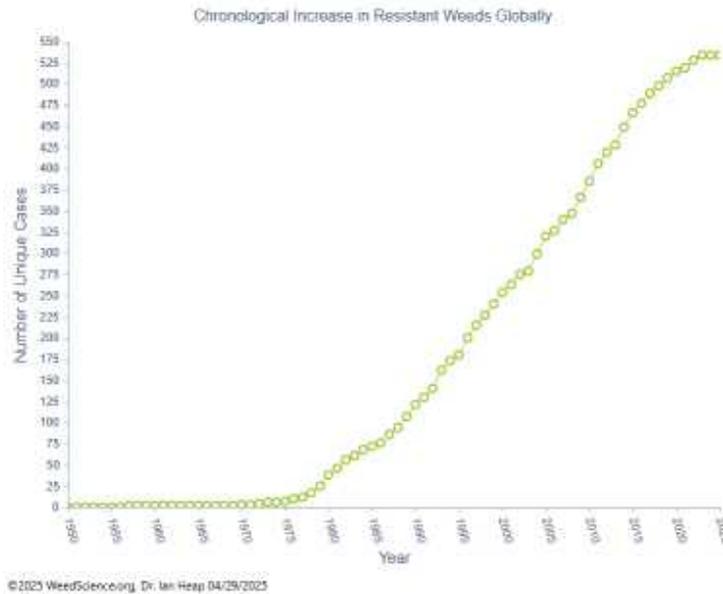
Una maleza resistente es aquella planta que, mediante selección natural, ha desarrollado uno o varios mecanismos genéticos o fisiológicos que le permiten sobrevivir a la aplicación de un herbicida que, en condiciones normales, controlaría eficazmente individuos susceptibles de la misma especie. Cuando se aplica un herbicida, se crea una constante presión de selección en la que los biotipos susceptibles mueren, pero los biotipos tolerantes o resistentes sobreviven, se reproducen y transmiten sus genes de resistencia a su descendencia (Gaines *et al.*, 2020). De esta forma, aumenta el porcentaje de resistencia en una población y al mismo tiempo hay una disminución de la susceptibilidad. Por lo tanto, si existe constante presión de selección, es muy probable que la frecuencia de individuos resistentes aumente con el tiempo, lo que dificulta el control efectivo de malezas (Damalas y Koutroubas, 2024).

Desde mediados de la década de 1920, los herbicidas se han convertido en la principal herramienta en el control de malezas en sistemas de producción agrícola (Duke, 2012). Sin embargo, el uso constante y muchas veces excesivo de herbicidas ha favorecido la aparición y propagación de malezas resistentes. Actualmente existen 534 casos únicos de resistencia reportados en diversas especies de malezas a nivel mundial, algunas de las cuales han desarrollado mecanismos que les permiten resistir a herbicidas con más de cuatro sitios de acción diferentes (Figura 1) (Heap, 2025). Por otro lado, el incremento de casos de resistencia en diferentes especies de malezas a grupos de herbicidas específicos como (inhibidores del acetolactato sintasa (grupo 2), inhibidores de la fotosíntesis en PSII (grupo 5), acetil coenzima A carboxilasa (grupo 1) e inhibidores de EPSPS (grupo 9) han aumentado con 176, 87, 51 y 60 respectivamente (Figura 2) (Heap, 2025). Esta situación es preocupante debido a la complejidad, elevado costo y largo tiempo requerido para desarrollar un nuevo herbicida con un nuevo sitio de acción diferente.



Figura 1

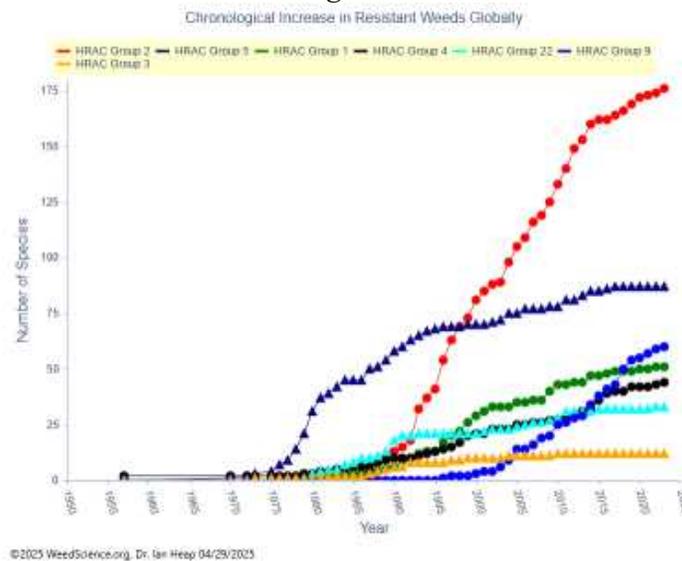
Aumento cronológico de casos únicos de resistencia en malezas resistentes a herbicidas en el mundo.



Fuente. Tomado de www.weedscience.org.

Figura 2

Aumento de especies de malezas resistentes según sitios de acción herbicida.



Fuente. Tomado de www.weedscience.org.

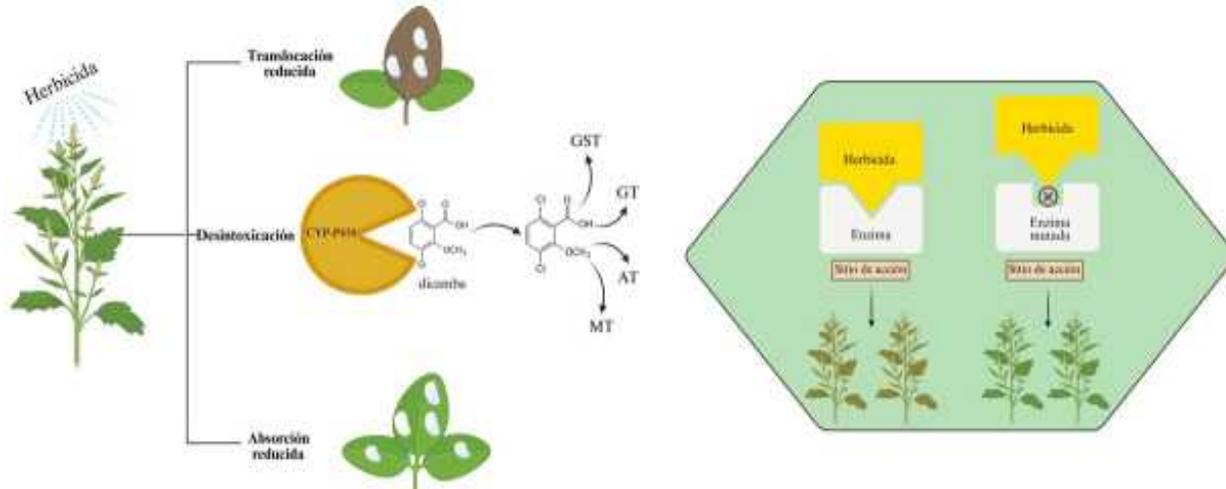
La evolución de resistencia a herbicidas en malezas usualmente es gobernada por mecanismos genéticos heredables que se expresan como resultado del uso repetido de herbicidas con el mismo modo de acción. Resistencia por alteración del sitio de acción (TSR) y resistencia no relacionada con el sitio de acción (NTSR) son las dos vías en la que las malezas envuelven resistencia. Sin



embargo, es importante resaltar que los mecanismos NTSR son más complejos de elucidar y también los más importantes en cuanto a manejo se refiere. Esto se debe a que generalmente están involucrados en resistencia a múltiples herbicidas con diferentes sitios de acción, lo que resulta en la ineficacia de herbicidas que incluso no habían sido usados anteriormente (Figura 3).

Figura 3

Representación esquemática de los mecanismos de resistencia a herbicidas.



Nota. Izquierda: NTSR (resistencia no relacionada al sitio de acción). Las plantas pueden desarrollar resistencia a herbicidas al reducir su translocación, detoxificación mediante el citocromo (CYP450) (fase I) y conjugación con moléculas como glutatión-S-transferasas (GST), glucosil transferasas (GT), aminotransferasas (AT) y malonyl transferasas (MT) (fase II). Derecha: TSR (resistencia relacionada al sitio de acción). Las plantas pueden desarrollar mutaciones puntuales en el gen que codifica la enzima clave, impidiendo la unión del herbicida. Figuras creadas con BioRender.

Resistencia por alteración del sitio de acción (Target Site Resistance, TSR)

De acuerdo con nuestra revisión de literatura, en la actualidad se identifican tres tipos principales de resistencia por alteración del sitio de acción: delección de codones, sobreexpresión del gen del sitio de acción y mutación en el sitio de acción del herbicida (Patzold *et al.*, 2006; Gaines *et al.*, 2010; Carvalho-Moore *et al.*, 2022; Qi *et al.*, 2025; Wang *et al.*, 2025).

Delección de codón:

En *Amaranthus palmeri*, se ha confirmado que la eliminación completa del codón correspondiente a la glicina en la posición 210 (Δ G210-PPO2) confiere resistencia a herbicidas que inhiben la enzima protoporfirinógeno oxidasa (PPO) (Patzoldt *et al.*, 2006; Carvalho-Moore *et al.*, 2022). Además, se validó que la expresión de Δ G210 en el gen PPO2 de *A. palmeri*, confirió una notable tolerancia a los herbicidas fomesafen y saflufenacil. Esta tolerancia fue demostrada en plantas transgénicas de arroz (*Oryza sativa*) y *Arabidopsis thaliana*, las cuales expresaron la mutación Δ G210-PPO2 (Carvalho-Moore *et al.*, 2022). Estos resultados sugieren que la mutación Δ G210-PPO2 podría introducirse en cultivos para el desarrollo de plantas transgénicas con un grado alto



de tolerancia o resistencia a herbicida del grupo de los PPO, lo cual sería de gran utilidad en el manejo de malezas, reduciendo la dependencia por los herbicidas no selectivos.

Sobreexpresión del gen del sitio de acción:

En algunos casos, la resistencia puede darse mediante una sobreexpresión del gen del sitio de acción, lo que conduce a una producción elevada de la proteína objetivo. Esto causa que una dosis letal de herbicida no sea suficiente para inhibir completamente la actividad de la enzima, permitiendo a la planta sobrevivir. El incremento en el número de copias del gen del sitio de acción, en el genoma, puede deberse a cambios en los mecanismos regulatorios que controlan su transcripción (Gaines *et al.*, 2020). Panozzo *et al.*, 2021 describieron el mecanismo de resistencia de dos especies de malezas comúnmente encontradas en campos de arroz en Italia, *Echinochloa cruz-galli* (L.) y *Echinochloa oryzicola* a herbicidas inhibidores del acetolactato sintasa (ALS). Los autores señalan que ambas especies contenían diferentes mutaciones en Ala122Asn y Trp574Leu para *E. cruz-galli* y *E. oryzicola* respectivamente. Sin embargo, ambas mutaciones se localizaron en el gen (ALS1), para ambas especies, el cual fue significativamente sobreexpresado en comparación a las otras copias del gen ALS2 y ALS3. Estos resultados indican que los altos niveles de resistencia en ambas especies no solamente pueden deberse a mutaciones puntuales en genes específicos, sino también la sobreexpresión de dichos genes (Torra y Alcántara-De la Cruz, 2022).

Mutaciones puntuales:

Estas representan uno de los mecanismos más comunes de resistencia a herbicidas. Los primeros casos documentados de resistencia por mutaciones puntuales se registraron en malezas tratadas con herbicidas inhibidores de ALS y ACCase, donde cambios en una sola base del ADN alteraban la proteína, impidiendo la unión del herbicida. Sin embargo, en este caso, el enfoque se centrará en los herbicidas hormonales, cuyo modo de acción complejo ha dificultado la caracterización de mutaciones. En Australia, *Sisymbrium orientale*, se validó que una mutación en el co-receptor AUX/IAA34 (Leu175Pro) confiere altos niveles de resistencia a 2,4-D, ácido 2-metil-4-clorofenoxiacético (MCPA) y fluroxipir (Qi *et al.*, 2025). Un caso similar fue reportado en la maleza de difícil control *Kochia scoparia*, donde se identificó una sustitución (GWPPV→NWPPV) en la región altamente conservada del degrón en el co-receptor AUX/IAA16, lo que conlleva al desarrollo de resistencia a dicamba, 2,4-D y fluroxipir (LeClere *et al.*, 2018). Hasta el momento, en el grupo de los herbicidas hormonales, el degrón parece ser una parte fundamental en la estabilidad y percepción del herbicida en la planta. Por lo tanto, mutaciones en esta sección del co-receptor, conlleva al desarrollo de resistencia e insensibilidad de la planta a la hormona (Moreno-Serrano *et al.*, 2024).

Resistencia no relacionada con el sitio de acción (Non Target Site Resistance, NTSR)

Dentro de los mecanismos NTSR, la mayoría de los artículos se enfocan en la rápida detoxificación del herbicida o en un metabolismo mejorado. Este mecanismo involucra la acción de diversas familias de enzimas y rutas metabólicas de degradación que pueden inactivar la acción fitotóxica



del herbicida. A continuación, se presentarán dos contribuciones relacionadas con la familia de enzimas citocromo P450 (CYP450) y una con las glutatión S-transferasas (GST).

Citocromo P450:

En poblaciones de *A. palmeri* resistentes al inhibidor del hidroxifenil piruvato dioxigenasa (HPPD) tembotrion, se identificó que el incremento en el número de copias del gen CYP72A1182 permitió una detoxificación rápida de tembotrion a hidroxitembotrion, el cual mostró no ser fitotóxico (Rigon *et al.*, 2025). Además, se hipotetizó que el incremento de la expresión génica de CYP72A1182 puede estar regulado tanto por elementos del *Cis* en la región promotora del gen como regulación de los factores de transcripción. Por otra parte, un caso similar fue reportado en *Lolium rigidum* donde el incremento de copias del gen CYP81A10v7 confirió alta y moderada resistencia a múltiples herbicidas de diversos modos de acción. Estos incluyen herbicidas no solo del grupo de los inhibidores del acetyl-coenzima A carboxilasa (ACCase)-(diclofop-metil y tralcoxidim), acetolactato sintasa (ALS)-(clorsulfurón) y hidroxifenil piruvato dioxigenasa (HPPD)-(tembotrion) sino también a los inhibidores del fotosistema II (PSII)-(atrazina y clorotolurón) e inhibidores de la tubulina (MA)-(trifluralina) (Han *et al.*, 2021).

Glutatión-S-transferasas:

Después de las enzimas CYP, el segundo grupo más importante corresponde a las GST, las cuales están involucradas en la fase II de detoxificación de xenobióticos. Este grupo de enzimas tienen la capacidad de conjugar glutatión, con el herbicida o con productos intermedios de la fase I mediada por CYP, transformándolos en compuestos no fitotóxicos, lo que facilita su transporte y compartimentalización dentro de la célula vegetal (Gaines *et al.*, 2020). Actualmente, se ha identificado que las glutatión S-transferasas (GST) más abundantes y asociadas a la resistencia a herbicidas pertenecen a las clases *tau* (U) y *phi* (F), las cuales están presentes tanto en monocotiledóneas como en dicotiledóneas. En *Echinochloa glabrescens*, se reportó recientemente, por primera vez, resistencia a inhibidores de la acetyl-coenzima A carboxilasa (ACCase), específicamente al herbicida metamifop, mediante un mecanismo de rápida detoxificación mediado por la acción de glutatión S-transferasas (GST) (Li *et al.*, 2023). Mediante análisis por LC-MS/MS, los autores identificaron que el metamifop podía ser rápidamente degradado a metabolitos no fitotóxicos, como N-(2-fluorofenil)-2-(4-hidroxifenoxi)-N-metilpropionamida y 4-(6-clorobenzo[d]oxazol-2-iloxi)fenol.

Otros mecanismos relacionados NTSR:

Algunos mecanismos de resistencia no relacionados con el sitio de acción (NTSR) y que son poco comunes incluyen procesos como la reducida translocación y absorción. En *Plantago lanceolata* fue validado que, la reducida translocación era el principal mecanismo de resistencia contra el herbicida inhibidor del fotosistema I (PSI)-(paraquat) (Ndou *et al.*, 2024). Sin embargo, en *Conyza bonariensis* se demostró que el mecanismo de resistencia al herbicida inhibidor del (EPSPS)-glifosato era reducida translocación al sitio de acción (Palma-Bautista *et al.*, 2021). Los autores determinaron, mediante el uso de glifosato marcado con ¹⁴C, que la absorción en plantas sensibles fue superior en más de un 25 % en comparación con las plantas resistentes.



CONCLUSIONES

Los mecanismos de resistencia a herbicidas tanto aquellos que involucran directamente el sitio de acción (TSR) como los que no involucran directamente el sitio de acción (NTSR), son fundamentales para comprender como las plantas desarrollan diversos mecanismos que les permiten sobrevivir a agentes xenobióticos como los herbicidas.

En el contexto actual, donde el uso de herbicidas sigue siendo fundamental, es crucial comprender los complejos mecanismos de resistencia para desarrollar herramientas de diagnóstico rápido. Esto permitiría la implementación temprana de estrategias en el manejo integrado de malezas y ayudaría a retrasar la evolución de la resistencia, garantizando la sostenibilidad de los sistemas agrícolas a largo plazo.

REFERENCIAS

- Bo, A. B., Won, O. J., Sin, H. T., Lee, J. J. y Park, K. W. (2017). Mechanisms of herbicide resistance in weeds. *Korean Journal of Agricultural Science*, 44(1), 1-15.
- Carvalho-Moore, P., Rangani, G., Langaro, A. C., Srivastava, V., Porri, A., Bowe, S. J., Lerchl, J. y Roma-Burgos, N. (2022). Field-evolved $\Delta G210\text{-ppo2}$ from *Palmer Amaranth* confers pre-emergence tolerance to PPO-inhibitors in Rice and Arabidopsis. *Genes*, 13(6), 1044.
- Damalas, C. A. y Koutroubas, S. D. (2024). Herbicide resistance evolution, fitness cost, and the fear of the superweeds. *Plant Science*, 339, 111934.
- Duke, S. O. (2012). Why have no new herbicide modes of action appeared in recent years?. *Pest management science*, 68(4), 505-512.
- Gaines, T. A., Duke, S. O., Morran, S., Rigon, C. A., Tranel, P. J., Küpper, A. y Dayan, F. E. (2020). Mechanisms of evolved herbicide resistance. *Journal of Biological Chemistry*, 295(30), 10307-10330.
- Gaines, T. A., Zhang, W., Wang, D., Bukun, B., Chisholm, S. T., Shaner, D. L., Nissen, S., Patzoldt, W., Tranel, P., Culpepper, S., Grey, T., Webster, T., Vencill, W., Sammons, D., Jian, J., Preston, C. y Westra, P. (2010). Gene amplification confers glyphosate resistance in *Amaranthus palmeri*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(3), 1029-1034.
- Rigon, C. A., Küpper, A., Sparks, C., Montgomery, J., Peter, F., Schepp, S., Perez-Jones, A., Tranel, P., Beffa, R., Dayan, F. E. y Gaines, T. A. (2025). Function of Cytochrome P450 CYP72A1182 in Metabolic Herbicide Resistance Evolution in *Amaranthus palmeri* Populations. *Journal of Experimental Botany*, eraf114.



- Han, H., Yu, Q., Beffa, R., González, S., Maiwald, F., Wang, J. y Powles, S. B. (2021). Cytochrome P450 CYP81A10v7 in *Lolium rigidum* confers metabolic resistance to herbicides across at least five modes of action. *The Plant Journal*, 105(1), 79-92.
- Heap, I. (2024). International herbicide-resistance weed database. <https://www.weedscience.org/Home.aspx> Accesado en mayo 2025.
- LeClere, S., Wu, C., Westra, P. y Sammons, R. D. (2018). Cross-resistance to dicamba, 2, 4-D, and fluroxypyr in *Kochia scoparia* is endowed by a mutation in an AUX/IAA gene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(13), E2911-E2920.
- Li, Q., Zhao, N., Jiang, M., Wang, M., Zhang, J., Cao, H. y Liao, M. (2023). Metamifop resistance in *Echinochloa glabrescens* via glutathione S-transferases-involved enhanced metabolism. *Pest Management Science*, 79(8), 2725-2736.
- Moreno-Serrano, D., Gaines, T. A. y Dayan, F. E. (2024). Current Status of Auxin-Mimic Herbicides. *Outlooks on Pest Management*, 35(3), 105-112.
- Ndou, V., Kotze, D., Marjanovic-Painter, B., Phiri, E. E., Pieterse, P. J. y Sonopo, M. S. (2024). Reduced Translocation Confers Paraquat Resistance in *Plantago lanceolata*. *Agronomy*, 14(5), 977.
- Oerke, E. C. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, 144(1), 31-43.
- Palma-Bautista, C., Vázquez-García, J. G., Domínguez-Valenzuela, J. A., Ferreira Mendes, K., Alcántara De la Cruz, R., Torra, J. y De Prado, R. (2021). Non-target-site resistance mechanisms endow multiple herbicide resistance to five mechanisms of action in *Conyza bonariensis*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 69(49), 14792-14801.
- Panozzo, S., Mascanzoni, E., Scarabel, L., Milani, A., Dalazen, G., Merotto, A., Tranel, P. y Sattin, M. (2021). Target-site mutations and expression of ALS gene copies vary according to *Echinochloa* species. *Genes*, 12(11), 1841.
- Patzoldt, W. L., Hager, A. G., McCormick, J. S. y Tranel, P. J. (2006). A codon deletion confers resistance to herbicides inhibiting protoporphyrinogen oxidase. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(33), 12329-12334.
- Qi, Y., Krishnan, M., Tucker, M. y Preston, C. (2025). A point mutation in IAA34 confers resistance to the auxin herbicide 2, 4-D in *Sisymbrium orientale*. *Pest Management Science*.
- Torra, J. y Alcántara-De la Cruz, R. (2022). Molecular mechanisms of herbicide resistance in weeds. *Genes*, 13(11), 2025.
- Wang, J., Du, Y., Zhang, L., Deng, Y., Wang, T., Wang, S. y Ji, M. (2025). Pro-197-Ser mutation combinations in acetolactate synthase (ALS) homoeologous genes affect ALS inhibitor herbicide resistance levels in *Monochoria korsakowii*. *Pest Management Science*, 81(4), 1894-1902.



SOBRE LA REVISTA

La Revista Investigaciones Agropecuarias es una divulgación científica de publicaciones especializadas en línea, arbitrada y seriada en el campo de las Ciencias Agropecuarias. Bajo la responsabilidad de la Dirección de Investigación y Postgrado de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá, cuyo objetivo principal es de contribuir al desarrollo de la investigación, generación de conocimientos científicos e innovación de tecnologías en esta área de conocimiento.

Es una publicación científica seriada, indexada en línea, arbitrada y especializada en Ciencias Agropecuarias. Su publicación inició en diciembre de 2018, con una periodicidad semestral, correspondiente a un volumen anual, dividido en dos números (*Diciembre-Mayo* y *Junio-Noviembre*).

Esta revista se publica bajo la modalidad de arbitraje por pares doble ciego, presentando una colección de artículos científicos originales e inéditos, compilaciones científicas y notas cortas. La revista está indexada en el Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina (**Latindex**), en **Amelica** y en el Índice de Revistas Científicas de Panamá (**Panindex**).

AmeliCA es una infraestructura de comunicación para la publicación académica y la ciencia abierta, sostenida de forma cooperativa y centrada en un modelo de publicación sin fines de lucro para conservar la naturaleza académica y abierta de la comunicación científica

OBJETIVOS

- Divulgar resultados de investigaciones originales e inéditos, en Ciencias Agropecuarias y aumentar la visibilidad del conocimiento científico en las áreas agropecuarias a nivel internacional.
- Fomentar la participación de investigadores, profesionales y estudiantes de las Ciencias Agropecuarias y áreas afines a nivel nacional e internacional.
- Lograr su indexación en agencias de alto impacto tales como Redalyc, Scielo y Scopus.
- Contribuir con la seguridad agroalimentaria, desarrollo rural y la preservación del medio ambiente. Así como el desarrollo de tecnologías emergentes en el Sector Agropecuario.

NORMAS EDITORIALES

Los manuscritos y toda correspondencia deberán ser dirigidos a los correos electrónicos de la Revista Investigaciones Agropecuarias y del Editor de la Revista. E-mail: revistaia_fca@up.ac.pa y editor_riafca@up.ac.pa. Puede comunicarse al teléfono 523-3912.



SISTEMA DE ARBITRAJE

El procedimiento utilizado por la Revista Investigaciones Agropecuarias para la selección de los artículos a publicar es el siguiente.

1. El interesado presenta a consideración del Consejo Editorial de la Revista el artículo, para lo cual debe adjuntar al artículo, el modelo de carta de cesión de derechos y declaración de originalidad. (Ver la Sección Instrucciones para los Autores).
2. El Consejo Editorial revisa si el trabajo cumple con las políticas generales de publicación y las normas de presentación de los artículos.
3. El artículo es sometido a la consideración de dos evaluadores o pares externos, especialistas en el área temática del trabajo presentado, de alto nivel científico, que emitirán correcciones y observaciones, así como también la recomendación final en torno a si el trabajo es publicable o no. En la evaluación se utiliza el sistema de “doble ciego”, en la que el evaluador no conoce al autor del artículo en evaluación y el autor no conoce quién evalúa su trabajo. Los evaluadores utilizarán un formulario elaborado para este fin, el cual contiene una serie de criterios y también permite realizar comentarios generales al margen.
4. El autor y coautores deben atender las sugerencias y correcciones y presentar el artículo corregido.
5. El Consejo Editorial, cumplido todos los procedimientos establecidos y revisiones de redacción y estilo, toma la decisión final de la selección o no del artículo.

El proceso culmina cuando el Consejo Editorial le expide al autor y coautores una nota de aceptación del trabajo para su publicación en línea en el volumen de la revista que corresponde.

DETECCIÓN DE PLAGIO

La Revista Investigaciones Agropecuarias (RIA), se compromete al respeto e integridad de los manuscritos publicados en nuestra revista y rechazará todo artículo que haya sido plagiado, o haya utilizado fuentes de otro autor señalando que es de su propia autoría.

El editor es el responsable de garantizar a los lectores que los artículos publicados en su medio sean originales y estén exentos de copia. En este sentido, la RIA siempre tiene entre sus objetivos detectar plagios en los trabajos que recibe, con el fin de asegurar que las publicaciones de nuestra revista sean confiables, por este motivo el autor debe entregar una carta de cesión de derechos y declaración de originalidad en el momento de entregar su artículo.

Si existiera alguna denuncia de plagio al Editor, este establecerá el contacto con el autor y el demandante, analizará rigurosamente el caso. Se le dará la oportunidad de retractación al autor que haya incurrido en esta falta y esto será publicado en la revista siguiente al resultado del análisis realizado por el Comité Científico y el Editor.

Por otro lado, todos los manuscritos son sometidos a un proceso de Doble revisión ciega y se utilizará para la detección de plagio la verificación de programas o software especializado.



INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

La convocatoria para la presentación de escritos es permanente, por lo que los autores pueden enviar sus manuscritos en cualquier momento del año.

Sólo se aceptarán artículos **originales, inéditos, novedosos y vinculados a las áreas de Ciencias Agropecuarias**, los cuales serán revisados por programas especializados para detección de plagio o similitud semántica proporcionados por la institución académica.

Considere:

- Los manuscritos deben usar un lenguaje claro, preciso y comprensible.
- Los escritos no pueden estar en proceso de arbitraje o publicación en otros medios.

ESTRUCTURACIÓN DEL MANUSCRITO

El manuscrito debe estructurarse de la siguiente manera: Título en dos idiomas: español/inglés o inglés/español, afiliación de autores y co-autores con su email y ORCID, Resumen, Palabras Clave, Abstract, Keywords, Introducción, Materiales y Métodos, Diseño Experimental, Análisis Estadístico, Resultados, Discusión, Conclusión, Agradecimiento y Referencias.

Título. La selección del título conlleva una gran responsabilidad ya que debe reflejar en pocas palabras la esencia del trabajo y debe facilitar la recuperación de la información pertinente a través de sistemas computarizados. Centrado en mayúsculas y negrillas, no debe sobrepasar 20 palabras y debe presentarse en dos (2) idiomas (Español / Inglés o Inglés / Español).

Afiliación. Corresponde a los datos que identifiquen a los responsables del artículo, autor (o autores) debidamente espaciado del título también centrado. Identifique el lugar en que se ha realizado la investigación que, usualmente, es una institución.

Resumen. Todo artículo debe contener un resumen de no más de 250 palabras y debe describir, en forma concisa y precisa, el objeto de la investigación, así como los principales logros y conclusiones. Debe poder leerse y entenderse en forma independiente del texto principal, pero podrán citarse figuras, cuadros, etc., del texto. Se debe tener presente que el resumen será la parte más leída de su trabajo.

Palabras clave. No deben sobrepasar 5 palabras, las que deben ser cuidadosamente escogidas por su relevancia en el resumen, utilizando los tesauros, que son vocabularios controlados y estructurados formalmente, formados por términos que guardan entre sí relaciones semánticas y genéricas: de equivalencia, jerárquicas y asociativas.

Abstrac / Keywords. Es obligatoria la presentación del resumen del artículo en idioma Ingles

Introducción. La introducción debe dejar claro el propósito de la investigación, los antecedentes y su relación con otros trabajos en el mismo campo, sin caer en una revisión exhaustiva de la literatura pertinente.



Materiales y Métodos. Esta sección constituye uno de los núcleos de toda investigación, se enumeran los elementos e instrumentos empleados y se describen los pasos efectuados en el experimento. Es importante que toda esta información sea descrita de manera explícita y lógica,

Parte Experimental. Esta sección debe contener todos los procedimientos con el detalle suficiente de los pasos críticos que permita que el trabajo pueda ser reproducido por un personal idóneo. Los procedimientos que ya estén en la literatura sólo deben ser citados y descritos, a menos que se hayan modificado sustancialmente. Se debe incluir también el detalle de las condiciones experimentales bajo las cuales fueron obtenidos los resultados.

Resultados. Los resultados pueden presentarse en forma de figuras, esquemas o cuadros; sin embargo, los resultados simples se pueden presentar directamente en el texto, se debe cuidar el no ser reiterativo.

Discusión. La discusión debe ser concisa y debe orientarse hacia la interpretación de los resultados.

Conclusión. Esta sección debe incluir las conclusiones que emanen de los objetivos específicos del trabajo y no debe contener la misma información que ya ha sido presentada en el texto en los resultados.

Agradecimientos. Es opcional para los autores.

Referencias. Las Referencias Bibliográficas tanto como las citas dentro del artículo serán redactadas de acuerdo a las normas APA 7.

CARACTERÍSTICAS DEL TEXTO

Todo el texto del manuscrito (incluyendo las notas, así como las tablas e inscripciones de las figuras, de acuerdo a la Norma APA 7.0) debe ser presentado en el procesador de texto Microsoft Word, con fuente o letra Times New Roman N°.12, e interlineado sencillo (1.0), con una línea entre párrafo, hasta donde se pueda, ajustado a una hoja 22x28 cm. (8 ½" x 11"). Los cuatro márgenes: izquierdo, derecho, superior e inferior debe ser de 2.54 cm (1"), con justificación en bloque.

En el caso de que incluya en su manuscrito ilustraciones, se utilizará las tablas y figuras. Estas deben ser colocadas en el lugar que les correspondan dentro del texto y deben seguir una numeración dentro del documento, las cuales deberán ser referenciadas en el escrito. Deben tener un título descriptivo de las misma, para las tablas en la parte superior en cursiva y en el caso de las figuras en la parte inferior, en fuente Times New Roman N°. 12. De ser necesario anotaciones sobre su contenido se colocarían en un pie de tabla o figura.



Adjunto al manuscrito debe entregar la Carta de Cesión de Derechos y Declaración de Originalidad, adjunto formato de modelo carta.

Ciudad, País y Fecha

Señores
Comité Editorial
Revista Investigaciones Agropecuarias
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Universidad de Panamá
E. S. D.

Estimados Señores:

Los autores remitimos el trabajo titulado “.....”, para someterlo a consideración de su publicación en la REVISTA INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS.

Los autores declaramos que el trabajo enviado:

- Es un trabajo original.
- No ha sido previamente publicado en otro medio.
- No ha sido remitido simultáneamente a otra publicación.
- Todos los autores han contribuido intelectualmente en su elaboración.
- Todos los autores han leído y aprobado la versión final del manuscrito remitido.

Si el trabajo es aprobado para su publicación, a través de este documento cedemos a la REVISTA INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS los derechos exclusivos para editar, publicar, reproducir, distribuir copiar, para su divulgación en resumen o en extenso, en versión impresa y/o digital, a través de bibliotecas, índices científicos, catálogos y registros nacionales e internacionales a los cuales esté suscrita la revista.

AUTOR (ES) PRINCIPAL (ES) DEL ARTÍCULO:

Nombre y Apellido, e-mail, área y ORCID

- 1)
- 2)

AUTORES COLABORADORES (Nombres, Apellidos, correos electrónicos, ORCID y área):

- 1)
- 2)
- 3)
- 4)
- 5)

Teléfono de contacto:

Email de Correspondencia:

Nota: Para mayor información contactarse con la Revista Investigaciones Agropecuarias: 523-3912, 6601-0720

o e-mail: revistaia_fca@up.ac.pa

