



INSTITUTO DE INNOVACIÓN
AGROPECUARIA DE PANAMÁ

ISSN L 2414-3278

Ciencia Agropecuaria

REVISTA CIENTÍFICA N° 42

PANAMÁ-2026
enero - junio





INSTITUTO DE INNOVACIÓN
AGROPECUARIA DE PANAMÁ

ISSN L 2414-3278

Ciencia Agropecuaria

REVISTA CIENTÍFICA N° 42

PANAMÁ-2026
enero - junio

Ciencia Agropecuaria: revista científica
Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá.
no. 42 (enero - junio, 2026). Panamá, PA. Semestral
232 p.
ISSN L 2414-3278
1. Investigaciones Agrícolas
2. Investigaciones Pecuarias

Publicación semestral del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) La versión electrónica de la revista Ciencia Agropecuaria, se puede consultar en: <http://www.idiap.gob.pa/index.php/revista>

Editor Principal

Ismael Camargo Buitrago, Dr. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP)

Editora Asociada

Neysa Garrido Calderón, M.Sc. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) - Panamá

Consejo Editorial

Román Gordón Mendoza, Dr. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) - Panamá

Hilda Lezcano, Dra. Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA) - Universidad de Panamá

Axel Villalobos Córtes, Dr. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Sistema Nacional de Investigación (SNI) - Panamá

Juan C. Martínez González, Dr. Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT) - México.

Pedro Guerra Martínez, M.Sc. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) - Panamá

Bruno Zachrisson, Dr. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Sistema Nacional de Investigación (SNI) - Panamá

Diseño y Diagramación

Gregoria del C. Hurtado Chacón Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) - Panamá

Melkissedeth Gómez Delgado Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) - Panamá

Revisión y Traducción de resúmenes

Roberto Quiroz., Dr. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) - Panamá,

CONTENIDO

ARTÍCULOS

- 7-30 **TENDENCIA DE LOS MECANISMOS DE TERMORREGULACIÓN EN BOVINOS WAGYU-BRAHMAN BAJO EL TRÓPICO HUMEDO**
*Pedro Guerra-Martínez; José Luis Bernal-Rosas;
Carlos Iván Martínez-Delgado; Aristides Augusto Villarreal-Ruíz;
María Milagros De Gracia- Victoria; Olegario Ibarra-Guerra*
-
- 31-41 **IDENTIFICACIÓN DE LA BACTERIA CAUSANTE DE HUANGLONGBING**
Carmen Bieberach-Forero; Zanya Aguilar-Reyes; Melvin Jaén
-
- 42-61 **CURVAS DE ABSORCIÓN DE NUTRIENTES PARA CUATRO VARIEDADES DE ARROZ**
*Luis A. Barahona-Amores; Rubén D. Samaniego-Sánchez;
Rubén E. Rodríguez-Navarro*
-
- 62-87 **VIBRIOS Y BACTERIAS COLIFORMES EN CAMARONES BLANCOS (*Litopenaeus vannamei*) CULTIVADOS EN ESTANQUE COMERCIAL**
*María Fernanda Ortega; Martha de Von Chong; Teresita Henríquez;
Rito Herrera*
-
- 88-110 **DIVERSIDAD GENÉTICA DEL ARROZ CRIOLLO DE TOABRÉ, PANAMÁ: ANÁLISIS MOLECULAR POR MARCADORES ISSR**
*Ismael Camargo-Buitrago; Manuel Jiménez-Montero;
Milcíades Cedeño-Castillo; Carmen Bieberach-Forero;
Axel Villalobos-Cortés; Simón Vázquez-Wilson*
-

-
- 111-134 **I. EFECTO DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN LAS FECHAS DE SIEMBRA DEL MAÍZ**
*Román Gordón-Mendoza; Jorge I. Núñez-Cano;
Ana E. Saéz-Cigarruista; Jorge E. Franco-Barrera;
Francisco P. Ramos-Manzané*
-
- 135-151 **II. VARIABLES CLIMÁTICAS QUE AFECTAN EL MAÍZ SEGÚN FECHAS DE SIEMBRA EN LA REGIÓN DE AZUERO**
*Román Gordón-Mendoza; Ana E. Saéz-Cigarruista;
Francisco P. Ramos-Manzané; Jorge I. Núñez-Cano;
Jorge E. Franco-Barrera*
-
- 152-168 **III. EFECTO DE LAS FECHAS DE SIEMBRA EN LA INCIDENCIA DE LA POLINIZACIÓN EN EL MAÍZ**
*Román Gordón-Mendoza; Jorge E. Franco-Barrera;
Francisco P. Ramos-Manzané; Jorge I. Núñez-Cano;
Ana E. Saéz-Cigarruista*
-
- 169-191 **EVOLUCIÓN DEL RENDIMIENTO Y DE LA OFERTA DEL TOMATE INDUSTRIAL EN PANAMÁ (1969-2023)**
*Jaime Espinosa-Tasón; Liliam Marquínez-Batista;
Roberto Quiroz*
-
- 169-221 **INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA, UNA INVERSIÓN RENTABLE: IMPACTO ECONÓMICO DE TECNOLOGÍAS DE IDIAP EN SEIS RUBROS PRODUCTIVOS**
*Liliam M. Marquínez-Batista; Jaime Espinosa-Tasón; Mariana Cruz-Chu;
Luis Hertentains-Caballero; Román Gordón-Mendoza;
Rodrigo A. Morales-Araúz; Ismael Camargo-Buitrago;
Evelyn Quirós-McIntire; Luis A. Barahona-Amores;
Arnulfo Gutiérrez-Gutiérrez; Roberto Rodríguez-Chávez;
Emigdio Rodríguez-Quiel; Francisco González-Guevara;
José L. Jorge-Ramos; José A. Guerra-Murillo; Nilso García;
Roberto Quiroz*
-
- 222-230 **NORMAS PARA AUTORES**
-

TENDENCIA DE LOS MECANISMOS DE TERMORREGULACIÓN EN BOVINOS WAGYU-BRAHMAN BAJO EL TRÓPICO HUMEDO¹

**Pedro Guerra-Martínez²; José L. Bernal-Rosas²; Carlos I. Martínez-Delgado²;
Aristides A. Villarreal-Ruíz²; María M. De Gracia-Victoria²;
Olegario Ibarra-Guerra²**

RESUMEN

El objetivo fue estudiar las tendencias de los mecanismos de termorregulación del calor corporal de bovinos Wagyu-Brahman en pastoreo bajo condiciones del trópico húmedo. El estudio se realizó en la EEG-CMO (IDIAP). Los grupos raciales (GR) fueron: WG25, WG50, WG75 y WGF1. Las variables independientes fueron: ITH, temperatura corporal (Tb), coeficiente de tolerancia al calor (CTC) y relación peso vivo: área corporal (WA). Las variables dependientes fueron: convección (Qc), radiación (Qr) y conducción (Qk). Los datos se analizaron mediante correlación simple y regresión lineal pasando por el origen por GR. Las correlaciones entre Qc, Qr y Qk con ITH y CTC fueron muy bajas a bajas ($P > 0,05$) en los cuatro GR. Los WG50 y WGF1 disiparon más Qc por unidad de ITH (0,00054 y 0,00053 kcal/s); por Tb (0,00113 y 0,00112 kcal/s); por CTC (0,01330 y 0,01342 kcal/s) y por WA (0,00125 y 0,00113 kcal/s). También, WG50 y WGF1 disiparon más Qr, por ITH (0,153836 y 0,153313 kcal/m²·s); por Tb, (0,323093 y 0,324453 kcal/m²·s); por CTC (3,822003 y 3,910471 kcal/m²·s) y por WA (0,357052 y 0,327805 kcal/m²·s). En Qk, los WG50 y WGF1 disiparon 0,000155 y 0,000151 kcal/m²·s·°C por unidad de ITH; por Tb disiparon 0,000324 y 0,000319 kcal/m²·s·°C; por CTC, disiparon 0,00387 y 0,00385 kcal/m²·s·°C y por WA, disiparon 0,000341 y 0,000320 kcal/m²·s·°C. Se concluye que la tendencia de la disipación de calor por Qc, Qr y Qk *versus* ITH, Tb, CTC y WA fue lineal ($P < 0,01$) desde el origen en todos los GR. Las mayores disipaciones de Qc, Qr y Qk por unidad de ITH, Tb, CTC y WA se encontraron en WG50 y WGF1.

Palabras clave: Conducción, convección, ITH, radiación, termorregulación, Wagyu-Brahman.

¹Recepción: 07 de enero de 2025. Aceptación: 22 de agosto de 2025. Contribución del Proyecto “Mejoramiento Genético Aplicado en Hatos de los Sistema Ganaderos Familiares Bovinos de Panamá”. 501.B.2.33. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Estación Experimental de Gualaca “Carlos M. Ortega” (EEG-CMO). Centro de Innovación Agropecuaria de Chiriquí (CIA Chiriquí). Higuerón, Gualaca. Chiriquí.

²IDIAP. EEG-CMO. CIA Chiriquí. e-mail: pedroguerram16@gmail.com; pedro.guerra@idiap.gob.pa; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6731-3624>
e-mail: jbernalrosas@hotmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0004-7646-2882>
e-mail: carlosmartinez1705@hotmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-3944-6558>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

TREND IN THERMOREGULATION MECHANISMS IN WAGYU-BRAHMAN CATTLE IN THE HUMID TROPICS

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze trends in body heat dissipation mechanisms of Wagyu–Brahman cattle grazing under humid tropical conditions. The study was conducted at the EEG-CMO experimental station of the Panamanian Institute of Agricultural Innovation (IDIAP). Four breed groups (BG) were evaluated: WG25, WG50, WG75, and WGF1. Independent variables included the temperature-humidity index (THI), body temperature (Tb), heat tolerance coefficient (CTC), and the live weight-body surface area ratio (WA). Dependent variables were heat dissipation through convection (Qc), radiation (Qr), and conduction (Qk). Data were analyzed using simple correlation and linear regression forced through the origin for each BG. Correlations between Qc, Qr, and Qk with THI and CTC were low to very low ($P > 0.05$) across all BGs. However, WG50 and WGF1 exhibited higher heat dissipation per unit of THI, Tb, CTC, and WA across all three mechanisms. For convection (Qc), WG50 and WGF1 dissipated 0.00054 and 0.00053 kcal s⁻¹ per unit of THI, respectively, and similar proportional increases were observed relative to Tb, CTC, and WA. For radiation (Qr), these groups exhibited the highest dissipation rates, ranging from 0.153 to 0.154 kcal m⁻² s⁻¹ per unit of THI. Likewise, conduction (Qk) dissipation rates were greater in WG50 and WGF1 across all independent variables evaluated. Overall, heat dissipation through convection, radiation, and conduction exhibited a linear trend ($P < 0.01$) with THI, Tb, CTC, and WA when modeled from the origin in all breed groups. The most outstanding thermoregulatory efficiency was observed in WG50 and WGF1, indicating superior adaptation to humid tropical conditions.

Keywords: conduction, convection, radiation, temperature-humidity index, thermoregulation, Wagyu-Brahman.

INTRODUCCIÓN

En las últimas dos décadas, el clima ha sufrido cambios muy notorios y ha llegado a ser impredecible, afectando muy significativamente la producción agropecuaria. Eventos climáticos extremos tales como: alta temperatura ambiental y humedad, ondas de calor, escasez de lluvias y sequías están afectando, no solamente, el bienestar animal, el sistema de producción, el agroecosistema, sino también la producción de alimentos, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de los sistemas productivos (Lamy et al., 2012). Además, la



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

temperatura ambiental ha aumentado por 1° C desde los 1800's y se espera que continúe incrementándose por otro 1,5° C entre el 2030 y 2052 (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2018).

El aumento de los gases de efecto de invernaderos (GEI) son los responsables del actual cambio climático que afecta a todos los que habitan este planeta. De acuerdo con McMichel et al., (2007), el sector agropecuario da cuenta del 22% de la total emisión de GEI, de la cual la producción pecuaria representa el 80% de estas emisiones. Los principales GEI son dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) (Steinfeld et al., 2006). Sin embargo, mayor atención se ha puesto en el CO₂, cuando en realidad CH₄ y N₂O son los más potentes GEI, con Potencial de Calentamiento Global (PCG) 23 y 296 veces más potentes que el CO₂, respectivamente (Koneswaran & Nierenberg, 2008).

Cambios históricos en la composición de GEI han modificado el clima y, por lo tanto, también la zona de confort. De acuerdo con Bavera & Beguet (2003), la zona de confort para bovinos Aberdeen Angus (*Bos taurus*) es de 0° a 16° C y sube la temperatura rectal a los 27° C, en bovinos ½ Brangus es de 5° a 20° C y sube la temperatura rectal a los 30° C y en el Cebú (*Bos indicus*) es de 10° a 26° C y sube la temperatura rectal a los 33° C. Todos estos cambios en el clima han tenido su repercusión en el comportamiento de los animales domésticos a través del estrés calórico, siendo más incidente en los países tropicales como Panamá. Autores como Wankar et al. (2024); Chauhan et al. (2023); Bunning & Wall (2022) han reportado efectos del estrés calórico en la producción y calidad de la carne bovina; así como Castaño et al. (2014); Gupta et al. (2016); Díaz et al. (2020) han reportado efectos en la reproducción y Wang et al. (2020) han reportado efecto en el desarrollo de terneras y novillas.

Entre las variables climáticas que más influyen en alterar el confort bovino están: temperatura ambiental (TA, °C), radiación solar (RS, W/m²), velocidad del viento (VV, m/s) y humedad relativa (HR, %). Con esas variables se construye el Índice Temperatura-Humedad (ITH) reportado por Mader et al. (2004), el cual es utilizado como indicador de estrés calórico. De acuerdo con Guerra-Martínez y De Gracia-Gálvez (2022) en zonas de



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Panamá como La Villa de Los Santos, Tonosí y Costa Abajo de Colón este ITH está entre 77 y 80, indicando zonas de “alerta” a los efectos del estrés calórico. Nardone et al. (2010) ha alertado que para final de este siglo la TA aumentará de 1,1° a 6,4° C.

El bovino es un animal homeotérmico³ y endotérmico⁴ que para liberar calor al ambiente y regular su temperatura corporal utiliza mecanismos de termorregulación como evaporación, radiación (Qr), conducción (Qc) y convección (Qk). En la estación Experimental de Gualaca “Carlos M. Ortega” del IDIAP (EEG-CMO-IDIAP) se estudia el comportamiento biológico de cruces Wagyu-Brahman. La Wagyu es una raza japonesa *Bos taurus*, el cual produce la carne de más alta calidad organoléptica y así mismo valorada alrededor del mundo y el Brahman es una raza *Bos indica* muy adaptada a las condiciones tropicales de la EEG-CMO-IDIAP. Ambas razas se estudian en cruzamiento interracial para combinar esas cualidades genéticas (complementariedad) bajo condiciones de bosque húmedo tropical y en sistemas de pastoreo y estabulación. Sin embargo, hay poca información sobre la tendencia de los mecanismos de termorregulación de bovinos de diferentes encastes Wagyu-Brahman bajo condiciones de pastoreo en este ecosistema tomando en cuenta el ITH, su temperatura corporal (Tb), el coeficiente de tolerancia al calor (CTC) y la relación WA, peso vivo (W) con el área corporal (A) y este es el principal objetivo del presente estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización: El estudio se realizó bajo las condiciones edafoclimática de la EEG-CMO-IDIAP en Gualaca Bajo (Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá [IMHPA], 2024). Los rangos de las características climáticas en la estación seca (ESC) y lluviosa (ELL) fueron: en TA de 26,8° C (ESC) a 26,5° C (ELL); en HR de 70,9% (ESC) a 84,0% (ELL); VV de 3,2 m/s (ESC) a 2,1 m/s (ELL) y precipitación anual de 4,244 mm.

³Animales que pueden mantener una temperatura corporal constante, independientemente de la temperatura ambiental.

⁴Animales que pueden regular su temperatura corporal interna, independientemente de la temperatura del medio ambiente.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Fuente de datos: Los datos utilizados son el proyecto de mejoramiento genético bovino de la EEG-CMO-IDIAP del período 2008-2014.

Grupos raciales: De acuerdo con la composición racial de los bovinos se clasificaron en los siguientes grupos raciales (GR):

- WG25: 25% Wagyu + 50% *B. taurus* + 25% Brahman
- WG50: 50% Wagyu + 25% *B. taurus* + 25% Brahman
- WG75: 75% Wagyu + 25% Brahman
- WGF1: 50% Wagyu + 50% Brahman

Relación peso vivo: Área corporal (WA): es el cociente al dividir el peso vivo (W en kg) entre el área corporal (A en m²) expresada en kg/m²:

$$WA = \frac{W}{A}$$

Grosor de la piel (GP): Mediante un pie de rey se midió el grosor del pliegue de piel del animal a la altura de la 13^a costilla. El valor obtenido se dividió entre dos.

A partir de las 10:00 a.m. a 2:00 p.m., en los días de muestreo, a cada bovino individualmente se les tomó la siguiente información:

Variables climáticas: Con un termómetro de bulbo seco se tomó la temperatura ambiental en °C (TA) y con un higrómetro el porcentaje de la humedad relativa (HR).

Temperaturas corporales (°C): Con un termómetro de mercurio se midió temperatura rectal (TR) por un minuto. Mediante un termómetro infrarrojo se tomó la temperatura en el área del lomo (TL), temperatura en la cabeza (TC), temperatura en las costillas (TCOS) y temperatura en el vientre (TV).

Temperatura superficial promedio (Ts): De acuerdo con McLean et al. (1983) a cada temperatura corporal se le dio una ponderación, expresándose así:



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

$$Ts = 0,25(TL + TC) + 0,32(TCOS) + 0,18(TV)$$

Temperatura corporal (Tb): Esta temperatura se estimó de acuerdo con McLean et al. (1983) asignándole una ponderación a TR y Ts, expresándose así:

$$Tb = 0,86TR + 0,14Ts$$

Coefficiente de tolerancia al calor (CTC): Se basó en la FR y TR. La FR se midió a través de un estetoscopio colocado en el área del pecho para contar la tasa de inspiración por un minuto.

$$CTC = \left(\frac{Tb}{38,3} \right) + \left(\frac{FR}{23} \right)$$

Dónde: 38,3 es la medida estándar de la temperatura corporal y 23 es la medida estándar de la frecuencia respiratoria en un minuto (Mariana et al., 2019).

Índice temperatura-humedad (ITH): Para estimar este índice se utilizó la siguiente ecuación de acuerdo con Thom (1959), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 1976) y Mader et al. (2004) tomando en cuenta la temperatura ambiental (TA) y la humedad relativa (HR):

$$ITH = (0,8 * TA) + \left(\frac{HR}{100} \right) * (TA - 14,3) + 46,4$$

Se utilizó la escala de Livestock Conservation Incorporated (LCI, 1970) conocida como Livestock Weather Safety Index basado en las siguientes categorías de ITH: normal, <74; alerta, 74>ITH<79; peligro, 79<ITH<84; y emergencia ITH>84 (Brown-Brandl, 2018).

Para este estudio se consideraron las siguientes medidas de termorregulación y sus cálculos de acuerdo con Tippens (1980) y Willmer et al. (2000):



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Conducción (Qk): Es la transferencia de calor que se efectúa entre el cuerpo y el medio con que están en contacto, siempre que ese medio no esté en movimiento contacto, incluye medios como aire y líquidos entre otros (Tippens, 1980; Louw, 1993). Para su cálculo se utilizó la versión modificada de la Ley de Fick (Willmer et al., 2000).

$$Qk = K * A * \frac{(TR - Ts)}{GP}$$

Dónde: Qk está en kcal/m²·s; K=0,000002 kcal/m·s/°C; A=área corporal en m²; TR=temperatura rectal en °C; Ts=temperatura superficial promedio en °C y GP=grosor de la piel en m.

Convección (Qc): Consiste en la transferencia térmica entre un cuerpo y el medio fluido en movimiento (Tippens, 1980). La fórmula de Louw, (1993) es la siguiente.

$$Qc = h * A * (Ts - Tf)$$

$$h = Kc * A * (Ts - Tf)^{1/4}$$

Dónde: Qc está en kcal/s; s=segundo; Kc=coeficiente de convección, 0000493 kcal/m²·s/°C y Tf es la temperatura del aire en °C.

Radiación (Qr): Es el proceso por el cual el calor se transfiere en forma de ondas electromagnéticas (Tippens, 1980) o energía intercambiable por medio de energía electromagnética la cual viaja a la velocidad de la luz y no necesita medio de propagación (Louw, 1993). La tasa de transferencia de calor radiante entre un animal y su ambiente se calcula mediante:

$$Qr = \{C * A * \epsilon * [(Ts + 273)^4 - (TA + 273)^4]\}/w$$

Dónde: Qr= está en kcal/m²·s; C es el coeficiente que incorpora la constante de Stefan-Boltzman (5,67 x 10⁻⁸ W/m²·s·k⁴); ε=constante de emisión (0,4); w=es una constante (1 kcal/m²·°C = 1,163 W/m²·°C) para transformar watts (W) en kilocalorías (kcal).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Análisis estadístico: Los datos fueron analizados mediante la técnica regresión simple pasando por el origen de acuerdo con Draper & Smith (1980).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El GR que mayormente disipó calor a través Q_c fue el WG50 (0,044 kcal/s) superando en 22,6% la promedio de los WG25 y WG75 (Cuadro 1). También disipó más Q_r y Q_k que el WG75 (19,4% y 41,3% más, respectivamente). La más baja T_s se encontró en los WG50 (36,086°C) siendo apenas 1,27% más baja que los WG75. Los WG25 mostraron, en promedio, la más baja TL con 37,305° C y el WG75 la más alta con 37,916° C. El rango de TA fue de 31,361° C en WG50 a 32,071° C. Los WG75 tuvieron menor TR con 39,490; sin embargo, los WG25 mostraron la mayor TR con 39,853° C. Por otra parte, la T_b no mostró mucha variación entre los GR con un rango de 40,033° C (WG50) a 40,118° C. Así mismo se observa en el Cuadro 1 que el GP no varió mucho, de 0,0049±0,0002 m (WG50) hasta 0,0053±0,0001 (WGF1). Los ITH promedio en los que estuvieron sometidos los GR estuvieron entre 82,387 a 82,980, indicando una “zona de peligro” de acuerdo con Brown-Brandl (2018). Menor CTC se observó con los WGF1 (3,116), mientras que el WG50 presentó el mayor valor con 3,238. Basado en la fórmula de CTC, el más cercano al valor 2,0 es el más tolerante, por lo que el WGF1 es el grupo más tolerante. Los WGF1 fueron los más pesados (375,891 kg) y de mayor Área (9,455 m²), atribuido a su vigor híbrido, superando en 35,7% y 29,9% a los WG75, respectivamente; así como en WA con un 15,3%.

El GR WG75 es más compacto, de baja estatura y menor peso vivo, lo que concuerda con lo señalado por Bavera y Beguet (2003), que indican cuanto más voluminoso es el animal, menor es el área de su superficie corporal con respecto al peso.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 1. Medias (\pm EE) de las variables consideradas en el estudio por grupo racial (GR).

Variables	WG25 (n=19)	WG50 (n=18)	WG75 (n=31)	WGF1 (n=88)
Qc, kcal/s	0,0356 \pm 0,0033	0,0442 \pm 0,0051	0,0366 \pm 0,0035	0,0436 \pm 0,0020
Qr, kcal/m ² -s	106,0737 \pm 8,577	126,797 \pm 13,119	106,182 \pm 8,768	126,621 \pm 5,153
Qk, kcal/m ² -s	0,0116 \pm 0,0013	0,0127 \pm 0,0016	0,0090 \pm 0,0010	0,0125 \pm 0,0007
Ts, °C	36,4742 \pm 0,2544	36,0856 \pm 0,4158	36,5445 \pm 0,2844	36,1798 \pm 0,1509
TL, °C	37,3053 \pm 0,2919	37,6333 \pm 0,3461	37,9161 \pm 0,3075	37,4329 \pm 0,1936
TA, °C	31,8947 \pm 0,3564	31,3611 \pm 0,3455	32,0710 \pm 0,3472	31,5273 \pm 0,1452
TR, °C	39,8526 \pm 0,1771	39,7944 \pm 0,1198	39,4903 \pm 0,1520	39,5716 \pm 0,0723
Tb, °C	40,0974 \pm 0,0428	40,0333 \pm 0,0415	40,1185 \pm 0,0417	40,0533 \pm 0,0174
GP, m	0,0052 \pm 0,0002	0,0049 \pm 0,0002	0,0051 \pm 0,0001	0,0053 \pm 0,0001
ITH	82,39802 \pm 0,3123	82,3866 \pm 0,2986	82,7181 \pm 0,3009	82,6172 \pm 0,1657
WA, kg/m ²	36,0773 \pm 1,4298	36,2220 \pm 2,1482	33,6775 \pm 1,1073	38,8427 \pm 0,5752
CTC	3,2067 \pm 0,1179	3,2380 \pm 0,1082	3,1592 \pm 0,0872	3,1157 \pm 0,0591
PVkg	321,852 \pm 25,108	338,423 \pm 34,509	276,907 \pm 8,967	375,891 \pm 11,400
Área, m ²	8,6212 \pm 0,4207	8,7187 \pm 0,6193	7,9030 \pm 0,3239	9,4550 \pm 0,1725

El ITH no mostró correlaciones de Pearson significativas ($P > 0,05$) con Qc, Qr y Qk, pero fueron de tendencia negativa (Cuadro 2). Sus grados de asociación son demasiado bajos con una tendencia a cero por la hipótesis a aceptar ($H_0: \rho = 0$). Con Tb, las correlaciones fueron moderadas, pero altamente significativas ($P > 0,001$) con Qr en WG25 y WGF1; además, la correlación de Tb con Qc en WGF1 también fue $P < 0,001$. Además, el grado de asociación entre WA con Qc, Qr y Qk variaron de significativo ($P < 0,05$) a la muy altamente significativa ($P < 0,001$) en los cuatro GR. Todas las correlaciones de Pearson fueron positivas. Solamente no hubo una significancia estadística en la correlación de WA con Qk en los GR, WG50 y WG75; así como sus valores fueron muy bajos. Con respecto en CTC, la única correlación significativa ($P < 0,01$) se dio con respecto a Qk con el GR, WG25. Todos los valores resultaron negativos, pero la aceptación de la hipótesis nula nos indica que sus valores estadísticamente son cero.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 2. Correlaciones de Pearson de las variables independientes por grupo racial.

Grupo Racial	Variable de Respuesta	Variables independientes			
		ITH	Tb	WA	CTC
WG25	Qc	-0,093	0,044	0,484**	-0,127
	Qr	-0,038	0,859***	0,570***	-0,143
	Qk	-0,004	0,295	0,394*	-0,448**
WG50	Qc	-0,078	0,134	0,708***	-0,129
	Qr	-0,035	0,171	0,776***	-0,093
	Qk	-0,026	-0,087	0,222	-0,022
WG75	Qc	-0,216	0,046	0,491***	-0,174
	Qr	-0,156	0,068	0,562***	-0,136
	Qk	0,179	0,174	0,074	-0,139
WGF1	Qc	-0,112	0,328***	0,410***	-0,131
	Qr	-0,072	0,339***	0,472***	-0,114
	Qk	-0,171	0,057	0,224**	-0,078

***P<0,001; **P<0,01; *P<0,05

La tendencia de Qc en estos cuatro escenarios fue lineal y altamente significativa (P<0,01). Los WG50 liberaron más Qc con 0,00054 kcal/s por unidad de ITH superando a los WG25 en 25,6% (Figura 1). Además, se observa que, en promedio, los WG50 y WGF1 (0,000535 kcal/s por unidad de ITH) liberaron más calor a través de Qc que los WG75 y WG25 (promedio de 0,000435 kcal/s por unidad de ITH) en un 23,0%. De acuerdo con Guerra-Martínez et al. (2024), estos valores de Qc por unidad de ITH son ligeramente mayores a los encontrados en Brahman (0,000410 kcal/s por unidad de ITH) y Criollo (0,000405 kcal/s por unidad de ITH). Similar tendencia se observa en la liberación de Qc con respecto a Tb. La mayor liberación de Qc por unidad de Tb fue por parte de WG50 (0,00113 kcal/s por °C Tb) superando en 25,6% al GR, WG25 (0,00090 kcal/s por °C Tb).

El promedio de WG50 y WGF1 (0,001125 kcal/s por °C Tb) superó en 22,3% al promedio de WG25 y WG75 (0,00092 kcal/s por °C Tb). Por otro parte, WGF1 liberó 23,7% más Qc que WG25 (0,01342 vs 0,01075 kcal/s por unidad de CTC). Nuevamente, en promedio WGF1 y WG50 (0,01330 kcal/s) liberaron 21,9% más Qc por unidad de CTC que el promedio de WG25 y WG75 (0,01096 kcal/s). En el escenario con respecto a WA, el GR, WG50 (0,00125 kcal/s por unidad de WA) liberó 26,2% más Qc que el WG25 (0,00099 kcal/s por unidad de WA); sin embargo, la tendencia de los WGF1 (0,00113 kcal/s por



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

unidad de WA) no fue similar al WG50 y tendió a asemejarse a la tendencia del WG75 (0,00110 kcal/s por unidad de WA), la diferencia entre ambos apenas fue un 2,7%.

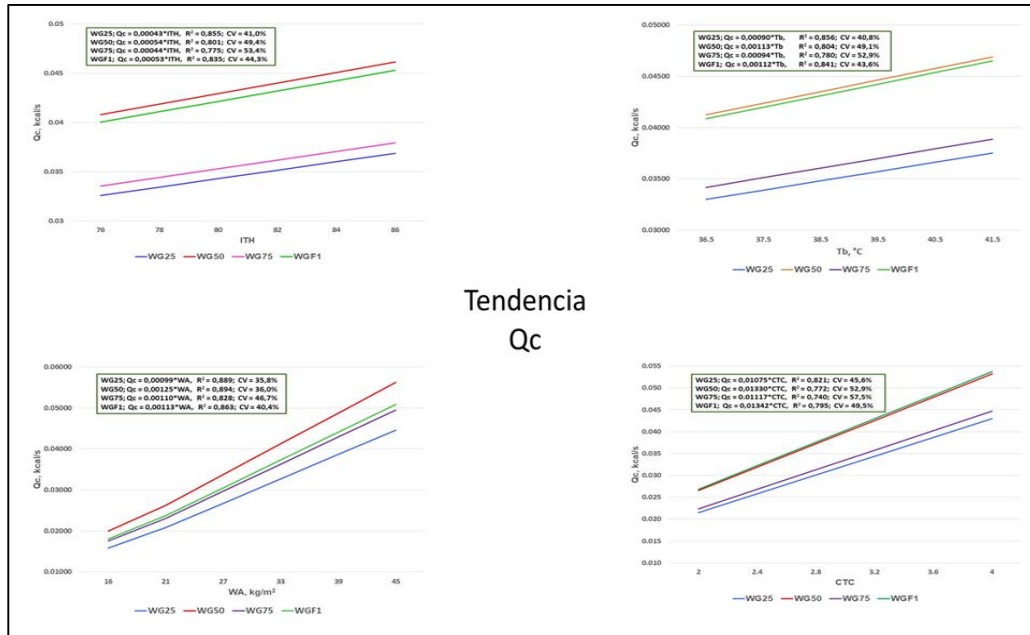


Figura 1. Tendencia de Qc con respecto a ITH, Tb, WA y CTC por grupo racial.

Las diferencias en la tendencia de Qr por unidad de ITH entre WG50 (0,153836 kcal/s por unidad de ITH) y WGF1 (0,153131 kcal/s por unidad de ITH) fue muy similar difiriendo apenas en 0,46% y entre WG25 (0,127778 kcal/s por unidad de ITH) y WG75 (0,128131 kcal/s por unidad de ITH) en apenas 0,28%; sin embargo, la diferencia entre el promedio de WG50 y WGF1 (0,1533484 kcal/s por unidad de ITH) versus WG25 y WG75 (0,127955 kcal/s por unidad de ITH) fue mucho más marcada con 19,9% (Figura 2). Con respecto a Tb, la diferencia en la tendencia de disipar calor por Qr fue muy estrecha entre WG50 (0,323093 kcal/s por °C Tb) y WGF1 (0,324453 kcal/s por °C Tb) fue de un 0,42%. Por otra parte, la diferencia, también pequeña, entre WG25 (0,269296 kcal/s por °C TB) y WG75 (0,271778 kcal/s por °C Tb) fue 0,92%. La diferencia entre el promedio de WG50 y WGF1 (0,323773 kcal/s por °C Tb) con respecto a WG75 y WG25 (0,270537 kcal/s por °C TB) alcanzó los 19,7%. Similar tendencia se observa en la disipación de calor por Qr con respecto a CTC (Cuadro 2). La diferencia entre WG50 (3,822003 kcal/m²·s por unidad de CTC) y WGF1 (3,910471 kcal/m²·s por unidad de CTC) fue 2,3%. Además, se observa que



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

la diferencia entre WG75 (3,255535 kcal/m²·s por unidad de CTC) y WG25 (3,204567 kcal/m²·s por unidad de CTC) fue menor con un 1,6%. La diferencia entre ambos grupos fue de 19,7% (promedio de WG50 y WGF1 fue de 3,866237 kcal/m²·s y promedio de WG75 y WGF1 fue de 3,230051 kcal/m²·s, ambos por unidad de CTC).

El patrón observado de WG50 y WGF1 de tener tendencias similares entre sí, al igual que entre WG25 con WG75 ya no se muestra con respecto al escenario de WA. La disipación de calor por unidad de WA entre WG50 (0,357052 kcal/m²·s por unidad de WA) y WG25 (0,295332 kcal/m²·s por unidad de WA) fue la mayor con 20,9%, si la comparamos con la diferencia en tendencia entre WGF1 (0,327805 kcal/m²·s por unidad de WA) y WG75 (0,319354 kcal/m²·s por unidad de WA) que fue de 2,6% (Figura 2).

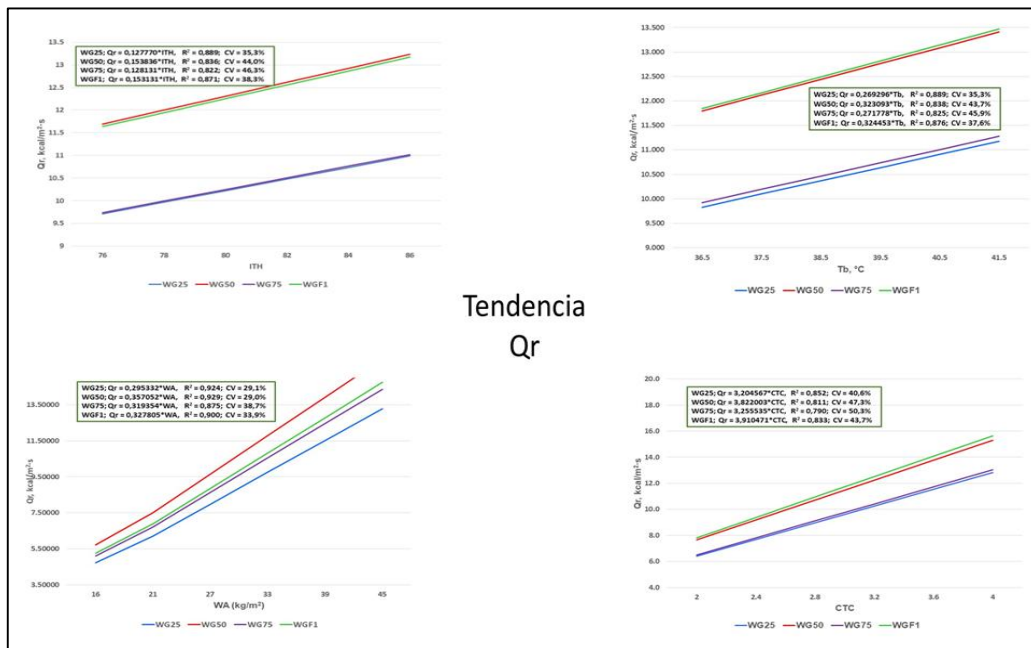


Figura 2. Tendencia de Qr con respecto a ITH, Tb, WA y CTC por grupo racial.

La disipación de calor por Qk entre WG50 (0,000155 kcal/m²·s·°C por unidad de ITH) y WGF1 (0,000151 kcal/m²·s·°C por unidad de ITH) fue de apenas 2,6% superior; sin embargo, el promedio de ambos GR (0,000153 kcal/m²·s·°C) comparado con el WG25 (0,000140 kcal/m²·s·°C), disipó 9,3% más Qk por unidad de ITH y un 40,4% más Qk por unidad de ITH con respecto al GR, WG75 (0,000109 kcal/m²·s·°C) (Figura 3). Los



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

resultados de Guerra-Martínez et al. (2024) indicaron valores de Qk para Brahman de 0,000194 kcal/m²·s por unidad de ITH) y en Criollo de 0,000183 kcal/m²·s por unidad de ITH. Similar al escenario de ITH se ha presentado con respecto a Tb.

La diferencia en Qk entre WG50 (0,000324 kcal/m²·s·°C por °C Tb) y WGF1 (0,000151 kcal/m²·s·°C por °C Tb) apenas fue 1,6%. Por otra parte, el promedio de WG50 y WGF1 (0,000153 kcal/m²·s·°C por °C) disipó más Qk por unidad de °C Tb en 8,8% a los WG25 y en 39,4% a los WG75. Además, la diferencia en Qk por unidad de CTC fue apenas 0,52% entre WG50 (0,00387 kcal/m²·s·°C por unidad de CTC) y WGF1 (0,00385 kcal/m²·s·°C). El promedio de WG50 y WGF1 (0,00386 kcal/m²·s·°C) superó en 12,5% al GR, WG25 (0,00343 kcal/m²·s·°C por unidad de TC) y al GR, WG75 (0,00275 kcal/m²·s·°C por unidad de CTC) en 40,4%. En la Figura 2 para el escenario de WA, el GR, WG50 liberó más 5,6% Qk por unidad de WA que el promedio de WGF1 y WG25 (0,000322 kcal/m²·s·°C por unidad de WA). Además, el GR, WG50 (0,000341 kcal/m²·s·°C por unidad de WA) liberó 30,2% más Qk que el GR, WG75 (0,000262 kcal/m²·s·°C).

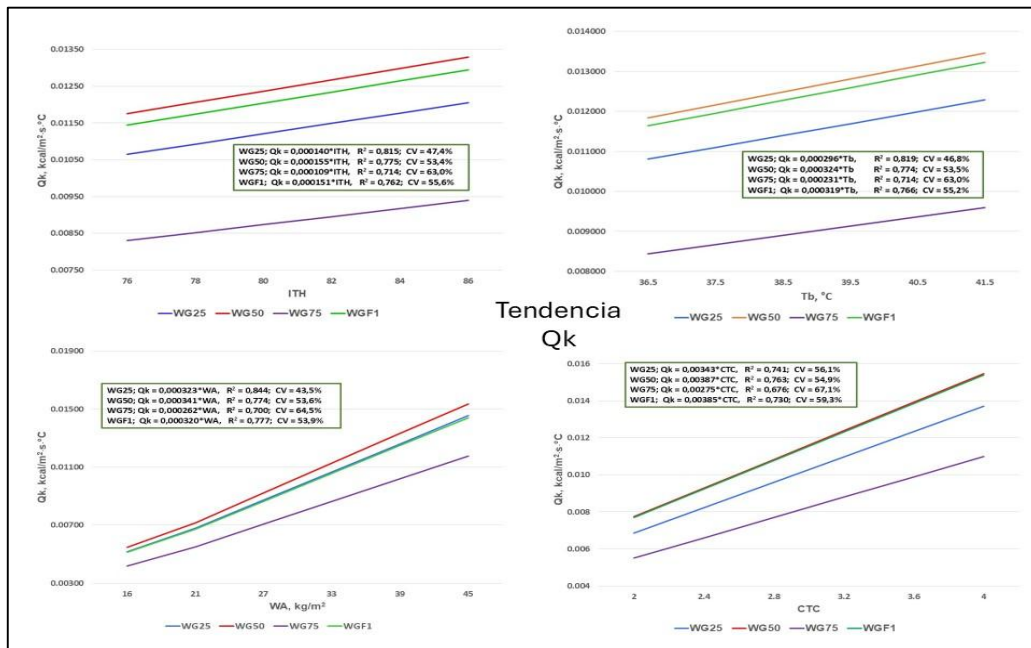


Figura 3. Tendencia de Qk con respecto a ITH, Tb, WA y CTC por grupo racial.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

De acuerdo con Wankar et al. (2024); St-Pierre et al. (2003); Nardone et al. (2010) se espera que los bovinos de razas cárnicas responden diferente al estrés calórico comparado con razas lecheras por su más baja generación metabólica de calor, variabilidad genética y su habilidad a resistir comparablemente a más altos ITH. Además, Berbiegier (1989) había anunciado que la producción bovina de carne es menos afectada por el calor que la producción de leche, debido a que la producción de energía metabolizable para leche es más alta que para carne. Sin embargo, esta situación no implica que las razas cárnicas son inmunes al estrés calórico y que todas las respuestas al estrés calórico son activadas una vez el ITH excede el umbral de 78-80, el cual es encontrado bajo las condiciones del ecosistema de Gualaca Bajo.

Estudios han demostrado que el estrés calórico no solo reduce el consumo de alimentos, sino también tiene un efecto indirecto en el metabolismo energético, procesos digestivos y asimilación de nutrientes; así como en disminuir los procesos termorregulatorios (Wheelock et al., 2010; Mahjoubi et al., 2014; Wankar et al., 2021). Adams et al. (1998), agregan que los bovinos han evolucionado en un eco-clima muy particular que les permite ser más productivo y confortables. Pareciera que los GR, WG75 y WG25 son los menos adaptados a las condiciones del ecosistema del bosque-húmedo tropical al mostrar menor uso de los mecanismos de termorregulación principalmente porque este ecosistema presenta un clima extremos para ellos con más altas temperaturas ambientales, humedad y posiblemente ondas de calor que comprometen su habilidad termorregulatoria y son ellos menos capaces para disipar el exceso de calor metabólico, haciéndolos más vulnerables a efectos deletéreos del estrés calórico.

Por otra parte, Guerra-Martínez et al. (2024) reportaron que bovinos WG75 presentaron la menor TR en función del ITH y podría explicar la menor disipación de calor por los tres mecanismos termorregulatorios estudiados, pero los WG25 mostraron mayor TR en función del ITH. Guerra-Martínez et al. (2020) encontraron que GR como WG75 de los cruces WG (paterno) con WG50 y WGF1 (materno) tuvieron, en promedio, menor capacidad calórica corporal (182,8 kcal/°C), sobrecarga calórica corporal (269,8 kcal) y potencial calórico corporal (3,81 kcal/kg^{0.75}). Esto podría explicar porque los WG75 utilizaron menos los mecanismos de termorregulación. Por otra parte, los WG25 del cruce BRH (paterno) y



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

WG50 (materno) mostraron menor CCC y más altos SCC y PCC y aun así no utilizaron los mecanismos de termorregulación como los WG50 y WGF1.

Sin embargo, tal comportamiento en los WG25 no le encontramos explicación ya que al contar con solamente un 25% de genes Wagyu (*Bos taurus*) debió mostrar mayor uso de estos mecanismos de termorregulación. Autores como Seijan et al. (2018) señalan que razas Cebuinas (*Bos indicus*) tienen más alta tolerancia al calor que razas europeas (*Bos taurus*), pero se ha estudiado que razas taurinas como las Criollas han sido naturalmente seleccionadas para tolerancia al calor bajo condiciones climáticas del trópico (De León, et al., 2019). Solamente se justificaría si el WG25 produce menos calor, por lo tanto, hay menor cantidad de calor a disipar por los mecanismos de termorregulación tomados en el estudio.

Bovinos WGF1 y WG50 mostraron mayor disipación de calor utilizando los tres mecanismos de termorregulación y bajo los cuatro escenarios que se propuso en el estudio. Estos GR son los que aparentan mayor tolerancia a los efectos climáticos del trópico húmedo donde se realizó el estudio. Por otra parte, Los bovinos WG25 y WG75 fueron los que menor disipación de calor realizaron a través de Qr y Qc en los escenarios de ITH, Tb y CTC. Disipar calor por Qk fue marcadamente menor en bovinos WG75 en los cuatro escenarios de ITH, TB, WA y CTC. En este caso, por la escasez de información en la literatura de América Latina tropical, se especula esta tendencia, en vista que los WG75 poseen un 75% de genes Wagyu que es un *Bos taurus* con mayor susceptibilidad a condiciones del trópico y la literatura ha mostrado que animales de raza europeo son más estresados bajo condiciones del trópico que las razas *Bos indicus*. Bovinos WG25 y WG50 tiene 75% de *Bos taurus*. Pero, los bovinos WG25 poseen 50% de razas *Bos taurus* más tolerantes al calor como las razas Charoláis, Simmental y Angus Rojo, y apenas 25% de Wagyu y los WG50 tiene 25% de estas razas *Bos taurus* y 50% de Wagyu. Se plantearía que las razas Charoláis, Simmental y Angus Rojo aportarían algo de tolerancia al calor que el Wagyu solamente.

El color del pelaje influye en la retención de calor afectando los mecanismos vasculares subepidérmicos que facilitan la vasodilatación, según Araúz (2017); así como la conducción calórica del núcleo térmico corporal hacia la piel y la termólisis pasiva y activa en los animales homeotérmicos. De acuerdo con Curtis (1983) entre más oscuro el color



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

de la superficie del bovino menor será el grado de emisividad calórica y agrega que la cantidad de calor retenida y acumulada en el tiempo de exposición la superficie corporal de los bovinos cambia en función de la tonalidad del pelaje y la piel. En el caso de los cruces Wagyu-Brahman predomina un color negro oscuro por lo que el grado de estrés calórico actuaría con una intensidad final creciente. De allí los altos valor de Q_r de los cruces Wagyu-Brahman utilizados en el presente estudio, los cuales superaron a los reportados en el estudio de Guerra-Martínez et al. (2004) en cruces $\frac{1}{2}$ Charolais + $\frac{1}{2}$ Brahman (5,127 kcal/m²·s), $\frac{1}{2}$ Simmental + $\frac{1}{2}$ Brahman (6,545 kcal/m²·s) y $>\frac{1}{2}$ Holstein-Brahman (4,246 kcal/m²·s) durante la época lluviosa.

Otra consecuencia donde prevalece alta radiación calórica y temperatura ambiental es la alta carga calórica corporal alterando la temperatura corporal promedio y heterogénea por región anatómica y sistémica, estableciéndose la hipertermia por la hiperpnea⁵ y taquicardia en los bovinos (Araúz, 2015). Finalmente, Curtis (1983) y Yousef (1985) han señalado que el color de la superficie corporal o pelaje es un factor determinante sobre la cantidad de calor retenida, por lo cual el índice de emisividad calórica tegumentaria se reduce en la medida que el color del pelaje y piel se hace más oscuros.

De acuerdo con Picón-Jaimes et al. (2020) se ha calculado que por radiación se puede perder hasta un 60% del calor corporal, mientras que a través de la convección se puede perder hasta el 12% del calor corporal. Por otra parte, a través de la conducción se puede perder hasta el 3% del calor corporal; sin embargo, si el contacto directo es con agua fría, la pérdida de calor por esta reacción es al menos, 100 veces mayor que el aire frío.

⁵ Hiperpnea: Respiración más profunda y frecuente de lo normal.



CONCLUSIONES

- Hay una gran variabilidad en las tendencias de Qc, Qr y Qk con respecto a la composición genética del hato Wagyu-Brahman.
- El mecanismo de termorregulación para estos grupos raciales no es único.
- Las tendencias de los grupos raciales en disipar calor por Qc, Qr y Qk se mantienen linealmente en los escenarios estudiados con respecto a ITH, Tb, WA y CTC.
- La tendencia a liberar calor por Qc, Qr y Qk fueron similares entre WG50 y WGF1; así como entre WG25 y WG75.
- Sin embargo, WG75 disipó menor Qk con respecto a ITH, Tb, WA y CTC.

RECOMENDACIONES

Realizar estudios de los mecanismos de termorregulación tomando en cuenta el color del pelaje y la piel medidos cuantitativamente en ambas épocas del año, seca versus lluviosa.

REFERENCIAS

- Adams, R. A., Hurd, B. H., Lenhart, S., & Leary, N. (1998). Effects of global climate change on agriculture: an interpretative review. *Climate Research*, 11, 19-30.
https://www.researchgate.net/publication/272864301_Effects_of_global_climate_change_on_agriculture_an_interpretative_review
- Araúz S., E. E. (2015). *Estrategias micro climáticas y medidas de manejo para reducir el estrés calórico, favorecer el bienestar animal y mejorar la producción bovina de leche en Panamá*. En: La Ganadería en América Latina y el Caribe: Alternativas para la producción competitiva, sustentable e incluyente de alimentos de origen animal. R. Núñez-Domínguez, R. Ramírez Valverde, S. Fernández Rivera, O. Araujo Febres, M. García Winder, T. E. Díaz Muñoz. Biblioteca Básica de Agricultura. Printing Arts Mexico, S. de R.L. de C.V. P. 449-454.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

<https://researchgate.net/publication/292762537>

<https://books.alpa.uy/assets/files/449-28fd737bc42c9d513483d9f329d35926.pdf>

Araúz S., E. E. (2017). Influencia del color del pelaje sobre el comportamiento térmico corporal, cinética de la sobrecarga calórica y alteración cardiorrespiratoria circadiana en vacas lecheras cruzadas (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*) bajo estrés calórico en el trópico húmedo. *REDVET (Revista Electrónica de Veterinaria)*, 18(7). <https://www.redalyc.org/pdf/636/63652580007.pdf>

Bavera, G. A. & H. A. Beguet. (2003). *Termorregulación corporal y ambientación*. Curso Incompleto de Producción Bovina de Carne, FAV UNRC. Argentina. https://www.produccion-animal.com.ar/clima_y_ambientacion/04-termorregulacion_corporal_y_ambientacion.pdf

Berbiérgier, P. (1989). *Effect of heat on intensive meat production in the tropics: cattle, sheep, and goats*. Ed. J. R. Mateus Paranhos da Costa Botucatu. FMVZ/UNESP, 1986. Jaboticabal, FUNEP. 1989. Brasil.

Brown-Brandel, T. (2018). Understanding heat stress in beef cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 47, e20160414. <https://doi.org/10.1590/rbz4720160414>

Bunning, H, & Wall, E. (2022). The effects of weather on beef carcass and growth traits. *Animal*, 16(11), 100657. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100657>

Castaño, F. A., Rugeles P., C. C., Betancur H., C. A., & Ramírez-López, C. J. (2014). Impacto del estrés calórico sobre la actividad reproductiva en bovinos y consideraciones para mitigar sus efectos sobre la reproducción. *Biosalud*, 13(2), 84-94. <https://revistasojs.ucaldas.edu.co/index.php/biosalud/article/view/4674>

Chauhan, S. S., Zhang, M., Osei-Amponsah, R., Clarke, I., Seijan, V., Warner, R., & Dunshea, F. R. (2023). Impact of heat stress on ruminant livestock production and



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

meat quality, and strategies for amelioration. *Animal Frontiers*, 13(5), 60-68.
<https://doi.org/10.1093/af/vfad046>

Curtis, S. E. (1983). *Environmental management in animal agriculture*. Iowa State University Press. Ames, IO. USA.

https://books.google.com.pa/books/about/Environmental_Management_in_Animal_Agric.html?id=5v0pAQAAMAAJ&redir_esc=y

De León, C., Manrique, C., Martínez, R., & Rocha, J. R. (2019). Genomic association study for adaptability traits in four Colombia cattle breeds. *Genetics and Molecular Research*, 18(3), GMR18373.

<https://geneticsmr.com/wp-content/uploads/2024/03/18-3-gmr18373.pdf>

Díaz, R. F., Galina, C. S., Aranda, E. M., Aceves, L. A., Gallegos Sánchez, J., & Pablos, J. L. (2020). Effect of temperature – humidity index on the onset of pos-partum ovarian activity and reproductive behavior in *Bos indicus* cows. *Animal Reproduction*, 17(1), e20190071. <https://doi.org/10.21451/1984-3143-AR2019-0074>.

Draper, N. R. & Smith, H. (1980). *Applied regression analysis*. 2nd Ed. John Wiley & sons, Inc. New York, USA. 709p.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118625590>

Guerra-Martínez, P., Bernal-Rosas, J. L., Martínez-Delgado, C. I., Villarreal-Ruíz, A. A., De Gracia-Victoria, M. M., y Ibarra-Guerra, O. (2024). Tolerancia al calor de bovinos cruzados Wagyu-Brahman bajo condiciones del trópico húmedo. Panamá. *Ciencia Agropecuaria*, (38), 144-163.

<http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/631>

Guerra-Martínez, P., y De Gracia-Gálvez, M.S. (2022). Calentamiento global y sus efectos en el comportamiento y bienestar Bovino en Panamá. Tríptico. IDIAP.

<http://www.idiap.gob.pa/?wpdmdl=8394>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Guerra-Martínez, P., De Gracia-Gálvez, M. S., Bernal-Rosas, J. L., Martínez-Delgado, C. I., Villarreal-Ruiz, A. A., De Gracia-Victoria, M. M., y Ibarra-Guerra, O. (2020). Condición calórica corporal de cruces Wagyu-Brahman en un clima del bosque húmedo tropical. Panamá. *Ciencia Agropecuaria*, (30), 1-26.

<http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/124>

Guerra M., P., De Gracia, M. S., Quiel, R., De Gracia, M., y Del Cid, I. (2004). Tolerancia térmica de animales cebú y sus cruces en sistema de ceba en pastoreo, en el bosque húmedo trópico. Gualaca, Panamá. 1999-2004. *Ciencia Agropecuaria*, (17), 75-106.

<http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/327/266>

Gupta, S. K., Shinde, K. P., Lone, S. A., Thakur, A., & Kumar, N. (2016). Potential impact of heat stress on production and reproduction of dairy animals: consequences and possible solutions: A review. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 5(3), 903-911. <https://www.researchgate.net/publication/317845198>

Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá. (2024). Datos climáticos históricos. IMHPA. Panamá. <https://www.imhpa.gob.pa/es/>

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2018). *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), World Meteorological Organization (WMO) and United Nations Environment Programme (UNEP). <https://www.ipcc.ch/srccl/>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Koneswaran, G., & Nierenberg, D. (2008). Global farm animal production and global warming: impacting and mitigation climate change. *Environmental Health Perspectives*, 116(5), 578-582.

https://www.researchgate.net/publication/5381853_Global_Farm_Animal_Producti_on_and_Global_Warming_Impacting_and_Mitigating_Climate_Change

Lamy, E., van Harten, S., Sales-Baptista, E., Guerra, M. M. M., & de Almeida, A.M. (2012). Factors Influencing Livestock Productivity. In: Sejian, V., Naqvi, S., Ezeji, T., Lakritz, J., Lal, R. (eds) *Environmental Stress and Amelioration in Livestock Production*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29205-7_2

Livestock Conservation, Inc. (LCI). (1970). *Patterns of transit losses*. Livestock Conservation, Inc. Omaha, NE. USA.

Louw, G. N. (1993). *Physiological animal ecology*. Longman Scientific and Technical. London, UK.

https://books.google.com.pa/books/about/Physiological_animal_ecology.html?id=V_EVFAQAAIAAJ&hl=en&redir_esc=y

Mader, T., Davis, S., Gaughan, J., & Brown-Brandl, T. (26-28 August of 2004). *Wind speed and solar radiation adjustments for the temperature-humidity index*. (Meeting Paper 6B.3.) 16th Conference on Biometeorology and Aerobiology. Vancouver, British Columbia, Canada.

<https://ams.confex.com/ams/AFAPURBBIO/webprogram/Paper77847.html>

Mahjoubi, E., Amanlou, H., Mirzaie-Alamouti, H. R., Aghaziarati, N., Hossein Yazdi, M., Noori, G. M., Yuan, K., & Baumgard, L. H. (2014). The effect of cyclical and mild heat stress on productivity and metabolism in Afshari lambs. *Journal of Animal Science*, 92, 1007-1014. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-7153>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Mariana, E., Sumantri, C., Astuti, D. A., Anggraeni, A., & Gunawan, A. (2019). Thermoregulation, hematological profile and productivity of Holstein Friesian under heat stress at different land elevations. *Buletin Peternakan*, 43(1), 8-16. <https://doi.org/10.21059/buletinpeternak.v43i1.37648>
- McLean, J. A., Downie, J. A., Jones, C. D. R., Stombough, D. P., & Glasbey, C. A. (1983). Thermal adjustment of stress (*Bos taurus*) to abrupt changes in environments temperature. *Journal of Agricultural Science*, 48, 81-84. <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-agricultural-science/article/abs/thermal-adjustments-of-steers-bos-taurus-to-abrupt-changes-in-environmental-temperature/D8C801243795ABFF6AF50DD85CE39A8B>
- McMichael, A. J., Powles, J. W., Butler, C. D., & Uauy, R. (2007). Food, livestock production, energy, climate change, and health. *Lancet (London, England)*, 370(9594), 1253-1263. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(07\)61256-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(07)61256-2)
- Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M. S., & Bernabucci, U. (2010). Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science*, 130, 57-69. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.011>
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (1976). *Livestock hot weather stress*. Operations Manual Letter C-31-76. Department of Commerce. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). National Weather Service Central Region. Kansas City, MO.
- Picón-Jaimes, Y. A., Orozco-Chinome, J. E., Molina-Franky, J., & Franky-Rojas, M. P. (2020). Control central de la temperatura corporal y sus alteraciones: fiebre, hipertermia e hipotermia. *MedUNAB*, 23(1), 118-130. <https://revistas.unab.edu.co/index.php/medunab/article/view/3714/3208>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Seijan, V., Bhatta, R., Gaughan, J. B., Dunshea, F. R., & Lacetera, N. (2018). Review: Adaptation of animal to heat stress. *Animal*, 12, s431-s444. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30139399/>
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & de Haan, C. (2006). *Livestock's Long Shadow*. Livestock, Environment and Development (LEAD). Food Agricultural Organization (FAO). <http://www.fao.org/docrep/010/a0701e/a0701e00.HTM>
- St-Pierre, N. R., Cobanoc, B., & Schnikey, G. (2003). Economic losses from heat stress by US livestock industry. *Journal of Dairy Science*, 86, Supplement, E52-E77. [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(03\)74040-5/fulltext](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(03)74040-5/fulltext)
- Thom, E. C. (1959). The discomfort index. *Weatherwise*, 12(2), 57-61. <https://doi.org/10.1080/00431672.1959.9926960>
- Tippens, P. E. (1980). *Física, conceptos y aplicaciones*. 3ª Edición. McGraw-Hill Company. New York. https://www.academia.edu/44376121/F%C3%8DSICA_Conceptos_y_aplicaciones_7a_Edici%C3%B3n_Revisada_Paul_E_Tippens
- Wang, J., Li, J., Wang, F., Xiao, J., Wang, Y., Yang, H., Li, S., & Cao, Z. (2020). Heat stress on claves and heifers: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 11, 79-86. <https://doi.org/10.1186/s40104-020-00485-8>
- Wankar, A. K., Bhangale, G. N., Rindhe, S. N., Kumawat, B. L., & Shafi, T. A. (2024). Heat stress in beef cattle: climate change and the global scenario - A review. *Annals of Animal Science*, 24(4), 1093-1105. <https://doi.org/10.2478/aoas-2024-0026>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Wankar, A. K., Singh, G., & Yadav, B. (2021). Effect of temperature x ITH on acclimatization in buffaloes subjected to simulated heat stress: physio-metabolic profile, methane emission and nutrient digestibility. *Biological Rhythm Research*, 52(10), 1589-1603. <https://doi.org/10.1080/09291016.2019.1673652>
- Wheelock, J.B., Rhoads, R. P., VanBaale, M. J., Sanders, S. R., & Baumgard, L. H. (2010). Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 93(2), 644–655. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20105536/>
- Willmer, P., Stone, G., & Johnston, I. (2000). *Environmental physiology of animals: Temperature and its effects*. Blackwell Science Ltd. Maryland, USA. https://eclass.uth.gr/modules/document/file.php/DIAE_U_144/environmental-physiology-of-animals.pdf
- Yousef, M. K. (Ed.) (1985). *Stress Physiology in Livestock. Vol. I, Basic principles*. CRC Press. Boca Ratón, FL. USA. <https://doi.org/10.1002/smi.2460020413>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

IDENTIFICACIÓN DE LA BACTERIA CAUSANTE DE HUANGLONGBING¹

Carmen Bieberach-Forero²; Zanya Aguilar-Reyes²; Melvin Jaén²

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue identificar la bacteria causante de Huanglongbing (HLB) en las áreas de producción de cítricos, para esto se colectaron muestras foliares en plantaciones comerciales y huertos caseros en las provincias de Bocas del Toro, Chiriquí, Coclé, Herrera, Panamá Oeste y Veraguas. También se analizaron muestras del Banco de Germoplasma de Cítricos de IDIAP. El ADN se obtuvo mediante el método CTAB 2X. Se realizó la PCR con iniciadores específicos para identificar HLB: OI1/OI2c, OI2/23S1, HLB65/HLB66, GB1/GB3 y cebador 226pb. Los productos de PCR se visualizaron a través de electroforesis en gel de agarosa al 1,5%. Se obtuvieron las secuencias de 10 muestras de cítricos que corresponden a naranja criolla, limón criollo, lima Rangpur y naranja agria, de plantaciones comerciales y de traspatio. En las muestras del Banco de Germoplasma de cítricos de IDIAP y en las muestras de mirto (*Murraya paniculata* L.) no se encontró el HLB. Las secuencias obtenidas con los iniciadores HLB65/HLB66 y OI1/OI2c prueban que el agente causal de HLB en Panamá es *Candidatus Liberibacter asiaticus*.

Palabras clave: ADN, *Candidatus Liberibacter asiaticus*, *Citrus* spp., PCR.

¹Recepción: 05 de mayo de 2025. Aceptación: 11 de diciembre de 2025. Proyecto FID 18-050 Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT); Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) 501.B.2.34 Mejoramiento de la naranja criolla *Citrus sinensis* L. para resistencia a Huanglongbing.

²IDIAP. Centro de Innovación Agropecuaria Divisa (CIA Divisa), Laboratorio Agrobiotecnología.

e-mail: carmen.bieberach@idiap.gob.pa; ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0002-6607-9332>

e-mail: zanya.aguilar@idiap.gob.pa; ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0002-4458-9833>

e-mail: mjaen31@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-6006-3463>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

IDENTIFICATION OF THE BACTERIA CAUSING HUANGLONGBING

ABSTRACT

The objective of this study was to identify the bacterial agent responsible for huanglongbing (HLB) in citrus production areas of Panama. Leaf samples were collected from commercial citrus plantations and home orchards in the provinces of Bocas del Toro, Chiriquí, Coclé, Herrera, Panamá Oeste, and Veraguas. Samples from the IDIAP Citrus Germplasm Bank were also included. Genomic DNA was extracted using the 2× CTAB method. Polymerase chain reaction (PCR) assays were performed using specific primer sets for HLB detection, including OI1/OI2c, OI2/23S1, HLB65/HLB66, GB1/GB3, and a 226-bp primer pair. PCR products were visualized by agarose gel electrophoresis. DNA sequencing was conducted on ten citrus samples, including Creole orange, Creole lemon, Rangpur lime, and sour orange, obtained from commercial and backyard plantations. HLB was not detected in myrtle samples or in samples from the IDIAP Citrus Germplasm Bank. Sequence analysis of amplicons generated with primers HLB65/HLB66 and OI1/OI2c confirmed that the causal agent of HLB in Panama is *Candidatus Liberibacter asiaticus*. These results provide molecular confirmation of the presence of the HLB pathogen in affected citrus production areas and contribute to disease surveillance and management efforts in the country.

Keywords: DNA, *Candidatus Liberibacter asiaticus*, *Citrus* spp., PCR.

INTRODUCCIÓN

El HLB se reportó en Panamá por primera vez en el 2016, en las comunidades de Guabito y Las Tablas, en la provincia de Bocas del Toro (Arcia Tejedor, 2016). Declarando el Ministerio de Desarrollo Agropecuario de Panamá (MIDA), el estado de emergencia nacional fitosanitaria a través de la Resolución N°OAL-039-ADM-2016 (Gaceta Oficial Digital 27991 del jueves 17 de marzo de 2016) y puso en marcha un plan de contingencia para contener la enfermedad, incluyendo un programa de certificación y producción de material vegetativo sano.

En 2018 la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF) registró la presencia de Huanglongbing (HLB) en Panamá como plaga presente, no ampliamente distribuida y bajo control oficial, aunque señalaba que se había dispersado dentro de la provincia de Bocas del Toro 119 km, desde Las Tablas y Guabito, distrito de Changuinola,



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

hasta Paso Catalina en el corregimiento de Punta Peña, distrito de Chiriquí Grande. En 2021 el MIDA detectó un brote en árboles de traspatio en El Valle de Antón, provincia de Coclé y emitió una alerta fitosanitaria a través de la Resolución N° OAL-051-ADM-2021 (Gaceta Oficial Digital N° 29251-A de 19 de marzo de 2021).

El objetivo de esta investigación fue identificar la bacteria causante de HLB en las áreas de producción de naranja en Panamá.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se colectaron muestras foliares en plantaciones comerciales y huertos caseros en las provincias de Bocas del Toro, Chiriquí, Coclé, Herrera, Panamá Oeste y Veraguas. Inicialmente, el muestreo estuvo orientado a la identificación de plantas de cítricos criollos para trabajos de mejoramiento genético y, al mismo tiempo, se colectaron muestras foliares con síntomas aparentes de HLB (moteado amarillo de las hojas, nervaduras engrosadas), en zona afectada por HLB (Bocas del Toro) y zona no afectada (Coclé).

En 2018 se colectaron cuatro muestras en la provincia de Bocas del Toro (Ci7 al Ci10). En 2019 y 2020 se colectaron muestras de diferentes especies de cítricos en la provincia de Coclé (Ci11 a Ci 52). En 2021 y 2022 se colectaron muestras en Bocas del Toro, Coclé, Chiriquí, Herrera, Panamá Oeste y Veraguas. En este período se obtuvieron seis muestras de mirto (*Murraya paniculata* L.), planta hospedero del insecto *Diaphorina citri*, vector de HLB.

Se colectaron muestras del Banco de Germoplasma de Cítricos de Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), en 2020 y 2022, con la finalidad de verificar que los materiales estuvieran libres de HLB. El ADN de 255 muestras de cítricos y seis muestras de mirto se obtuvo mediante el método CTAB 2X.

El diseño experimental fue completamente al azar. Se realizó PCR a cada muestra con cinco cebadores específicos para identificar HLB: OI1/OI2c, OI2/ 23S1, HLB65/ HLB66, GB1/GB3 y cebador 226F/226R, además se utilizó el cebador para



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

bacterias 27F/1492R. Se repitió la PCR al menos dos veces para cada muestra y cebador. La información sobre las secuencias de los cebadores, la temperatura de hibridación, tamaño de producto y región blanco se describe en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Secuencia de los cebadores utilizados en la identificación de HLB.

Cebador	Secuencia 5' – 3'	Temp °C	Productos pb	Región blanco	Referencia
OI1 OI2c	GCGCGTATGCAATACGAGCGGCA GCGTCGCGACTTCGCAACCCAT	62	1160	16S rDNA CLas	Jagoueix et al., 1996.
OI2 23S1	ATGGGTTGCGAAGTCGCGAGC CGCCCTTCTCTCGCGCTTGA	55	900	16S/23S rDNA	Jagoueix et al., 1996.
HLB 65 HLB 66	TCCTGAGAATTACACACAAAC TCTAAGTCTATCCTGTAACCC	54	1000	DNA polimerase gene M94320	Tatineni et al., 2008.
GB1 GB3	AAGTCGAGCGAGTACGCAAGTACT CCAACCTTAATGATGGCAAATATAG	64	1027	16S rDNA CLam	Texeira et al., 2005.
226F 226R	CACCGAAGATATGGACAACA GAGGTTCTTGTTGTTTCTG	56	226	CLas	Hung et al., 1999.
27F 1492R	AGAGTTTGATCCTGGCTCAG GGTTACCTTGTTACGACTT	54,3	1400	16S rRNA Bacterias	Ragavi et al., 2019.

Los productos de PCR se visualizaron a través de electroforesis en gel de agarosa al 1,5%, en búfer de corrida TBE 0,5X, a 90 Voltios constantes, durante 2:30 horas. Los productos de PCR fueron secuenciados por Macrogen S.A. (Corea del Sur). Las secuencias se analizaron con la herramienta de alineamiento local BLAST nucleotide del National Center for Biotechnology Information (NCBI). <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diversos cebadores han sido diseñados para el diagnóstico de *Candidatus Liberibacter asiaticus* (CLas), *Candidatus Liberibacter africanus* (CLaf) y *Candidatus Liberibacter americanus* (CLam), para diferentes genes diana: 16S rRNA, la región intergénica 16S/23S rRNA, el gen β -operón, nusG-rplK, el gen OMP, el gen profago hipervariable hyvI y hyvII, rplA-rplJ, CLIBASIA_01645, CLIBASIA_RS01220, entre otros (Kokane et al., 2020; Nugroho et al., 2025).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

El desarrollo de cebadores específicos se considera necesario para ampliar la base de datos de marcadores moleculares que permita mejorar la detección de HLB y el análisis de la diversidad genética del patógeno. De acuerdo con Hong et al. (2019) en los ensayos de detección molecular de HLB pueden presentarse falsos negativos, por ello se hace necesario usar diversos cebadores y estandarizar las pruebas.

En este trabajo se utilizaron tres cebadores recomendados en la norma internacional para el diagnóstico HLB de cítricos (International Plant Protection Convention [IPPC], 2022): OI1/OI2c y OI2/23S1 para identificación de CLas y CLaf (Jagoueix et al., 1996) y GB1/GB3 para CLam (Texeira et al., 2005). Se identificaron dos muestras positivas para HLB con los cebadores OI1/OI2c (Ci37 y Ci 79) (Figura 1B). No hubo muestras positivas con OI2/23 S1 y GB1/GB3.

El cebador HLB65/HLB66 fue diseñado con base en el gen del ADN polimerasa M94320 de la bacteria HLB (Tatineni et al., 2008). Con HLB65/HLB66 hubo cinco muestras de cítricos positivas (Figura 1A), que corresponden a naranja criolla (Ci36), limón criollo (Ci9, Ci37, Ci37AR), lima Rangpur (Ci10). Las muestras positivas provienen de huertos caseros de Bocas del Toro (Ci9, Ci10), huertos caseros de Coclé (Ci36, Ci37, Ci37AR) y plantaciones comerciales de Coclé (Ci79).

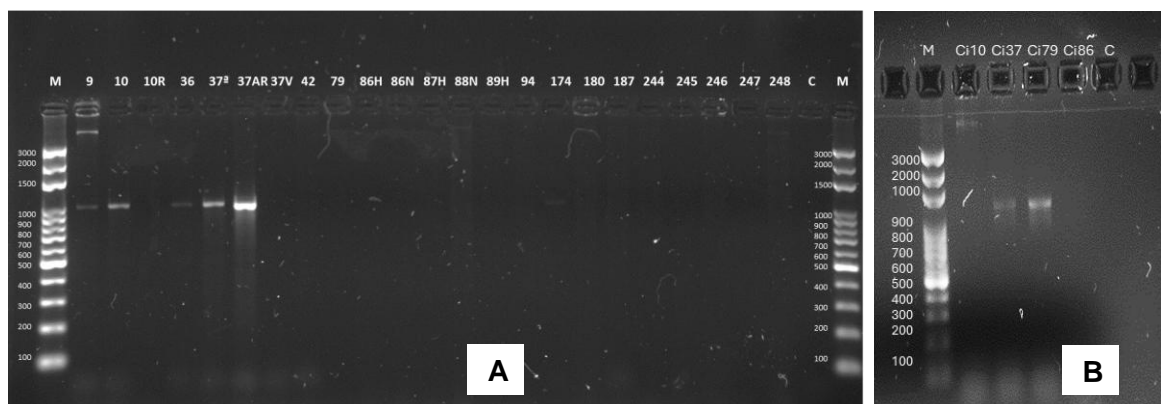


Figura 1. Muestras positivas al HLB. A) cebador HLB65/HLB66. B) cebador OI1/OI2c.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

El análisis de las secuencias de los amplicones HLB65/HLB66 y OI1/OI2c confirmó que el agente causal de HLB en Bocas del Toro y Coclé es *Candidatus Liberibacter asiaticus* (Cuadro 2). En las seis muestras de mirto analizadas no se encontró el HLB.

Cuadro 2. Alineamiento de las secuencias obtenidas con los cebadores HLB65/HLB66 y OI1/OI2c.

Código	Iniciador	Organismo	Accesión	Porcentaje de Identidad	E Value
Ci9	HLB66	Cl asiaticus strain UF506	HQ377374.1	99.57	0.0
		Cl asiaticus strain psy62	CP001677.5		
		Cl asiaticus JRPAMB1	CP040636.1		
Ci10	HLB65 HLB66	Cl asiaticus strain UF506	HQ377374.1	98.22	0.0
		Cl asiaticus strain psy62	CP001677.5		
		Cl asiaticus JRPAMB1	CP040636.1		
Ci36	HLB65 HLB66	Cl asiaticus strain UF506	CP040636.1	97.57	0.0
		Cl asiaticus strain psy62	CP001677.5	97.57	
		Cl asiaticus JRPAMB1	CP040636.1	97.44	
Ci37A	HLB65	Cl asiaticus strain UF506	HQ377374.1	99.78	0.0
		Cl asiaticus strain psy62	CP001677.5		
	HLB66	Cl asiaticus strain UF506	HQ377374.1	99.89	
		Cl asiaticus strain psy62	CP001677.5		
Ci37AR	HLB65	Cl asiaticus strain UF506	HQ377374.1	99.67	0.0
	HLB66	Cl asiaticus JRPAMB1	CP040636.1	99.35	0.0
Ci79	OI1/OI2c	Cl asiaticus CALasi MR4	KY990821.1	98.92	0.0
		Cl asiaticus YNNL8506	CP131152.1	98.83	0.0

Los cultivares conservados en el Banco de Germoplasma de Cítricos de IDIAP dieron resultados negativos con los seis cebadores usados en el estudio, lo que indica que las plantas estuvieron libres de HLB. El análisis del Banco de Germoplasma de Cítricos de IDIAP es importante, ya que tanto los portainjertos como las naranjas dulces que lo conforman constituyen una fuente de germoplasma sano para la renovación de plantaciones comerciales y huertos en Panamá.

El cebador 27F/1492R, que amplifica el gen 16S rRNA de bacterias, se ha usado para identificar bacterias fitopatógenas en diversos cultivos (Ragavi et al., 2019, Ferdous,



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

2024; Santosa et al., 2024; Lu et al., 2025) y también microorganismos de control biológico (Mirsam et al., 2022). Este se usó en la PCR de todas las muestras colectadas. Con el cebador 27F/1492R se obtuvieron bandas de aproximadamente 1200 pb en las muestras Ci36, Ci76, Ci77, Ci79, Ci81, Ci174 (Figura 2).

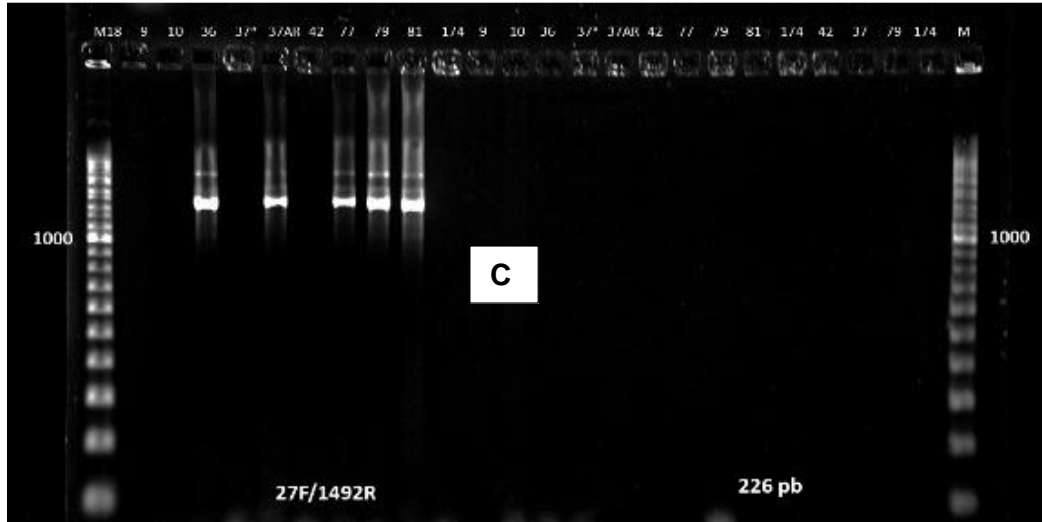


Figura 2. Muestras positivas con el cebador 27F/1492R.

Las secuencias de los productos de PCR obtenidos con el cebador 27F/1492R identificaron la especie *Candidatus Liberibacter asiaticus*, aunque el porcentaje de identidad con las accesiones NCBI fue menor al 90% (Cuadro 3). Las muestras positivas fueron: naranja criolla (Ci36, Ci79, Ci81), de huertos caseros de Coclé, en las localidades de La Mata (Río Hato) y Miraflores (Penonomé); naranja Valencia (Ci76, Ci77) de plantación comercial en Coclé y naranja agria (Ci174) de huerto casero en Bocas del Toro.

La muestra Ci36 dio respuesta con dos cebadores que identifican *Candidatus Liberibacter asiaticus* HLB65/ HLB66 y 27F/1492R, al igual que la muestra Ci79 que dio respuesta con los cebadores OI1/OI2c y 27F/1492R.

De 255 muestras analizadas, solo 10 plantas dieron resultado positivo (3,9%) y estuvieron concentradas en dos provincias: Bocas del Toro y Coclé. En este trabajo no se



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

identificaron muestras positivas al HLB de las provincias de Chiriquí, Herrera, Panamá Oeste y Veraguas.

Las secuencias obtenidas con HLB65/HLB66 muestran identidad (97- 99%) con accesiones del GenBank NCBI HQ377374.1, CP001677.5 y CP040636.1 de Florida, Estados Unidos; la secuencia de OI1/OI2c tiene similitud (98%) con la accesión KY990821 de Irán y CP131152 del Sur de China; las secuencias derivadas del cebador 27F/1492R muestran similitud (81% - 88%) con la accesión CP131145 de CLas del Sur de China.

Cuadro 3. Alineamiento de las secuencias obtenidas con el cebador 27F/1492R.

Código	Iniciador	Organismo	Accesión	Porcentaje de Identidad	E Value
Ci36	27F	Cl asiaticus YNLR13	CP131145.1	88.89	6.00E-47
	1492R	Cl asiaticus YNLR13	CP131145.1	86.06	0.00
Ci76	27F	Cl asiaticus YNLR13	CP131145.1	83.31	0.00
		Cl caribbeabus clone 934	KP012550.1	79.33	2e-166
	1492R	Cl asiaticus YNLR13	CP131145.1	84.62	0.00
Ci77	27F	Cl asiaticus YNLR13	CP131145.1	83.53	0.00
	1492R	Cl asiaticus YNLR13	CP131145.1	84.98	0.00
Ci79	27F	Cl asiaticus YNLR13	CP131145.1	82.99	0.00
	1492R	Cl asiaticus YNLR13	CP131145.1	83.48	0.00
Ci81	27F	Cl asiaticus YNLR13	CP131145.1	81.80	0.00
	1492R	Cl asiaticus YNLR13	CP131145.1	84.41	0.00
Ci174	27F	Cl asiaticus YNLR13	CP131145.1	83.73	0.00
	1492R	Cl asiaticus YNLR13	CP131145.1	83.87	0.00

CONCLUSIÓN

- El agente causal de la enfermedad de Huanglongbing en Panamá es la bacteria *Candidatus Liberibacter asiaticus*, de acuerdo con las secuencias de ADN de las muestras foliares de cítricos procedentes de huertos caseros y plantaciones comerciales en las provincias de Bocas del Toro y Coclé.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

REFERENCIAS

Arcia Tejedor, A. A. (2016). *Caracterización molecular del agente causal de la enfermedad Huanglongbing (HLB) en Panamá*. S-05-D. XVI Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología. Ciencia para la Equidad u el desarrollo sostenible. Asociación Panameña para el Avance de la Ciencia (APANAC) y Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) 19 al 22 de octubre, Hotel Wyndham Panamá, Albrook Mal. p.116.

https://apanac.org.pa/wp-content/uploads/2024/07/6-libro_xvi_congreso_nacional_de_ciencia_y_tecnologia.pdf

Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (2018). Presencia de HLB de los cítricos / Presence of Citrus HLB.

<https://www.ippc.int/es/countries/panama/pestreports/2018/11/presencia-de-hlb-de-los-citricos-presence-of-citrus-hlb-19/>

Ferdous, R. (2024). Natural field diagnosis and molecular confirmation of fungal and bacterial watermelon pathogens in Bangladesh: A case study from the Natore and Sylhet districts. PLOS ONE, 19(11), e0307245.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0307245>

Gaceta Oficial Digital No. 27991 del jueves 17 de marzo de 2016. Ministerio de Desarrollo Agropecuario. Resolución No. OAL-039-ADM-2016 del 3 de febrero de 2016.

<https://faolex.fao.org/docs/pdf/pan163996.pdf>

Gaceta Oficial Digital No. 29251-A del lunes 29 de marzo de 2021. Ministerio de Desarrollo Agropecuario. Resolución No. OAL-051-ADM-2021 del 19 de marzo de 2021.

https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/29251_A/GacetaNo_29251a_20210329.pdf

Hong, Y., Luo, Y., Yi, J., He, L., Dai, L., & Yi, T. (2019). Screening nested-PCR primer for 'Candidatus Liberibacter asiaticus' associated with citrus Huanglongbing and application in Hunan, China. PLOS ONE, 14(2), e0212020.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212020>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Hung, T. H., Wu, M. L., & Su, H. J. (1999). Development of a rapid method for the diagnosis of Citrus greening disease using polymerase chain reaction. *Journal of Phytopathology*, 147(10), 599-604.

<https://doi.org/10.1046/j.1439-0434.1999.00435.x>

International Plant Protection Convention. (2022). International Standard for Phytosanitary Measures 27. DP 31. 'Candidatus Liberibacter' spp. on Citrus spp. Rome, IPPC Secretariat, FAO.

https://assets.ippc.int/static/media/files/publication/en/2022/03/DP_31_2022_CaLiberibacterCitrus_2022-03-15.pdf

Jagoueix, S., Bové, J. M., & Garnier, M. (1996). PCR detection of the two 'Candidatus' Liberibacter species associated with greening disease of citrus. *Molecular and Cellular Probes*, 10, 43-50. <https://doi.org/10.1006/mcpr.1996.0006>

Kokane, S. B., Bhowmik, S., Kokane, A., Gubaydullina, M., & Ghosh, D. K. (2020). Molecular detection, identification, and sequence analysis of 'Candidatus Liberibacter asiaticus' associated with Huanglongbing disease of citrus in North India. *3 Biotech*, 10, 341. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02334-x>

Lu, C., Zhang, X., Cai, J., Ou, C., Ding, X., & Fu, Z. (2025). First report of Soft Rot of *Ranunculus ternatus* Thunb. caused by *Pseudomonas fluorescens* in China. The American Phytopathological Society (APS). Online APS Publications. Plant Disease. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-25-1555-PDN>

Mirsam, H., Suriani, Aqil, M., Azrai, M., Efendi, R., Muliadi, A., Sembiring, H., & Azis, A. I. (2022). Molecular characterization of indigenous microbes and its potential as a biological control agent of Fusarium stem rot disease (*Fusarium verticillioides*) on maize. *Heliyon*, 8(12), e11960. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11960>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Nugroho, K., Purwito, A., Sukma, D., Kosmiatin, M., Santoso, T. J., Akhdiya, A., Yusuf, H. M., Aditama, R., & Reflinur, R. (2025). Application of newly designed primer for Huanglongbing disease detection in Citrus plants. *BIO Web of Conferences* 184, 02001 (2025). ISISBMB 2025. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202518402001>
- Ragavi, G., Muthamilan, M., Nakkeeran, S., Kumaravadivel, N. Sivakumar, U., & Suganthi, A. (2019). Molecular Detection of the Causative Agent of Soft Rot (*Pectobacterium carotovorum subsp carotovorum*) in Banana (*Musa sp.*). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(11), 1854-1868. https://www.researchgate.net/publication/337791510_Molecular_Detection_of_the_Causative_Agent_of_Soft_Rot_Pectobacterium_carotovorum_subsp_carotovorum_in_Banana_Musa_sp
- Santosa, A. I., Hilmany, T., Dewi, N. A., Rahmawati, N. E., Putri, E. A., Hafidsya, T., Setyaningrum, A. V., Dewi, R. E., Sari G. N. P., Manao Nubatonis, N. B. F., & Widyawan, A. (2024). Cross amplification of 16S rRNA bacterial primer 27F/1492R on horticultural crop chloroplast genome. *Agricultural Science*, 7(2), 172-183. <https://doi.org/10.55173/agriscience.v7i2.132>
- Tatineni, S., Sagaram, U. S., Gowda, S., Robertson, C. J., Dawson, W. O., Iwanami, T., & Wang, N. (2008). In Planta Distribution of '*Candidatus Liberibacter asiaticus*' as Revealed by Polymerase Chain Reaction (PCR) and Real-Time PCR. *Phytopathology*, 98(5), 592-599. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-98-5-0592>
- Teixeira, D. C., Danet, J. L., Eveillard, S., Martins, E. C., de Jesus Jr, W. C., Yamamoto, P. T., Lopes, S. A., Bassanezi, R. B., Ayres, A. J., Saillard, C., & Bove, J. M. (2005). Citrus huanglongbing in Sao Paulo State, Brazil: PCR detection of the '*Candidatus*' *Liberibacter* species associated with the disease. *Molecular and Cellular Probes*, 19(3), 173-179. <https://doi.org/10.1016/j.mcp.2004.11.002>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

CURVAS DE ABSORCIÓN DE NUTRIENTES PARA CUATRO VARIEDADES DE ARROZ¹

**Luis A. Barahona-Amores²; Rubén D. Samaniego-Sánchez³;
Rubén E. Rodríguez-Navarro⁴**

RESUMEN

La fertilización constituye un factor importante en la obtención de un alto rendimiento. La respuesta a la fertilización depende de la variedad, fertilidad del suelo, clima y manejo de plagas. El objetivo fue determinar la absorción y extracción de macro y micronutrientes en cuatro variedades de arroz según etapa fenológica. Se realizó en Tonosí, provincia de Los Santos, Panamá, durante los meses de agosto a diciembre en los ciclos agrícolas 2020, 2021 y 2022 bajo secano. Se utilizaron las variedades IFL 72-17, IFL 069-18, IFL 148-18 e IFL Alanjeña-22, con parcelas de 200 m² y una densidad de 120 kg/ha de semilla. Se realizaron muestreos foliares cada 15 días a partir de la germinación por triplicado, utilizando un marco de 0,25 m x 0,25 m. Se determinó la extracción de nutrientes en follaje y granos. Se realizó un análisis de regresión para determinar la extracción de nutrientes por etapa de cultivo, el cual mostró que la ecuación cuadrática es la que mejor se ajusta a la tendencia de los datos, con coeficientes de determinación que van de 0,72 a 0,96. La variedad IFL 148-18 y la IFL 72-17 necesitan mayor cantidad de nutrientes para producir una tonelada de grano en comparación con la IFL 069-18 y la IFL Alanjeña-22. El orden de importancia de los nutrientes basado en la cantidad total absorbida fue K>N>Ca>P>Mg>Fe>Zn>Mn>Cu y la etapa de máximo embuchamiento coincide como la de mayor demanda en la mayoría de los nutrientes. Se concluye que las variedades difieren en su capacidad de absorción de nutrientes. La mayor absorción de macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio) se produce durante el período vegetativo, cuando la planta está creciendo y desarrollando su estructura. Por otro lado, la mayor absorción de micronutrientes (hierro, zinc, cobre, manganeso) se produce durante el período reproductivo, cuando la planta está produciendo flores y granos.

Palabras clave: Extracción, fenología, fertilización, rendimiento, suelo.

¹Recepción: 06 de mayo de 2025. Aceptación: 18 de agosto de 2025.

²Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Centro de Innovación Agropecuaria de Azuero (CIA-Azuero). M.Sc. Manejo de suelos y agua. e-mail: alberline@gmail.com;

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-5824-7688>

³IDIAP, CIA-Azuero. M.Sc. Agricultura ecológica. e-mail: rubensama15@gmail.com;

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-9910-5678>

⁴IDIAP, CIA-Azuero. Tec. Cultivos agroexportables. e-mail: rbrodriguez@gmail.com;

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0006-5485-7116>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

NUTRIENT ABSORPTION CURVES FOR FOUR RICE VARIETIES IN PANAMA

ABSTRACT

Fertilization is a key factor in achieving high rice yields, and crop response depends on varietal characteristics, soil fertility, climatic conditions, and pest management. The objective of this study was to quantify the absorption and extraction of macro- and micronutrients across phenological stages in four rice varieties. The study was conducted under rainfed conditions in Tonosí, Los Santos Province, Panama, during the 2020, 2021, and 2022 cropping seasons. The varieties evaluated were IFL 72-17, IFL 069-18, IFL 148-18, and IFL Alanjeña-22, established in 200 m² plots with a seeding rate of 120 kg ha⁻¹. Leaf sampling was performed every 15 days from germination, in triplicate, using a 0.25 m × 0.25 m quadrat. Nutrient extraction in foliage and grain was determined, and regression analysis was used to describe nutrient extraction as a function of crop development stage. Quadratic models provided the best fit to the data, with coefficients of determination (R²) ranging from 0.72 to 0.96. Varieties IFL 148-18 and IFL 72-17 required greater nutrient uptake per ton of grain produced compared with IFL 069-18 and IFL Alanjeña-22. Based on total absorption, the relative importance of nutrients was K > N > Ca > P > Mg > Fe > Zn > Mn > Cu. The maximum grain-filling stage coincided with the period of highest demand for most nutrients. Results indicate that rice varieties differ in their nutrient absorption capacity. Macronutrient uptake (N, P, K, Ca, Mg) was greatest during the vegetative stage, whereas micronutrient uptake (Fe, Zn, Cu, Mn) peaked during the reproductive stage.

Keywords: Extraction, phenology, fertilization, yield, soil.

INTRODUCCIÓN

El arroz es uno de los alimentos indispensables en la dieta del panameño, donde el consumo anual per cápita es de más de 65 kg/año, siendo el tercer país más consumidor de arroz per cápita en América, solo por debajo de Cuba con 108 kg/año y Surinam con 68 kg/año (Rice observatory, 2025).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

En Panamá, para el año 2024, se sembraron alrededor de 86 717 ha, de las cuales el 84% fue bajo el sistema de secano y solo un 16% bajo riego. El rendimiento promedio fue de 4,4 t/ha, con una producción total de 374 443 toneladas. El costo de producción por hectárea para esta zafra estuvo en B/. 2 700,00 donde el 21% corresponde al uso de fertilizantes (Ministerio de Desarrollo Agropecuario [MIDA], 2024).

La fertilización constituye un factor importante en la obtención de un alto rendimiento. La respuesta a la fertilización depende de la variedad, fertilidad del suelo, clima y manejo de plagas (Molina & Rodríguez, 2012). Una curva de absorción representa gráficamente la extracción de un nutriente e indica las cantidades absorbidas por la planta a lo largo de su ciclo fenológico (Barahona Amores et al., 2019).

Un estudio de absorción es un buen punto de partida para estimar la cantidad de nutrientes que se debe reponer al campo para mantener la fertilidad. Si se desea mantener la sostenibilidad del sistema, se debe al menos reponer al suelo las mismas cantidades de nutrientes que salen directamente del campo en la biomasa del cultivo (Bertsch Hernández, 2009).

Se han realizado varios trabajos sobre curvas de absorción de nutrientes de arroz en Panamá para distintas variedades como la VIOAL-3189 e IDIAP L7 (Name & Villarreal, 2004), la FCA 97116 (Dominguez, 2011), la UP 80 FL (Villarreal Barrera, 2018), IDIAP FL 106-11 (Barahona Amores et al., 2018), IDIAP FL 137-11 (Barahona Amores et al., 2019), presentando diferentes extracciones de nutrientes según la variedad, el manejo y el tipo de suelo.

El presente trabajo se realizó con el objetivo de determinar la absorción de macro y micronutrientes en cuatro variedades de arroz según etapa fenológica, en un suelo Entisol bajo condiciones de secano, para mejorar la eficiencia en la fertilización.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización geográfica

El estudio se realizó en el Instituto Profesional Técnico Agropecuario de Tonosí (IPTAT), ubicado en el corregimiento de El Cacao, distrito de Tonosí, provincia de Los Santos, entre los 7°26'03" de latitud Norte y los 80°24'37" longitud Oeste (Figura 1). Los suelos fueron clasificados como Typic Udifluvents, textura franca con régimen de humedad Údico y temperatura Isohipertérmico (MIDA, 2015), clasificado dentro de la zona de vida correspondiente a Bosque Húmedo Tropical (Holdridge, 1978).

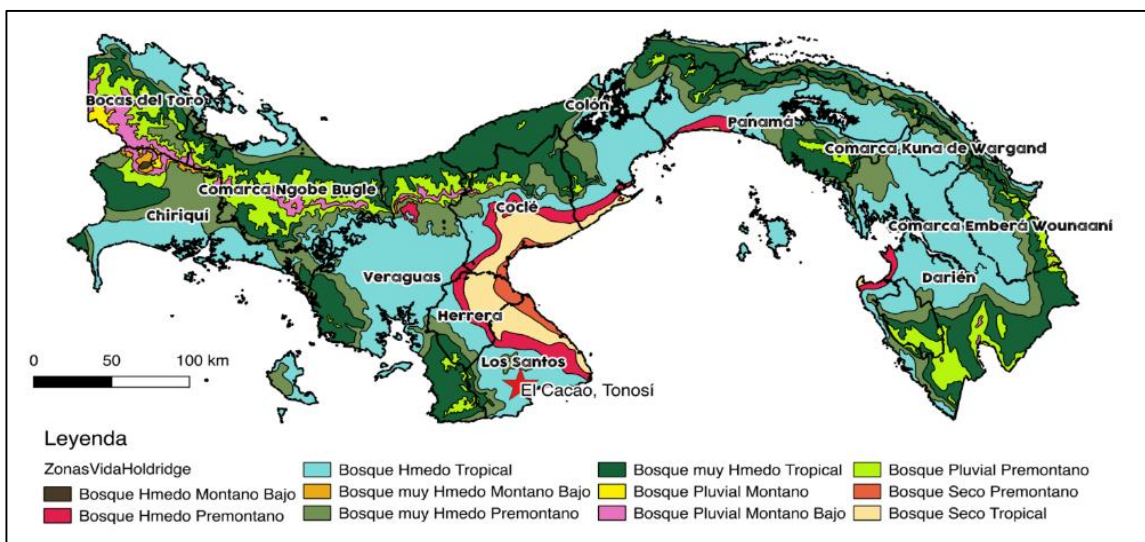


Figura 1. Localización geográfica del estudio de curva de absorción de nutrientes en arroz de acuerdo con la clasificación de Zonas de Vida de Holdridge (1978).

Características edafoclimáticas

El contenido de nutrientes según los niveles críticos establecidos por Name & Cordero (1987), presenta niveles altos de calcio (Ca) y magnesio (Mg); niveles medios de potasio (K), fósforo (P), manganeso (Mn), hierro (Fe) y cobre (Cu); además unos niveles bajos de aluminio (Al) y zinc (Zn). En cuanto a sus características fisicoquímicas, presenta una textura franco-arcillosa, con una coloración en seco pardo amarillo claro, pH poco ácido, una capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) media, con una baja saturación de aluminio y una elevada saturación de bases, la cual está dominada por la saturación de calcio (71,2%) y un nivel bajo de materia orgánica (Cuadro 1).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 1. Características fisicoquímicas del suelo utilizado en el estudio de curva de absorción de nutrientes, El Cacao, Tonosí.

P	K	Ca	Mg	Al	Mn	Fe	Zn	Cu
<i>mg kg⁻¹</i>		<i>cmol(+) kg⁻¹</i>			<i>mg kg⁻¹</i>			
40,0	104,5	15,5	5,8	0,2	18,9	53,6	1,8	4,3
Textura	color	CICE	pH	Al	bases	M.O.		
		<i>cmol(+) kg⁻¹</i>	1:2.5	<i>% saturación</i>		<i>%</i>		
FRA	10 YR 5/4	21,7	6,4	0,92	99,08	0,4		

Laboratorio de fertilidad de suelos del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), 2021.

Para el 2020, durante el desarrollo del experimento, la precipitación acumulada fue de 896 mm, con una temperatura media de 27,2° C, humedad relativa media de 62% y una radiación promedio de 141 watt/m². Para el 2021 la precipitación acumulada fue de 813 mm, donde se presentaron periodos de estrés hídrico debido a una escasa precipitación en el mes de septiembre (83 mm), con una temperatura media de 25,7° C, humedad relativa media de 58% y una radiación promedio de 147 watt/m². Para el 2022 la precipitación acumulada fue de 1310 mm, con una temperatura media de 26,1° C, humedad relativa media de 57% y una radiación promedio de 155 watt/m² (Cuadro 2).

Cuadro 2. Variables climáticas durante el desarrollo del ensayo de curva de absorción de nutrientes. El Cacao, Tonosí. 2020, 2021 y 2022.

Año	Mes	HR	VV	Rad	Tmin	Tmax	Tmedia	Ppt	ppt acum
		<i>%</i>	<i>(m/s)</i>	<i>(w/m²)</i>	<i>°C</i>		<i>(mm)</i>		
2020	Agosto	65,9	0,4	103	26,9	32,0	28,7	129	896
	Septiembre	63,5	0,3	140	24,4	34,0	27,1	214	
	Octubre	64,3	0,6	153	24,3	33,7	26,6	158	
	Noviembre	65,3	0,5	127	24,2	32,7	26,5	310	
	Diciembre	49,4	1,0	185	23,3	34,9	26,9	85	
2021	Agosto	59,7	0,4	145	22,9	31,2	25,5	187	813
	Septiembre	60,3	0,3	147	23,2	31,9	25,6	83	
	Octubre	61,8	0,4	142	23,3	32,9	25,6	294	
	Noviembre	59,3	0,4	134	22,6	32,3	25,3	216	
	Diciembre	47,8	0,8	168	23,0	33,7	26,6	33	
2022	Agosto	60,6	0,3	140	22,2	30,1	26,2	246	1310
	Septiembre	59,3	0,3	157	21,9	30,3	26,1	263	
	Octubre	61,2	0,3	139	22,0	30,0	26,0	320	
	Noviembre	61,8	0,3	134	21,4	29,7	25,6	471	
	Diciembre	40,4	1,0	205	21,0	32,5	26,8	10	

HR= humedad relativa, VV= velocidad del viento, Rad= radiación solar, Tmin= temperatura mínima, Tmax= temperatura máxima, Tmedia= temperatura media, ppt= precipitación, ppt acum= precipitación acumulada. Fuente: Adaptado de Batista et al. (2020, 2021, 2022).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Material genético

Se utilizaron en el experimento las variedades del IDIAP denominadas IDIAP FL 72-17, IDIAP FL 069-18, IDIAP FL 148-18 y la IDIAP FL Alanjeña-22, cuyas características se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Características de las variedades de arroz utilizadas en el estudio de absorción de nutrientes.

Variedad	MM	IP	flor	Mat	Rend
		Días después de siembra			t/ha
IDIAP FL 72-17	43	57	87	117	5,7
IDIAP FL 069-18	41	53	84	116	5,3
IDIAP FL 148-18	38	50	81	110	5,1
IDIAP FL Alanjeña-22	36	47	82	109	5,4

MM= máximo macollamiento, IP= inicio de primordio, flor= floración, Mat= maduración, Rend= rendimiento. (Fuente: Adaptado de Quirós & Barahona, 2017; Quirós Mcl. et al., 2018a; Quirós Mcl. et al., 2018b; Quirós Mcl. et al., 2022).

Arreglo en campo y manejo

El ensayo se realizó en los ciclos agrícolas del 2020, 2021 y 2022, de agosto a diciembre. Se utilizaron parcelas de 200 m² para cada variedad (10 m x 20 m); la siembra se realizó sobre suelo seco en hileras separadas cada 0,2 m, con una densidad de siembra de 120 kg/ha de semilla seca. Se utilizó una fertilización básica de 120 kg/ha de N, 80 kg/ha de P₂O₅ y 80 kg/ha de K₂O, en donde el total del P y K se aplicó al momento de la siembra con base en la fórmula compuesta de 12-24-12 y el N se fraccionó en tres partes iguales a los 30, 45 y 55 días después de la siembra (urea 46%). El manejo agronómico en cuanto a control de malezas, insectos y enfermedades se realizó de acuerdo con las tecnologías generadas por el IDIAP para el manejo integrado del cultivo de arroz (Camargo et al., 2014). El sistema utilizado fue en secano (dependiente de las lluvias).

Muestreo en campo

Los muestreos de campo para la elaboración de las curvas de absorción se realizaron con base en la metodología descrita por Bertsch Hernández (2009). Se muestreó cada 15 días, y se aseguró que coincidieran con las etapas fenológicas más importantes del cultivo de arroz. Cada muestreo se realizó por triplicado, en cada réplica se utilizó un marco de 0,25 m x 0,25 m. Las muestras se dividieron en follaje y granos, para determinar



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

la extracción de nutrientes en cada una de ellas. Se pesaron las muestras húmedas, luego se llevaron al horno a 70° C por 48 hr y se tomó el peso seco para calcular la producción de biomasa seca total (kg/ha). Para la producción de grano se utilizó un marco de 1 m² y se calculó la productividad de grano limpio y seco al 14% de humedad (Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT], 1983).

Análisis de laboratorio

El contenido de nutrientes se determinó según la metodología descrita por Villarreal & Name (1996). Las muestras secas se molieron y pasaron por un tamiz No. 20 (1 mm de abertura en la malla), posteriormente se almacenaron en sobres de papel a temperatura ambiente. El N se determinó mediante el método Kjeldahl. Se utilizó el proceso de mineralización vía húmeda y se determinó el P por Mehlich 1 y formación del complejo fosfomolibdico utilizando un espectrofotómetro de luz visible. El K, Cu, Fe, Zn y Mn sus extracciones fueron realizadas por el método de Mehlich 1, mientras que el Ca, Mg con la solución extractora KCl. Las cuantificaciones de estos elementos fueron realizadas por Absorción Atómica, mediante fuente continua.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de regresión no lineal con el modelo cuadrático para determinar la extracción de cada elemento por etapa fenológica, siendo este modelo el que presento un mejor ajuste (R^2), en este tipo de análisis (Barahona Amores et al., 2018). Los análisis estadísticos se realizaron con el software InfoStat versión 2020 profesional (Di Rienzo et al., 2008).

Modelo cuadrático

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2$$

Donde:

Y= absorción de nutriente (kg/ha)

β_0 = intercepto de la curva

β_1 = coeficiente lineal

β_2 = coeficiente cuadrático

X= variable independiente (etapa de muestreo)



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

VARIABLES DE ESTUDIO

Se midió absorción de nutrientes por etapa fenológica por ha (follaje y panícula), absorción de nutrientes total por sección de la planta por ha (follaje y panícula), absorción total de nutrientes por ha (follaje + panícula), producción de biomasa seca y rendimiento grano paddy limpio y seco al 14% humedad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de regresión no lineal, utilizando un modelo cuadrático, mostró un buen ajuste en las curvas de absorción de los nutrientes. Las ecuaciones correspondientes se presentan en el Cuadro 4, con coeficientes de determinación (R^2) que van de 0,72 para P, hasta 0,96 para Cu. La absorción media de nutrientes fue mayor para el K con 270 kg/ha. En orden decreciente, se registraron los siguientes valores: N 209 kg/ha; Ca 101 kg/ha; P 67 kg/ha; Mg 17 kg/ha; Mn 0,95 kg/ha; Fe 0,69 kg/ha; Zn 0,64 kg/ha; y Cu 0,15 kg/ha. Estos resultados coinciden con los reportados por Barahona Amores et al. (2018), quienes determinaron que el orden de extracción de nutrientes para dos variedades de arroz bajo condiciones de secano fue $K > N > Ca > P > Mg > Fe > Zn > Mn > Cu$.

Cuadro 4. Ecuaciones de regresión, coeficiente de determinación y absorción de nutrientes por variedad.

Nutriente	Modelo cuadrático	R^2	Absorción (kg/ha)				Media
			I FL 72-17	I FL 069-18	I FL 148-18	I FL Alanjeña-22	
N	$Y = -0,03x^2 + 5,2x - 81$	0,92	241	202	213	181	209
P	$Y = -0,001x^2 + 0,6x - 8,4$	0,72	72	66	68	64	67
K	$Y = -0,05x^2 + 8,4x - 137$	0,85	311	260	275	234	270
Ca	$Y = -0,008x^2 + 1,8x - 31$	0,88	105	101	102	95	101
Mg	$Y = -0,003x^2 + 0,47x - 7,9$	0,91	19	17	17	15	17
Mn	$Y = 0,1^{-04}x^2 + 0,002x + 0,01$	0,93	0,95	0,95	0,96	0,92	0,95
Fe	$Y = -0,3^{-03}x^2 + 0,07x - 1,2$	0,73	0,72	0,69	0,70	0,66	0,69
Zn	$Y = -0,8^{-04}x^2 + 0,01x - 0,2$	0,89	0,72	0,63	0,63	0,58	0,64
Cu	$Y = -0,5^{-05}x^2 + 0,002x - 0,03$	0,96	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15
<i>Biomasa (t/ha)</i>			15,9	14,4	14,9	14,8	15,0
<i>Rendimiento de grano (t/ha)</i>			5,7	5,3	5,1	5,4	5,4
<i>Índice de cosecha (%)</i>			36	37	34	36	36



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

La variedad IDIAP FL 72-17 presentó la mayor absorción de nutrientes, con una producción de biomasa (materia seca) de 15,9 t/ha, un rendimiento de grano de 5,7 t/ha y un Índice de cosecha de 36%, mientras que la variedad menos exigente en nutrientes fue la IDIAP FL Alanjeña-22, con una producción de biomasa de 14,8 t/ha, un rendimiento de grano de 5,4 t/ha y un índice de cosecha de 36%. Estos resultados coinciden con lo reportado por Barahona Amores et al. (2019) y Herber et al. (2022), quienes evaluaron diferentes variedades de arroz bajo condiciones similares de suelo y manejo, encontrando diferencia en su capacidad de absorción de nutrientes.

Requerimiento por tonelada de arroz

Los requerimientos necesarios para producir una tonelada de arroz paddy (en cascara), difiere para cada variedad, principalmente para N, K y Ca (Cuadro 5), encontrando que la variedad IDIAP FL 148-18 y la IDIAP FL 72-17 necesitan mayor cantidad de nutrientes para producir una tonelada de grano, indicando ser menos eficiente en la repartición de los fotosintatos asimilables, mientras que la variedad IDIAP FL Alanjeña-22 es la que requiere menor cantidad de nutriente para producir una tonelada de grano. Los requerimientos de N, P y K para producir una tonelada de grano en las variedades evaluadas resultaron ser mayores a los reportados por el Instituto de la Potasa y el Fosforo [INPOFOS] (2004), Molina & Rodríguez (2012) y Herber & Kreamer (2013), en distintas variedades, mientras que los requerimientos de Ca, Mg, Mn, Fe, Cu y Zn fueron similares.

Cuadro 5. Requerimiento nutricional para producir una tonelada de grano en las distintas variedades evaluadas.

Variedad	kg/tonelada de grano								
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Cu
IFL 72-17	42,2	12,6	54,6	18,4	3,3	0,17	0,13	0,13	0,03
IFL 069-18	38,0	12,4	49,1	19,0	3,3	0,18	0,13	0,12	0,03
IFL 148-18	41,8	13,3	53,9	20,1	3,3	0,19	0,14	0,12	0,03
IFL Alanjeña-22	33,5	11,9	43,3	17,7	2,8	0,17	0,12	0,11	0,03
<i>Media</i>	<i>38,9</i>	<i>12,5</i>	<i>50,2</i>	<i>18,8</i>	<i>3,2</i>	<i>0,18</i>	<i>0,13</i>	<i>0,12</i>	<i>0,03</i>
<i>CV%</i>	<i>10,4</i>	<i>4,6</i>	<i>10,4</i>	<i>5,4</i>	<i>7,9</i>	<i>5,4</i>	<i>6,3</i>	<i>6,8</i>	<i>0,1</i>
<i>DMS</i>	<i>5,2</i>	<i>1,5</i>	<i>9,3</i>	<i>2,0</i>	<i>0,6</i>	<i>0,1</i>	<i>0,1</i>	<i>0,1</i>	<i>0,1</i>
<i>pvalor</i>	<i>0,01</i>	<i>0,07</i>	<i>0,01</i>	<i>0,03</i>	<i>0,12</i>	<i>0,25</i>	<i>0,21</i>	<i>0,32</i>	<i>0,75</i>

CV%: coeficiente de variación, DMS: diferencia mínima significativa, pvalor: probabilidad.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Etapas de máxima absorción

La absorción por etapa fenológica para los distintos nutrientes se presenta de manera relativa y se puede determinar las etapas críticas de absorción (Figura 2), las cuales hay que tomar en consideración a la hora de realizar un plan de fertilización.

Para N, se observan dos etapas de máxima absorción en el ciclo fenológico que son, el máximo macollamiento con un 28% de la absorción total y al embuchamiento con un 27%. El N es un regulador del crecimiento ya que promueve la reproducción celular y, por ende, el macollamiento de la planta (Mejía & Menjívar, 2010), igualmente existe una correlación positiva entre el número de granos por unidad de área y el porcentaje de N absorbido por la planta momentos antes de la floración (Yoshida, 1981).

En la absorción relativa de P, al llegar al embuchamiento la planta ya ha absorbido el 97% del total. Se observan dos etapas de máxima absorción, que son el inicio del primordio floral con un 35% y la etapa de embuchamiento con un 33%. El P estimula el desarrollo radicular, favorece la precocidad de la maduración, aumenta la producción de tallos y el desarrollo del grano, siendo fácilmente redistribuido a los diferentes órganos de crecimiento (Catalá-Forner et al., 2022).

La absorción relativa de K alcanza un 92% del total al llegar la etapa de embuchamiento. Se aprecian dos etapas de máxima absorción, encontrando la primera al inicio de macollamiento (25%) y la segunda en el embuchamiento (33%). El K es de gran importancia en el desarrollo de las macollas, en la formación de la panícula y en la resistencia al acame (Mejía & Menjívar, 2010). El K es necesario para la síntesis de proteínas, ya que su formación es catalizada por la enzima nitrato reductasa que utiliza K, entonces a pesar de la disponibilidad de N en grandes cantidades en la planta, las proteínas no se fabrican si hay deficiencia de K (Vijayakumar et al., 2021).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

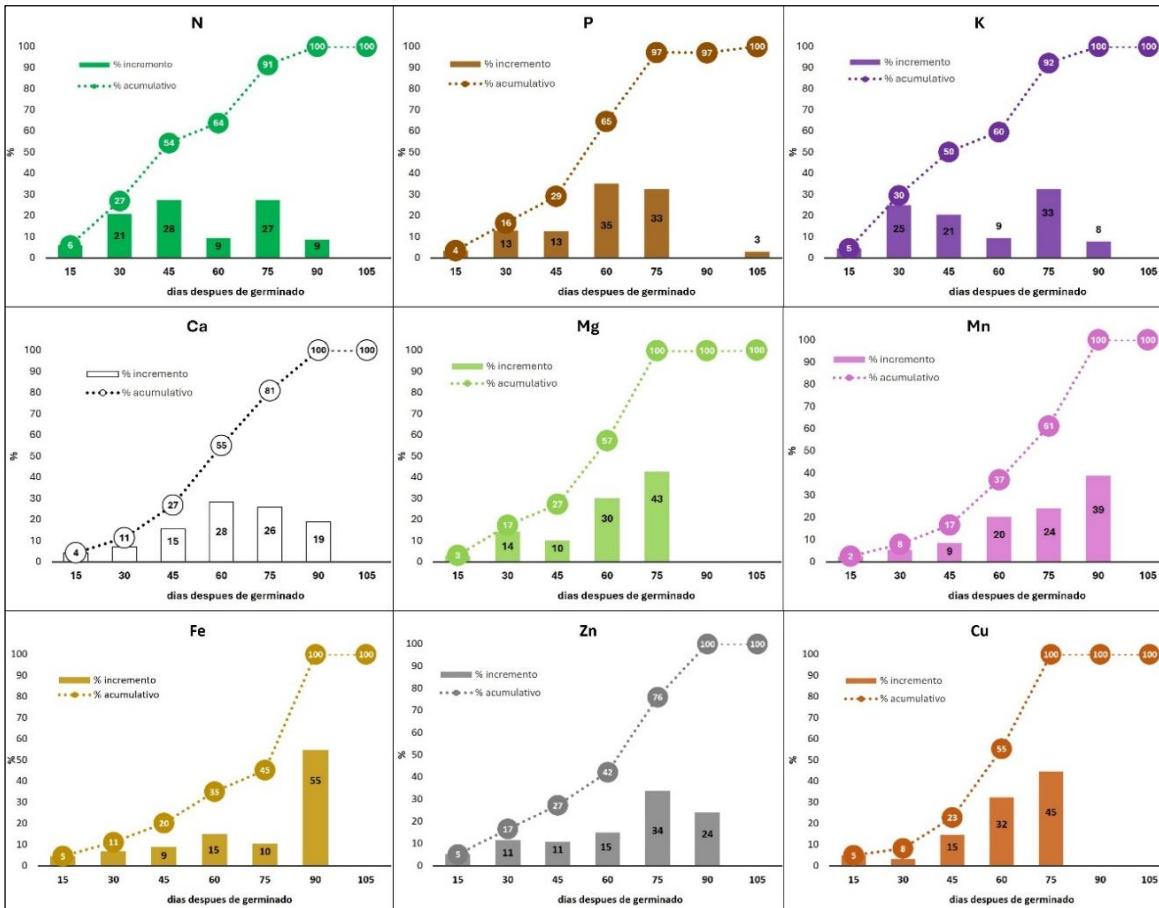


Figura 2. Dinámica proporcional de absorción de nutrientes y etapas críticas de máxima absorción.

La absorción de Ca se mantiene en incremento constante hasta llegar a la floración, donde se alcanza el 100% de la absorción total. La máxima absorción se da en la etapa primordio floral con un 28% y el estado de embuchamiento con 26%. El Ca puede mejorar la estabilidad e integridad de las membranas celulares de las plantas, promover el alargamiento de las raíces y mejorar la resistencia al acame (Sirisoontarak et al., 2016).

La absorción relativa de Mg durante el ciclo fenológico del arroz alcanza su totalidad en el estado de embuchamiento. Las etapas de mayor absorción de Mg son en el primordio floral con un 30% y la etapa de embuchamiento, alcanzando un 43%. El Mg es el átomo central de la clorofila, puede promover la activación de muchas enzimas en el metabolismo



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

del nitrógeno y promover la síntesis de compuestos de nitrógeno, igual que mejora la absorción de este por la planta (He et al., 2024).

La absorción de Mn se mantiene en incremento constante hasta llegar a la floración, donde alcanza el 100%. La máxima absorción se da en la etapa de embuchamiento con un 24% y en la floración con 39%. Este nutriente está presente en el complejo Mn-proteína que transporta electrones del agua al fotosistema II (Mejía & Menjívar, 2010), requiriéndose en mayor cantidad en las etapas donde hay mayor producción de biomasa (Barahona Amores, 2017).

La dinámica de absorción de hierro muestra que al llegar a la floración la planta ya ha absorbido el 100% del mismo. Se observan dos etapas de máxima absorción, que son el inicio del primordio floral con 15% y la etapa de floración con un 55%. La función principal del Fe es la activación de enzimas, donde actúa como grupo prostético, interviene por tanto en las reacciones fundamentales de la diferenciación floral, al igual que en la síntesis de clorofila (Muñiz Ugarte, 2008). Así mismo, la presencia de Fe incrementa la producción de fitoalexinas, unas moléculas conocidas por su actividad antifúngica, capaces de inhibir el crecimiento del hongo *Magnaporthe oryzae* (Sánchez-Sanuy et al., 2022).

La absorción de Cu alcanza su totalidad al llegar al embuchamiento. Las etapas de máxima absorción de cobre durante el ciclo fenológico son en el primordio floral (32%) y la etapa de embuchamiento (45%). Se ha demostrado que la deficiencia de Cu disminuye la formación de espigas en algunos cereales (Mejía & Menjívar, 2010), lo que indica su importancia en el inicio de la etapa reproductiva (Barahona Amores, 2017).

La dinámica de absorción de Zn se mantiene en incremento constante hasta llegar a la floración, donde alcanza el 100%. La máxima absorción se da en la etapa de embuchamiento con un 34% y en la floración con 24%. Se ha demostrado que en sitios específicos de síntesis proteica de los órganos reproductivos, hay una necesidad grande de Zn, siendo esencial en el desarrollo del polen (Marschner, 2012; Muhammad et al., 2018). Diversos autores reportan que la mayor parte del Zn es absorbido por la planta de



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

arroz mayormente durante las etapas reproductivas (Amador & Bernal, 2012; Molina & Rodriguez, 2012; Barahona Amores, 2017).

Proporción de nutrientes por sección de la planta

Al analizar el contenido relativo de nutrientes en diferentes secciones de la planta de arroz, se puede determinar la importancia de cada elemento en una sección específica (Figura 3). A continuación, se presentan los órdenes de importancia de los nutrientes, basados en la proporción (no en la cantidad), para diferentes partes de la planta:

Parte Foliar: El orden de importancia es Mn > K > Fe > Zn > Ca > Mg > N > Cu > P

Producción de Granos: El orden de importancia es P > Cu > N > Mg > Ca > Zn > Fe > K > Mn. Estos resultados sugieren que los nutrientes tienen diferentes roles y prioridades en diferentes partes de la planta, lo que puede ser útil para optimizar la fertilización y el manejo de nutrientes en el cultivo de arroz.

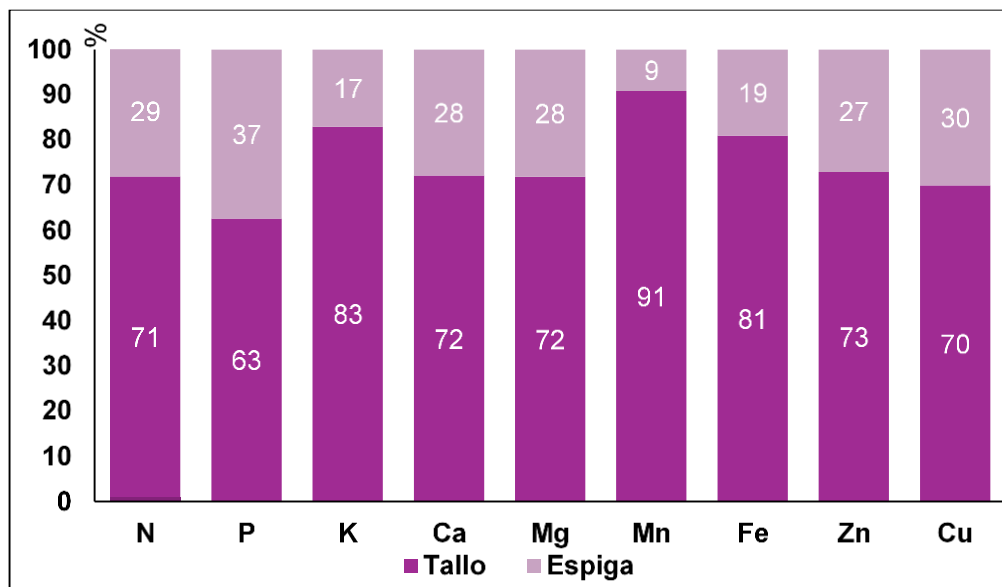


Figura 3. Contenido relativo de nutrientes por distintas secciones del cultivo de arroz.

La proporción en la cual los distintos órganos de la planta de arroz contienen los nutrientes, es de gran relevancia en los programas de fertilización (Bertsch Hernández, 2009), principalmente en aquellas zonas donde se cultiva de manera continua a través de



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

los años, determinando así la cantidad de nutrientes que salen del sistema a través de la cosecha (Barahona Amores, 2017) y los nutrientes que pueden ser reciclados a través de la reincorporación de los residuos vegetales al suelo una vez que estos se descompongan (Castilla Lozano & Tirado Ospina, 2019).

CONCLUSIONES

- Las variedades evaluadas difieren en su capacidad de absorción de nutrientes, principalmente en los requerimientos necesarios para producir una tonelada de grano.
- La mayor absorción de los macronutrientes se da en etapas tempranas del cultivo de arroz, mientras que la mayor absorción de micronutrientes se da en la etapa reproductiva del cultivo.
- Para evitar la degradación de los suelos, hay que aplicar al menos la cantidad de nutrientes que salen del sistema con la cosecha, tomando en cuenta la proporción de nutrientes contenido en la espiga.

REFERENCIAS

- Amador, J. C., & Bernal, I. E. (2012). *Curva de absorción de nutrientes del cultivo de arroz (Oryza sativa L.) variedad Venezuela 21, en un suelo vertisol bajo condiciones del valle de Sébaco, Nicaragua*. [Tesis de grado, Escuela Agrícola Panamericana] (Zamorano). <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/22eee8cf-eccb-4e4e-a268-a29020e97e2d/content>
- Barahona Amores, L. A., Villarreal Nuñez, J. E., Gonzalez carrasco, W., & Quiros McIntire, E. (2019). Absorción de nutrientes en arroz en un suelo inceptisol bajo riego en Coclé, Panamá. *Agronomía Mesoamericana*, 30(2), 407-424. <https://doi.org/10.15517/am.v30i2.33997>
- Barahona Amores, L. A., Villarreal Nuñez, J., Samaniego Sanchez, R., & Quiros McIntire, E. (2018). Absorción de nutrientes de dos variedades de arroz en un suelo entisol bajo seco en Tonosí-Panamá. *Ciencia agropecuaria* (28), 56-74.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/absorcion_de_nutrientes_en_arroz_bajo_secano.pdf

Barahona Amores, L. A. (2017). *Curvas de absorción de nutrientes de arroz en diferentes tipo de suelo y ambiente agroecológico*. [Tesis de maestría, Universidad de Panamá]. https://up-rid.up.ac.pa/1599/1/luis_barahona.pdf

Batista, A., Avila, A., Batista, E., & Domínguez, J. (2020). *Boletín de las variables climáticas en la Región de Azuero*. Red Agroclimática. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá.

Batista, A., Avila, A., Batista, E., & Domínguez, J. (2021). *Boletín de las variables climáticas en la Región de Azuero*. Red Agroclimática. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá.

Batista, A., Avila, A., Batista, E., & Dominguez, J. (2022). *Boletín de las variables climáticas en la Región de Azuero*. Red Agroclimática. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá. https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/Boletin_abril_2022.pdf

Bertsch Hernández, F. (2009). *Absorción de nutrimentos por los cultivos*. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.

Camargo Buitrago, I., Quiros McIntire, E., & Zachisson Salamina, B. (2014). *Innovación tecnológica para el manejo integrado del cultivo de arroz en Panamá*. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. [https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/MIC_arroz_\(IDIAP\).pdf](https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/MIC_arroz_(IDIAP).pdf)

Castilla Lozano, L. A., & Tirado Ospina, Y. C. (2019). *Fundamentos técnicos para la nutrición del cultivo de arroz*. Federación Nacional de Arroceros (FEDEARROZ). <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-agraria-del-ecuador/agricultura-general/nutricion-cultivo-de-arroz/122277870>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Catalá-Forner, M., Bertomeu, A., Tomas, N., & Pla, E. (2022). *Gestión sostenible del fósforo en el cultivo del arroz*. Instituto de Investigación y Tecnología Agropecuaria (IRTA). https://ruralcat.gencat.cat/documents/20181/10569668/ARTICULO_GESTION+SO+STENIBLE+DEL+FOSFORO+EN+EL+CULTIVO+DEL+ARROZ_def.pdf/ca7f9033-e3ae-4d77-ac91-d6a444747a7e#:~:text=El%20P%20es%20un%20elem.

Centro Internacional de Agricultura Tropical. (1983). *Sistema de evaluación estándar para arroz*. Cooperación IRRI-CIAT. <https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/90822293-f0cb-4f15-a871-e160a5d2ca3f/content>

Di Rienzo, J. C., González, L., Tablada, M., & Robledo, C. (2008). *Manual de usuario*. editorial Brujas. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/10346/Manual_INFOSTAT_2008.pdf

Dominguez, R. (2011). *Elaboración de curvas de absorción de nutrimentos para arroz (Oryza sativa) variedad FCA 97116, en el Centro de Investigaciones Agropecuarias de Chiriquí*. [Tesis de grado, Universidad de Panamá]. https://up-rid.up.ac.pa/7227/1/rosa_dominguez.pdf

He, Z., Wang, Z., Hao, J., Wu, Y., & Liu, H. (2024). The Use of Magnesium Fertilizer Can Improve the Nutrient Uptake, Yield, and Quality of Rice in Liaoning Province. *Agronomy*, 14(3), 639. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030639>

Herber, L., & Kraemer, A. (2013). Curvas de absorción de nutrientes para cinco variedades de arroz de uso actual en Argentina. *VIII Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado*. Santa Maria RS. https://www.sosbai.com.br/uploads/trabalhos/curvas-de-absorcion-de-nutrientes-para-cinco-variedades-de-arroz-de-uso-actual-en-argentina_241.pdf



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Herber, L., Colazo, J., & Vicino, R. (2022). Curvas de absorcion para la fertilizacion eficiente de las variedades Angiru INTA CL; Memby porá CL y Aldebaran CL. *XII Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado*. Santa Maria: Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado (SOSBAI). https://sosbai.com.br/uploads/trabalhos/curvas-de-absorcion-para-la-fertilizacion-eficiente-de-las-variedades-angiru-inta-cl-memby-pora-cl-y-aldebaran-cl_552.pdf

Holdridge, L. R. (1978). *Ecología basada en zonas de vida*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícola. <https://www.sidalc.net/search/Record/diq-iica-11324-7936>

Instituto de la Potasa y el Fosforo. (2004). *Requerimientos nutricionales por los cultivos*. International Plant Nutrition Institute (IPNI). <https://es.scribd.com/document/463336395/Requerimientos-nutricionales-cultivos-IPNI-pdf>

Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Elsevier, Third edition. https://home.czu.cz/storage/737/65060_Mineral-Nutrition-of-higher-plants-Marschner-2012.pdf

Mejía, S., & Menjívar, J. C. (2010). Nutrición mineral del arroz (Capítulo 17). En CIAT, *Producción eco-eficiente del arroz en America Latina* Tomo I (págs. 306-335). Editores Victor Degiovanni, Cesar Martinez, Francisco Motta. http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/2010_Degiovanni-Produccion_eco-eficiente_del_arroz.pdf

Ministerio de Desarrollo Agropecuaria. (2015). *Estudio, diseño y construcción del proyecto integral y multipropósito para el desarrollo agropecuario del Valle de Tonosí, provincia de Los Santos*. Hidalgo e Hidalgo constructores.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Ministerio de Desarrollo Agropecuario. (2024). *Cierre agrícola: Año agrícola 2023-2024*. Dirección de Agricultura.

<https://mida.gob.pa/wp-content/uploads/2024/09/CierreAgricola2023-2024.pdf?csrt=6949662859158490282>

Molina, E., & Rodriguez, J. (2012). Fertilización con N, P, K Y S, y curvas de absorción de nutrientes en arroz var. CFX 18 en Guanacaste. *Agronomía Costarricense*, 36(1), 39-51. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v36n1/a03v36n1.pdf>

Muhammad, F., Ullah, A., rehman, A., Nawaz, A., Nadeem, A., Wakeel, A., . . . Siddique, K. (2018). Application of zinc improves the productivity and biofortification of fine grain aromatic rice grown in dry seeded and puddled transplanted production systems. *Field Crops Research*, 216, 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.11.004>

Muñiz Ugarte, O. (2008). *Los Microelementos en la agricultura*. Agrinfor.

Name, B., & Cordero, A. (1987). Alternativas para uso y manejo de suelos ácidos en Panamá. *Compendio de los resultados de Investigación presentados en la II Jornada Científica*. Santiago, Panamá: Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá.

Name, B., & Villarreal, J. (2004). *Compendio de resultados de investigación del programa de suelos del IDIAP*. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. <https://www.researchgate.net/publication/279192667> [Compendio de Resultados de Investigación del Programa de Suelos del IDIAP](https://www.researchgate.net/publication/279192667)

Quiros Mcl, E., & Barahona, L. A. (2017). *IDIAP FL 72-17 Variedad de arroz de ciclo intermedio para las condiciones de riego y seco en Panamá*. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá. <http://www.idiap.gob.pa/download/variedad-de-arroz-idiap-fl-72-17/?wpdmdl=4194>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Quiros Mcl, E., Camargo, V., & Chen, E. (2018a). *IDIAP FL 069-18 Tecnología varietal para los sistemas mecanizados de arroz*. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá.

<http://www.idiap.gob.pa/download/variedad-de-arroz-fl-069-18/?wpdmdl=4193>

Quiros Mcl, E., Camargo, V., & Chen, E. (2018b). *IDIAP FL 148-18 Tecnología varietal para los sistemas mecanizados de arroz*. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá. https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/IDIAP_FL_148-18.pdf

Quiros McIntire, E., Barahona Amores, L., & Camargo García, V. (2022). *Idiap Alanjeña-22: Tecnología varietal para los sistemas de secano y riego de Panamá*. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá.

https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/IDIAP_FL_ALANJE%C3%91A_22.pdf

Rice observatory. (2025). *Consumo per capita de arroz en America*. <https://cropobservatoriesalliance.org/rice>

Sánchez-Sanuy, F., Mateluna-Cuadra, R., Tomita, K., Okada, K., Sacchi, G., Campo, S., & San Segundo, B. (2022). Iron Induces Resistance Against the Rice Blast Fungus *Magnaporthe oryzae* Through Potentiation of Immune Responses. *Rice*, 15(68), 23.

<https://doi.org/10.1186/s12284-022-00609-w>

<https://link.springer.com/article/10.1186/s12284-022-00609-w>

Sirisoontaralak, P., Limboon, P., Jatuwong, S., & Chavanalikit, A. (2016). Effects of soaking and acidification on physicochemical properties of calcium-fortified rice. *Science of Food and Agriculture*, 96(58), 2796-2804. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7447>

Vijayakumar, S., Kumar, D., Ramesh, K., Govindasamy, P., Jinger, D., Khanam, R., P, S., E, S., Joshi, E., Sharma, V., & Rajpoot, S. K. (2021). Potassium nutrition in rice: A review. *ORYZA-An International Journal of Rice*, 58(3), 341-353.

<https://doi.org/10.35709/ory.2021.58.3.1>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Villarreal Barrera, A. M. (2018). *Respuesta a cuatro niveles de nitrógeno y curvas de absorción de nutrimentos para la variedad de arroz UP80FL, bajo condiciones de seco en dos localidades*. Universidad de Panamá.

<https://up-rid.up.ac.pa/1598/1/ana%20villarreal.pdf>

Villarreal, J., & Name, B. (1996). *Técnicas analíticas del laboratorio de suelos del IDIAP*. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá.

Yoshida, S. (1981). *Foundamentals of rice crop science*. International Rice Research Intitute (IRRI).

<https://jameslitsinger.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/03/yoshida-1981.pdf>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

VIBRIOS Y BACTERIAS COLIFORMES EN CAMARONES BLANCOS (*Litopenaeus vannamei*) CULTIVADOS EN ESTANQUE COMERCIAL¹

**María Fernanda Ortega²; Martha de Von Chong³;
Teresita Henríquez⁴; Rito Herrera⁵**

RESUMEN

La camaronicultura es una de las actividades que más se ha intensificado en Panamá con el paso de los años, cuyo propósito es el de satisfacer la creciente demanda; esto ha aumentado la incidencia de enfermedades en el cultivo, provocando pérdidas económicas y problemas de salud en los consumidores. El estudio se llevó a cabo en estanques comerciales de cultivo de Camarón Blanco (*Litopenaeus vannamei*) en Antón, Coclé, Panamá, con el objetivo de detectar la presencia de bacterias del género *Vibrio* y coliformes. Durante los muestreos de este trabajo, se recolectaron muestras de hemolinfa, hepatopáncreas, tejidos de los camarones, y se realizaron análisis microbiológicos para identificar la presencia de *Vibrio* spp. y bacterias coliformes. Además, se analizó la calidad del agua del estanque de cultivo, a través de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Los resultados demostraron la presencia de *Vibrio* spp., el 5% de las muestras de hemolinfa y el 14,3% de hepatopáncrea del camarón. Con respecto al recuento de bacterias coliformes, todas las muestras cumplieron con el rango propuesto por la norma. Los niveles de pH y temperatura del estanque se mantuvieron adecuados, sin embargo, se reportó la presencia del género *Vibrio* en todas las muestras de agua analizadas.

Palabras clave: Análisis microbiológico, calidad del agua, camaronicultura, hemolinfa, hepatopáncreas.

¹Recepción: 06 de junio de 2025. Aceptación: 20 de octubre de 2025.

²Universidad de Panamá. e-mail: mariafernandaortegahenriquez@gmail.com;
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-2012-2879>

³Universidad de Panamá. M.Sc. Microbiología. e-mail: martha.chaves@up.ac.pa;
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1087-4196>

⁴Universidad de Panamá. M.Sc. Estadística Aplicada. e-mail: teresita.henriquez@up.ac.pa;
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3752-082X>

⁵Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá. Ph.D. Microbiología. e-mail: rhhv76@yahoo.es;
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2509-0391>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

VIBRIOS AND COLIFORM BACTERIA IN WHITE SHRIMP (*Litopenaeus vannamei*) CULTURED IN COMMERCIAL PONDS

ABSTRACT

Shrimp farming in Panama has intensified in recent years to meet increasing market demand, potentially associated with higher disease incidence, economic losses, and risks to consumer health. This study was conducted in commercial white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) ponds in Antón, Coclé Province, Panama, to detect *Vibrio* spp. and coliform bacteria. Samples of hemolymph, hepatopancreas, and shrimp tissues were collected and subjected to microbiological analysis. In addition, pond water was evaluated using physicochemical and microbiological parameters. *Vibrio* spp. were detected in 5% of hemolymph samples and 14.3% of hepatopancreas samples. Coliform counts in shrimp tissues were within the acceptable limits established by current standards. Water quality parameters such as pH and temperature were within suitable ranges for shrimp culture; however, *Vibrio* spp. were detected in all water samples analyzed. These findings indicate the presence of potentially pathogenic bacteria in the production environment, despite acceptable physicochemical conditions and compliance with coliform standards in shrimp tissues. The results highlight the importance of continuous microbiological monitoring in commercial shrimp farming systems to support animal health management and food safety.

Keywords: hemolymph; hepatopancreas; microbiological analysis; shrimp farming; water quality.

INTRODUCCIÓN

La Camaronicultura se ha consolidado como uno de los sectores más dinámicos y rentables dentro de la acuicultura. Sin embargo, el incremento en la demanda global ha impulsado la intensificación de los sistemas de cultivo, lo cual ha favorecido la aparición de enfermedades que generan pérdidas económicas considerables. Entre los principales países productores de *Litopenaeus vannamei* se encuentran China, Tailandia, Indonesia, Brasil, Ecuador, México, y varias naciones de Centroamérica y el Caribe, incluida Panamá (Division, F. a. A. E. a. P., 2010; Toledo et al., 2018).

Actualmente, la especie de camarón más explotada a nivel mundial es el camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*), cuya producción genera ingresos anuales



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

estimados en 9 billones de dólares. La presencia de bacterias en estos organismos puede provocar enfermedades que afectan su salud, reducen la tasa de supervivencia y aumentan la mortalidad durante el cultivo, lo que conlleva a significativas pérdidas económicas. Además, el consumo de camarón contaminado representa un riesgo para la salud humana, ya que puede causar enfermedades gastrointestinales, diarreas agudas e incluso la muerte. Esto se debe a que los cuerpos de agua marina pueden albergar una amplia variedad de patógenos, incluyendo bacterias coliformes, *Pseudomonas*, *Vibrio* spp., así como virus y protozoarios. Por ello, es fundamental realizar estudios en ambientes acuáticos, ya que estos influyen directamente en la calidad sanitaria de los productos del mar, representando un riesgo tanto para los organismos cultivados como para la población que los consume (Chávez & Montoya, 2011).

En Panamá, el camarón blanco del Pacífico es uno de los productos marinos más consumidos. A pesar de su popularidad, se conoce poco sobre su calidad sanitaria, siendo probable presente cargas bacterianas que representen un riesgo para la salud pública. Las bacterias son los principales agentes contaminantes en la camaronicultura. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura/Organización Mundial de la Salud (FAO/OMS, 2002), existen dos grupos de bacterias de interés sanitario: las que se consideran autóctonas del medio acuático y aquellas introducidas por contaminación antrópica, como desechos domésticos e industriales.

Entre las bacterias patógenas más relevantes en productos acuáticos se encuentran *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., *Listeria* spp., *Aeromonas* spp. y diversas especies del género *Vibrio*. El grupo Coliformes, especialmente *E. coli*, es ampliamente utilizado como indicador de contaminación fecal en estudios de calidad microbiológica del agua y los alimentos (Da Silva et al., 2010).

En especies como *P. vannamei*, se han aislado bacterias incluso en organismos clínicamente sanos, en órganos internos como el hepatopáncrea y la hemolinfa. Entre las especies más frecuentemente reportadas en la hemolinfa de *P. vannamei* y *P. monodon* se encuentran *Vibrio parahaemolyticus*, *V. alginolyticus*, *V. fluvialis*, *V. fischeri*, *V. vulnificus* y *V. harveyi*, todas integrantes de la microflora marina natural (Cuéllar-Anjel, 2013).



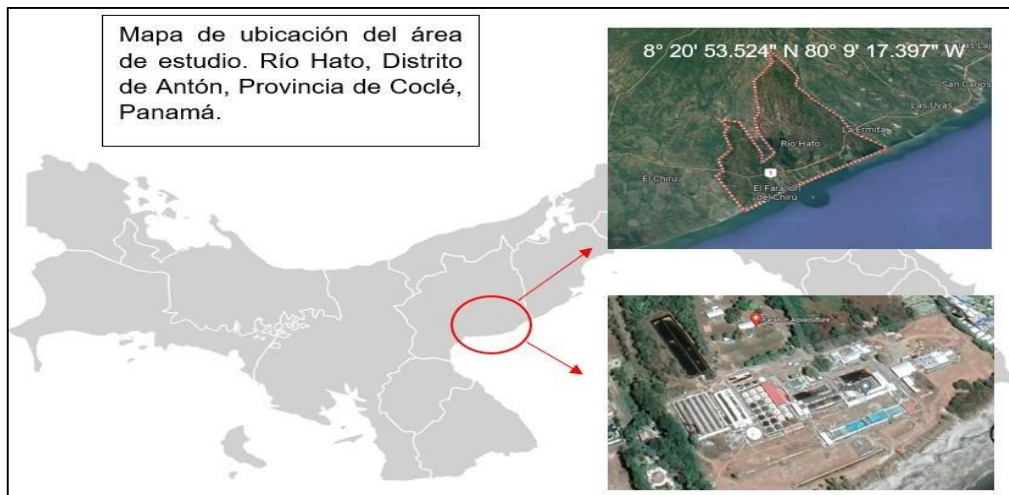
Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Este estudio se realizó con el objetivo de detectar Vibrios y bacterias coliformes en Camarón Blanco (*Litopenaeus vannamei*) cultivado en estanques comerciales en Antón, Coclé, Panamá.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del lugar de estudio

Las muestras fueron colectadas en un estanque comercial con sistema de cultivo intensivo de una finca camaronera dedicada a la producción y exportación de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*), ubicada en Río Hato, distrito de Antón, provincia de Coclé, Panamá a 8° 20' 53,524" N 80° 9' 17,397" W (Figura 1). El trabajo experimental se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Microbiología y Parasitología de la Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología del Centro Regional Universitario de Coclé de la Universidad de Panamá.



Fuente: Google Maps. Rescatado el 7 de octubre, 2023.

Figura 1. Ubicación del estanque de cultivo de camarón blanco.

Medición de Parámetros Físicoquímicos del agua

La medición de los parámetros físicoquímicos del agua del estanque de cultivo se realizó semanalmente de forma simultánea a los muestreos. La temperatura se midió con un medidor de oxígeno disuelto con termómetro incluido y el pH se midió utilizando un pH-metro (Figura 2).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Monitorear la temperatura y el pH del agua en el estanque fue de crucial importancia para garantizar el bienestar y correcto desarrollo de los camarones de cultivo, ya que la temperatura es un parámetro fundamental en los procesos biológicos y químicos de los organismos, que se pueden ver afectados si la temperatura en el estanque no es la adecuada. De igual manera, el pH influye en el desarrollo, fertilidad y tasa de supervivencia de los camarones (Paredes Mendoza & Rodríguez Romero, 2020).



Figura 2. Medidor de Oxígeno disuelto y pH-metro.

Obtención de las muestras de camarón

La recolección de las muestras de camarón se realizó directamente del estanque, colectando los camarones al azar, utilizando una atarraya. Semanalmente, fueron colectadas cinco muestras de camarón en etapa adulta durante dos meses; se colectaron en total cuarenta muestras. Luego de colectadas, las muestras fueron trasladadas al laboratorio a través de una hielera con agua del estanque y oxígeno, así mantener con vida y libres de estrés, posteriormente, se le realizó los análisis microbiológicos correspondiente.

Durante el tiempo de muestreo fueron analizadas 40 muestras de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* en estado adulto, tomando cinco muestras por semana; de cada



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

muestra se sembraron tres réplicas en platos Petri con agar TCBS, haciendo un total de 15 siembras por semana.

Aislamiento de *Vibrio* spp. en la hemolinfa del camarón

Para el aislamiento del género *Vibrio* en la hemolinfa del camarón vivo, primero, se midieron y pesaron todos los individuos, luego cada muestra se desinfectó meticulosamente, con alcohol al 70% y se extrajo 50 μ L de hemolinfa de la región ventral del camarón con una jeringa estéril de 1 ml (Figura 3).

La hemolinfa extraída fue sembrada inmediatamente en platos Petri con agar Tiosulfato-Citrato-Bilis-Sacarosa (TCBS), utilizando un asa bacteriológica estéril. Para observar el tiempo de coagulación de la hemolinfa, se colocó una gota sobre un portaobjetos (Sánchez & Castillo, 2009).

Las placas Petri fueron incubadas a 37° C durante 24 horas y posteriormente se realizó la detección de *Vibri*os mediante pruebas bioquímicas realizadas a las colonias que crecieron en el agar. Se obtuvieron 15 muestras de hemolinfa por semana, tomadas de cinco camarones adultos con peso de 22 a 48 g.



Figura 3: Toma de muestra de hemolinfa del camarón.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Aislamiento de *Vibrio* spp. de la hepatopáncreas del camarón:

Para realizar la extracción de la hepatopáncreas, se utilizó el mismo individuo al que se le extrajo la hemolinfa; se desinfectó la muestra con alcohol al 70%, luego, como se observa en la Figura 4, se levantó la cutícula posterior del cefalotórax para extraer la hepatopáncreas, utilizando una pinza de disección estéril, evitando romper o contaminar con otros tejidos. La hepatopáncreas de cada camarón fue colocada en tubos de ensayo con 10 ml de solución salina estéril al 2,5%, luego se maceró y agitó la muestra para homogenizar los tejidos (Cuéllar-Anjel, 2013).

Se tomó 100 µl de la muestra, utilizando una micro pipeta y se sembró en plato Petri con agar TCBS, utilizando la técnica de siembra por inmersión. Una vez sembrada la muestra, se incubó a 37° C durante 24 horas (Sánchez & Castillo, 2009).

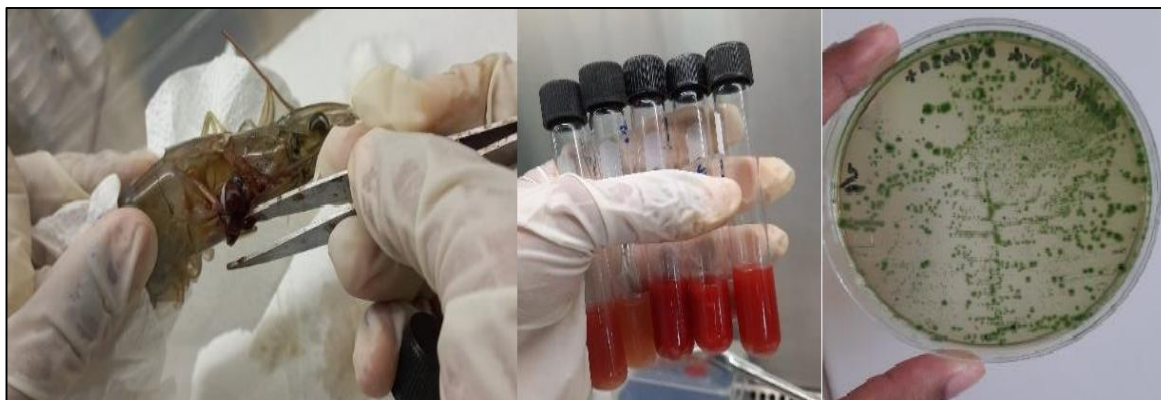


Figura 4. Extracción y siembra de muestras de la hepatopáncreas.

Identificación del género *Vibrio* a través de Pruebas Bioquímicas

Tinción de Gram

Para determinar la presencia del género *Vibrio* en los camarones de cultivo, se realizaron tinciones de Gram a colonias seleccionadas de las placas de TCBS con crecimiento bacteriano. Se observó la existencia de bacilos Gram negativos curvados, característicos de este género (Figura 5).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

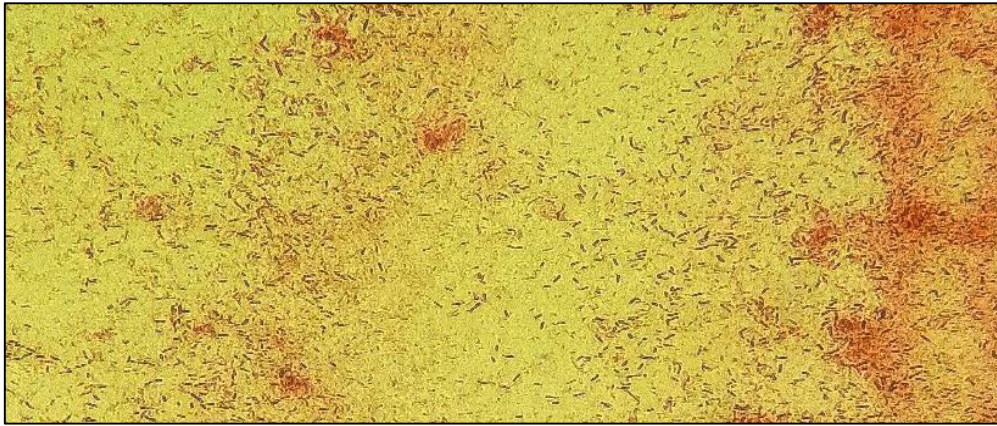


Figura 5. Bacilos Gram negativo.

Prueba de Catalasa

Esta prueba bioquímica se utilizó para confirmar la presencia de la enzima Catalasa, la cual se encuentra presente en muchas bacterias aerobias y anaerobias facultativas que tienen citocromo-c-oxidasa. El procedimiento consistió en colocar una colonia aislada de la muestra de bacteria sobre un portaobjetos, y luego verterle encima una gota de peróxido de hidrógeno. La reacción de las bacterias que sintetizan la enzima Catalasa es hidrolizar el peróxido de hidrógeno, liberándolo en forma de burbujas (Figura 6). Los Vibrios se caracterizan por ser positivos en pruebas de Catalasa (Fernández Olmos et al., 2010).

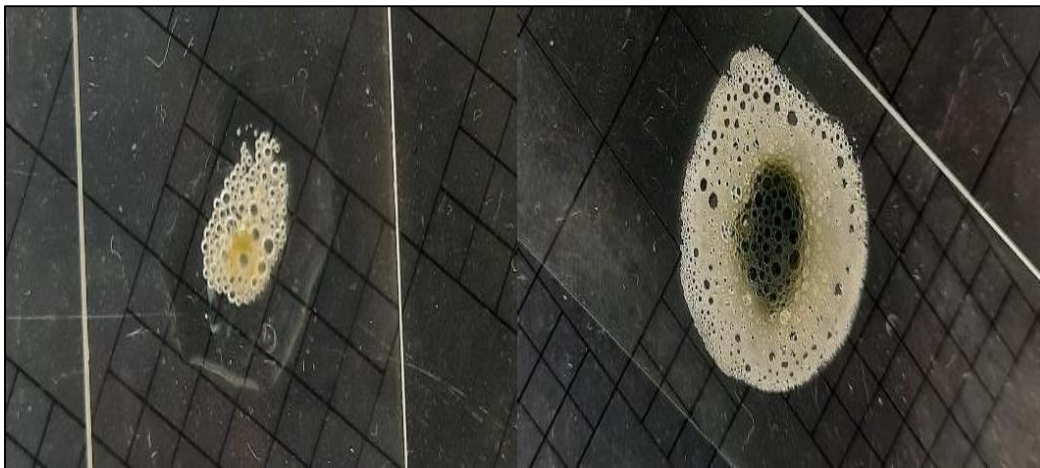


Figura 6. Reacción de Catalasa positiva.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Prueba de Oxidasa

Esta prueba determinó la presencia de enzima oxidasa en los Vibrios, Aeromonas, Pseudomonas, Nisserias, entre otros. Un microorganismo es oxidasa positiva, cuando el color de la muestra cambia a púrpura o azul-violeta en un lapso de 5 a 10 segundos (Figura 7). Esta reacción ocurre cuando el citocromo-c-oxidasa presente en las bacterias activa la oxidación del citocromo, el cual, es reducido por el oxígeno que se produce en el agua o en el peróxido de hidrógeno, dependiendo de la especie de bacteria (Fernández Olmos et al., 2010).

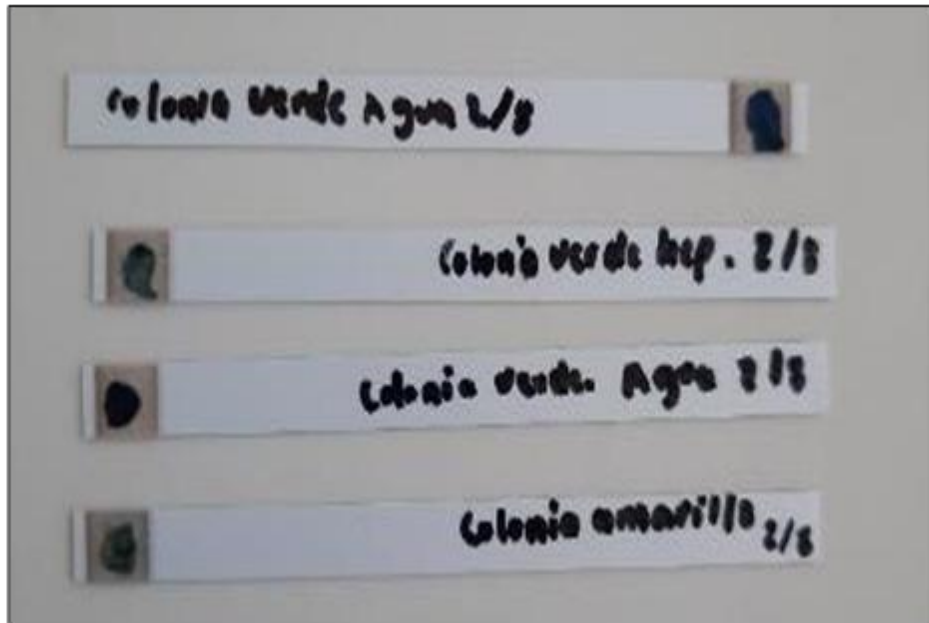


Figura 7. Reacción Oxidasa positiva.

Siembra de bacterias Coliformes en placas 3M™ Petrifilm

Para realizar el análisis microbiológico de bacterias coliformes en las muestras de camarón, se utilizaron placas 3M™ Petrifilm para *E. coli* / Coliformes, siguiendo las recomendaciones de la Guía de interpretación de placas 3M™ Petrifilm™ para el recuento de coliformes (3M, 2017), para Recuento de Coliformes:



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Se pesaron 10 g de tejido de cada muestra de camarón y se colocaron en una bolsa ziploc con 90 ml de agua peptonada al 0,01% durante 30 minutos, luego la bolsa se llevó a la Stomacher para homogenizar la muestra durante 60 segundos.

- a. Se realizaron diluciones seriadas a partir de la muestra madre 10^1 , para obtener las diluciones 10^2 y 10^4 .
- b. Las diluciones 10^2 y 10^4 fueron sembradas por triplicado; se colocó perpendicularmente 1 ml de cada dilución sobre placas 3M™ Petrifilm para *E. coli*/ Coliformes y se incubaron a 35° C durante 24 horas.
- c. Una vez finalizado el tiempo de incubación de las muestras, se procedió a realizar el conteo de colonias en cada placa de Petrifilm (Figura 8), siguiendo las recomendaciones de la guía y utilizando las Normas Microbiológicas de los Alimentos y Asimilados (superficies, aguas diferentes de consumo, subproductos y otros Parámetros Fisicoquímicos de Interés Sanitario) (Morgas et al., 2019).

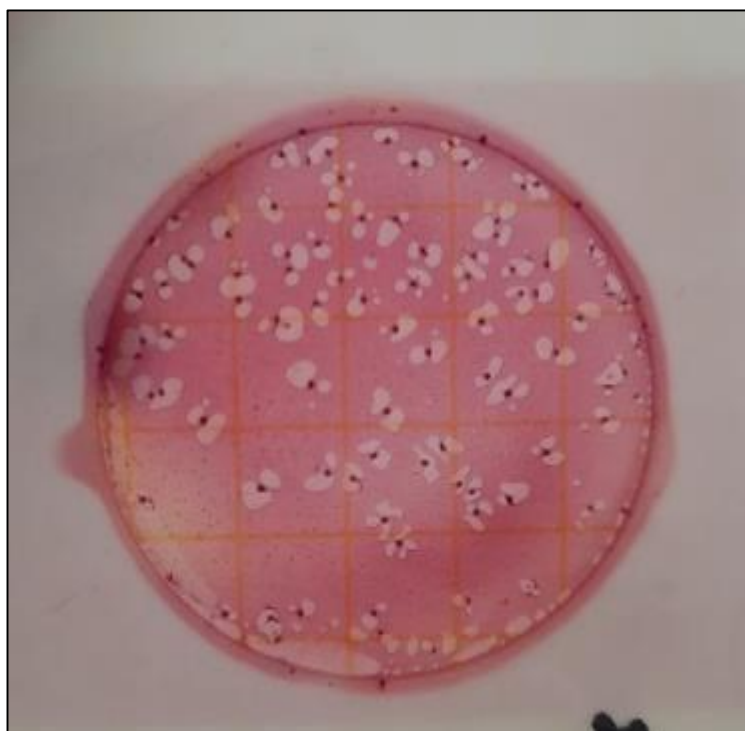


Figura 8. Colonias de Bacterias Coliformes en placas 3M™ Petrifilm.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Pruebas Microbiológicas de las muestras de agua del estanque de cultivo de camarones

Toma de muestra

Se tomaron del mismo estanque de cultivo donde fueron cosechados los camarones; se extrajo el agua utilizando envases plásticos estériles con tapa hermética, siguiendo la Metodología de Suárez et al., 2015; las muestras fueron transportadas al laboratorio en hieleras para preservar la calidad de la muestra y después se realizaron los análisis microbiológicos pertinentes.

Aislamiento de *Vibrio* spp.

Las muestras de agua del estanque de cultivo fueron sembradas directamente por triplicado en placas Petri con medio de cultivo TCBS y se incubaron a 37° C durante 24 horas. Luego de finalizado el tiempo de incubación, se observó el crecimiento bacteriano en las placas (Figura 9). Se seleccionaron colonias de bacterias de cada placa y se les realizaron pruebas bioquímicas de oxidasa y catalasa para identificar la presencia de *Vibrio* spp. en las muestras de agua (Suárez et al., 2015).



Figura 9. Crecimiento bacteriano en medio de cultivo TCB.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Bacterias heterótrofas totales

Para realizar el recuento de bacterias heterótrofas se utilizó Plate Count Agar (PCA), se realizaron diluciones seriadas con agua peptonada bufferada siguiendo el método 9215 B (Heterotrophic Plate Count) descrito por Rice et al., 2017:

- a. Se tomó 0,1 ml de la muestra de agua y se colocó en tubos de ensayo con 9,9 ml de agua peptonada para obtener las diluciones 10^2 y 10^4 .
- b. Se sembró 1 ml de la dilución 10^4 por réplicas en placas Petri con agar PCA, utilizando la técnica de siembra por inmersión y se incubaron a 35° C durante 7 días.
- c. Como se muestra en la Figura 10, una vez terminado el tiempo de incubación, se realizaron los conteos de colonias, utilizando las normas propuestas por el Manual de Buenas Prácticas para el Cultivo de Camarón Blanco *Litopenaeus vannamei* para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua del estanque para la siembra (Cuéllar-Anjel et al., 2010).

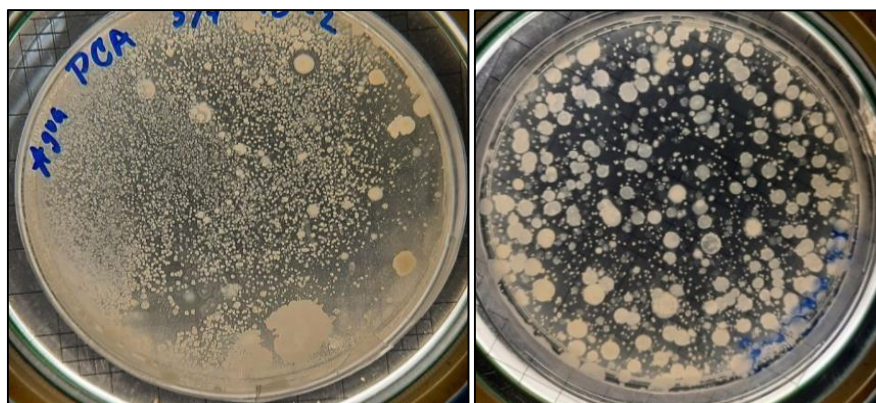


Figura 10. Crecimiento de Bacterias heterótrofas en medio de cultivo PCA.

Análisis estadísticos

Se realizaron estadísticas descriptivas, utilizando el programa SPSS versión 28 haciendo un análisis a través de gráficas y cuadros de la incidencia de bacterias en el camarón blanco de consumo humano de una finca de cultivo en Antón, Coclé, Panamá.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

RESULTADOS y DISCUSIÓN

Medición de Temperatura del agua del estanque de cultivo

La temperatura del agua dentro del estanque de cultivo de camarones se mantuvo ligeramente cambiante durante las ocho semanas de muestreo, alcanzando su mayor valor en la semana 6 con 29,7° C. Los valores se mantienen dentro del rango esperado en todas las semanas, cumpliendo con la temperatura ideal para el cultivo de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* (Fenucci,1988) donde se indica que nunca debe ser inferior a los 24° C ni superior a los 32° C (Figura 11).

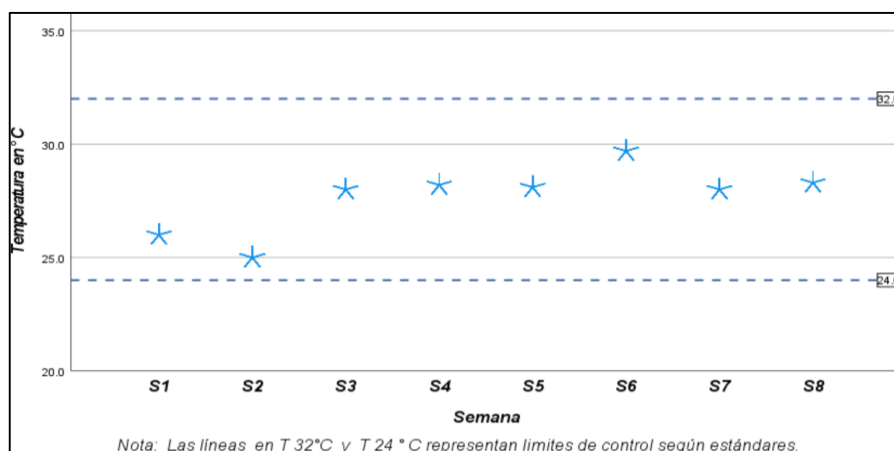


Figura 11. Diagrama de Dispersión de la Temperatura promedio en °C en estanque por semana.

Medición de pH en el estanque

El pH del agua del estanque se midió durante las ocho semanas de muestreo. Se pudo notar la variación del pH durante las semanas, siendo la semana 4, la que observó el mayor valor con un pH de 8,25; por el contrario, la semana 7 mostró el menor valor con 6,68.

Casi todas las semanas se mantienen dentro del rango de cumplimiento obligatorio de pH para la Calidad de las Aguas en la Cría de Moluscos propuesto por las Normas Básicas para la Acuicultura Ecológica De Bio Latina, a excepción de la semana 7, que cae ligeramente por debajo del límite inferior (Figura 12). Siendo estos datos importantes para



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

el monitoreo de la calidad del agua dentro del estanque, ya que es un factor que puede influir directamente en el crecimiento bacteriano.

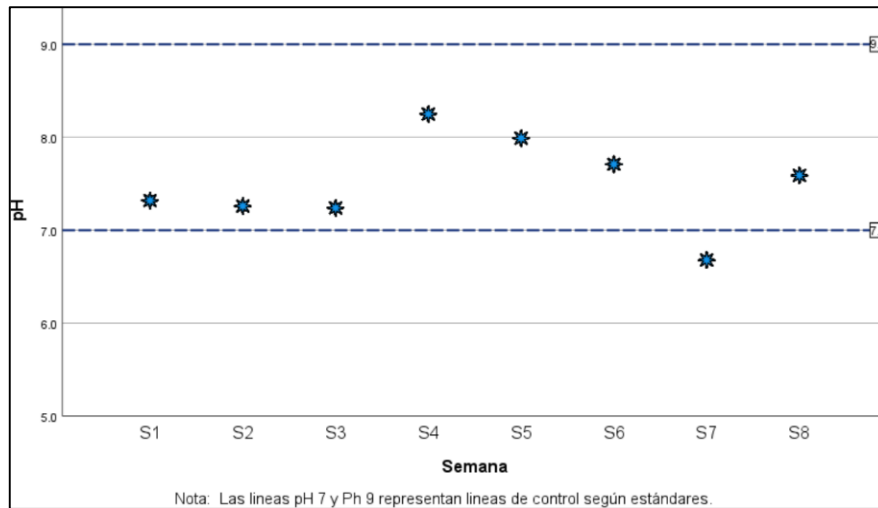


Figura 12. Diagrama de Dispersión del pH del agua en el estanque de cultivo de camarón, por semana.

Aislamiento de *Vibrio* spp. en hemolinfa del camarón

Los datos obtenidos indican que en las semanas 1 y 2, el 20% de las muestras resultaron positivas a la presencia de bacterias del género *Vibrio*, mientras que en el 80% restante, no hubo presencia. A partir de la semana 3 no se detectó presencia de *Vibrio* en ninguna de las muestras de hemolinfa del camarón; lo que señala que estas bacterias fueron detectadas en un pequeño porcentaje de las muestras en las semanas iniciales y luego, como se observa en la Figura 13, hubo una notable disminución que podría deberse a intervenciones específicas para el control de esta bacteria.

Para determinar que una muestra fuera positiva para bacterias del género *Vibrio*, a cada muestra se le efectuó una tinción de Gram para verificar que las bacterias presentes sean Bacilos Gram negativos. Además, se realizaron pruebas bioquímicas de catalasa y oxidasa para confirmar la presencia de *Vibri*os; ambas pruebas debían tener reacciones positivas.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

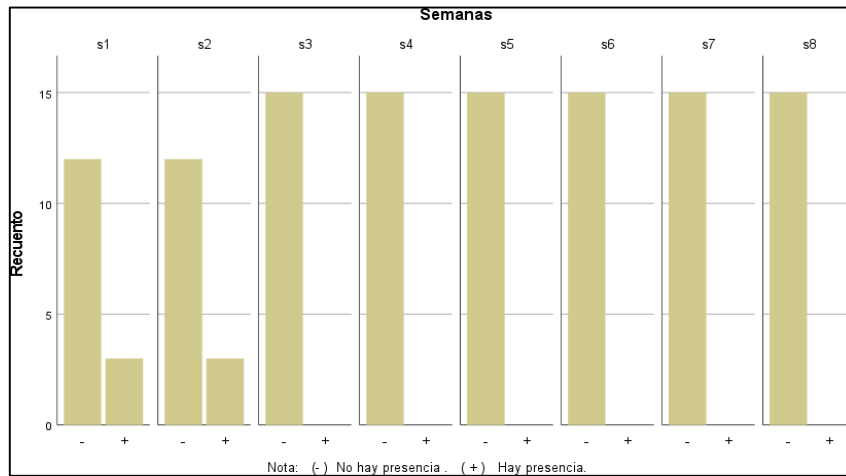


Figura 13. Presencia de *Vibrio* spp. en la hemolinfa por semanas.

Aislamiento de *Vibrio* spp. en hepatopáncreas de camarón

El aislamiento de *Vibrio* spp. en hepatopáncreas evidenció variaciones temporales en su detección a lo largo del período de muestreo. En algunas semanas se registró la presencia del microorganismo, mientras que en otras no se detectó, lo que sugiere una fluctuación en la colonización del tejido. Estas variaciones podrían estar asociadas a cambios en la calidad del agua, al estado fisiológico de los organismos o a la efectividad de las medidas de manejo y control implementadas durante el cultivo (Figura 14).

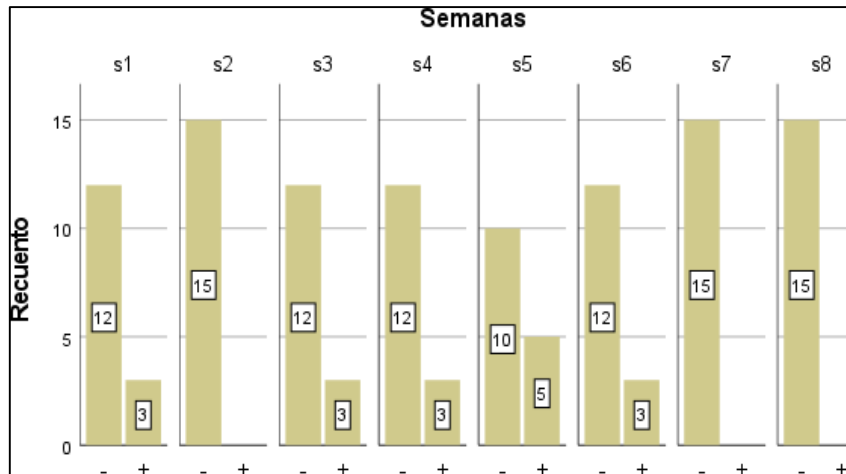


Figura 14. Presencia de *Vibrio* spp. en el hepatopáncrea, según semana.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Siembra de Bacterias coliformes en placas 3M™ Petrifilm

Para el recuento de Bacterias coliformes se utilizaron dos diluciones (10^{-2} y 10^{-4}), para ambas se efectuaron réplicas de muestra que, posteriormente, fueron sembradas en placas Petri film para recuento de *E. coli* / Coliformes. De los resultados conseguidos, se realizó una media para obtener el valor promedio de cada muestra.

El recuento de bacterias coliformes evidenció una baja carga microbiana a lo largo del período de evaluación, con variaciones temporales en su detección. En general, los recuentos se mantuvieron en niveles bajos, observando una mayor sensibilidad de la dilución menor para la detección del crecimiento bacteriano. La ausencia de crecimiento en la dilución mayor en varias semanas sugiere una baja concentración de coliformes en las muestras analizadas. Asimismo, los valores obtenidos se mantuvieron dentro de los límites máximos permitidos por la normativa microbiológica vigente, lo que indica condiciones sanitarias adecuadas durante el periodo de muestreo (Figura 15).

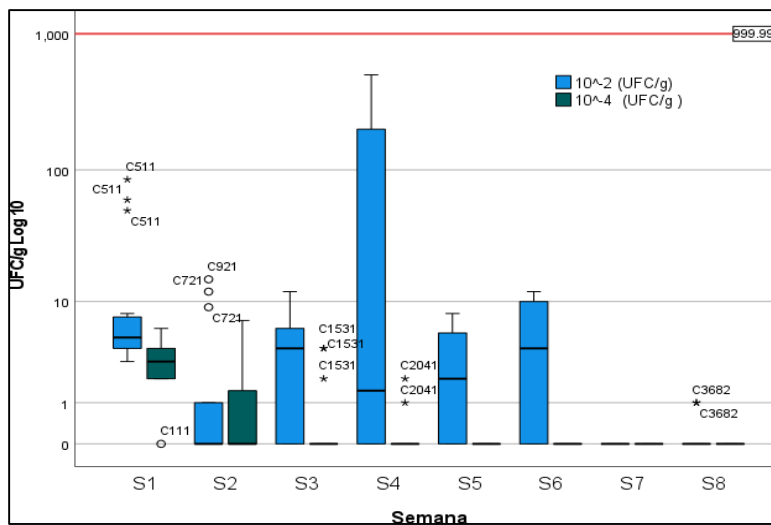


Figura 15. Recuento de Bacterias coliformes en placas 3M™ Petri film por semana.

Aislamiento de *Vibrio* spp.

Los resultados evidencian variabilidad en la presencia de *Vibrio* spp. entre las muestras de agua analizadas. Mientras que en los estanques n1, n2 y n3 se observó una presencia consistente del microorganismo, en los estanques n4 y n5 la detección fue



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

variable, lo que sugiere una menor estabilidad o una posible influencia de factores ambientales o de manejo que limitarían su proliferación en estas muestras (Figura 16).

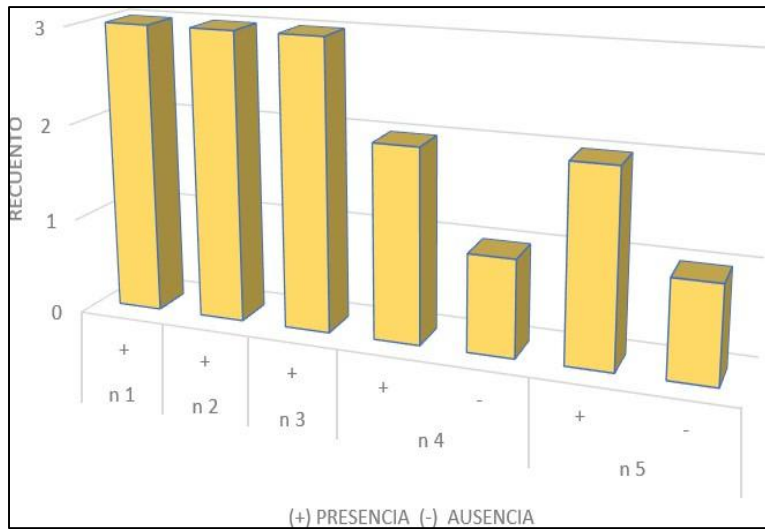


Figura 16. *Vibrio* spp. en muestras de agua del estanque de cultivo.

Para el recuento de bacterias heterótrofas presentes en el agua del estanque de cultivo, se tomó como referencia el valor propuesto por Cuéllar-Anjel et al. (2010) en el Manual de Buenas Prácticas de Manejo para el Cultivo del Camarón Blanco *Litopenaeus vannamei* (10^3 UFC/ml).

Los resultados evidencian variaciones temporales en la carga de bacterias heterótrofas en el agua del estanque evaluado. Durante la semana en la que se registró un recuento dentro del rango aceptable, las condiciones del agua pudieron haber sido más favorables para el control del crecimiento bacteriano. En contraste, en las demás semanas se observaron recuentos superiores al valor de referencia, lo que sugiere fluctuaciones en la calidad del agua y en las condiciones de manejo a lo largo del periodo de evaluación (Figura 17).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

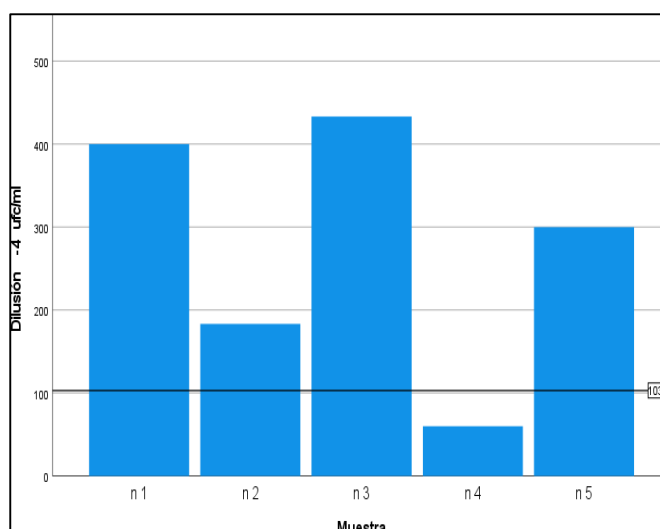


Figura 17. Recuento de Bacterias Heterótrofas en muestras de agua.

Los parámetros fisicoquímicos monitoreados en el agua se mantuvieron estables; el pH se mantuvo relativamente constante y fueron similares a los obtenidos por Lara-Espinoza et al. (2015) en el que se reportaron valores de $7,34 \pm 0,15$. La temperatura también se mantuvo dentro del rango esperado, siendo la adecuada para el cultivo de camarones, lo que coinciden con los analizados por Miranda-Baeza et al. (2015) donde obtuvieron valores de $28,95 \pm 2,49^\circ \text{C}$.

En un estudio realizado Gómez-Gil et al., 2016, reportaron cargas bacterianas que no superaban 1×10^3 UFC/ml de hemolinfa, asegurando que habitualmente se puede encontrar este tipo de bacterias en animales que aparentan estar sanos. Siendo similares a los obtenidos en este estudio, ya que, solo se observó la presencia de bacterias de color amarillo pertenecientes al género *Vibrio* en 20% de las muestras de hemolinfa durante la semana 1 y 2.

Se detectó una mayor presencia de *Vibrio* en la hepatopáncreas en comparación con los datos obtenidos en la hemolinfa del camarón. Este descubrimiento coincide con el estudio previo de Gómez-Gil et al. (2001), el cual indica que el hepatopáncrea es un órgano altamente sensible y propenso a adquirir infecciones bacterianas debido a sus



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

importantes funciones en el sistema digestivo del camarón, ya que es el encargado de absorber los nutrientes y se encuentra expuesto a bacterias y patógenos presentes en el alimento y el medio ambiente.

En este estudio, obtuvimos dos tipos de colonias presentes en la hepatopáncreas del camarón: colonias de color amarillas y de color verde. Las colonias de color verde presentaron una mayor presencia en las muestras. Flegel et al. (2005), afirma que cuando los camarones presentan crecimiento bacteriano de colonias verdes, no importa si el recuento de colonias es bajo o alto, estas siempre perjudicarán la hepatopáncreas del animal, independientemente del estadio en el que se encuentre, ya sea larval, juvenil o adulto. Por otro lado, Gómez-Gil et al. (2008), mencionan que es normal encontrar colonias amarillas en la hepatopáncreas, incluso en recuentos que superan el rango máximo 105 UFC, afirmando que estas pueden aparecer sin causar ningún problema en la salud del animal.

En términos bacteriológicos, Farmer et al. (2003), propuso que en cultivos realizados en agar TCBS para *Vibrio*, algunas especies, como: *V. alginolyticus*, *V. fluviales*, *V. cholerae*, *V. harveyi*, *V. cincinnatiensis*, entre otros, son fermentadores de sacarosa y presentan colonias de color amarillo con bordes lisos. Sin embargo, la especie *V. parahaemolyticus*, no fermenta sacarosa y sus colonias son verdes. Asimismo, Gómez-Gil et al. (2015), recalcan la importancia de identificar la cepa de la bacteria, puesto que se han encontrado las mismas especies de *Vibrio*, tanto en camarones sanos como en enfermos.

Con respecto al análisis de bacterias coliformes presentes en el camarón blanco, Swistock (2020), indica en su estudio que los coliformes totales y fecales son utilizados regularmente como indicadores de la calidad de los alimentos y el agua. La detección de bacterias coliformes puede señalar que, probablemente, exista la presencia de otros patógenos de origen fecal como bacterias, virus o protozoos, que pueden afectar la salud de los camarones, causando infección o mortalidad. La incidencia de bacterias del grupo coliforme demuestra que existe contaminación en el agua. Esta contaminación puede deberse a las descargas de aguas residuales sin tratamiento provenientes de viviendas humanas (Sarcos & Botero, 2005).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Se pudo observar que en el análisis para bacterias coliformes ninguna muestra sobrepasó los límites microbiológicos propuestos por la norma establecida, es decir, el 100% cumplió con los requerimientos establecidos. Además, no se registró ninguna relación entre la presencia de bacterias coliformes y bacterias del género *Vibrio*, como menciona Leyva Castillo et al. (2013) los *Vibrios* son microorganismos que pueden vivir en cuerpos de agua parcialmente libres de contaminación fecal.

El género *Vibrio* está ampliamente distribuido alrededor del mundo, y se puede encontrar en casi cualquier agua utilizada para el cultivo de especies marinas, además, las especies de este género cohabitan en los camarones y en otros animales de cultivo, ya que se adentran en branquias y las cutículas de los organismos (Peña-Navarro & Varela-Mejías, 2016).

Casi todas las muestras de agua analizadas fueron positivas para bacterias del género *Vibrio* y los valores obtenidos para la temperatura del agua estuvieron en un rango de 24° a 32° C. Esto concuerda con Quintanilla Corena & Castro Miranda (2022), donde observó que valores de temperatura superiores a 20° C, pueden influir de manera positiva, el crecimiento de este género de bacterias. En un trabajo previos, Suárez et al. (2015) indican que hallaron recuentos de *Vibrio* entre $1,2 \times 10^1$ y $7,4 \times 10^2$ UFC/mL en muestras de agua de cultivo de camarón blanco. También recalca que la presencia de especies de *Vibrio* durante el ciclo de cultivo sumado a un mal manejo de control de calidad, puede comprometer negativamente la salud del camarón y afectar la producción en la Acuicultura.

En relación con las bacterias heterótrofas en muestras de agua, Quintanilla Corena & Castro Miranda (2022) señalan que valores de pH cercanos a la neutralidad o en el rango alcalino favorecen el crecimiento de este grupo bacteriano. Este comportamiento es parcialmente consistente con los resultados del presente estudio, ya que durante la mayor parte del periodo de muestreo el pH se mantuvo en valores neutros a ligeramente alcalinos.

Sin embargo, se registró un descenso puntual del pH hasta valores ácidos (pH 6,6), lo cual indica una condición menos favorable para el desarrollo de bacterias heterótrofas. En las semanas en que el pH se mantuvo en el rango neutro–alcalino, los recuentos de



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

bacterias heterótrofas superaron los límites establecidos por la normativa vigente, mientras que durante el periodo en el que el pH descendió a valores ácidos, los recuentos se mantuvieron dentro del rango aceptable.

De manera similar, Quintanilla Corena & Castro Miranda (2022) reportaron elevados recuentos de bacterias heterótrofas en aguas de estanques de cultivo, llegando a describir colonias incontables y valores cuantificables únicamente a partir de diluciones elevadas, lo que evidencia la influencia del pH y otras condiciones ambientales en la proliferación bacteriana.

CONCLUSIONES

- Se detectó la presencia de *Vibrio* spp. en las muestras de hemolinfa del camarón durante la 1era y 2da semana. En el hepatopáncrea se detectó la presencia del género *Vibrio* spp. durante las semanas: 1, 3, 4 y 6. Alcanzando la mayor presencia en la semana 5.
- Todos los recuentos de las muestras analizadas para coliformes en placas 3M™ Petrifilm durante el estudio, fueron aceptables, ninguna muestra superó el límite máximo permisible.
- Se detectó la presencia del género *Vibrio* spp. en todas las muestras de agua analizadas en medio de cultivo agar TCBS. Según la norma todas las muestras se encuentran en el rango aceptable.

REFERENCIAS

- Cuéllar-Anjel, J., Lara, C., Morales, V., De Gracia, A., & García Suárez, O. (2010). *Manual de Buenas Prácticas de Manejo para el Cultivo del Camarón Blanco Penaeus vannamei*. OIRSA-OSPESCA, C.A. pp.132.
- https://www.researchgate.net/publication/273140870_Manual_de_Buenas_Practic_as_de_Manejo_para_el_Cultivo_de_Camarones_Penaeus_vannamei



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Cuéllar-Anjel, J. (2013). *Enfermedades Parasitarias en Camarones*. The Center for food security and public health / Institute for international cooperation in Animal biologics. Iowa University. USA. <https://www.cfsph.iastate.edu/Factsheets/es/parasitic-disease-es.pdf>
- Chávez Sánchez, M. C., & Montoya Rodríguez, L. (2011). Evaluación Preliminar para Sinaloa. *Peligros de Introducción de patógenos en Camarón importado*. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Unidad Mazatlán. 41 pag. <https://www.fps.org.mx/portal/index.php/publicaciones/99-acuicolas/1086-peligros-de-introduccion-de-patogenos-en-camaron-importado>
- Da Silva, V. A., dos Santos, F. L., Bezerra, S. S., Pedrosa, V. F., Mendes, P., & Mendes, E. S. (2010). A multi-season survey for infectious myonecrosis in farmed shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in Pernambuco, Brazil. *Journal of Invertebrate Pathology*, 104(3), 161-165. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2010.03.001>
- Division, F. a. A. E. a. P. (2010). Informe del Taller Regional FAO/OSPESCA sobre el Mejoramiento de los Sistemas de Información y Recolección de Datos Pesqueros para América Central y el Caribe. San Salvador, El Salvador, 23–26 de enero de 2006. <https://www.sidalc.net/search/Record/diq-fao-it-20.500.14283-11418S/Details>
- Farmer, J. J., Janda J. M., & Birkhead K. (2003). “*Vibrio*,” in *Manual of Clinical Microbiology* 8th Edition. Edited by Murray, P. R., Baron, E. J., Jorgensen, J. H., Pfaller, M. A., and Tenover, R. C. (Washington, DC: ASM Press), 706-718. https://books.google.com.pa/books?id=FgasBAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Fenucci, J. L. (1988). Manual para la Cría de Camarones Peneidos. Programa Cooperativo Gubernamental, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Italia. <https://www.fao.org/3/ab466s/ab466s00.htm>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Fernández Olmos, A., García de la Fuente, C., Sáez Nieto, J. A., & Valdezate Ramos, S. (2010). *Métodos de identificación bacteriana en el laboratorio de microbiología*. Procedimientos en Microbiología Clínica (N.º 37). Sociedad Española de Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica. <https://seimc.org/wp-content/uploads/2025/06/seimc-procedimientomicrobiologia37.pdf>
- Flegel, T. W., Pasharawipas, T., Owens, L., & Oakey, H. J. (2005). Phage induced virulence in the shrimp pathogen *Vibrio harveyi*. In Walker, P. J., Lester, R. G., and Bondad-Reantaso, M. B. (eds) Diseases in Asian aquaculture V. Fish health section. Asian Fisheries Society, Manila, pp. 329-337. https://www.fhs-afs.net/daa_v_files/Chapter6_Diseases_Crustaceans/Evidence%20of%20Phage-Induced%20Virulence.pdf
- Gómez-Gil, B., Roque, A., Rotllant, G., Romalde, J. L., Doce, A., Eggermont, M., & Defoirdt, T. (2016). Photobacterium sanguinicancri sp. nov. isolated from marine animals. *Antonie van Leeuwenhoek*, 109, 817-825. <https://doi.org/10.1007/s10482-016-0681-x>
- Gómez-Gil, B., Roque, A., & Soto-Rodríguez, S. (2015). Vibriosis en Camarones y su diagnóstico. En A Ruiz-Luna, C Berlanga-Robles, M Betancourt-Lozano (eds.). *Avances en Acuicultura y Manejo Ambiental*. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. México. 8, 1-14. https://www.academia.edu/17372217/Vibriosis_en_camarones_y_su_diagno%C3%B3stico_vibriosis_in_shrimp_and_its_diagnosis
- Gómez-Gil, B., Cabanillas Ramos, J., Paez Brambila, S., & Roque, A. (2001). Standardization of the bioencapsulation of enrofloxacin and oxytetracycline in *Artemia franciscana* Kellogg, 1906. *Aquaculture*, 196, 1-12. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00568-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00568-8)



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Gómez-Gil, B., Fajer-Ávila, E., Pascual, J., Macián, M. C., Pujalte, M. J., Garay, E., & Roque, A. (2008). *Vibrio sinaloensis* sp. nov., isolated from the spotted rose snapper, *Lutjanus guttatus* Steindachner, 1869. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 58(7), 1621-1624.

<https://doi.org/10.1099/ijs.0.65719-0>

Lara-Espinoza, C. L., Espinosa-Plascencia, A., Rivera-Domínguez, M., Astorga-Cienfuegos, K. R., Acedo-Félix, E., & Bermúdez-Almada, M. C. (2015). Desarrollo de Camarón *Litopenaeus vannamei* en un Sistema de Cultivo Intensivo con biofloc y nulo recambio de Agua. *AquaTIC*, (43), 1-13.

<https://www.redalyc.org/pdf/494/49447307001.pdf>

Leyva Castillo, V., Puig Peña, Y., Espino Hernández, M., Pereda Lamela, G., Portela López, N., Morejón, P. L., & Roble, O. (2013). Especies Patógenas de *Vibrio* aisladas en alimentos de origen marino. *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*, 23(1), 31-43. <https://www.medigraphic.com/pdfs/revcubalnut/can-2013/can131d.pdf>

Miranda-Baeza, A., Orozco-Medina, C., Rivas-Vega, M. E., & Luna-González, A. (2015). Evaluación de la Carga de Bacterias heterótrofas y vibrios en un sistema de cultivo integrado camarón-molusco-macroalga. *Hidrobiológica*, 25(2), 311-314.

<https://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/view/490/88>

Morgas, M., Valcárcel, S., Chirapozu, A., & de Pablo, B. (2019). Normas microbiológicas de los alimentos y asimilados (superficies, aguas diferentes de consumo, subproductos) y otros parámetros físico-químicos de interés sanitario (Actualizada a 1 de enero de 2019). Análisis Avanzados.

http://www.analisisavanzados.com/modules/mod_tecdata/manuales/Normas%20microbiologicas%20de%20los%20alimentos%20Enero%202019.pdf



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura / Organización Mundial de la Salud. (2002). Evaluación de riesgos de *Campylobacter* spp. en pollos para asar y *Vibrio* spp. en pescados y mariscos. Informe de una Consulta Mixta de Expertos. Bangkok, Tailandia. <https://www.fao.org/4/y8145s/y8145s00.htm>

Paredes Mendoza, J. R., & Rodríguez Romero, J. S. (2020). Monitoreo de los Parámetros de Temperatura y pH para Evaluar su Efecto en la Producción de Camarón Blanco (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931) en San Luis La Herradura, La Paz. [Tesis para Ingeniero Agrónomo, Universidad de El Salvador]. <https://repositorio.ues.edu.sv/server/api/core/bitstreams/91ddc28c-02f7-4246-bd53-3839459d063b/content>

Peña-Navarro, N., & Varela-Mejías, A. (2016). Prevalencia de las Principales Enfermedades Infecciosas en el Camarón Blanco *Penaeus Vannamei* Cultivado en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 51(3), 553-564. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572016000300007>

Quintanilla Corena, A., & Castro Miranda, J. de la P. (2022). Estudio de la Calidad del Agua en estanques e implementación de un protocolo de buenas prácticas acuícolas en la producción de Camarón Marino en Camaronera Eben Ezer, San Alejo, La Unión. *Rev. Tecnológica*, (15), 36-42. https://docs.bvsalud.org/biblioref/2023/01/1413127/articulo6_rt22.pdf

Rice, E. W., Baird, A. D., & Eaton, A. D., editors. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd edition). Washinton DC: American Public Health Association. <https://yabesh.ir/wp-content/uploads/2018/02/Standard-Methods-23rd-Perv.pdf>

Sánchez X., & Castillo L. (2009). Identificación de Especies de Vibrios aislados de Camarón Blanco (*Litopenaeus vannamei*) silvestres y cultivados en la Finca Limoncillo Aguadulce. Tesis de grado de la Universidad de Panamá. (Escuela de Alimentos. Centro Regional Universitario de Coclé).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Sarcos, M., & Botero, L. (2005). Calidad Microbiológica de la Almeja *Polymesoda sólida* recolectada en playas del Municipio Miranda del estado Zulia. *Ciencia*, 13(1), 34-43.

<https://produccioncientificaluz.org/index.php/ciencia/article/view/9237/9226>

Suárez, M. G., Medina, Z., Montiel, M., Ibarra, J., & Salcedo, A. (2015). Distribución de *Vibrio* spp. en Agua y Sedimento de Estanques Productores de Camarón *Litopenaeus vannamei* cultivados con agua del Lago de Maracaibo (Venezuela). *Revista Científica*, XXV(4), 293-299.

<https://www.redalyc.org/pdf/959/95941173003.pdf>

Swistock, B. (2020, octubre 19). Bacterias Coliformes. Penn State Extension

3M. (2017). Guía de interpretación de placas 3M™ Petrifilm™ para el recuento de coliformes. 3M Food Safety.

<https://multimedia.3m.com/mws/media/1409675O/guia-interpretacion-petrefilm-coliformes-alta-sensibilidad.pdf>

Toledo, A., Castillo, N. M., Carrillo, O., & Arenal, A. (2018). Probióticos: una realidad en el cultivo de camarones. Artículo de revisión. *Revista de Producción Animal*, 30(2), 57-71.

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-79202018000200009



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

DIVERSIDAD GENÉTICA DEL ARROZ CRIOLLO DE TOABRÉ, PANAMÁ: ANÁLISIS MOLECULAR POR MARCADORES ISSR¹

*Ismael Camargo-Buitrago*²; *Manuel Jiménez-Montero*³; *Milcíades Cedeño-Castillo*⁴;
*Carmen Bieberach-Forero*²; *Axel Villalobos-Cortés*²; *Simón Vázquez-Wilson*⁵

RESUMEN

El arroz es el cultivo alimentario más importante del mundo y se espera que la demanda de arroz aumente drásticamente en el mundo en desarrollo, la incorporación de cultivares locales o criollos pueden proporcionar genes de adaptabilidad para condiciones ambientales específicas. Determinar la diversidad genética en 31 accesiones de arroz criollo de Toabré (Panamá), mediante marcadores ISSR. El experimento se realizó en el Laboratorio Agrobiotecnología del IDIAP, ubicado en Divisa; Panamá, durante el año 2022-2023. Se extrajo ADN de plántulas sanas de arroz, se emplearon dieciséis cebadores ISSR y se cuantificaron bandas polimórficas. Se estimaron parámetros de diversidad (I' , H , F_{st} , N_a , N_e , h , u_h y PIC) con los softwares NTSYSpc, POPGENE y GENALEX v6.4, y se construyó un dendograma UPGMA. De dieciséis iniciadores, quince generaron 775 bandas, con 148 loci y 95,95 % de polimorfismo. El índice de Shannon (I') varió de 0,1425 a 0,6926, y la heterocigosis (H) de 0,020 a 0,252. El análisis UPGMA reveló cinco grupos con coeficiente de similitud promedio de 0,726 y se observaron accesiones con similitud de 1,0. Un 64% de combinaciones mostró similitud superior a 0,900, evidenciando baja diversidad genética. El uso de los marcadores ISSR demostraron ser una herramienta efectiva para realizar estudios de diversidad genética en el arroz criollo del norte de Penonomé. Las 31 accesiones estudiadas muestran una baja diversidad genética, posiblemente por lo reducida del área de colecta y el número de muestras estudiadas.

Palabras clave: Genotipado, locus, matrices de agrupamiento, microsatélite.

¹Recepción: 31 de julio de 2025. Aceptación: 20 de agosto de 2025. Investigación financiada por SENACYT proyecto FID 17-064 y por el IDIAP proyecto 501.B.1.16

²Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). e-mail: diirgeb.idiap@gmail.com;

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4199-0621>; e-mail: cybieberach@gmail.com;

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0002-6607-9332>; e-mail: villalobos.axel@gmail.com;

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4223-0560>

³Fundación Toabré. e-mail: jjimenezmm@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4386-9016>

⁴Autoridad del Canal de Panamá (ACP). e-mail: moceca.1191@hotmail.com;

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0006-8760-1889>

⁵Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá. e-mail: simon.vasquez@up.ac.pa;

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0952-6055>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

GENETIC DIVERSITY OF TOABRÉ NATIVE RICE, PANAMA: MOLECULAR ANALYSIS USING ISSR MARKERS

ABSTRACT

Rice is the world's most important food crop, and global demand is expected to continue increasing. In developing regions, local or creole cultivars represent valuable genetic resources, as they may harbor adaptive traits suited to specific environmental conditions. The objective of this study was to assess the genetic diversity of 31 creole rice accessions from Toabré, Panama, using inter-simple sequence repeat (ISSR) markers. The experiment was conducted at the IDIAP Agrobiotechnology Laboratory in Divisa, Panama, during 2022–2023. Genomic DNA was extracted from healthy rice seedlings, and sixteen ISSR primers were used to amplify polymorphic bands. Genetic diversity parameters (I' , H , F_{st} , N_a , N_e , h , u_h , and PIC) were estimated using NTSYSpc, POPGENE, and GENALEX v6.4, and genetic relationships were examined using a UPGMA dendrogram. Of the sixteen primers evaluated, fifteen yielded 775 bands, corresponding to 148 loci, with a polymorphism rate of 95.95%. The Shannon diversity index (I') ranged from 0.1425 to 0.6926, while expected heterozygosity (H) varied between 0.020 and 0.252. Cluster analysis identified five genetic groups, with an average similarity coefficient of 0.726; several accessions exhibited complete similarity (1.0). Approximately 64% of pairwise comparisons showed similarity values greater than 0.900, indicating low overall genetic diversity. These results suggest that the Toabré native rice accessions analyzed exhibit limited genetic variability, possibly due to their restricted geographic origin and small sample size. Nevertheless, ISSR markers proved to be an effective tool for characterizing genetic diversity in native rice populations from northern Penonomé.

Keywords: genotyping, locus, clustering matrices, microsatellite.

INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa* L.) es el cultivo alimentario más importante del mundo y se espera que su demanda aumente drásticamente en el mundo en desarrollo (Moonsap et al., 2019). La producción de arroz tiene que hacer frente al difícil desafío de superar el problema recurrente de obtener un rendimiento de grano regular en condiciones variables, debido al estrés biótico y abiótico (Moonsap et al., 2019; Singh et al., 2020).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

La variabilidad genética es fundamental en el éxito de cualquier programa de mejoramiento genético, por lo que evaluar el nivel de variación genética entre las variedades o genotipos de arroz ha sido de gran interés para los mejoradores genéticos (Ndjondjop et al., 2010; Islam et al., 2015; Swarup et al., 2021). La diversidad genética se puede evaluar con caracteres morfológicos, proteínas de semillas, isoenzimas y marcadores ADN (Hossain et al., 2007).

Las tecnologías de marcadores moleculares pueden ayudar a los esfuerzos del mejoramiento convencional y son herramientas valiosas para el análisis de parentesco genético, identificación y selección de genotipos deseables para realizar cruces con progenitores complementarios, así como para la conservación del germoplasma en bancos de genes (Hossain et al., 2007; Singh et al., 2020; Islam et al., 2015). La diversidad genética basada en el fenotipo no es, suficientemente auténtica debido a la interacción genotipo ambiente, lo que impulsa a los fitomejoradores a optar por marcadores moleculares o de ADN, ya que son más precisos y consistentes en diferentes condiciones ambientales (Jonah et al., 2011; Sangeetha et al., 2020).

Entre los marcadores de ADN basados en PCR, el marcador ISSR es el más eficaz debido a su naturaleza codominante, su amplia dispersión en todo el genoma, su abundancia de diversidad alélica, su alta reproducibilidad y su alto nivel de polimorfismo (Saha et al., 2022; Hoshino et al., 2012; Zhang et al., 2011). Los marcadores moleculares son loci genéticos que pueden ser fácilmente rastreados y cuantificados dentro de una población y pueden ser asociados con un gen particular o una característica de interés (Hossain et al., 2007; Singh et al., 2020).

Los marcadores moleculares microsatélites como ISSR (Inter-simple sequence repeat, Secuencias Intergénicas Repetidas Simples) pueden ser herramientas de gran utilidad para evaluar la diversidad genética de genotipos, accesiones o clones sometidos a estos procesos de caracterización de germoplasma (Jonah et al., 2011).

Además, la técnica se caracteriza por una gran simplicidad y economía de manejo, por poseer la sensibilidad necesaria para distinguir entre individuos genéticamente muy



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

próximos (Hossain et al., 2007; Singh et al., 2020). Las razas locales o criollas son recursos genéticos valiosos para cualquier programa de mejoramiento, ya que contienen una enorme variabilidad genética que puede utilizarse para complementar y ampliar el acervo genético de los genotipos avanzados (Kobayashi et al., 2006; Aesomnuk et al., 2021).

Los cultivares locales o criollos pueden proporcionar "genes de adaptabilidad" para condiciones ambientales específicas. La incorporación de estos genes de adaptabilidad de razas locales puede garantizar un rendimiento óptimo de grano con tolerancia a factores bióticos y abióticos para regiones determinadas (Li et al., 2014; Swarup et al., 2021). Para mantener la diversidad genética y el mejoramiento de cultivos, es vital programar la recolección, caracterización y conservación de las razas locales tradicionales (Islam et al., 2015).

Dada la plasticidad y resiliencia de los cultivares criollos de arroz éstos pueden proporcionar "genes de adaptabilidad" para condiciones ambientales definidas (Li et al., 2014; Aesomnuk et al., 2021). La incorporación de tales genes de adaptabilidad de razas locales en los proyectos de mejoramiento genético ampliaría la base genética y podría garantizar la obtención de nuevos cultivares con características agronómicas interesantes, tolerantes a los factores bióticos y abióticos, un rendimiento óptimo y de alta calidad de grano (Singh et al., 2018; Swarup et al., 2021).

El objetivo del presente trabajo fue determinar la diversidad genética en 31 accesiones de arroz criollo de Toabré (Panamá), mediante marcadores ISSR.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio

Se realizó en el Laboratorio de Agrobiotecnología (Sección de Biología Molecular), del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá, ubicado en Divisa, corregimiento de Los Canelos, distrito de Santa María, provincia de Herrera, en el periodo comprendido entre el año 2022 y 2023.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Material Genético

Consistió en 31 accesiones de arroz criollo (Cuadro 1) colectado entre los productores de agricultura familiar que siembran a chuzo o a espeque utilizando un palo puntiagudo para abrir hoyos pequeños en el suelo, con una separación entre surcos de 0,40 m y 0,30 m entre plantas, colocando de cuatro a ocho semillas por hoyo, que es el sistema estandarizado en las comunidades aledañas al Valle de San Miguel, corregimiento de Toabré, distrito de Penonomé, provincia de Coclé, Panamá.

Cebadores o iniciadores usados en el análisis de Microsatélites ISSR

Fueron utilizados dieciséis iniciadores (cebadores o primers) escogidos después de una exhaustiva revisión bibliográfica (Cuadro 2). Las reacciones de PCR se realizaron en un termociclador siguiendo las condiciones óptimas de amplificación.

Extracción del ADN, PCR y electroforesis

Se colectaron muestras de hojas sanas de arroz con 20 días de germinación provenientes de semillas gámica de las 31 accesiones. Se obtuvo el ADN siguiendo el protocolo de extracción con el búfer CTAB 2X estandarizado. Se verificó la calidad del ADN a través de electroforesis en agarosa 1,5%, con TBE 0,5%, 80 V por 30 min.

Se corrió la PCR con dieciséis iniciadores ISSR: AM4, AM6, UBC807, UBC 807, UBC 809, UBC 812, UBC 813, UBC 818, UBC 825, UBC 827, UBC 835, UBC 842A, UBC 842B, UBC 872, UBC 879, UBC 885. La concentración de los reactivos para cada reacción fue la siguiente: dNTPs 0,2mM, iniciadores 0,2 µM, Taq polimerasa 1 U y 50 ng de ADN. El programa de la PCR consistió en 35 ciclos (94° C x 1 min, 50° C x 1 min, 72° C x 2 min).

Los productos de PCR se obtuvieron por electroforesis en gel de agarosa 2,5%, TBE 0,5%, 90 V x 2:30 horas. Se levantó una matriz binaria de ausencia / presencia de bandas para cada cultivar e iniciador.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 1. Código de las 31 accesiones, nombre común, comunidad de colecta y nombre del productor donante del arroz criollo evaluado. Panamá. 2022-2023.

Código	Nombre común	Comunidad de colecta	Productor donante	Código	Nombre común	Comunidad de colecta	Productor donante
ACC-1	Colorado	Valle San Miguel	Tomás Martínez	ACC-36	Chato blanco	Cañazas	Eliodoro Rivera
ACC-3	Coiba blanco	Valle San Miguel	Tomás Martínez	ACC-38	Chato colorado	Boca de Cuiría	Santo Flores
ACC-4	Ocueño	Bajito San Miguel	Marcelino Villarreta	ACC-40	Loreño	Guayabo	José Domínguez
ACC-7	Llanero	Bajito San Miguel	Marcelino Villarreta	ACC-41	Diana	Gurbé	Ceferino Villarreta
ACC-11	Chato colorado	Santa Ana	Misael Reyes	ACC-43	Chato colorado	Cañazas	Eliodoro Rivera
ACC-12	Colorado	Santa Ana	Misael Reyes	ACC-44	Brujo	Gurbé	Ceferino Villarreta
ACC-15	Chombo	Santa Ana	Misael Reyes	ACC-48	Colorado	Villa del Carmen	Rafael Alabarca
ACC-19	Plano	Banazo	Narciso Martínez	ACC-49	Loreño	Lourdes	Fidel Rivera
ACC-23	Blanco	Bito	Pascual Muñoz	ACC-52	Colorado	Villa del Carmen	Lucio Flores
ACC-24	Uvo	Bito	Maximina Núñez	ACC-55	Chombo blanco	Gurbé	Ebelio Madrid
ACC-26	Argentino amarillo	Banazo	Moisés Núñez	ACC-57	Fortuno blanco	Valle de Riecito	Pedro Gonzales
ACC-27	Lagueño	Banazo	Constantino Núñez	ACC-58	Plana blanca	Limón	Miguel Espinosa
ACC-28	Meret	Cañazas	Cecilio Villarreta	ACC-59	Argentino colorado	Limón	Miguel Espinosa
ACC-29	Colombiano amarillo	Cañazas	Cecilio Villarreta	ACC-60	Petaca	Valle de Riecito	Luis Rodríguez
ACC-2	Bella luna	Monte Bueno	José A, Núñez	ACC-62	Carita	Los Elegidos	Félix Gomes
ACC-35	Argentino colorado	Guayabo	José Domínguez				

Tomado de: Suira-Atencio, (2020).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 2. Listado de los dieciséis iniciadores, nombre, descripción secuencia, motivo, temperatura de fusión (Tm), y número de bandas obtenidos de la PCR de las 31 accesiones de arroz criollo. Panamá. 2022-2023.

Iniciador	Descripción (secuencia)	Motivo	Tm °C	Número de bandas	Fuente
AM-4	AAGAAGAAGAAGAAGCC	(AAG)5CC	50	6	Kshirsagar et al., 2014
AM-6	AGCAGCAGCAGCAGCGG	(AGC)5GG	50	6	
UBC 807	AGAGAGAGAGAGAGAGT	(AG)8T	50	6	
UBC 811	GAGAGAGAGAGAGAGAC	(GA)8C	47	6	
UBC 813	CTCTCTCTCTCTCTT	(CT)8T	50	5	
UBC 818	CACACACACACACACAG	(CA)8G	47	6	
UBC 825	ACACACACACACACACT	(AC)8T	45	8	
UBC 827	ACACACACACACACACG	(AC)8G	52	6	
UBC 872	GATAGATAGATAGATA	(GATA)4	48	7	
UBC 809	AGAGAGAGAGAGAGAGG	(AG)8G	47	21	Haritha et al., 2016
UBC 812	GAGAGAGAGAGAGAGAA	(GA)8 ^a	50	18	
UBC 835	AGAGAGAGAGAGAGAGTC	(AG)8TC	50	14	
UBC 842a	GAGAGAGAGAGAGAGATG	(GA)8TG	50	16	
UBC 842b	GAGAGAGAGAGAGAGACG	(GA)8CG	50	16	
UBC 885	GCCGAGAGAGAGAGAG	GCCG(AG)6	50	16	
UBC 879	CTTCACTTCACTTCA	(CTTCA)3	48	28	Dharmaraj et al., 2018

Análisis estadístico de datos moleculares

El diseño experimental consistió en un arreglo completamente al azar, donde cada una de las 31 accesiones de arroz criollo (*Oryza sativa* L.) representó una unidad experimental independiente para su caracterización genética. Se obtuvo material foliar de cada accesión, a partir del cual se extrajo el ADN y se realizó la amplificación con marcadores ISSR siguiendo el protocolo descrito previamente. Una vez concluidas las reacciones de PCR, los productos amplificados se visualizaron en geles de agarosa y se documentaron mediante un sistema de foto-documentación.

Para cada accesión se registraron los patrones de bandas; la presencia (1) o ausencia (0) de cada banda conformando una matriz binaria. Esta matriz, correspondiente a los 31 genotipos de arroz criollo, generó inicialmente una hoja de cálculo y se convirtió después a los formatos específicos para los diferentes programas de análisis estadísticos empleados.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Construcción de matrices y árboles de distancia

En la fase de análisis estadístico, se generaron matrices de distancia genética (Nei y Jaccard, en caso necesario) con el software NTSYSpc y POPGENE, con el fin de estimar la similitud o divergencia entre las accesiones estudiadas. Posteriormente, se empleó el método de agrupamiento UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean) para construir los dendogramas a partir de dichas matrices. Este procedimiento permitió representar de manera gráfica las relaciones genéticas entre los genotipos.

Análisis de diversidad genética

Con el programa GENALEX v6.4 se calcularon diversos estadísticos de diversidad genética basados en la matriz binaria obtenida de las bandas ISSR. Se estimó el índice de Shannon (I'), que mide la variabilidad genética dentro de la población, y la diversidad genética total (H), asociada a la probabilidad de heterocigosis esperada. Posteriormente, se determinó la diferenciación genética entre poblaciones (F_{st}), con el fin de cuantificar cuánto de la diversidad total corresponde a diferencias interpopulacionales, y se evaluó la amplitud alélica mediante el número de alelos diferentes (N_a) y el número de alelos efectivos (N_e).

Se calcularon la diversidad (h) y la diversidad normalizada (u_h), las cuales reflejan la heterogeneidad alélica promedio, y se estimó el contenido de información polimórfica (PIC), indicador de la capacidad de cada marcador para discriminar genotipos. En todo momento se mantuvo el supuesto fundamental del diseño, considerando cada accesión como una unidad.

RESULTADOS

Amplificaciones por PCR

Los productos derivados de la PCR mostraron que de 16 primers ISSR utilizados, 15 amplificaron generando un total de 775 bandas. En el iniciador AM6 se observaron 36 mientras UBC 872 no produjo ninguna amplificación en las 31 accesiones (Figura 1). El iniciador UBC 812, amplificó 59 bandas, en tanto el UBC 842a contamos 88 bandas (Figura 2). Los iniciadores UBC 807 y UBC 818, amplificaron 69 y 21 bandas, respectivamente



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

(Figura 3). El UBC 835 generó el mayor número de bandas (106) y UBC 885, 54 bandas (Figura 4).

Estos resultados ponen en evidencia la variabilidad en la eficiencia de los iniciadores ISSR y destaca el potencial de ciertos iniciadores con mayor capacidad para discriminar entre genotipos.

Cuatro accesiones, (AC 12, AC 35, AC 41 y AC 55) no fueron capaces de amplificar bandas con ninguno de los iniciadores utilizados. Por el contrario, cinco accesiones AC 07, AC 32, AC 40, AC 43 y AC 58 fueron las que presentaron el mayor número de bandas amplificadas respectivamente, 55, 68, 51, 74 y 64. El rango de bandas observables en las accesiones fluctuó de 0 (cero) hasta 74, lo que sugiere un amplio rango de diversidad de secuencias repetitivas en el ADN genómico. Mientras que entre los microsatélites ISSR el rango de las bandas amplificadas fluctuaron de cero (UBC 872) y 106 (UBC 835).

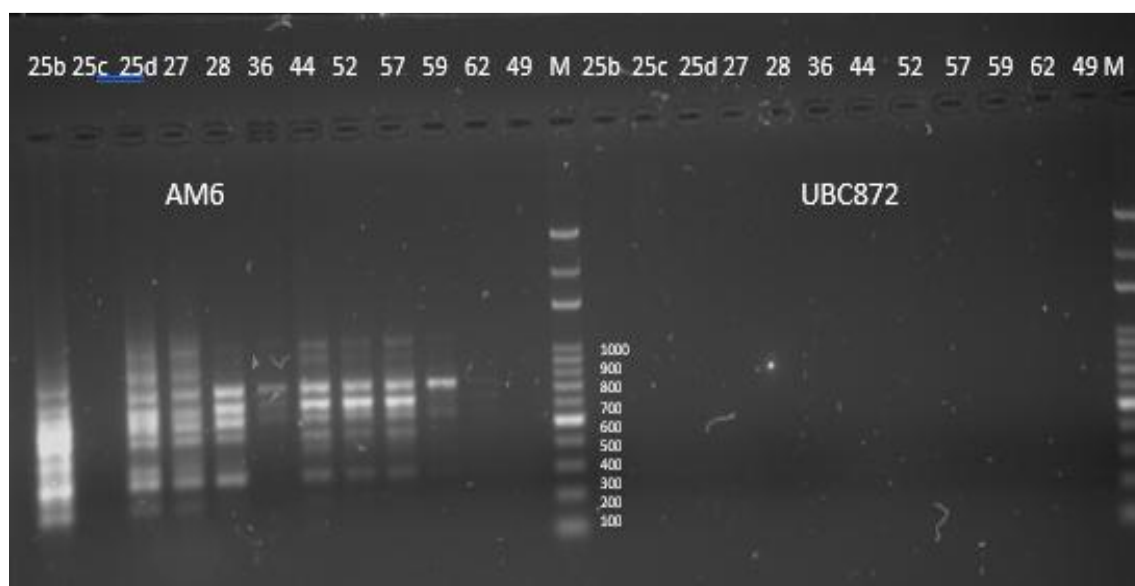


Figura 1. Bandas de 12 genotipos de arroz criollos con los iniciadores AM6 y UBC872. Panamá, 2022-2023.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

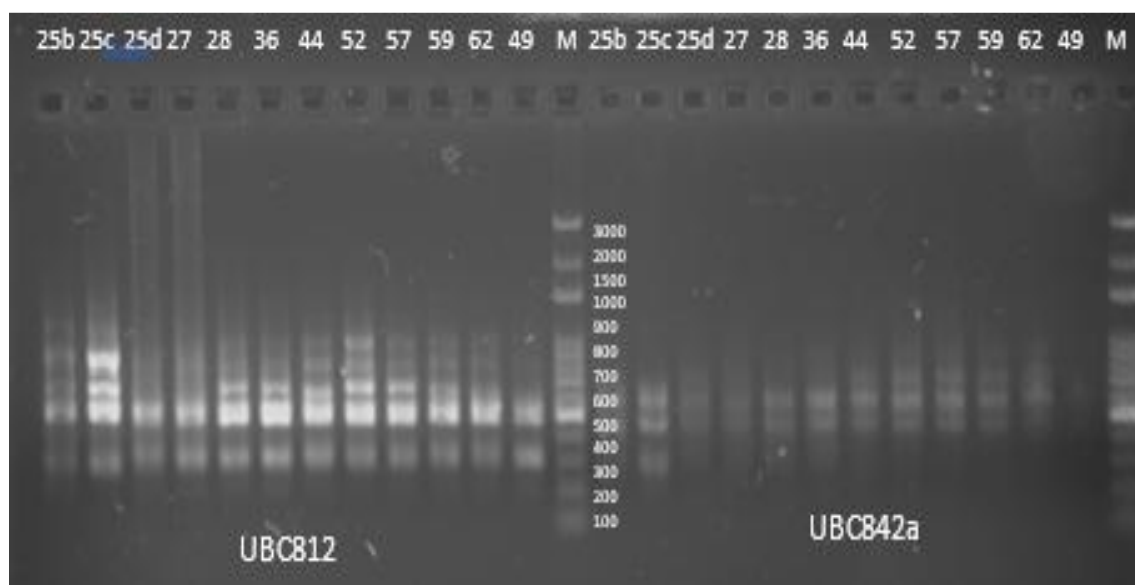


Figura 2. Bandas de 12 genotipos de arroz criollo con los iniciadores UBC812 y UBC842a. Panamá, 2022-2023.

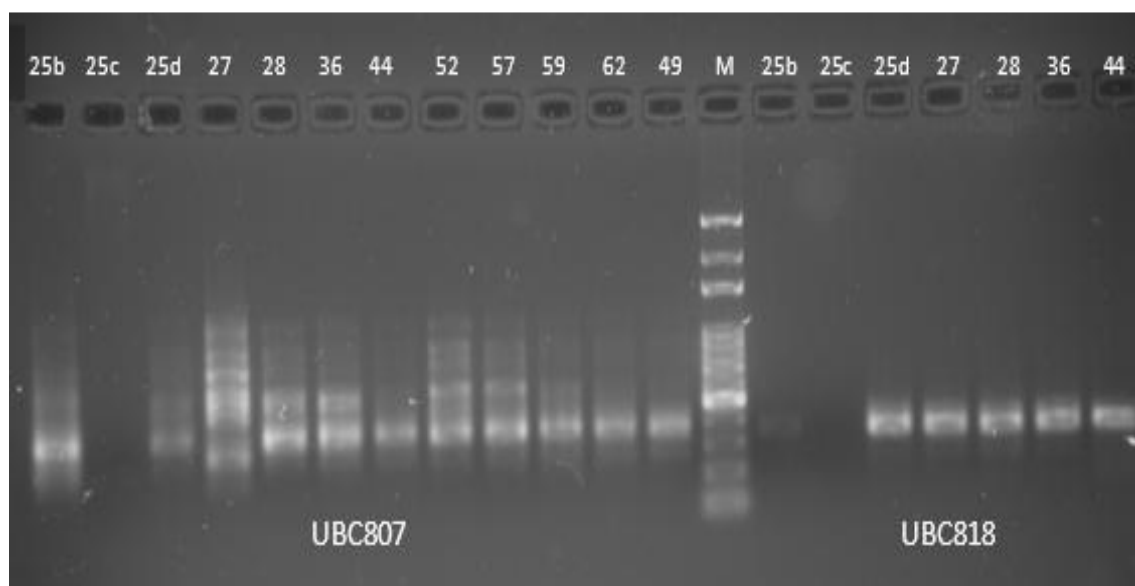


Figura 3. Bandas de 12 genotipos de arroz criollo con los iniciadores UBC807 y UBC818. Panamá, 2022-2023.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

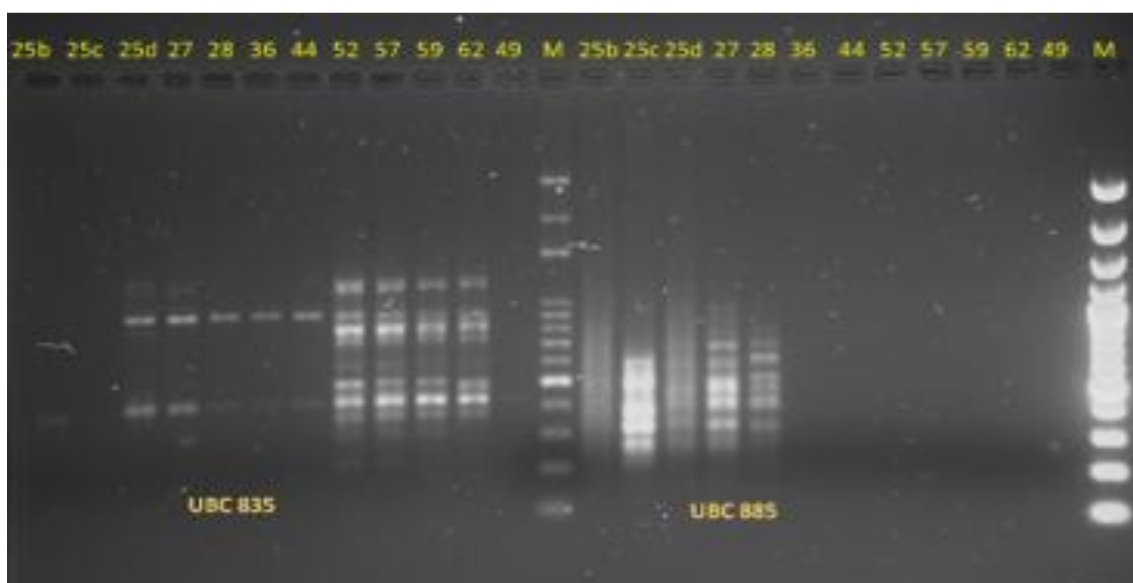


Figura 4. Bandas de 12 genotipos de arroz criollo con los iniciadores UBC835 y UBC885. Panamá, 2022-2023.

Caracterización molecular con marcadores ISSR

En el presente estudio se identificaron 148 loci (caracteres) de los cuales el 95,95 % resultaron ser polimórficos; resaltando la fortaleza de los marcadores ISSR. Las frecuencias de las bandas en los 148 loci, fluctuaron de 0,00 en los loci: 51, 59, 67, 71, 94 y 128. Los loci que mostraron la mayor cantidad de frecuencias de bandas fueron 21(0,484), 87(0,548), 88(0,581), 115(0,516), 130(0,548), 133(0,516), y 148(0,452), indicando en la práctica su utilidad en la discriminación genotípica.

Los valores del Índice de Shannon (I'), en esta población de arroz criollos fluctuaron de 0,1425 a 0,6926 (Cuadro 3), la diversidad genética total (H) varió de 0,020 a 0,252. En la práctica no se detectó la diversidad genética dentro de las poblaciones (H_s), posiblemente porque la colecta se realizó en una región relativamente pequeña, donde ocurre un intercambio frecuente de semillas entre los productores, con sus consecuentes mezclas y pérdidas de variabilidad o erosión genética, en los campos de los pequeños productores dedicados a la agricultura familiar.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 3. Diferenciación genética y alélica de los 148 loci de las 31 accesiones de arroz criollos obtenidos con los marcadores moleculares ISSR. Panamá, 2022-2023.

	I'	H	Fst	Na	Ne	h	uh	PIC
Valor medio	0,400	0,252	1,00	1,919	1,387	0,252	0,260	0,495
D.E.	0,186	0,020		0,033	0,023	0,012	0,012	

I'= índice de Shannon; H= diversidad genética total; Fst=diversidad génica debido a las diferencias entre poblaciones. Na= número de alelos diferentes; Ne= número de alelos efectivos; h=Diversidad; uh=Diversidad normalizada; PIC=contenido de información polimórfica.

En cuanto al valor de Fst, estimado fue de 1,0, tal vez sobreestimado debido a la muestra relativamente pequeña y área geográfica reducida; sin embargo, de acuerdo con Hassan & Hama-Ali (2022), se considera alto nivel de diferenciación (Fst mayor 0,30) el reporta en su estudio Fst de 0,726.

El índice de diversidad de NEI, es una medida de la diversidad genética promedio entre poblaciones, el mismo fluctuó entre 0,0624 y 0,4995, este valor normalmente en la mayoría de los ecosistemas varía entre 0,00 y 1,00, se maximiza cuando hay muchos alelos en frecuencias iguales.

El número de alelos diferentes (Na) en esta población fue de $1,919 \pm 0,033$, el número promedio de alelos efectivos (Ne) fue $1,387 \pm 0,023$, mientras la diversidad (h) promedio fue $0,252 \pm 0,012$ y la diversidad normalizada fue de $0,260 \pm 0,012$; reflejan una diversidad moderada. La ausencia de diversidad dentro de poblaciones puede deberse al intercambio constante de semillas entre agricultores, lo cual genera homogeneidad del material genético. El contenido de información polimórfica (PIC) tuvo un valor promedio de 0,495 (Cuadro 3).

Matrices de Agrupamientos de similaridad genéticas

El análisis de similitud genética mediante el agrupamiento utilizando el algoritmo UPGMA, generó cinco grupos con un coeficiente de similaridad promedio de 0,726 (72,6%), (Figura 5). El grupo 1, formado por 13 (41,9%) accesiones; el grupo 2 por siete (22,6%) accesiones; el grupo 3, consta de cuatro (12,9%) accesiones; el grupo 4, de dos (6,5%) accesiones y el grupo 5, agrupa cinco (16,1%) accesiones.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Grupo 1, constituido por las accesiones Colorado (ACC-1) y Coiba blanco (ACC-3), Colorado (ACC-12), Argentino colorado (ACC- 35), Diana (ACC-41), Fortuno blanco (ACC-56), Colombiano amarillo (ACC-29), Colorado (ACC-48), Chato colorado (ACC-38), Chombo (ACC-15), Uvo (ACC-24), Chato colorado (ACC-11), Argentino amarillo (ACC-26). La similaridad entre los genotipos del grupo 1 fueron superiores a 0,900 (Cuadro 4).

Grupo 2, abarca las accesiones Meret (ACC- 28), Chato blanco (ACC-36), Brujo (ACC-44), Colorado (ACC-52), Fortuno blanco (ACC-57), argentino colorado (ACC-59), Carita (ACC-62), presentan similaridad por encima de 0,900 (Cuadro 4).

Grupo 3, formado por las accesiones: Ocueño (ACC-4), Blanco (ACC- 23), Lagueño (ACC-27), Loreño (ACC-49), con similaridad promedio de 0,764 (Cuadro 4).

Grupo 4, llanero (ACC-7), Plano (ACC-19), con de similaridad media de 0,696 (Cuadro 4).

Grupo 5, conformado por Bella luna (ACC-2), Chato colorado (ACC-43), Loreño (ACC-40), Plana blanco (ACC-58), Petaca (ACC-60). El índice de similaridad fue 0,619.

La matriz de similaridad (Cuadro 4) muestra que algunas accesiones como: Colorado (ACC-12), Argentino colorado (ACC-35), Diana (ACC-41), Chombo blanco (ACC-56), tienen similaridad de 1,0, lo que sugiere que sean genotípicamente el mismo material o duplicados con diferentes nombres según la comunidad de colecta (Figura 5).

La similaridad basados en UPGMA (Cuadro 4) destaca que alrededor de 64 combinaciones presentan similaridad superior a 0,900; sugiriendo una baja diversidad genética entre las accesiones de arroz criollo estudiadas. Probablemente porque el área de influencia del proyecto donde se hizo la colecta fue reducida y los productores de comunidades vecinas al intercambiar sus semillas a veces les cambian el nombre.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

DISCUSIÓN

Fueron identificados 148 locus (caracteres) de los cuales 95,95% reflejaron ser polimórficos, demostrando la efectividad de los marcadores ISSR para detectar variabilidad genética en las accesiones de arroz criollo. A mayor diversidad genética dentro de la población mayor adaptabilidad y tolerancia a enfermedades.

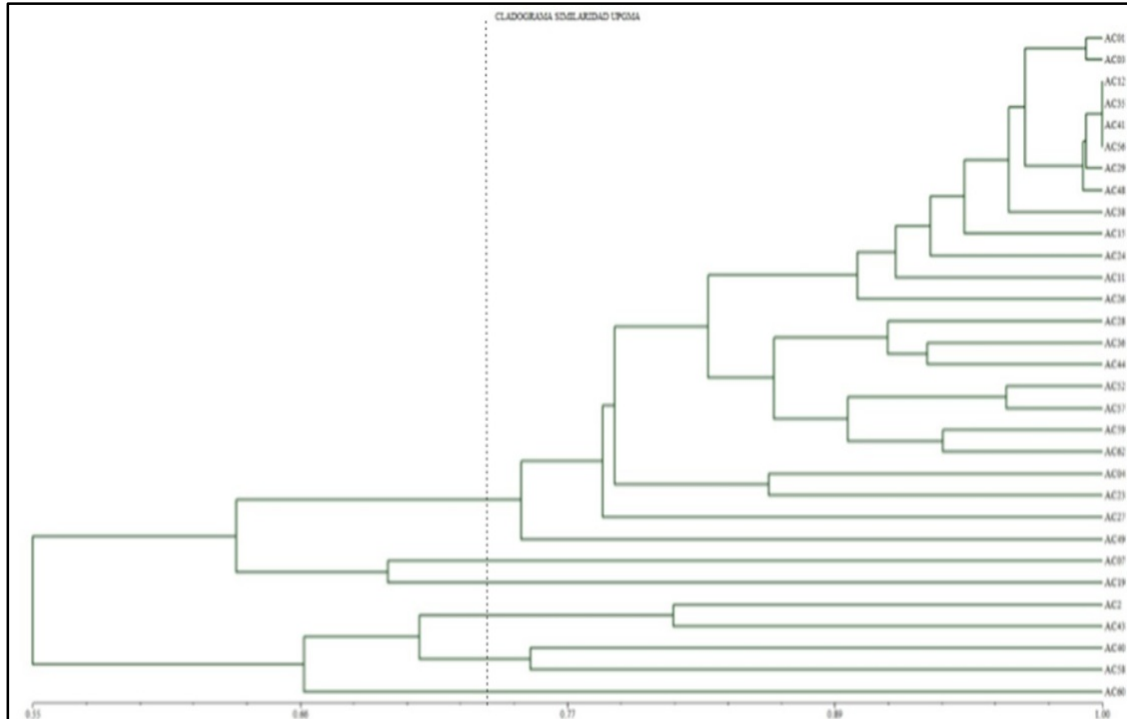


Figura 5. Cladograma de similitud en los 31 materiales criollos de arroz generado con el coeficiente UPGM, caracterizados mediante 15 cebadores ISSR. Panamá, 2022-2023.

A pesar de contar con un alto porcentaje de loci polimórficos, los valores de diversidad no fueron elevados, por la reducida región de colecta y la costumbre de intercambio de semillas entre agricultores, dando origen a la homogeneidad genética.

El nivel de polimorfismo es similar a los reportados por Singh et al. (2020), Rini et al. (2023) obtuvieron niveles de 98,17%, Singh et al. (2018) reportaron 100%; sin embargo, Oladosu et al. (2015) reportaron 85,10%, y Rawte & Saxena (2018), obtuvieron promedio 60%.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 4. Matriz de similitud en las 31 accesiones del arroz criollo del norte de Penonomé basados en el algoritmo UPGMA, caracterizados mediante 15 cebadores ISSR. Panamá, 2022-2023.

	AC01	AC03	AC04	AC07	AC11	AC12	AC15	AC19	AC23	AC24	AC26	AC27	AC28	AC29	AC32	AC35	AC36	AC38	AC40	AC41	AC43	AC44	AC48	AC49	AC52	AC55	AC57	AC58	AC59	AC60	AC62				
AC01	1																																		
AC03	0.993	1																																	
AC04	0.804	0.811	1																																
AC07	0.581	0.588	0.696	1																															
AC11	0.899	0.905	0.797	0.615	1																														
AC12	0.966	0.973	0.797	0.574	0.919	1																													
AC15	0.926	0.932	0.797	0.588	0.932	0.946	1																												
AC19	0.669	0.676	0.770	0.696	0.676	0.662	0.676	1																											
AC23	0.838	0.845	0.868	0.676	0.845	0.831	0.858	0.736	1																										
AC24	0.919	0.926	0.750	0.608	0.872	0.939	0.885	0.615	0.764	1																									
AC26	0.872	0.878	0.784	0.588	0.878	0.905	0.919	0.649	0.885	0.845	1																								
AC27	0.770	0.777	0.709	0.581	0.723	0.777	0.764	0.628	0.770	0.770	0.804	1																							
AC28	0.838	0.845	0.736	0.595	0.784	0.845	0.818	0.642	0.797	0.811	0.831	0.892	1																						
AC29	0.959	0.966	0.804	0.581	0.912	0.993	0.939	0.655	0.838	0.932	0.912	0.764	0.851	1																					
AC32	0.500	0.507	0.588	0.622	0.483	0.493	0.480	0.601	0.527	0.527	0.466	0.473	0.486	1																					
AC35	0.966	0.973	0.797	0.574	0.919	1	0.946	0.662	0.831	0.939	0.905	0.777	0.845	0.993	0.493	1																			
AC36	0.892	0.899	0.777	0.608	0.831	0.899	0.872	0.682	0.824	0.865	0.858	0.851	0.919	0.892	0.541	0.899	1																		
AC38	0.946	0.953	0.791	0.581	0.926	0.966	0.953	0.669	0.865	0.919	0.926	0.770	0.838	0.959	0.514	0.966	0.892	1																	
AC40	0.601	0.608	0.649	0.588	0.608	0.622	0.595	0.689	0.628	0.574	0.595	0.493	0.547	0.615	0.666	0.622	0.574	0.642	1																
AC41	0.966	0.973	0.797	0.574	0.919	1	0.946	0.662	0.831	0.939	0.905	0.777	0.845	0.993	0.493	1.000	0.899	0.966	0.622	1															
AC43	0.480	0.473	0.514	0.574	0.459	0.473	0.446	0.554	0.493	0.507	0.459	0.439	0.480	0.466	0.518	0.473	0.480	0.493	0.743	0.473	1														
AC44	0.868	0.865	0.716	0.534	0.784	0.865	0.838	0.635	0.777	0.818	0.797	0.818	0.899	0.868	0.493	0.865	0.926	0.858	0.554	0.865	0.459	1													
AC48	0.959	0.966	0.791	0.568	0.912	0.993	0.939	0.669	0.824	0.932	0.899	0.764	0.851	0.866	0.500	0.993	0.905	0.959	0.615	0.993	0.48	0.872	1												
AC49	0.791	0.797	0.811	0.628	0.784	0.784	0.757	0.730	0.764	0.764	0.743	0.669	0.723	0.791	0.601	0.784	0.750	0.764	0.716	0.784	0.595	0.703	0.777	1											
AC52	0.764	0.770	0.676	0.601	0.716	0.770	0.757	0.635	0.723	0.764	0.730	0.845	0.818	0.764	0.507	0.770	0.868	0.764	0.5	0.777	0.446	0.865	0.764	0.649	1										
AC55	0.966	0.973	0.797	0.574	0.919	1	0.946	0.662	0.831	0.939	0.905	0.777	0.845	0.993	0.493	1.000	0.899	0.966	0.622	1	0.473	0.865	0.893	0.784	0.77	1									
AC57	0.804	0.811	0.662	0.574	0.730	0.811	0.784	0.608	0.723	0.804	0.743	0.818	0.845	0.804	0.493	0.811	0.868	0.804	0.527	0.811	0.473	0.892	0.804	0.662	0.959	0.811	1								
AC58	0.507	0.514	0.581	0.480	0.541	0.527	0.514	0.649	0.534	0.480	0.514	0.426	0.439	0.520	0.696	0.527	0.507	0.547	0.757	0.527	0.703	0.459	0.534	0.649	0.446	0.527	0.419	1							
AC59	0.838	0.845	0.736	0.622	0.791	0.845	0.831	0.682	0.797	0.811	0.804	0.797	0.824	0.838	0.541	0.845	0.905	0.838	0.574	0.845	0.48	0.872	0.838	0.723	0.926	0.845	0.899	0.52	1						
AC60	0.608	0.615	0.642	0.662	0.601	0.615	0.601	0.588	0.662	0.649	0.615	0.541	0.554	0.608	0.676	0.615	0.608	0.635	0.642	0.615	0.628	0.561	0.608	0.628	0.574	0.615	0.561	0.696	0.622	1					
AC62	0.892	0.899	0.736	0.581	0.818	0.899	0.858	0.689	0.797	0.865	0.818	0.770	0.824	0.892	0.527	0.899	0.878	0.878	0.615	0.889	0.493	0.885	0.892	0.764	0.858	0.899	0.885	0.507	0.932	0.595	1				



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

El contenido de información polimórfica (0,495) puede ser considerado de mediano a alto, ésta es una capacidad intermedia de los loci para distinguir genotipos, importante porque sugiere que el marcador es informativo y útil en estudios de diversidad genética como el que nos ocupa. El valor PIC provee un estimado del poder discriminante de un marcador basado en el número de alelos en un locus y la frecuencia relativa de estos alelos (Oladosu et al., 2015).

Este valor promedio del PIC, es comparable a la estimada por otros investigadores: 0,404 (Hassan & Hama, 2022), 0,24 (Thete et al., 2023); 0,5839; (Li et al., 2014); 0,67-0,88, (Thomson et al., 2007); 0,756, (Nachimuthu et al., 2015); 0,755, (Singh et al., 2024); 0,404, (Hassan & Hama-Ali, 2022); 0,41, (Islam et al., 2021); 0,29, (Singh et al., 2016); 0,795, (Kumbhar et al., 2015).

El índice de diversidad de NEI, fluctuó entre 0,0624 a 0,4995, representa un amplio rango con el valor inferior indicando una muy baja diversidad, mientras el valor mayor puede ser considerado como medio, muy similar al reportado por Nachimuthu et al. (2015) de 0,520, este valor normalmente en la mayoría de los ecosistemas varía entre 0,0 y 1,0.

El número de alelos efectivos (N_e), tiene la particularidad de que su interpretación es variable depende de la magnitud del estudio, en una población pequeña o aislada, un valor de 1,384 como en nuestro estudio, podría ser considerado alto; por el contrario, en una población grande y diversa podría ser considerado bajo. Cuanto mayor sea el número de alelos efectivos, mayor será la capacidad de la población para adaptarse a cambios ambientales, esta consideración valoriza y justifica realizar estos estudios en nuestras poblaciones criollas.

Aunque se obtuvo un valor de $F_{st} = 1,0$, este resultado debe interpretarse con cautela. Este valor sugiere completa diferenciación entre poblaciones, pero puede estar sesgado por el bajo número de accesiones o por la falta de estructura poblacional real. La información disponible sobre la diversidad genética y las diferencias en los cultivares criollos es escasa.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Los marcadores mostraron que 20 cultivares (64,5%), correspondiente a los grupos 1 y 2, presentan similaridad de 0,900. El alto grado de similitud genética entre las variedades sugiere que sean descendientes de pocos cultivares antiguos introducidos, y que la escasa variación genética, se mantiene como resultado de la hibridación natural, la selección y las preferencias impuestas por los pequeños productores durante muchísimos años.

El coeficiente de similaridad promedio (0,760), es congruente con los reportados por Moonsap et al. (2019) de 0,7043, Islam et al. (2021) estimaron 0,33 a 0,97 y Manjunatha et al. (2021) obtuvieron 0,19 y 0,90, mientras Haritha et al. (2016), trabajaron con arroz africano *Oryza rufipogon* Griff, lograron 0,53 a 1,00.

Los resultados destacan la necesidad urgente de ampliar la recolección en otras regiones del país, especialmente en zonas donde los sistemas de producción sean más aislados. Los cultivares de arroz criollos incluidos en el presente estudio incorporan una pequeña muestra de la genética del germoplasma utilizado y conservado por nuestros productores de la agricultura familiar panameña, en un área geográfica reducida, pero que representa el principal alimento de su dieta diaria.

Además, representan una importante reserva de genes que valen la pena conservar para fortalecer los programas de mejoramiento genético dada su plasticidad y adaptabilidad. Estas características hacen muy valiosa la genética que poseen para afrontar los retos actuales, exacerbados por la variabilidad y el cambio climático que están golpeando las actividades agrícolas, con estrés bióticos y abióticos extremos que afectan nuestros ecosistemas productivos cada vez con más crudeza. Los resultados también advierten sobre la vulnerabilidad derivada de la reducida diversidad, un aspecto crítico frente a los desafíos impuestos por el cambio climático.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

CONCLUSIONES

- El uso de los marcadores ISSR demostraron ser una herramienta efectiva para realizar estudios de diversidad genética en el arroz criollo del norte de Penonomé.
- Las 31 accesiones estudiadas muestran una baja diversidad genética, posiblemente por lo reducida del área de colecta y el número de muestras estudiadas.

AGRADECIMIENTOS

A la SENACYT por el financiamiento de este trabajo a través del proyecto FID 17-064, a la FUNDACIÓN TOABRÉ, por la oportunidad de conocer a los pequeños productores del Valle de San Miguel, conocer sus colecciones de arroz criollo que conservan con mucho criterio para su preservación y al IDIAP, por el cofinanciamiento a través del Proyecto 501.B.1.16 y permitirnos realizar el trabajo en el laboratorio de Biología Molecular en DIVISA.

REFERENCIAS

- Aesomnuk, W., Ruengphayak, S., Ruanjaichon, V., Sreewongchai, T., Malumpong, C., Vanavichit, A., Toojinda, T., Wanchana, S., & Arikrit, S. (2021). Estimation of the genetic diversity and population structure of Thailand's rice landraces using SNP markers. *Agronomy*, 11(5), Article 995. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050995>
- Dharmaraj, K., Ezhilkumar, S., Dinesh, R., & Ananadan, R. (2018). Studies on varietal identification of rice genotypes using ISSR markers. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*; 7 (1-Suppl), 2808-2812. <https://www.phytojournal.com/archives/2018/vol7issue1S/PartAP/SP-7-1-786-333.pdf>
- Haritha, G., Sudhakar, T., Chandra, D., Ram, T., Divya, B., & Sarla, N. (2016). Informative ISSR markers help identify genetically distinct accessions of *Oryza rufipogon* in yield improvement. *Rice Science*, 23(5), 225-241. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2016.08.001>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Hassan, D. A., & Hama-Ali, E. O. (2022). Evaluation of gene flow and genetic diversity in rice accessions across Kurdistan region-Iraq using SSR markers. *Molecular Biology Reports*, 49, 1007-1016. <https://doi.org/10.1007/s11033-021-06920-x>
- Hoshino, A. A., Bravo, J. P., Nobile, P. M., & Morelli, K. A. (2012). Microsatellites as tools for genetic diversity analysis. In M. Çalışkan (Ed.), Genetic diversity in microorganisms (pp. 149-170). InTechOpen. <https://www.intechopen.com/chapters/28891>
- Hossain, M. Z., Rasul, M. G., Ali, M. S., Iftakharuddaula, K. M., & Mian, M. A. K. (2007). Molecular characterization and genetic diversity in fine grain and aromatic landraces of rice (*Oryza sativa* L.) using microsatellite markers. *Bangladesh Journal of Plant Breeding and Genetics*, 20(2), 01-10. <https://doi.org/10.3329/bjpbq.v20i2.17028>
- Islam, S. N., Islam, M. M., Asad Ullah, M., & Alam, M. S. (2015). Molecular characterization of selected landraces of rice for salt tolerance using SSR markers. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 17(1), 206-218. <http://www.ijisr.issr-journals.org/abstract.php?article=IJISR-15-096-08>
- Islam, M. Z., Khalequzzaman, M., Chakrabarty, T., Akter, N., Khan, M. F. R., Bhuiya, A., & Siddique, M. A. (2021). Genetic diversity and population structure of similar named aromatic rice (*Oryza sativa* L.) landraces of bangladesh. *SAARC Journal of Agriculture.*, 19(2), 57-71. <https://doi.org/10.3329/sja.v19i2.57826>
- Jonah, P. M., Bello, L. L., Lucky, O., Midau, A., & Moruppa, S. M. (2011). Review: The Importance of Molecular Markers in Plant Breeding Programmes. *Global Journal of Science Frontier Research*, 11(5), 4-12. <https://www.researchgate.net/publication/367077493>
- Kobayashi, A., Ebana, K., Fukuoka, S., & Nagamine, T. (2006). Microsatellite markers revealed the genetic diversity of an old japanese rice landrace 'echizen'. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 53(3), 499-506. <https://doi.org/10.1007/s10722-004-2029-z>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Kumbhar, Kulwal S. D., Patil P. L., Sarawate J. V., C. D., Gaikwad, A. P., & Jadhav, A. S. (2015). Genetic diversity and population structure in landraces and improved rice varieties from India. *Rice Science*, 22(3), 99-107.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rsci.2015.05.013>

Kshirsagar, S. S., Samal, K. C., Rabha, M., Bastia, D.N., & Rout G.R. (2014) Identification of variety diagnostic molecular marker of high yielding rice varieties. *Proceeding of the National Academy of Sciences, India. Section B.I.* 84(2),389-396.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s40011-013-0216-4>

Li, F. P., Lee, Y. S., Kwon, S. W., Li, G., & Park, Y. J. (2014). Analysis of genetic diversity and trait correlations among Korean landrace rice (*Oryza sativa* L.). *Genetics and Molecular Research*, 13(3), 6316-6331.

<https://www.geneticsmr.org/articles/analysis-of-genetic-diversity-and-trait-correlations-among-korean-landrace-rice-oryza-sativa-l.pdf>

Manjunatha, G. A., Elsy, C. R., Joseph J. & Francies, R. M. (2021). Molecular characterization and genetic diversity analysis of aromatic rice (*Oryza sativa* L.) landraces using SSR markers. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 12(2), 576-582.

<https://pdfs.semanticscholar.org/559c/73a1f8a15c15b7311d4530458df4c0be7112.pdf>

Moonsap, P., Nutthalak, L. A., Sittipun, S., Piyama, T., Sureeporn, K. N., & Chatchawan, J. (2019). Genetic diversity of Indo-China rice varieties using ISSR, SRAP and InDel markers. *Journal of Genetics*, 98(3). <https://doi.org/10.1007/s12041-019-1123-0>

Nachimuthu, V. V., Muthurajan, R., Duraijalaguraja, S., Sivakami, R., Pandian, B., Ponniah, G., Gunasekaran, K., Swaminathan, M., Suji, K.K. & Sabariappan, R. (2015). Analysis of population structure and genetic diversity in rice germplasm using SSR markers: an initiative towards association mapping of agronomic traits in *Oryza sativa*. *Rice*, 8(1), 30. <https://doi.org/10.1186/s12284-015-0062-5>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Ndjiondjop, M. N., Cisse, F., Girma, G., Sow, M., Bocco, R., Djedatin, G., & Blandine, F. (2010). Morpho-agronomic and molecular characterisation of *Oryza glaberrima* germplasm from Mali. *African Journal of Biotechnology*, 9(44), 7409-7417. <http://www.academicjournals.org/AJB>

Oladosu, Y., Rafii, M., Abdullah, N., Malek, M. A., Rahim H. A., Hussin, G., Ismail M. R., Latif, M. A. & Kareem, I. (2015). Genetic variability and diversity of mutant rice revealed by quantitative traits and molecular markers. *Agrociencia*, 49(3), 249-266. <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1144/1144>

Rawte, S., & Saxena, R. (2018). Molecular diversity in rice (*Oryza sativa* L.) accessions of Chhattisgarh based on grain length using ISSR markers. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(2S), 133-137. <https://www.phytojournal.com/archives/2018/vol7issue2S/PartD/SP-7-2-39-836.pdf>

Rini, D. S., Budiyaniti, Y., Valentine, M., & Permana, R. (2023). ISSR and SRAP for assessing genetic variability of Indonesian local rice genotypes (*Oryza sativa* L.). *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 23 (4). <https://doi.org/10.1590/1984-70332023v23n4a46>

Saha S. R., Ferdousi A., Hassan L., Haque M.A., Begum S. N., Yasmin F. & Akram W. (2022). Rice landraces from haor areas of Bangladesh possess greater genetic diversity as revealed by morpho-molecular approaches along with grain quality traits. *Cogent Food & Agriculture*, 8 (1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2022.2075130>

Sangeetha, J., Habeeb, J., Thangadurai, D., Alabhai, J. M., Hospet, R., Maxim, S. S., Pandhari, R., & Kushwaha, U. K. S. (2020). Potentiality of wild rice in quality improvement of cultivated rice varieties. In A. Roychoudhury (eds.), *Rice research for quality improvement: Genomics and genetic engineering*, 1, 61-85. Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4120-9_4



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Singh, S. K., Singh, C., Korada, M., Habde, S., Singh, D. K., Khaire, A., & Kumar, M. P. (2020). Morpho-molecular diversity analysis of local rice (*Oryza sativa* L.) genotypes using microsatellite markers. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 39(22), 92-104.

https://www.researchgate.net/publication/343690243_Morpho-Molecular_Diversity_Analysis_of_Local_Rice_Oryza_sativa_L_Genotypes_Using_Microsatellite_Markers

Singh, P., Biradar, H., & Hittalmani, S. (2018). Molecular characterization of rice (*Oryza sativa* L.) landraces from southern karnataka by using simple sequence repeat (SSR) DNA markers. *Mysore Journal of Agricultural Sciences*. 52(1), 57-66.

<https://uasbangalore.edu.in/images/2018-1st-Issue/10.pdf>

Singh, N., Choudhury, D. R., Tiwari, G., Singh, A. K., Kumar, S., Srinivasan, K. (2016). Tyagi R. K., Sharma A. D., Singh N. K. & Singh R. Genetic diversity trend in Indian rice varieties: an analysis using SSR markers. *BMC Genetics* 17, (127).

<https://doi.org/10.1186/s12863-016-0437-7>

Singh, A. K., Kumar, D., Gemmati, D., Ellur, R. K., Singh, A., Tisato, V., Dwivedi, D. K., Singh, S. K., Kumar, K., & Khan, N. A. (2024). Investigating genetic diversity and population structure in rice breeding from association mapping of 116 accessions using 64 polymorphic SSR markers. *Crops*, 4(2), 180-194.

<https://doi.org/10.3390/crops4020014>

Suira-Atencio, C. (2020). *Evaluación morfoagronómica y selección participativa de accesiones de arroz criollos en el Valle de San miguel, corregimiento de Toabré, distrito de Penonomé, Coclé, Panamá* [Tesis de Licenciatura, Universidad de Panamá]. Repositorio Institucional Digital de la Universidad de Panamá.

https://up-rid.up.ac.pa/6601/1/carlos_suira.pdf



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Swarup, S., Cargill, E. J., Crosby, K., Flagel, L., Kniskern, J., & Glenn, K. C. (2021). Genetic diversity is indispensable for plant breeding to improve crops. *Crop Science*, 61(2), 839-852. <https://doi.org/10.1002/csc2.20377>
- Thete, A. M., Dahat, D. V., Jambhale, V. M., & Chaudhari, S. R. (2023). Molecular characterization of rice genotypes using molecular markers. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(20), 284-301. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=gFpjyqAAAAJ&citation_for_view=gFpjyqAAAAJ:Se3iqnhoufwC
- Thomson, M. J., Septininsihin, E. M., Suwardjio, F., Santoso, T. J., Silintonga, T. S., & McCouch, S. R. (2007). Genetic diversity analysis of traditional and improved Indonesian rice (*Oryza sativa* L.) germplasm using microsatellite markers, *Theoretical and Applied Genetics*, 114(3), 559-568. <https://doi.org/10.1007/s00122-006-0457-1>
- Zhang, P., Li, J., Li, X., Liu, X., Zhao, X., & Lu, Y. (2011). Population structure and genetic diversity in a rice core collection (*Oryza sativa* L.) investigated with SSR markers. *PLoS ONE*, 6(12), Article e27565. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0027565>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

I. EFECTO DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN LAS FECHAS DE SIEMBRA DEL MAÍZ¹

**Román Gordón-Mendoza²; Jorge I. Núñez-Cano³; Ana E. Sáez-Cigarruista⁴;
Jorge E. Franco-Barrera⁵; Francisco P. Ramos-Manzané⁶**

RESUMEN

Se realizó un estudio con el objetivo de determinar el efecto de las fechas de siembra del cultivo de maíz en la Región de Azuero. Se sembró un ensayo en la Estación Experimental El Ejido, provincia de Los Santos, Panamá. Se estableció entre los años 2015 al 2024. La unidad experimental fue de seis surcos de 5,2 m de largo y la parcela efectiva consistió en los dos surcos centrales. El diseño fue el de Bloques completos al azar con tres repeticiones. Se evaluaron tres factores en un arreglo Factorial en Fajas dobles 3 x 3 x 2. La parcela principal fue la fecha de siembra (agosto, septiembre y octubre), las sub-parcelas el sistema de secano y riego suplementario por goteo y las sub-sub-parcelas dos híbridos de uso por los productores de la Región. El análisis estadístico presentó diferencias altamente significativas para el rendimiento de grano y otras características agronómicas para los efectos principales, así como para la interacción Fecha x Sistema y la interacción doble del año con los tres factores. El rendimiento promedio varió a través de los años siendo 2015 el más bajo (5,43 t.ha⁻¹) y 2017 el de mayor rendimiento (6,80 t.ha⁻¹). La producción de granos difirió significativamente a través de las fechas de siembra; la misma se redujo a medida que se sembró más tarde. La diferencia entre secano y riego fue de más de 0,70 t.ha⁻¹ favoreciendo a las parcelas con riego suplementario. Esta diferencia varió en función a la precipitación pluvial registrada en cada año. Se concluye que la variación de la precipitación a través de los años puede aumentar o reducir el impacto que tienen las fechas de siembra en el rendimiento de grano. El estrés hídrico en la fase de floración y llenado del grano tuvo un mayor impacto en el rendimiento de grano.

Palabras clave: Estrés hídrico, humedad de suelo, riego suplementario, secano.

¹Recepción: 27 de agosto de 2025. Aceptación: 29 de septiembre de 2025.

²Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Centro de Innovación Agropecuaria de Azuero "Ing. Germán De León" (CIA-Azuero), Los Santos, Panamá. e-mail: gordon.roman@gmail.com;

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8433-2357>

³IDIAP, CIA-Azuero, Panamá. PhD. Nutrición Mineral e-mail: jorgenunezcano@gmail.com;

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0005-3417-4791>

⁴IDIAP, CIA-Azuero. PhD. Ecofisiología Vegetal. e-mail: ansacig@gmail.com;

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4901-7263>

⁵IDIAP, CIA-Azuero. M.Sc. Ambiente. e-mail: joenfra13@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0000-0247-411X>

⁶IDIAP, CIA-Azuero. Ingeniero Agrónomo. e-mail: franciscoramos2016@gmail.com;

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0003-3203-3069>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

I. EFFECT OF RAINFALL ON MAIZE PLANTING DATES

ABSTRACT

A study was conducted to determine the effect of planting dates on maize production in the Azuero Region of Panama. The experiment was established at the El Ejido Experimental Station in Los Santos Province and conducted from 2015 to 2024. Each experimental unit consisted of six rows, each measuring 5.2 m, with the two central rows serving as the effective plot. A randomized complete block design with three replications was used. Three factors were evaluated in a $3 \times 3 \times 2$ split-split plot factorial arrangement. The main plot was planting date (August, September, and October); the subplot consisted of two water-management systems (rainfed and supplemental drip irrigation); and the sub-subplot included two commercial hybrids commonly used by producers in the region. Statistical analysis revealed highly significant differences in grain yield and other agronomic traits for the main effects, the Date \times System interaction, and the three-way interactions involving year. Average grain yield varied across years, with 2015 showing the lowest production (5.43 t ha^{-1}) and 2017 the highest (6.80 t ha^{-1}). Grain yield decreased progressively with later planting dates. The difference between rainfed and irrigated conditions exceeded 0.70 t ha^{-1} , favoring supplemental irrigation. This difference varied according to annual rainfall patterns, being greater in drier years and smaller when rainfall exceeded 500 mm between August and December. Differences between hybrids were observed only for grain yield and ear weight, with the hybrid considered more tolerant showing higher values for both traits (109 g and 6.58 t ha^{-1} , respectively). Overall, results indicate that interannual precipitation variability can amplify or attenuate the impact of planting dates on grain yield. Water stress during flowering and grain filling had the most substantial adverse effect on yield.

Keywords: water stress, soil moisture, supplemental irrigation, rainfed conditions.

INTRODUCCIÓN

El agua es el factor más limitante en el rendimiento de grano como del forraje de maíz en muchas regiones del mundo según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 1993). El efecto del agua sobre la producción de maíz en las zonas tropicales es determinante; ya que su carencia durante la etapa de crecimiento puede marchitar las plantas jóvenes y reducir la densidad de población. El principal efecto de la sequía en el período vegetativo es reducir el crecimiento de las hojas, de modo que



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

el cultivo capta menos radiación solar. El agua es tomada del suelo y distribuida a través de la planta; parte es usada por la planta y el resto vuelve a la atmósfera en forma de vapor (evapotranspiración). Sin embargo, la tasa de pérdida del agua depende de varios factores entre los que están: temperatura y humedad ambiental, radiación solar, viento y área foliar del cultivo (Rhoads & Yonts, 2000; Kranz et al., 2008).

De acuerdo con diversos estudios, el umbral mínimo de precipitación mediante el cual puede esperarse cosecha de grano en el cultivo de maíz es de 150 mm de agua. Solo una fracción de la materia seca producida forma el grano, lo que significa que un cultivo con buena disponibilidad de agua usa alrededor de 800 a 1 000 gramos de agua por cada gramo de grano producido (Lafitte, 2001). Lafitte (2001) y Steduto et al. (2012), señalan que el cultivo de maíz requiere para un normal crecimiento de 500 a 800 mm de lluvia bien distribuida. Otros estudios señalan que, a lo largo del desarrollo de la planta de maíz, el consumo de agua varía; al inicio la demanda por el agua es baja, pero a medida que pasa el tiempo la misma se incrementa, para reducir su consumo nuevamente al final del cultivo (Kranz et al., 2008).

El conocimiento de las características fenológicas del cultivo establece el marco temporal que forma el rendimiento y sus componentes. En las etapas de germinación, iniciación floral, floración y madurez fisiológica se delinean respectivamente la fase vegetativa, reproductiva y de llenado de grano (Bolaños & Edmeades, 1993). En la fase reproductiva se determina la formación de la mazorca y, por tanto, el número de mazorcas por planta y el número de granos por mazorca. La etapa más crítica en el cultivo de maíz va de la floración masculina a la segunda etapa de la fase reproductiva conocida como R2 (Fase lechosa). En esta fase se puede perder por estrés hídrico hasta un 50% del potencial del rendimiento. En la fase de llenado del grano, la cual comprende de la etapa R2 a la etapa R5, se constituye en la otra fase en donde la planta de maíz se ve afectada grandemente por cualquier estrés hídrico que sufra (McWilliams et al., 1999; Shaw & Newman, 1985). En estas etapas una sequía continua por un período prolongado de días puede resultar en un 100% de reducción del rendimiento.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

El impacto del calentamiento global podría causar significativas disminuciones en el rendimiento de maíz y otros cultivos en los próximos años (Ruane et al., 2013). La distribución de lluvias en la región de Azuero, según el análisis realizado por Gordón-Mendoza (2020) indica que las mismas se inician al final del mes de abril, luego la misma va incrementado en los meses subsiguientes, con una ligera disminución en septiembre y un decrecimiento a partir de octubre. El mes de diciembre presenta una baja precipitación (61 mm), la cual se registra generalmente en los primeros 15 días del mes. Los resultados de este estudio indican que en los meses en que se lleva a cabo la actividad de producción del cultivo de maíz (agosto a diciembre), la precipitación pluvial difiere entre las localidades del norte de la región con acumulados bajos (menores de 750 mm) que los reportados en las localidades del sur. El objetivo de esta investigación fue el de determinar el efecto de las fechas de siembra del cultivo de maíz en la Región de Azuero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en la Finca Experimental de El Ejido, Los Santos. Localizada entre los 7°54' de latitud Norte y 80°22' longitud Oeste, a unos 25 msnm. El ensayo fue sembrado a partir del año 2015 por 10 años hasta el año 2024. La unidad experimental fue de seis surcos de 5,2 m de largo, con una distancia entre surcos de 0,75 m y 0,20 m entre plantas. El manejo agronómico en cuanto a control de maleza y fertilización se realizó según la tecnología generada por el Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) (Gordón-Mendoza, 2021).

El diseño utilizado fue el de Bloques completos al azar con tres repeticiones. Se evaluaron tres factores en un arreglo Factorial en Fajas dobles 3 x 3 x 2. La parcela principal fue la fecha de siembra (diferentes etapas de estrés). Las fechas de siembras evaluadas se establecieron a partir del mes de agosto de cada año. La primera se realizó en la segunda quincena de agosto (estrés en fase establecimiento), la segunda entre el 15 al 20 de septiembre (estrés en fase vegetativa) y la tercera realizada en los primeros 10 día de octubre (estrés en fase llenado de grano). La subparcela fue el sistema de siembra (Riego suplementario y Sin Riego), para estimar el efecto en el rendimiento causado por el estrés hídrico en cada fecha de siembra. Se utilizó un sistema de riego por goteo (parcela sin estrés hídrico) y secano (parcela con estrés natural). La Sub-Sub-Parcela fue el tercer



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

factor, conformado por dos híbridos. Un híbrido fue seleccionado como tolerante a estrés hídrico El otro híbrido fue un genotipo susceptible al estrés hídrico. Ambos cultivares fueron seleccionados de los ensayos de la Prueba Regional realizados anteriormente en la Región, ambos híbridos son de la casa Pioneer.

Se utilizó el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ijkl} = \mu + \text{Año} + \text{rep} + \text{Año} * \text{rep} + \text{Fec} + \text{Fec} * \text{rep} + \text{Año} * \text{Fec} + \text{Año} * \text{Fec} * \text{rep} + \text{Sis} + \text{Sis} * \text{rep} + \text{Año} * \text{Sis} + \text{Año} * \text{Sis} * \text{rep} + \text{Fec} * \text{Sis} + \text{Fec} * \text{Sis} * \text{rep} + \text{Año} * \text{Fec} * \text{Sis} + \text{Año} * \text{Fec} * \text{Sis} * \text{rep} + \text{Hib} + \text{Hib} * \text{rep} + \text{Año} * \text{Hib} + \text{Año} * \text{Hib} * \text{rep} + \text{Fec} * \text{Hib} + \text{Fec} * \text{Hib} * \text{rep} + \text{Año} * \text{Fec} * \text{Hib} + \text{Año} * \text{Fec} * \text{Hib} * \text{rep} + \text{Sis} * \text{Hib} + \text{Sis} * \text{Hib} * \text{rep} + \text{Año} * \text{Sis} * \text{Hib} + \text{Año} * \text{Sis} * \text{Hib} * \text{rep} + \text{Fec} * \text{Sis} * \text{Hib} + \text{Fec} * \text{Sis} * \text{Hib} * \text{rep} + \text{Año} * \text{Fec} * \text{Sis} * \text{Hib} + \text{Año} * \text{Fec} * \text{Sis} * \text{Hib} * \text{rep}$$

en donde:

Y_{ijkl} : =Valor del carácter estudiado; μ = Media general; rep= Repetición; Fec = Fecha de siembra; Sis= Sistema de siembra; Hib= Híbrido

La humedad del suelo fue calculada en intervalos de 7 días, para esto se tomó una muestra de suelo a una profundidad de 30 cm en cada unidad experimental. Para la determinación del porcentaje de humedad se utilizó el método gravimétrico, por medio de la toma de muestra y secada en un horno por 24 horas. El cálculo de la humedad se realizó restando el peso seco al peso húmedo. Se obtuvieron datos climatológicos como la precipitación pluvial, temperatura, humedad relativa, radiación solar y otros de una estación meteorológica portátil Davis® ubicada en la Estación Experimental El Ejido. Se estimó la densidad aparente del suelo a través de muestreo con volumen conocido, densidad real por medio de picnómetro y la velocidad de infiltración por medio de doble anillos concéntricos (Kostiakov, 1932).

Se midieron las variables más comunes en el cultivo como lo son: altura de la planta y mazorca, rendimiento de grano, biomasa total, número de plantas y mazorcas cosechadas. Se realizaron muestreos para la determinación de biomasa, además del conteo de número de hojas.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características del suelo

El suelo es franco con bajo porcentaje de materia orgánica y pH ácido (Cuadro 1). Presenta bajo contenido de fósforo, aluminio, hierro y zinc; alto contenido de calcio, magnesio y manganeso. Se considera medio en potasio y cobre. En general es un suelo de mediana fertilidad. El cultivo de maíz se desarrolla bajo diferentes condiciones de suelo. Según Yzarra et al. (2010) la mayor dificultad para el desarrollo del cultivo se encuentra en los suelos excesivamente pesados (arcillosos) y los muy sueltos (arenosos). Los primeros por su facilidad a inundarse y los segundos por la tendencia a secarse excesivamente. El maíz se puede cultivar con buenos resultados en suelos que presenten pH de 5,5 a 8, aunque el óptimo corresponde a una ligera acidez (pH entre 6 y 7).

Cuadro 1. Características físico-químicas del suelo en donde se realizó la investigación.

Color	Ar-L-Arc (%)	M.O (%)	pH	P	K	Ca	Mg	Al	Mn	Fe	Zn	Cu
				Cmol/kg					mg/l			
Rojo amarillento	46-38-16	1,24	5,70	14	102	15,2	11	0,10	96	10,90	2,9	2,21
Profundidad	Textura	D. Apa g/cm ³	Tam. mm	Pegajosidad (mojado)	Consistencia	Moteos %	Penetrómetro kg/cm ²					
0-16	Fra-Arc	1,38	5	Muy plástico	Friable	5	630					
16-46	Fra-Arc-Are	1,51	10-20	Muy plástico	Muy friable	7	640					
46-78	Fra-Arc-Are	1,38	< 5	Muy plástico	Friable	15	512					
78-130	Fra-Arc	1,32	5-10	Muy plástico	Friable	15	480					
130-160	Fra-Arc	1,38	10-20	Muy plástico	Friable	40	380					

Se describen los resultados obtenidos en las diferentes profundidades muestreadas, en el Cuadro 1. Se encontró una estructura de bloques angulares y subangulares en las cinco profundidades descritas en la calicata. Presenta una consistencia muy plástica en suelo mojado con la presencia de muchas raíces finas de 0 a 16 cm y poca o muy pocas raíces de tamaño muy fina de 16 a 130 cm, no se presentaron raíces por debajo de esta profundidad. Las medidas de compactación a través del uso del



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

penetrómetro indican que los primeros dos estratos (0 a 46 cm) son los más compactados (>630 kg/cm²) y a la medida que se profundiza los valores van disminuyendo.

La velocidad de infiltración (I) también llamada infiltración básica de este suelo fue de 29,40 mm/hr y tiende a hacerse constante en el tiempo (Figura 1). Lo indica que el pasaje el agua en el suelo entra en régimen. Este dato es muy importante para establecer los periodos de riego según el sistema de riego utilizado y el tipo de suelo.

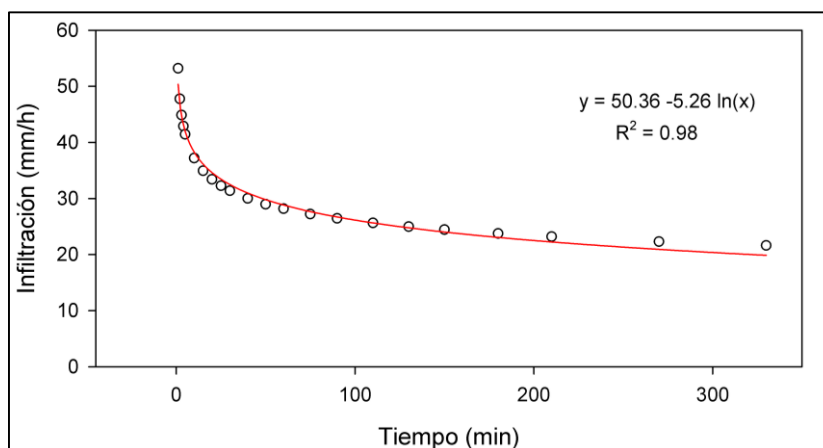


Figura 1. Curva de infiltración básica del suelo de la Estación Experimental El Ejido.

Análisis de la precipitación pluvial

Precipitación pluvial

La respuesta del rendimiento del maíz a la fecha de siembra puede variar en diferentes años (Irwin et al., 2015; Akinnuoye-Adelabu & Modi, 2017). Los patrones de lluvia y otras condiciones climáticas asociadas con las diferentes fechas de siembra modifican la duración del ciclo vegetativo y el desarrollo del cultivo (Beiragi et al., 2011). La precipitación pluvial acumulada en las distintas fases de desarrollo a través de los años fue muy variada. Los menores registros se realizaron en los años 2015 y 2018, mientras que los más altos se dieron en el año 2024 y 2022. Con relación a la precipitación acumulada por fechas de siembra se observa que en la mayoría de los años la lluvia acumulada en las siembras de agosto es mayor que las siembras de septiembre (490 vs 434 mm). Esta diferencia en algunos años es muy leve por menos de 75 mm; sin embargo, en los años 2017 y 2023 el registro acumulado en septiembre fue mayor que el de las siembras de agosto. Por el



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

contrario, los registros de las siembras en octubre a través de todos los años son mucho más baja (promedio de 355 mm) que las otras dos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Precipitación acumulada por fase del cultivo y promedio a través de los años. El Ejido, Panamá, 2015-2024.

Año	F. Siembra	Ago-Dic	0-30	31-50	51-80	81-100	Total
2015	Ago.	177	35	25	57	50	167
	Sep.		49	32	50	0	132
	Oct.		46	48	0	0	94
2016	Ago.	396	57	40	145	85	328
	Sep.		94	102	127	2	326
	Oct.		114	98	28	1	240
2017	Ago.	411	39	26	108	147	320
	Sep.		60	74	184	16	333
	Oct.		108	151	38	26	323
2018	Ago.	305	114	21	91	40	266
	Sep.		85	72	41	0	198
	Oct.		92	40	0	0	132
2019	Ago.	298	61	96	55	49	261
	Sep.		120	34	64	13	231
	Oct.		55	49	30	0	135
2020	Ago.	787	115	110	176	168	569
	Sep.		126	263	105	5	499
	Oct.		285	167	43	0	495
2021	Ago.	517	203	25	184	46	458
	Sep.		105	128	37	19	289
	Oct.		186	14	53	0	253
2022	Ago.	752	76	128	239	202	645
	Sep.		277	128	202	19	626
	Oct.		270	143	52	9	474
2023	Ago.	581	61	64	205	196	526
	Sep.		75	143	253	0	471
	Oct.		185	190	37	12	424
2024	Ago.	1486	171	272	588	229	1260
	Sep.		387	399	346	3	1135
	Oct.		546	329	20	85	980
Promedio	Ago.	571	93	81	195	121	490
	Sep.		138	138	151	8	434
	Oct.		189	123	30	13	355

Con respecto a las distintas etapas en promedio en los primeros 30 días del cultivo en las siembras de octubre el registro en promedio (189 mm) fue mayor que en agosto (93 mm) y septiembre (138 mm). Por otra parte, la lluvia acumulada ente los 31 y 50 dds (etapa prefloración) en promedio fue mayor en las siembras de septiembre y octubre (138 y 123 mm). Los valores más bajos en la fase de 51 a 90 dds y 81 a 100 se registraron en la siembra de 2015 (menos de 60 mm), mientras que los más altos se registraron en el año 2024. Los valores de estos registros para estas dos primeras fases son considerados



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

superiores a los mínimos requeridos por el cultivo para su desarrollo normal. La etapa de 51 a 80 dds o etapa de floración y llenado de granos es considerada por varios autores como la más crítica para el desarrollo del rendimiento de grano. En esta etapa en promedio la siembra de agosto recibe más lluvia que la siembra de septiembre (195 vs 151 mm). Esta relación se dio en la mayoría de los años con excepción del 2017 y 2023 en donde los registros de septiembre superaron a los acumulados en agosto. En la etapa de 81 a 100 dds los registros de agosto superan por 114 mm a los de septiembre y por 108 mm en promedio a los de octubre. Después de la floración (51 a 100 dds) las siembras de octubre registran menos de 45 mm en total lo que es insuficiente para el desarrollo normal del rendimiento. Se encontró una alta relación entre la precipitación acumulada entre la tercera y cuarta etapa (51 a 100 dds) y el rendimiento de grano en las parcelas sin riego suplementario. El coeficiente de correlación lineal de Pearson fue de 0,74 para el acumulado (Figura 2A). Por el contrario, los coeficientes de correlación para el acumulado en la tercera (51 a 80 dds) y cuarta fase (81 a 100 dds) con el rendimiento de grano en estas etapas fueron más bajos (0,59 y 0,35, respectivamente).

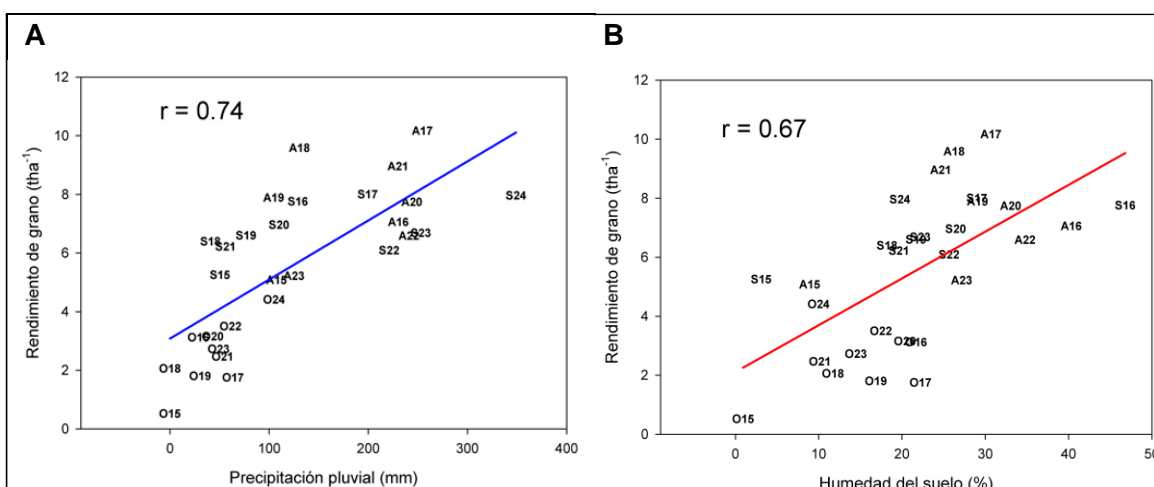


Figura 2. Relación entre la lluvia acumulada (A) y la humedad del suelo (B) con el rendimiento de grano entre los 51 a 100 dds.

Humedad del suelo

La humedad del suelo está relacionada con la precipitación pluvial y la etapa del cultivo al momento de realizar el muestreo. Al realizar las correlaciones se observó que



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

hubo relación entre estas dos variables. En la fase inicial o de 0 a 30 dds el valor del coeficiente correlación lineal fue de 0,13 y para la fase de prefloración (31 a 50 dds) el mismo fue de 0,27. Esta relación fue mucho más alta en las siguientes dos etapas y la mismas tuvieron una relación cuadrática. En la etapa de llenado y desarrollo del grano (51 a 80 dds) se obtuvo un coeficiente de regresión de 0.51 y el mismo aumentó en la etapa de 81 a 100 dds a 0,70. En el análisis de cómo se comportaron estos coeficientes, se observa que a medida que crece el cultivo y el mismo va cubriendo toda la superficie del suelo la relación entre lluvia y humedad del suelo aumenta, ya que la pérdida por evaporación disminuye. Esto favorece al cultivo en donde tiene más agua en la zona de raíces, lo cual se ve reflejado en el rendimiento de grano. Al realizar la correlación entre la humedad del suelo con el rendimiento de grano, se encontró que el valor del coeficiente más alto se dio con la humedad del suelo entre 81 a 100 dds ($r = 0,71$), luego le siguió la relación con la humedad promedio entre los 51 a 100 dds ($r = 0,67$) (Figura 2B).

Así como la variación de la lluvia fue alta a través de los años, esta se ve reflejada en la acumulación de agua en los primeros 15 cm de profundidad del suelo. Los registros más bajos de humedad se dieron en el año 2015 y los más altos en el 2016. En la Figura 3 se observa como las siembras realizadas en agosto se mantienen con el mismo valor durante las cuatro fases del cultivo en la mayoría de los años y la misma supera al registro acumulado en las otras dos fechas de siembra. Sólo en el año 2021 se observa una reducción en la etapa final del cultivo (81 a 100 dds). Por otro lado, la humedad acumulada en las siembras de septiembre siempre fue inferior a la de agosto excepto el año 2016. En la mayoría de los años el registro en las primeras tres fases es casi el mismo o la diferencia es mínima. En la cuarta fase o etapa es donde se observa mayor diferencia, siendo mucho más baja en las siembras de septiembre. Los registros de las siembras en octubre son muy similares en las primeras dos etapas, pero la misma disminuye drásticamente tanto en la fase de llenado de grano como en la fase final del cultivo. Estas dos últimas etapas son las más críticas y es donde la demanda por el agua es mayor para el cultivo. Esto se verá reflejado posteriormente en el llenado de grano.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

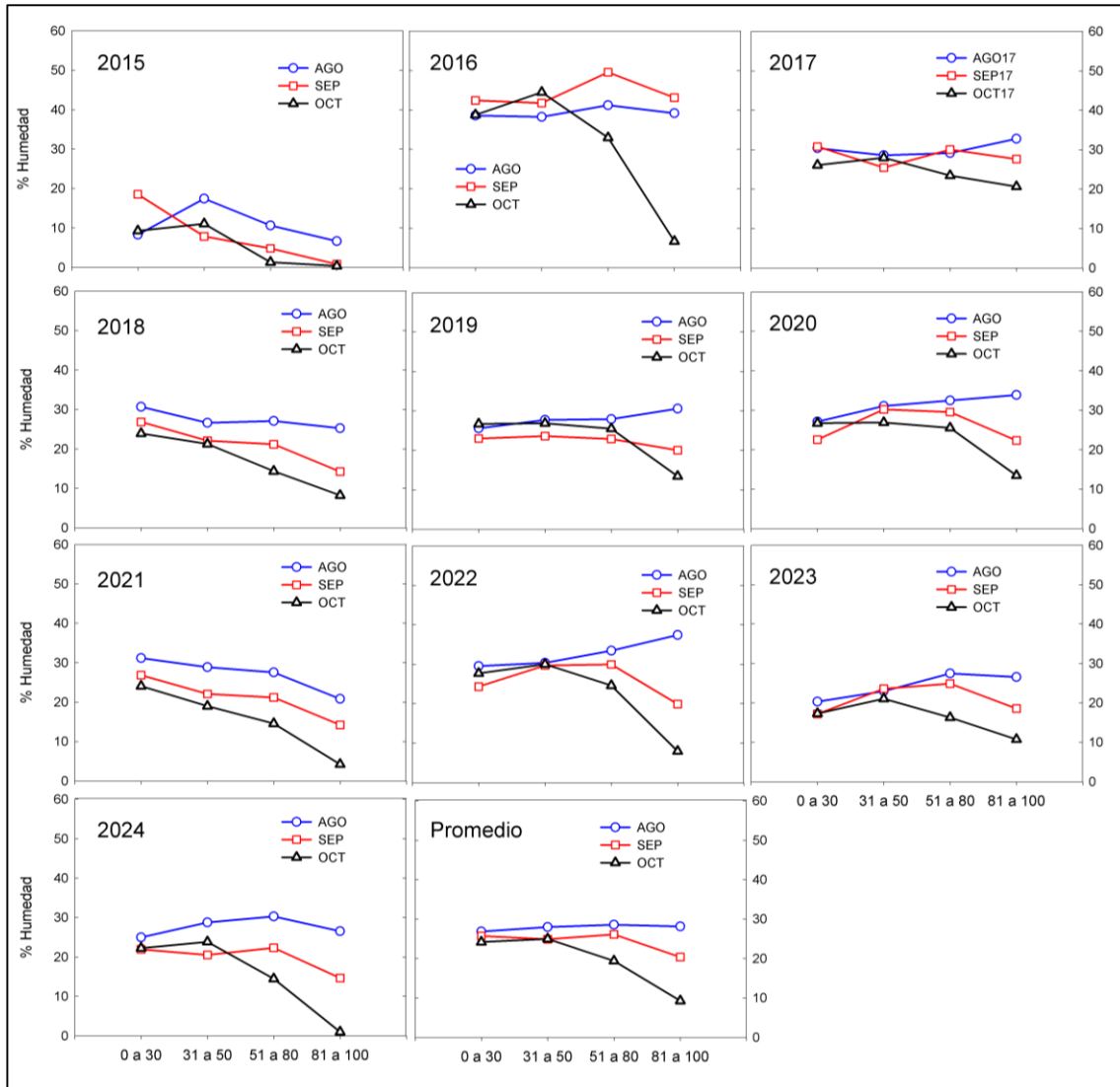


Figura 3. Humedad del suelo (%) por año y promedio a través de años, en las distintas fases del cultivo, El Ejido, 2015 - 2024.

Análisis estadístico

El análisis estadístico presentó diferencias altamente significativas para el rendimiento de grano y otras características agronómicas para los efectos principales (año, fecha de siembra, sistema e híbridos) así como para la interacción Fecha x Sistema, la interacción doble del año con los tres factores, dos interacciones triples y una cuádruple en donde todas involucraron el año (Cuadro 3). Las otras interacciones no presentaron diferencias significativas para ninguna de las variables medidas.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 3. Significancia estadística de las fuentes de variación del modelo utilizado y coeficiente de variación de las variables evaluadas, El Ejido, 2015-2024.

Fuente de Variación	Rend	Alpt	Ptm2	MxP	Pmz	Biom
Año	0,05	0,00	0,00	0,05	0,37	0,00
Fecha	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00	0,00
Sistema	0,01	0,02	0,00	0,34	0,02	0,02
Híbrido	0,00	0,26	0,32	0,28	0,00	0,27
FEC*SIS	0,04	0,57	0,00	0,02	0,16	0,32
Año*FEC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Año*SIS	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
Año*HIB	0,00	0,00	0,00	0,18	0,03	0,01
Año*FEC*SIS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Año*SIS*HIB	0,01	0,49	0,00	0,70	0,15	0,20
Año*FEC*SIS*HIB	0,02	0,07	0,00	0,36	0,04	0,14
Repetitividad	0,99	0,99	0,99	0,98	0,99	0,98
CV (%)	16,1	3,5	6,2	10,0	14,4	14,2

Rend = Rendimiento de grano, Alpt = altura de planta, Ptm2 = plantas/m² a cosecha, MxP = Mazorcas/planta
Pmz = Peso de mazorcas, Biom = Biomasa Seca; FEC = Fecha, SIS = Sistema, HIB = Híbrido.

Años

El rendimiento promedio varió a través de los años siendo dos de los más bajos en 2015 y 2019 (5,43 y 5,71 t.ha⁻¹), coincidiendo con años de baja precipitación pluvial entre los meses de agosto a diciembre (177 y 298 mm). Por el contrario, los dos años con el mayor rendimiento general fueron 2017 y 2021 (6,80 y 6,77 t.ha⁻¹) los cuales presentaron una buena distribución de las lluvias a través del desarrollo del cultivo. La producción de biomasa seca también varió a través de los años siendo el año 2015 el de menor producción total (12,34 t.ha⁻¹), la cual presentó un bajo rendimiento de grano, así como biomasa total (16,63 t.ha⁻¹) baja prolificidad (0,90 mazorcas/planta) y bajo peso de mazorcas (90 g) y baja población de plantas (5,97 plantas.m⁻²) y la altura de plantas (211 cm) (Cuadro 4). Denmead & Shaw (1960) y Traore et al. (2000), indican que el estrés hídrico tiene un efecto en la reducción de los rendimientos de la biomasa y grano de maíz. Estos hallazgos han sido confirmados por investigaciones más recientes, como la de Sah et al. (2020), quienes reportan que el déficit hídrico puede reducir el rendimiento entre un 30 % y 90 %, dependiendo de la severidad del estrés. Asimismo, Jing et al. (2023) documentan reducciones de biomasa de hasta un 61 % bajo condiciones de estrés hídrico



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

prolongado. Shao et al. (2024) y Cui et al. (2024) destacan la importancia de una adecuada distribución de lluvias durante el ciclo del cultivo para evitar pérdidas significativas.

Cuadro 4. Rendimiento de grano y otras características agronómicas por año, fecha de siembra, sistema y cultivares, El Ejido, 2015-2024.

	Rend t.ha ⁻¹	Alpt cm	Ptm2	MxP	Pmz g	Biom t.ha ⁻¹
Años						
2015	5,43		5,97	0,90	90	12,34
2016	6,58	243	6,33	0,96	108	23,26
2017	6,80	250	6,41	0,94	109	21,94
2018	6,47	238	6,66	0,92	102	22,06
2019	5,71	227	6,34	0,92	99	26,49
2020	6,29	243	6,36	0,95	105	15,66
2021	6,77	217	5,94	0,91	116	27,70
2022	6,06	221	6,37	0,95	99	25,99
2023	5,56	211	6,44	0,93	92	21,53
2024	6,42	218	6,16	0,95	110	24,91
DMS 5%	0,40	2	0,07	0,01	7	0,67
Fechas de siembra						
Agosto	7,80	236	6,44	0,97	124	25,10
Septiembre	7,52	236	6,34	0,95	125	25,01
Octubre	3,35	217	6,11	0,88	61	16,63
DMS 5%	0,14	3	0,15	0,03	4	2,08
Sistema						
Secano	5,59	221	6,15	0,93	94	20,57
Riego suplementario	6,85	239	6,45	0,94	112	23,82
DMS 5%	0,47	10	0,07	0,06	10	1,83
Híbrido						
Híbrido 1 (Susceptible)	5,85	230	6,29	0,93	97	21,86
Híbrido 2 (Tolerante)	6,58	229	6,30	0,93	109	22,55
DMS 5%	0,20	3	0,16	0,01	2	2,61

Rend = Rendimiento de grano, Alpt = altura de planta, Ptm2 = plantas por cosecha, MxP = Mazorcas/planta, Pmz = Peso de mazorcas, Biom = Biomasa Seca



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Fechas de siembra

La producción de granos difirió significativamente a través de las fechas de siembra; la misma se redujo a medida que se sembró más tarde. Se puede observar como las siembras en el mes de agosto alcanzaron el mayor rendimiento (7,80 t.ha⁻¹), seguidas por las siembras de septiembre (7,52 t.ha⁻¹) y octubre (3,35 t.ha⁻¹). Las diferencias entre las siembras de agosto y septiembre en todas las otras variables son bajas, ya que ambas tienen valores muy similares en precipitación pluvial y porcentaje de humedad del suelo en las etapas de prefloración y de llenado de grano. Akinuoye & Modi (2017) encontraron que, con el aumento de la variabilidad climática, existe un alto riesgo de que el maíz sembrado tardíamente tenga un rendimiento menor, independientemente de su fecha de siembra, y no alcance la madurez fisiológica. Las siembras de octubre se reducen en más del 50% con respecto a las otras dos fechas de siembra. Esta reducción se debe a la falta de lluvia o baja humedad en la zona radicular a partir de los 51 dds. Este rango corresponde a la suma de los dos últimos períodos (51-80 y 81-100 dds) y en la cual se puede reducir hasta un 75% del potencial del rendimiento del cultivo de maíz (McWilliams et al., 1999). Traore et al. (2000), sin embargo, encontraron que el índice de cosecha se vio afectado por el déficit hídrico solo cuando se impuso estrés durante la antesis. Sáez et al. (2023) encontró que las etapas de prefloración y floración fueron las más sensibles al déficit hídrico. Este efecto ha sido estudiado y se ha demostrado que está estrechamente relacionado con las épocas de siembra (Lauer et al., 1999; Norwood, 2001).

En octubre se reduce el tamaño de la mazorca (61 g), baja el número la prolificidad (0,88 mazorcas/planta), plantas al momento de la cosecha (6,11 plantas.m⁻²). Durante el llenado de granos, el principal efecto de la sequía es reducir el tamaño de éstos (Lafitte, 1994; Hall et al., 1982). NeSmith & Ritchie (1992) atribuyeron la pérdida de rendimiento por estrés hídrico durante la pre-antesis a una reducción en el número de granos bien desarrollados.

Las fechas de siembra además del rendimiento afectaron el desarrollo de la biomasa a través de los días. Se encontró que el desarrollo fue similar para las tres fechas en los primeros 40 dds. A partir de esta fecha se observó como el desarrollo de biomasa de las siembras de agosto y septiembre son muy similares entre sí hasta la cosecha. El



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

desarrollo de la biomasa de las siembras de octubre es superado por las otras dos siembras y se puede observar cómo esta diferencia va aumentando a partir de los 40 dds (Figura 4A). La reducción de la biomasa del cultivo explica la reducción del rendimiento de grano obtenido en las fechas de siembra de octubre. La reducción de la biomasa en las siembras de octubre es mayor en las parcelas en secano que en las de riego, pero ambas son mucho más bajas que las presentadas en ambos sistemas de las siembras de agosto y septiembre (Figura 4B). Esto coincide con lo documentado por Wu et al. (2024); Djaman et al. (2022), quienes evidencian que la siembra tardía reduce la acumulación de biomasa y afecta la eficiencia en el uso del agua, especialmente en condiciones de secano.

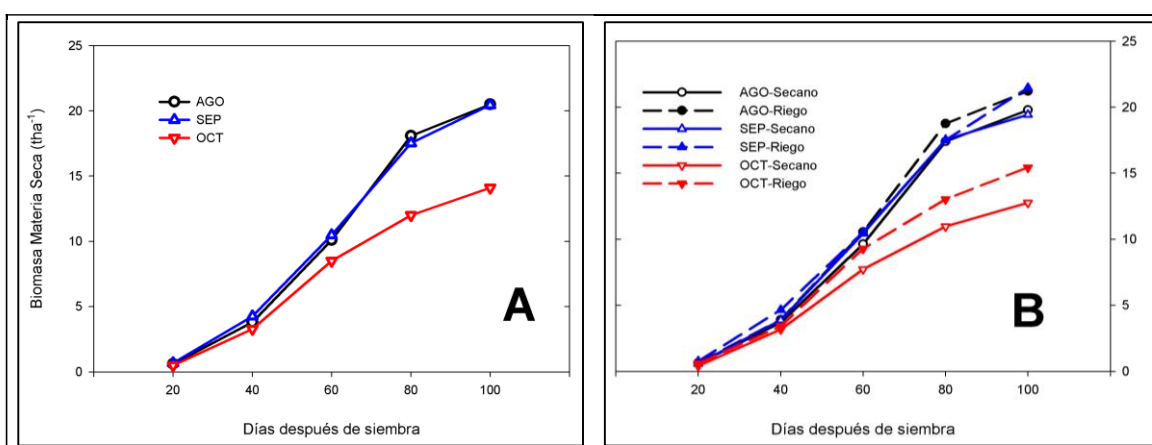


Figura 4. Producción de biomasa en el tiempo por fechas de siembra (A) y la interacción de fechas de siembra por sistema de producción (B).

Sistemas de Siembra

La diferencia entre secano y riego suplementario a través de todos los años fue de más de 0,70 t·ha⁻¹ favoreciendo a las parcelas con riego. Esta diferencia varió en función a la precipitación pluvial registrada en cada año. La misma fue mayor en los años con menos lluvia y disminuyó cuando los registros de lluvia superaron los 500 mm entre agosto y diciembre. También se encontró diferencias a favor de las parcelas con riego en la producción de biomasa seca plantas cosechadas, altura de plantas y peso de las mazorcas. La cantidad de mazorcas por plantas no difirió entre los dos sistemas.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cultivares

La diferencia entre los dos híbridos solo se presentó en el rendimiento de grano y el peso de las mazorcas, siendo más alto el peso de mazorcas como el rendimiento en el híbrido considerado tolerante (109 g y 6,58 t.ha⁻¹). Cada cultivar tiene una fecha óptima de siembra y cualquier desviación de esta puede afectar negativamente el rendimiento (Sárvári & Futó, 2001). El resto de las variables fueron muy similares entre ambos híbridos evaluados (Cuadro 4). Según Darby & Lauer (2002) los cultivares de maíz responden de manera diferente a las fechas de siembra.

Interacción Año x Fecha x Sistema

En promedio a través de los años el cultivo con riego suplementario tuvo un mayor rendimiento de grano que las parcelas en secano. Esta diferencia varió a través de las fechas de siembra siendo mayor la diferencia en las siembras de octubre (1,60 t.ha⁻¹), seguida por las siembras en septiembre (1,51 t.ha⁻¹) y agosto (0,77 t.ha⁻¹). En promedio las siembras de agosto a septiembre mantienen el rendimiento de grano similar en las dos fechas de siembra, pero con más potencial de rendimiento en las siembras de agosto. En ambos sistemas (riego y secano) el rendimiento se reduce de manera drástica, pero siendo superior el rendimiento en las parcelas con riego (Figura 3). Esto se puede explicar por la baja precipitación pluvial al momento de la floración y llenado de grano en las siembras de octubre. El rendimiento del grano puede reducirse disminuyendo los componentes del rendimiento, tales como tamaño de la mazorca, número de granos por mazorca o peso del grano. En la floración (unas dos semanas antes de la emisión de estigmas hasta dos semanas después de éstas) el maíz es muy sensible al estrés hídrico y si el agua escasea durante este período, el rendimiento de grano puede ser seriamente afectado. Claassen & Shaw (1970) observaron que el estrés antes o durante el barbeo y la polinización resultó en un número reducido de granos, mientras que el estrés durante o después del barbeo redujo el peso del grano.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta tendencia general cambió a través de los años, así podemos observar que la diferencia entre riego suplementario y seco en las siembras de agosto solo se observa en los años 2015, 2022 y 2023. En el resto de los años no hubo diferencias o la misma fue mínima. Caso contrario ocurrió con las siembras de septiembre en donde la mayoría presentaron diferencias entre los dos sistemas, con excepción de los años 2016, 2017 y 2023, en donde el rendimiento con riego fue similar en ambos sistemas. En las siembras de octubre con excepción de los años 2019, 2020 y 2022 en donde no hay diferencia entre riego y seco, en el resto la diferencia fue mayor entre ambos sistemas para las distintas fechas de siembra (Figura 5).

La reducción del rendimiento tanto en riego como en seco en las siembras de octubre no se puede explicar solo con el análisis de las lluvias y la humedad del suelo. En la zona donde se realizó la investigación las otras variables climáticas son otra limitante que afecta el cultivo, sobre todo las siembras de octubre que, por la duración del ciclo del cultivo, la floración y el llenado de grano se inicia en el mes de diciembre, en donde tanto la precipitación pluvial es reducida la mayoría de los años y las condiciones de humedad relativa, temperatura y déficit de presión de vapor (VPD) se incrementan y condicionan a la planta. En la literatura la polinización se ve afectada por varios factores ambientales asociados a la sequía y las altas temperaturas (Aylor, 2004; Schoper et al., 1986; Herrero & Johnson, 1980) y la baja humedad relativa del ambiente (Aylor, 2003). Fonseca & Westgate (2005) indican que el Déficit de Presión de Vapor (VPD) es otra variable a considerar en la pérdida de viabilidad del polen. Estos efectos también han sido confirmados recientemente por Wu et al. (2024) quienes reportan que VPD elevado y altas temperaturas reducen el número de espiguillas funcionales y la apertura estigmática, afectando directamente el cuajado del grano.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

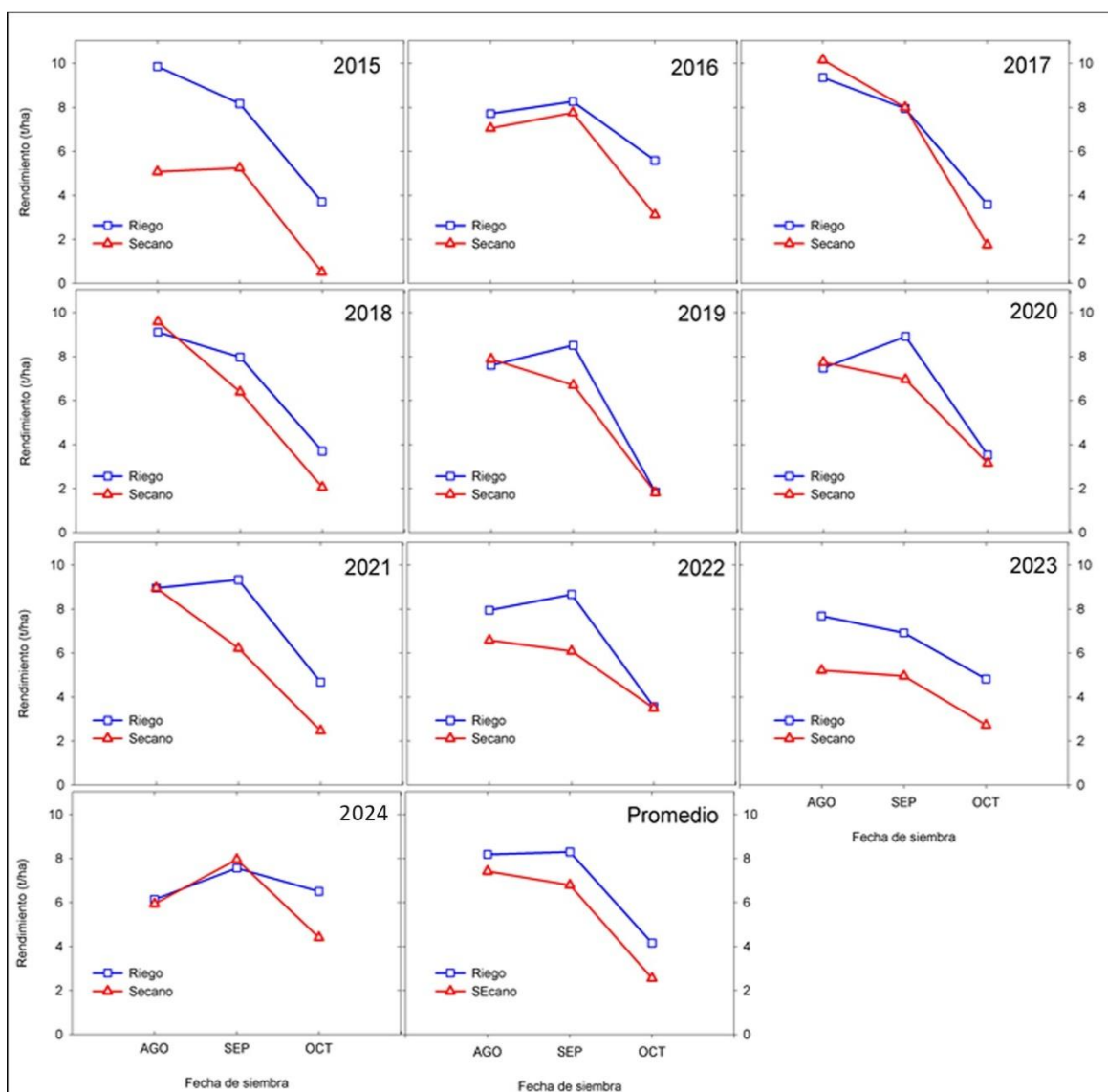


Figura 5. Rendimiento de grano por fecha y sistema de siembra promedio y a través de los años, El Ejido, 2015-2024.

CONCLUSIONES

- La fecha de siembra tiene un efecto directo en el rendimiento del cultivo de maíz en la Región de Azuero.
- La variación de la precipitación a través de los años puede aumentar o reducir el impacto que tiene la fecha de siembra en el rendimiento de grano.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- El estrés hídrico en la fase de floración y llenado del grano tuvo mayor impacto en el rendimiento del grano.
- Las siembras a partir del mes de octubre siempre resultan en un bajo rendimiento debido a la reducida humedad del suelo a partir de la floración del cultivo.
- Es necesario el análisis de otras variables ambientales (temperatura, humedad relativa, déficit de presión, radiación) para poder explicar con mayor profundidad el efecto de las fechas de siembra del cultivo de maíz en la Región de Azuero.

REFERENCIAS

- Akinnuoye-Adelabu, D. B. & Modi, A. T. (2017). Panting dates and harvesting stages influence on maize yield under rainfed conditions. *Journal of Agricultural Science*, 9(9), 43-55. <https://doi.org/10.5539/jas.v9n9p43>
- Aylor, D. E. (2004). Survival of maize (*Zea mays*) pollen exposed in the atmosphere. *Agricultural and Forest Meteorology*, 123, 125-133. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.12.007>
- Aylor, D. E. (2003). Rate of dehydration of corn (*Zea mays*) pollen in the air. *Journal of Experimental Botany*, 54(391), 2307-2312. <https://doi.org/10.1093/jxb/erg242>
- Beiragi, M. A., Khorasani, S. K., Shojaei, S. H., Dadresan, M., Mostafavi, K., & Golbashy, M. (2011). A study on effects of planting dates on growth and yield of 18 corn hybrids (*Zea mays* L.). *Journal of Experimental Agriculture International*, 1(3), 110-120. <https://doi.org/10.9734/AJEA/2011/339>
- Bolaños, J., & Edmeades, G. O. (1993). *La fenología del maíz. En: Síntesis de Resultados Experimentales del PRM, 1992, Vol. 4. CIMMYT-PRM, Guatemala.* J. Bolaños, G. Saín, R. Urbina y H. Barreto (eds.). pag. 251-261. <https://repository.cimmyt.org/server/api/core/bitstreams/acb034c1-ff5b-4746-ad16-4a4c37fa9127/content>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Claassen, M. M. & Shaw, R. H. (1970). Water deficit effects on corn. II. Grain components. *Agron. J.* 62(5), 652-655.

<https://doi.org/10.2134/agronj1970.00021962006200050032x>

Cui, Y., Tang, H., Zhou, Y., Jin, J., & Jiang, S. (2024). Accumulative and adaptive responses of maize transpiration, biomass, and yield under continuous drought stress. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1444246.

<https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1444246>

Darby, H. & Lauer, J. (2002). *Critical Stages in the Life of a Corn Plant*.

<https://corn.aae.wisc.edu/Management/pdfs/CriticalStages.pdf>

Denmead, O. T. & Shaw, R. H. (1960). The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. *Agron. J.* 52, 272-274.

<https://doi.org/10.2134/agronj1960.00021962005200050010x>

Djaman, K., Allen, S., Djaman, D. S., Koudahe, K., Irmak, S., Puppala, N., Darapuneni, M. K., & Angadi, S. V. (2022). Planting date and plant density effects on maize growth, yield and water use efficiency. *Environmental Challenges*, 6, 100417.

<https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100417>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1993). Land and water integration and river basin management. Roma, Italia.

<http://www.fao.org/3/v5400e/v5400e00.htm>

Fonseca, A. E., & Westgate, M. E. (2005). Relationship between desiccation and viability of maize pollen. *Field Crop Research*, 94(2), 114-125.

<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.12.001>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Gordón-Mendoza, R. (2020), *Variabilidad climática y su efecto sobre la producción de maíz*. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, 48 p.

https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/VARIABILIDAD_CLIMATICA_Y_SU_EFECTO SOBRE LA PRODUCCION DE MAIZ.pdf

Gordón-Mendoza, R. (2021). Manual Técnico: *El maíz en Panamá: Características, requerimientos y recomendaciones para su producción en ambientes con alta variabilidad climática*. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá. 108 p.

https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/manual_tecnico_el_maiz_en_panamá.pdf

Hall, A. J., Vilella, F., Trappani, N., & Chimenti, C. (1982). The effects of water stress and genotype on the dynamics of pollen-shedding and silking in maize. *Field Crops Research*, 5, 349-363. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(82\)90036-3](https://doi.org/10.1016/0378-4290(82)90036-3)

Herrero, M. P., & Johnson, R. R. (1980). High Temperature Stress and Pollen Viability of Maize. *Crop Science*, 20(6), 796-800.

<https://doi.org/10.2135/cropsci1980.0011183X002000060030x>

Irwin, S., Good, D., & Newton, J. (2015). Early Planting and 2015 Corn Yield Prospects: How Much of an Increase? farmdoc daily, University of Illinois at Urbana-Champaign, Department of Agricultural and Consumer Economics, 5, May

<https://doi.org/10.22004/ag.econ.283126>

Yzarra, W., Trebejo, I., y Noriega, V. (2010). *Evaluación del efecto del clima en la productividad del maíz amarillo duro en la Costa Central del Perú*. Lima, Perú. 90p.

<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-10.pdf>

Jing, L., Weng, B., Yan, D., Zhang, B., W., & Yan, S. (2023). The persistent impact of drought stress on the resilience of summer maize. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1016993.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1016993>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Kostiakov, A. N. (1932), On the dynamics of the coefficient of water-percolation in soils and on the necessity of studying it from a dynamic point of view for purposes of amelioration, Transactions Congress International Society for Soil Science, 6th, Moscow Part A, p.17-21

Kranz, W. L., Irmak, S., van Donk, S. J., Yonts, C. D., & Martin, D. L. (2008). *Irrigation management for corn*. Nebraska Extension NebGuide G1850.
<http://extensionpublications.unl.edu/assets/html/g1850/build/g1850.htm>

Laffite, H. R. (2001). Estreses abióticos que afectan al maíz. En: El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. R. Paliwal, G. Granados, H.R. Laffite y A. Violic (eds.). FAO. https://www.fao.org/4/x7650s/x7650s12.htm#P0_0

Lafitte, H. R. (1994). *Identificación de problemas en la producción de maíz tropical*. Guía de Campo. México D.F.; CIMMYT. 122 pp.
<https://books.google.com.pa/books?id=OUVBwJBXYecC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

Lauer, J. G., Carter, P. R., Wood, T. M., Diezel, G., Wiersma, D. W., Rand, R. E., & Mlynarek, M. J. (1999). Corn Hybrid Response to Planting Date in the Northern Corn Belt. *Agron. J.* 91(5), 834–839. <https://doi.org/10.2134/agronj1999.915834x>

McWilliams, D. A., Berglund, D. R., & Endres, G. J. (1999). *Corn Grow and Management Quick Guide*. North Dakota State University. A-1173.
<https://library.ndsu.edu/server/api/core/bitstreams/fa8d424d-fcb6-40bf-b05d-c3ecc4bcd7c7/content>

Norwood, C. A. (2001). Planting Date, Hybrid Maturity, and Plant Population Effects on Soil Water Depletion, Water Use, and Yield of Dryland Corn. *Agron. J.* 93(5), 1034-1042.
<https://doi.org/10.2134/agronj2001.9351034x>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

NeSmith, D. S., & Ritchie, J. T. (1992). Short-and long-term responses of corn to pre-anthesis soil water deficit. *Agron. J.* 84, 107-113.

<https://doi.org/10.2134/agronj1992.00021962008400010021x>

Rhoads, F. M., & Yonts, C. M. (2000). *Irrigation Scheduling for Corn-Why and How*. Iowa State University. University Extension. NCH-20. National Corn Handbook 6 p.

<https://corn.agronomy.wisc.edu/Management/pdfs/NCH20.pdf>

Ruane, A. C., DeWayne, C. L., Horton, R. M., Gordón, R., McCollum R., Brown, D., Killough, B., Goldberg, R., Greeley, A. P., & Rosenzweig, C. (2013). Climate change impact uncertainties for maize in Panama: Farm information, climate projections, and yield sensitivities. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170, 132-145.

<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.10.015>

Sáez-Cigarruista, A., Morales-Guevara, D., Gordón-Mendoza, R., Jaén-Villarreal, J. & Ramos-Manzané, F. (2024). Sensibilidad del cultivo de maíz (*Zea mays*) a diferentes períodos de déficit hídrico controlado. *Agronomía Mesoamericana*, 35, 55660.

<https://doi.org/10.15517/am.2024.55660>

Sah, R. P., Chakraborty, M., Prasad, K., Pandit, M., Tudu, V. K., Chakravarty, M. K., Narayan, S. C., Rana, M., & Moharana, D. (2020). Impact of water deficit stress in maize: phenology and yield components. *Sci Rep*, 10, 2944.

<https://doi.org/10.1038/s41598-020-59689-7>

Sárvári, M., & Futó, Z. (2001). Correlation between sowing time of maize hybrids, yield and seed moisture content at harvest on chernozem soil. *Acta Agraria Debreceniensis*,

1, 32-41. <https://doi.org/10.34101/actaagrar/1/3583>

Schooper, J. B., Lambert, R. J., & Vasilas, B. L. (1986). Maize pollen viability and ear receptivity under water and high temperature stress. *Crop Science* 26(5), 1029-

1033. <https://doi.org/10.2135/cropsci1986.0011183X002600050038x>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Shao, J., Wang, Q., Liu, P., Zhao, B., Han, W., Zhang, J., & Ren, B. (2024). The complex stress of waterlogging and high temperature accelerated maize leaf senescence and decreased photosynthetic performance at different growth stages. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 210(2), e12689. <https://doi.org/10.1111/jac.12689>
- Shaw, R. H., & Newman, J. E. (1985). *Weather stress in the corn crop*. Michigan State University. University Extension. NCH-18 National Corn Handbook 4 p. <https://www.baycountymi.gov/Docs/CitizenCorps/WeatherStressInTheCornCrop.pdf>
- Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E., & Raes, D. (2012). Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. FAO. Roma, Italia, 510 p. <https://www.siiba.conadesuca.gob.mx/siica/Consulta/verDoc.aspx?num=601>
- Traore, S. B., Carlson, R. E., Pilcher, C. D., & Rice, M. E. (2000). Bt and non-Bt maize growth and development as affected by temperature and drought stress. *Agron. J.* 92(5), 1027-1035. <https://doi.org/10.2134/agronj2000.9251027x>
- Wu, W., Yue, W., Bi, J., Zhang, L., Xu, D., Peng, C., Chen, X., & Wang, S. (2024). Influence of climatic variables on maize grain yield and its components by adjusting the sowing date. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1411009. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1411009>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

II. VARIABLES CLIMÁTICAS QUE AFECTAN EL MAÍZ SEGÚN FECHAS DE SIEMBRA EN LA REGIÓN DE AZUERO¹

**Román Gordón-Mendoza²; Ana E. Sáez-Cigarruista³; Francisco P. Ramos-Manzané⁴;
Jorge I. Núñez-Cano⁵; Jorge E. Franco-Barrera⁶**

RESUMEN

Se realizó el estudio con el objetivo de determinar el efecto de las distintas variables climáticas en el cultivo de maíz en la Región de Azuero. Para esto se sembró un ensayo en la Estación Experimental El Ejido, ubicada en la provincia de Los Santos, Panamá. El ensayo fue sembrado entre los años 2015 al 2024. La unidad experimental fue de seis surcos de 5,2 m de largo y la parcela efectiva consistió en los dos surcos centrales. El diseño utilizado fue el de Bloques completos al azar con tres repeticiones. Se evaluaron tres factores en un arreglo Factorial en Fajas dobles 3 x 3 x 2. La parcela principal fue la fecha de siembra (agosto, septiembre y octubre), las sub-parcelas el sistema de secano y riego por goteo y las sub-sub-parcelas dos híbridos de uso por los productores de la Región. Un análisis de componentes principales indicó que a mayor población de plantas, precipitación y humedad relativa mayor es el potencial de rendimiento del cultivo. Por otro lado, variables climáticas como déficit de presión de vapor (VPD), evapotranspiración potencial, temperatura promedio, radiación solar y ultravioleta afectan negativamente al rendimiento de grano. El déficit de presión de vapor es la variable que presentó los coeficientes de correlación más altos en ambos sistemas y su relación es inversa o negativa (-0,74 y -0,82, respectivamente). La variable VPD es la que presentó el mayor parámetro estimado de valor negativo en ambos sistemas (-10,020 en secano y -11,931 en riego suplementario), lo que indica que a mayor valor de esta variable en el ambiente más se reduce el rendimiento de grano.

Palabras clave: Déficit de presión de vapor, estrés ambiental, humedad relativa, radiación solar.

¹Recepción: 27 de agosto de 2025. Aceptación: 03 de octubre de 2025.

²Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Centro de Innovación Agropecuaria de Azuero "Ing. Germán De León" (CIA-Azuero), Los Santos, Panamá. e-mail: gordon.roman@gmail.com;

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8433-2357>

³IDIAP, CIA-Azuero, Panamá. PhD. Ecofisiología Vegetal. e-mail: ansaciq@gmail.com;

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4901-7263>

⁴IDIAP, CIA-Azuero, Panamá. Ingeniero Agrónomo. e-mail: franciscoramos2016@gmail.com;

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0003-3203-3069>

⁵IDIAP, CIA-Azuero, Panamá. PhD Nutrición Mineral e-mail: jorgenunezcano@gmail.com;

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0005-3417-4791>

⁶IDIAP, CIA-Azuero, Panamá. M.Sc. Ambiente. e-mail: joenfra13@gmail.com;

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0000-0247-411X>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

II. CLIMATIC VARIABLES AFFECTING MAIZE AS A FUNCTION OF PLANTING DATE IN THE AZUERO REGION

ABSTRACT

A study was conducted to determine the effect of key climatic variables on maize production in the Azuero Region of Panama. The experiment was established at the El Ejido Experimental Station, located in Los Santos Province, Panama, and was planted annually from 2015 to 2024. The experimental unit consisted of six rows, each 5.2 m long, with the effective plot defined as the two central rows. A randomized complete block design with three replications was used. Three factors were evaluated in a 3 × 3 × 2 split-split plot factorial arrangement: the main plot was planting date (August, September, and October), the subplots were production system (rainfed or supplemental drip irrigation), and the sub-subplots consisted of two hybrids commonly used by producers in the region. Principal component analysis indicated that higher plant population, accumulated rainfall, and relative humidity were associated with greater yield potential. Conversely, several climatic variables-vapor pressure deficit (VPD), potential evapotranspiration, mean temperature, solar radiation, and ultraviolet radiation-had adverse effects on grain yield. VPD showed the strongest correlations in both production systems, with negative coefficients of -0.74 (rainfed) and -0.82 (supplemental irrigation). VPD also exhibited the most significant negative regression coefficients in both systems (-10.020 under rainfed conditions and -11.931 under supplemental irrigation), indicating that higher atmospheric demand strongly reduces grain yield.

Key words: Vapor pressure deficit, environmental stress, relative humidity, solar radiation.

INTRODUCCIÓN

El país es frecuentemente afectado por eventos hidro meteorológicos, tales como sequías, inundaciones y deslizamientos. Los posibles escenarios de cambio climático para Panamá revelan modificaciones en esta área en relación con los patrones de temperatura y precipitación. Estas incluyen un ambiente más cálido, de 2° a 3° C sobre las temperaturas actuales, en tanto que la variación en los patrones de lluvia podría estar en el rango de +/- 10%, según corresponda. Sin embargo, cambios relativos en el clima de Panamá ya están ocurriendo, como lo muestra la tendencia a episodios más cálidos en el año 2015 (de 1° C por encima de los valores históricos), así como el hecho que en los últimos 50 años la



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

precipitación interanual cayó de 50 a 100 mm por año, lo que equivale a una variación negativa de 6 a 10% en el volumen de lluvias en la temporada lluviosa (Autoridad Nacional del Ambiente [ANAM], 2011).

La interacción negativa entre sequía y eficiencia en los sistemas agropecuarios tiene repercusiones negativas tanto de índole económica, como ambiental. Esta interacción aumenta la contaminación por exceso de fertilizantes y otros insumos agropecuarios. El maíz es uno de los principales cultivos para los agricultores con bajos recursos de Panamá, además de formar parte fundamental de la dieta en la mayor parte del país. Frecuentemente se cultiva en áreas marginales y expuestas a sequías estacionales. El desarrollo de prácticas agronómicas que mitiguen el efecto de la sequía y mejoren la eficiencia de las prácticas agronómicas producirá beneficios económicos para los agricultores, y contribuirá a mitigar el efecto del cambio climático al reducir el impacto de la sequía.

De todos los cambios ambientales asociados al cambio climático los más evidentes son el aumento en las temperaturas a las que los cultivos serán expuestos, así como la alta variabilidad en la precipitación pluvial en las épocas de producción de alimentos (Ruane et al., 2013). Estos cambios pueden afectar negativamente la productividad de todos los cultivos. Existe un aumento global del déficit de presión de vapor atmosférico (DPV), una tendencia que se prevé que continúe con el calentamiento global. Este fenómeno se ha asociado con disminuciones de la productividad en los ecosistemas y pérdidas de rendimiento en los cultivos, lo que se atribuye a limitaciones fotosintéticas derivadas de la disminución de la conductancia estomática (López et al., 2021; Grossiord et al., 2020).

La sensibilidad del rendimiento a un estrés abiótico como la temperatura es, generalmente, mucho mayor si el estrés ocurre durante el período alrededor de la floración o durante el llenado de los granos, que afecta el peso final de los granos (Dong et al., 2021). Elevadas temperaturas perjudicarán los dos principales componentes del rendimiento: el número de granos por unidad de área, principal componente agronómico del rendimiento, y el peso medio de los granos por la menor disponibilidad de carbohidratos



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

para el desarrollo de estos (Niu et al., 2021; Bheemanahalli et al., 2022). Sin embargo, las causas fisiológicas que generan estas penalidades a la productividad no han sido claramente dilucidadas, como tampoco ha sido determinadas las prácticas culturales derivadas de un mejor conocimiento de la fisiología de la tolerancia a las altas temperaturas.

El vapor de agua es un gas y su presión contribuye a la presión atmosférica total. La cantidad de vapor de agua en el aire se relaciona directamente con la presión parcial ejercida por ese vapor de agua en el aire; es una medida directa del contenido de vapor de agua del aire y es conocida como Presión de vapor actual (e_a). Cuando un volumen de aire se encuentra retenido sobre una superficie evaporante de agua, se alcanza un equilibrio entre las moléculas de agua que se incorporan al aire y las que vuelven a la fuente de agua. En ese momento, se considera que el aire está saturado puesto que no puede almacenar ninguna molécula de agua adicional. La presión correspondiente se llama presión de vapor a saturación ($e^{\circ}(T)$). La cantidad de moléculas de agua que se pueden almacenarse en el aire depende de la temperatura (T). Cuanto más alta es la temperatura del aire, más alta es la capacidad de almacenar vapor de agua y más alta es la presión de vapor a saturación. El déficit de presión de vapor (VPD, por sus siglas en inglés) es la diferencia entre la cantidad de humedad que el aire puede contener cuando está saturado ($e^{\circ}(T)$) y la cantidad de humedad que realmente contiene (e_a) y es un indicador de la sequedad del aire. El VPD es un factor ambiental clave que influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas a través de mecanismos diferentes a la temperatura influenciando las funciones de los estomas y la fotosíntesis (Inoue et al., 2021; Hsiao et al., 2019; Sanginés et al., 2017). A pesar de ello, pocos estudios han aislado la respuesta fisiológica del funcionamiento de las plantas a un PDV elevado, lo que limita nuestra comprensión y capacidad para predecir los impactos futuros en los ecosistemas terrestres (Grossiord et al., 2020).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Por otra parte, el agua es vital en la producción de cultivos, la falta de este elemento provoca una menor área foliar, menor fotosíntesis y como consecuencia una menor producción. El cultivo con escasez de agua puede abordarse de dos formas: prácticas de manejo agronómico (riego, labranza) y el mejoramiento genético (variedades alto rendimiento bajo condiciones de sequía). La solución a los problemas ocasionados por la escasez de agua requiere comprender y poder estimar el almacenamiento y movimiento de agua en el suelo, su absorción y movimiento en la planta y su pérdida por evaporación y transpiración. Se realizó el estudio con el objetivo de determinar el efecto de las distintas variables climáticas en el cultivo de maíz en la Región de Azuero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en la Estación Experimental del IDIAP en El Ejido-Los Santos. Localizada entre los 7°54' de latitud Norte y 80°22' longitud Oeste, a unos 25 msnm. El manejo agronómico en cuanto a control de maleza y fertilización se realizó según la tecnología generada por el IDIAP (Gordón-Mendoza, 2021).

La unidad experimental constó de seis surcos de 5,2 m de largo, con un arreglo de 0,75 m entre surcos y 0,20 m entre plantas. La parcela efectiva fueron los dos surcos centrales de cada unidad experimental. El diseño utilizado fue el de Bloques completos al azar con tres repeticiones. Se evaluaron tres factores en un arreglo Factorial en Fajas dobles 3 x 3 x 2. Se realizó la siembra en tres fechas distintas (agosto, septiembre y octubre) separadas 20 días entre las mismas. Se evaluaron dos híbridos de maíz y dos sistemas uno con riego por goteo suplementario, y seco dependiente de las lluvias de la temporada. El sistema de riego se utilizó para mantener las parcelas a capacidad de campo (de acuerdo con monitoreos con tensiómetros ubicados en las parcelas), mientras que las de seco sometieron a las plantas al estrés natural de falta de lluvias de cada fecha de siembra a través de los años. Se midieron las variables más comunes en el cultivo como lo son: Floración femenina, altura de la planta y mazorca, número de plantas acamadas, rendimiento de grano, porcentaje de humedad, número de plantas y mazorcas cosechadas y biomasa total a los 20, 40, 60, 80 y 100 días después de siembra (dds). Las variables climáticas se obtuvieron de una estación meteorológica portátil tipo Davis®, ubicada a menos de 100 m lineales de la parcela experimental. Se midió la precipitación pluvial,



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

temperatura máxima y mínima del aire, porcentaje de humedad relativa máxima y mínima, radiación solar, radiación ultravioleta, energía solar. Se calculó la evapotranspiración potencial de acuerdo con la ecuación de Penman Monteith y el déficit de presión de vapor (VPD) de acuerdo con Allen et al., 2006.

El desarrollo del cultivo se dividió en cuatro fases. La primera fase va de la siembra a los 30 días después de la siembra (0 a 30 dds), esta fase se considera como de establecimiento y desarrollo inicial del cultivo. La segunda fase se inició a los 31 dds y concluye en la etapa de iniciación de espiga masculina o Vt (0 a 50 dds) y se denominó Prefloración. La tercera fase inicia en la floración masculina hasta finalizando la etapa R2 del cultivo (51 a 80 dds), la cual es considerada como polinización y llenado de grano. La cuarta y última fase inicia a los 81 dds y culmina hasta los 100 dds y se denominó fase de secado de grano. Todas las variables climáticas medidas se dividieron y calcularon (promedios o suma acumulada) en estas cuatro fases del cultivo y en el periodo de 51 a 100 dds (3ª y 4ª fases juntas).

Los datos climáticos por fase se corrieron con un análisis de Componentes Principales con el uso del programa Infostat® para determinar la relación gráfica entre las variables climáticas y el rendimiento de grano en seco. Luego los mismos se correlacionaron con el rendimiento de grano para cada fecha de siembra por sistema de siembra (secano y riego). Posteriormente se procedió a realizar una regresión múltiple entre el rendimiento de grano por sistema y las distintas variables climáticas a través del procedimiento Stepwise de SAS para estimar el efecto que tienen estas sobre el rendimiento. En el Cuadro 1 se presentan los valores de las distintas variables climática medidas en las dos fases del cultivo (tercera y cuarta fase) a través de los años de evaluación.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 1. Principales variables climáticas medidas en la tercera (51 a 80 dds) y cuarta fase (81 a 100 dds) del cultivo de maíz en las tres fechas de siembra por año, 2015-2024.

Fechas de siembra	Lluvia (mm)		Temperatura (°C)		Radiación (W/m ²)		Energía solar (MJ/m ²)		Humedad relativa (%)		Radiación ultravioleta		ETO (mm/día)		VPD (kPa)	
	51-80	81-100	51-80	81-100	51-80	81-100	51-80	81-100	51-80	81-100	51-80	81-100	51-80	81-100	51-80	81-100
ago-15	5,0	50,4	26,9	26,7	177	163	334	333	87,1	86,7	14,6	14,9	3,18	3,11	0,79	0,78
sep-15	50,4	0,0	27,1	28,5	180	205	369	387	84,6	79,2	16,1	16,4	3,48	4,12	0,82	1,08
oct-15	0,0	0,0	28,4	28,4	210	230	408	472	78,7	74,2	17,3	19,9	4,30	5,31	1,07	1,24
ago-16	145,0	85,4	25,8	25,8	169	153	346	303	89,7	88,8	14,3	12,9	3,11	2,86	0,64	0,64
sep-16	126,8	2,2	25,7	26,5	146	172	291	329	89,8	85,5	12,4	13,6	2,71	3,30	0,60	0,79
oct-16	28,0	0,6	26,4	27,2	166	207	324	426	86,2	78,0	13,4	16,6	3,15	4,58	0,76	1,02
ago-17	107,8	146,8	26,3	25,8	171	164	352	337	88,7	89,1	13,2	13,1	3,10	3,21	0,67	0,65
sep-17	183,6	15,8	25,9	26,4	165	189	340	382	89,0	85,3	13,2	16,5	3,14	3,39	0,65	1,01
oct-17	38,0	25,6	26,6	25,7	191	182	389	375	84,2	84,8	16,9	17,5	3,56	3,40	0,78	1,25
ago-18	90,6	40,0	26,0	26,7	170	168	352	348	88,2	86,8	14,7	15,3	3,13	3,10	0,64	0,70
sep-18	40,8	0,0	26,7	27,3	182	205	375	422	86,1	79,2	16,2	16,8	3,29	4,27	0,73	1,01
oct-18	0,0	0,0	27,3	27,3	204	213	421	441	79,6	75,3	16,9	20,4	4,25	5,74	1,00	1,21
ago-19	55,4	49,2	26,8	27,1	173	191	357	393	84,1	82,3	15,2	16,6	3,08	3,29	0,67	0,76
sep-19	63,8	12,8	27,2	27,5	179	167	370	343	82,2	80,9	16,1	14,9	3,13	2,94	0,77	0,83
oct-19	30,4	0,0	27,4	28,7	164	199	339	410	81,6	74,5	14,8	17,9	2,91	3,89	0,79	1,13
ago-20	276,0	168,0	26,9	27,1	176	173	363	356	83,8	82,5	15,2	15,9	3,15	2,88	0,68	0,79
sep-20	205,0	5,0	27,2	27,5	180	164	370	339	82,1	81,2	16,3	14,6	3,03	4,04	0,77	0,81
oct-20	43,0	0,0	27,5	28,7	163	197	337	406	81,5	75,0	14,8	17,8	3,74	4,14	0,80	1,10
ago-21	184,0	46,0	28,2	27,9	161	177	359	390	88,1	85,6	15,8	15,2	3,11	3,35	0,95	0,98
sep-21	37,0	19,0	27,7	28,1	167	181	363	346	85,1	82,5	15,0	17,8	3,21	3,78	0,92	0,99
oct-21	53,0	0,0	28,0	27,7	173	206	343	413	83,4	76,1	17,3	18,8	3,58	4,62	0,94	1,17
ago-22	239,0	202,0	26,2	25,6	122	94	355	393	81,6	84,7	15,5	15,1	2,49	1,95	0,87	0,69
sep-22	202,0	19,0	25,8	26,9	104	138	370	339	83,4	78,9	15,5	17,3	2,16	3,21	0,76	0,95
oct-22	52,0	9,0	26,7	26,6	133	142	339	410	79,6	76,8	17,4	18,7	3,04	3,47	0,92	1,06
ago-23	205,0	196,0	30,2	29,7	114	105	-	-	82,6	83,7	11,8	10,5	2,48	2,23	0,88	0,79
sep-23	253,0	0,0	30,0	30,5	113	131	-	-	83,2	78,3	11,4	13,8	2,46	3,52	0,82	1,02
oct-23	37,0	12,0	30,2	30,1	127	124	-	-	79,7	77,4	13,1	13,7	3,28	3,31	0,95	1,06
ago-24	588,0	229,0	28,1	27,7	109	105	-	-	88,2	87,1	9,5	10,0	2,44	2,52	0,60	0,62
sep-24	346,0	3,0	28,1	28,4	111	81	-	-	86,3	81,0	10,3	9,8	2,52	2,75	0,67	0,86
oct-24	20,0	85,0	28,5	27,6	92	113	-	-	82,0	81,8	10,6	13,3	2,71	2,43	0,84	0,79



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de Componentes Principales

Los dos primeros ejes del análisis de componentes principales (CP1 y CP2) explicó el 68,6% de la variabilidad total, en donde el primer componente explicó el 47% y el segundo 21,6%. Este análisis indicó que el rendimiento de grano (REND) está relacionado positivamente con el número de plantas al momento de la cosecha (PTM2), la precipitación pluvial acumulada (PPT), así como con la humedad relativa (HR) tanto en el tercer como en la cuarta fase del cultivo (3 y 4). Estos cinco componentes están del mismo lado del gráfico que está el rendimiento de grano (Figura 1). Este resultado indica que a mayor población de plantas, precipitación y humedad relativa mayor es el potencial de rendimiento del cultivo. Por otro lado, variables climáticas como déficit de presión de vapor (VP), evapotranspiración potencial (ET), temperatura promedio (TPR), radiación solar (RA) y ultravioleta (UV) afectan negativamente al rendimiento de grano. Todas estas variables están proyectadas en el lado contrario (ángulo mayor de 45°) del rendimiento de grano, lo que se interpreta que entre menor valor de estas el rendimiento de grano aumenta.

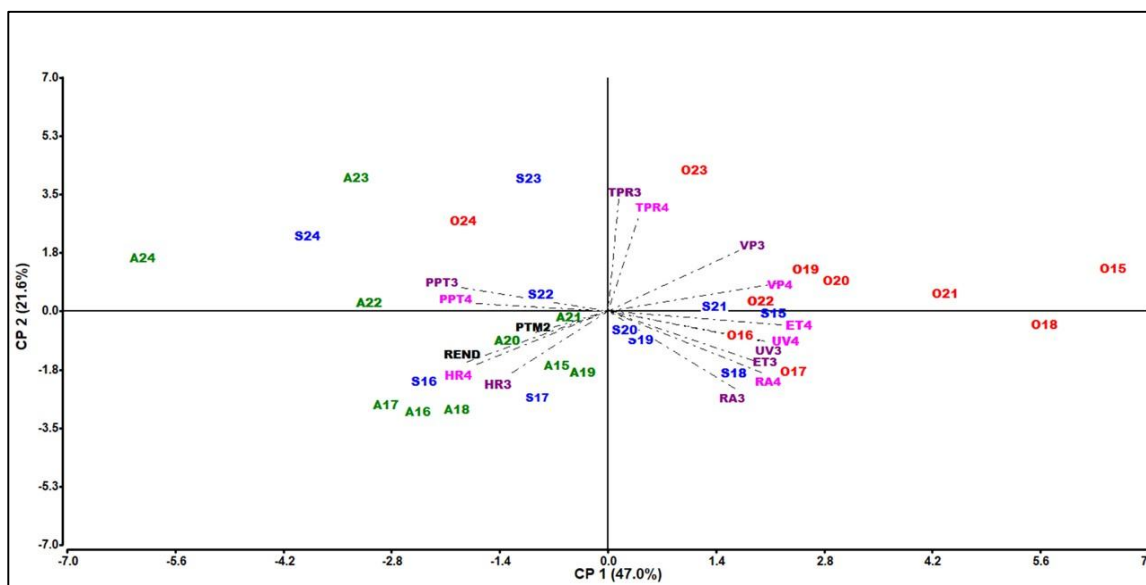


Figura 1. Gráfica Biplot mostrando el resultado de los dos primeros ejes del análisis de componentes principales.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

El rendimiento de granos de las siembras de agosto (A) en su totalidad están asociados con el mayor rendimiento de grano, mayor precipitación pluvial y mayor humedad relativa en la tercera y cuarta fase del cultivo. Por el contrario, nueve de los diez años de las siembras de octubre (O) están asociados con bajos rendimientos y altos valores de las variables que están en el lado positivo del primer eje (CP1). Con relación a las fechas de siembra de septiembre (S), la mitad de los años se ubica con alto rendimiento y la otra mitad con bajo rendimiento (Figura 1). Este resultado se puede interpretar que las siembras realizadas en agosto tienen mayor probabilidad de obtener rendimientos altos, mientras que las siembras de octubre son siembras que van a ser afectadas por lo tanto van a tener rendimientos bajos dado que tanto la evapotranspiración, VPD, radiación y temperatura son más alta en las terceras y cuartas fases del cultivo. Las siembras de septiembre son muy variables, y así como hay años en que salen bien, en otros el rendimiento puede verse afectado.

Análisis de Correlación

El análisis identificó que existe una relación positiva y negativa entre las distintas variables con el rendimiento de grano. En algunos casos las variables se repiten en ambos sistemas de producción y en la misma fase. En el sistema de riego la humedad relativa promedio (tercera y cuarta fase) está relacionada positivamente con el rendimiento de grano, mientras que la Energía solar, radiación ultravioleta y VPD se relacionan negativamente en la cuarta fase, es decir que entre mayor es el valor de estas variables, menor es el rendimiento de grano (Cuadro 2).

Por el otro lado, en el sistema de seco además de la humedad relativa promedio, la lluvia está relacionada positivamente, lo que se puede interpretar que entre mayor es el valor de estas variables mayor es el rendimiento de grano esperado. La energía solar, radiación ultravioleta, evapotranspiración y VPD se relacionan negativamente con el rendimiento. El déficit de presión de vapor es la variable que presentó los coeficientes de correlación más altos en ambos sistemas y su relación es inversa o negativa (-0,74 y -0,82, respectivamente). El VPD se ha identificado como un factor cada vez más importante del funcionamiento de las plantas en biomasa terrestres y se ha establecido como un importante contribuyente a la mortalidad de plantas



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

inducida por sequías recientes, independientemente de otros factores asociados con el cambio climático (Grossiord et al., 2020; Dai et al., 2018). Tong et al. (2022) encontraron en términos del efecto de la Radiación, la fracción de evaporación de la superficie del agua tendió a disminuir a medida que la Radiación aumenta. Además, el análisis de trayectoria sugirió que la humedad del suelo, radiación y VPD no solo afectaron directamente la fracción de la evaporación de la superficie, sino que también lo afectaron indirectamente, principalmente a través de la conductancia del dosel y la diferencia de temperatura entre la superficie terrestre y el aire (ΔT).

Cuadro 2. Coeficientes de correlación de Pearson entre el rendimiento de grano y las distintas variables climáticas en la tercera y cuarta fase del cultivo por sistema de siembra.

Variables climáticas	Secano			Riego		
	51 a 80 dds	81 a 100 dds	51 a 100 dds	51 a 80 dds	81 a 100 dds	51 a 100 dds
Precipitación pluvial	0,64	0,37	0,62	0,52	0,37	0,49
Temperatura promedio	-0,46	-0,31	-0,46	-0,34	-0,31	-0,36
Temperatura máxima	0,01	-0,15	-0,35	0,21	-0,15	-0,19
Radiación solar	-0,29	-0,42	-0,40	-0,21	-0,42	-0,34
Energía Solar	-0,29	-0,66	-0,57	-0,18	-0,69	-0,53
Humedad relativa promedio	0,68	0,77	0,76	0,63	0,72	0,71
Humedad relativa mínima	0,08	0,50	0,64	-0,07	0,38	0,51
Radiación ultravioleta	-0,52	-0,77	-0,55	-0,41	-0,71	-0,51
Evapotranspiración	-0,55	-0,64	-0,62	-0,49	-0,53	-0,54
Déficit de presión de vapor	-0,62	-0,82	-0,72	-0,43	-0,74	-0,56

Al graficar los valores de las distintas variables con el rendimiento de grano se observa que, con excepción de la humedad relativa, al aumentar el valor de todas las variables climáticas se reduce el rendimiento de grano (Figura 2). En todas estas gráficas cuando el valor de la variable es bajo la diferencia en rendimiento entre riego y secano es mínimo. A medida que la variable climática aumenta su valor la diferencia va aumentando. Esto sugiere que cuando las condiciones climáticas son más adversas por el aumento de estas, el cultivo en secano se ve afectado más, ya que, adicional al estrés ambiental el mismo está estresado por el déficit de humedad del suelo producto de la baja precipitación pluvial. Estudios estadísticos de rendimiento del maíz de secano en Estados Unidos, y en otros, lugares han indicado una fuerte respuesta negativa del rendimiento a la acumulación de temperaturas superiores a 30 y una respuesta débil a la lluvia estacional (Lobell et al., 2013).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

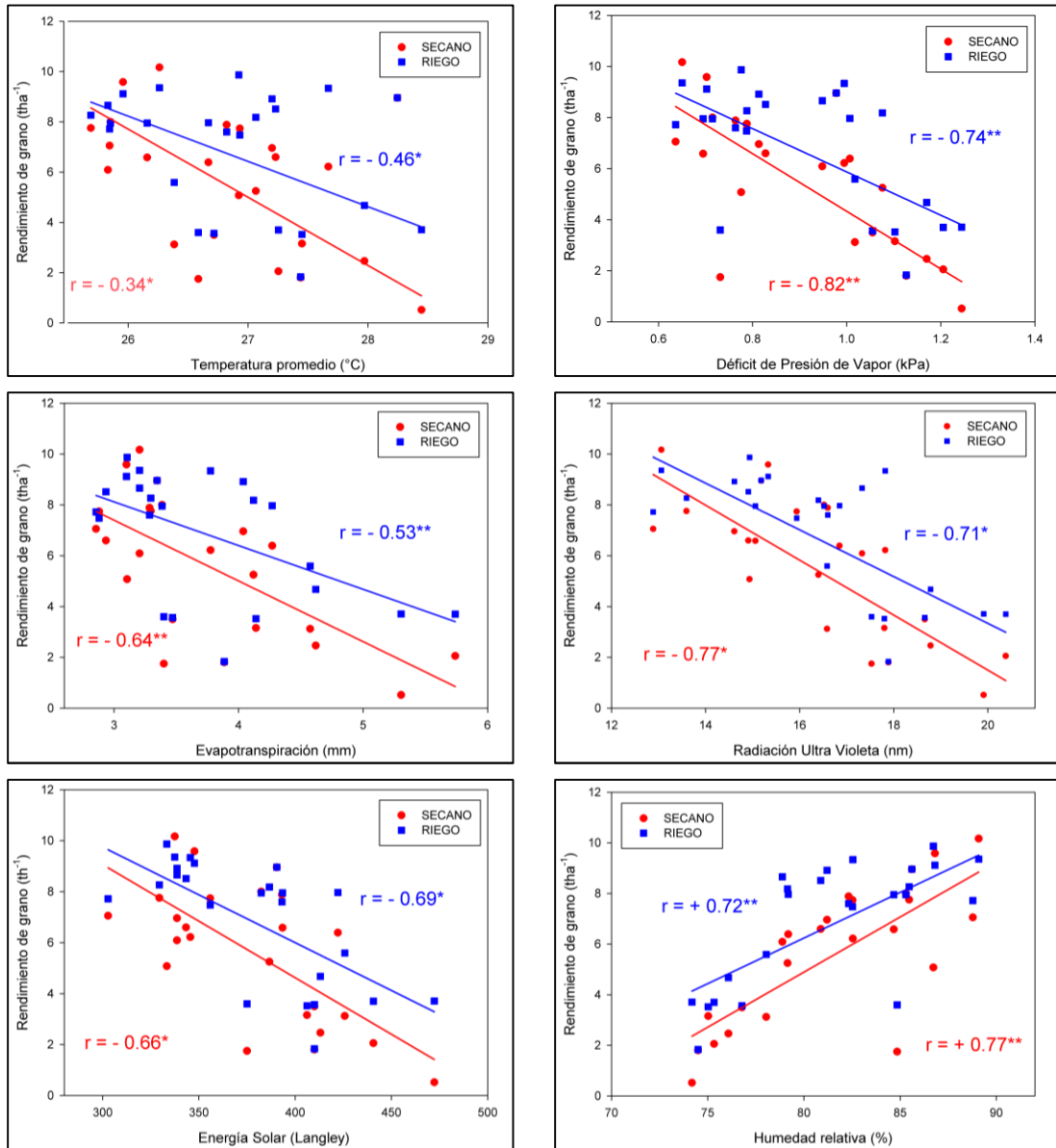


Figura 2. Relación entre el rendimiento de grano y la temperatura promedio en la fase 51 a 80 dds, rendimiento de grano y Déficit de presión de vapor, evapotranspiración potencial, radiación ultravioleta, energía solar y humedad relativa en la fase 81 a 100 dds en el sistema seco y riego suplementario, El Ejido, 2015-2024.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Análisis de Regresión múltiple

Los estadísticos del análisis de regresión múltiple del rendimiento de grano y las distintas variables climáticas en las fases de polinización y llenado de grano (3 fase) y la de secado de grano (fase 4) para los dos sistemas evaluados (secano y riego suplementario) se presentan en el Cuadro 3. Ambos sistemas incluyen a la humedad relativa promedio y VPD en la fase 4. Además de estas dos variables, para el sistema de secano se incluyó a la precipitación pluvial en la fase 3 y la radiación solar promedio en la fase 4. Mientras que en el sistema bajo riego suplementario se incluyeron el VPD en la fase 3 y la precipitación pluvial en la fase 4.

El coeficiente de regresión (R^2) del sistema de secano fue de 0,96, mientras que el del sistema bajo riego suplementario fue de (0,97). En el Cuadro 3 se observa cómo va incrementando el valor del R^2 del modelo al incluirse cada variable. En el modelo para secano se inició con R^2 de 0,85 al incluir la humedad relativa promedio en la fase 4 y termina con 0,96 al incluir la Radiación solar promedio en la fase 4.

La variable VPD es la que presentó el mayor parámetro estimado de valor negativo en ambos sistemas (-10,020 en secano y -11,931 en riego suplementario, lo que indica que a mayor valor de esta variable en el ambiente más se reduce el rendimiento de grano. Hsiao et al. (2019) encontró que el aumento del VPD tuvo un mayor impacto negativo en el rendimiento en comparación con el aumento de las temperaturas. Las temperaturas más cálidas causaron pérdidas de rendimiento de maíz principalmente al acortar la temporada de crecimiento, mientras que una VPD elevado aumentó la pérdida de agua y desencadenó diversas respuestas al estrés hídrico, como la reducción de las tasas fotosintéticas, la disminución del desarrollo del área foliar y la reducción de la duración de la temporada de crecimiento. Por otra parte, Inoue et al. (2021) encontró que una fluctuación drástica del VPD indujo una disminución gradual de la conductancia estomática y, por consiguiente, de la tasa de asimilación de CO_2 durante las mediciones, mientras que una fluctuación moderada del VPD no provocó ninguna reducción de estos parámetros.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 3. Parámetros estimados del procedimiento de regresión múltiple (Stepwise) entre el rendimiento de grano y las variables climáticas en las fases de 51 a 80 y 81 a 100 dds en los sistemas de riego suplementario y seco.

Variable	Fase (dds)	Parámetro estimado	Prob >F	R ² parcial	R ² del modelo	Pr >F
HR	81 a 100	0,095	0,00	0,848	0,85	<,0001
VPD	81 a 100	-10,020	<,0001	0,101	0,95	<,0001
PPT	51 a 80	0,016	0,01	0,005	0,95	0,14
RPR	81 a 100	0,033	0,03	0,010	0,96	0,03
Riego suplementario						
HR	81 a 100	0,180	<,0001	0,917	0,92	<,0001
VPD	81 a 100	-11,931	0,00	0,042	0,96	0,00
PPT	81 a 100	-0,020	0,04	0,005	0,96	0,12
RPR	51 a 80	5,295	0,13	0,004	0,97	0,13

HR = % humedad relativa promedio; VPD = Déficit de presión de vapor, PPT = precipitación pluvial; RPR = Radiación solar promedio.

Por otro lado, al realizar la regresión múltiple del rendimiento de grano con el valor de las variables desde los 51 hasta 100 dds (tercera y cuarta fase) en el sistema de seco, el modelo inicia incluyendo el número de plantas al momento de la cosecha con un R² de 0,84 luego incluye tres variables (precipitación pluvial, VPD y humedad relativa). Por último, saca al número de plantas al momento de la cosecha y el modelo queda con solo las tres variables climáticas, quedando el modelo con un R² de 0,94 (Cuadro 4). En este análisis nuevamente se incluye el VPD como la variable con el mayor impacto negativo en el rendimiento de grano.

En el sistema de riego suplementario (sin estrés hídrico), el modelo solo incluyó dos variables climáticas. La humedad relativa y la energía solar son las variables que están relacionadas con el rendimiento, siendo esta última la que influye de manera negativa en el rendimiento. Estudios previos han demostrado que las plantas desarrolladas bajo alta humedad relativa del aire (HR > 85%) desarrollan estomas defectuosas y, por lo tanto, tienen mayor transpiración y menor tolerancia a la desecación cuando se transfieren a condiciones de HR más bajas y oscuridad (Arve et al., 2017). Se ha encontrado que hay un efecto del VPD en la respuesta de cierre estomático en condiciones de sequía del suelo (Devi & Reddy, 2020). Estos mismos autores encontraron que existe una influencia de la



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

demanda evaporativa en el inicio del cierre estomático del maíz tolerante a la sequía sometido a secado del suelo cuando fueron sometidos a distintos valores de VPD. La sensibilidad del cierre estomático se asoció con el ABA foliar bajo estrés hídrico, pero no bajo condiciones de alta demanda evaporativa, lo que indica mecanismos alternativos de conservación del agua.

Cuadro 4. Parámetros estimados del procedimiento de regresión múltiple (Stepwise) entre el rendimiento de grano y las variables climáticas en la fase 51 a 100 dds en los sistemas de riego y seco.

	Parámetro estimado	Prob>F	R ² parcial	R ² del modelo	Pr >F
Secano					
PTM2			0,844	0,84	<,0001
PPT	0,008	0,07	0,059	0,90	0,00
VPD	-7,974	0,00	0,020	0,92	0,03
HR	0,137	<,0001	0,016	0,94	0,03
PTM2 (Eliminada)			0,003	0,94	0,33
Riego suplementario					
HR	0,223	<,0001	0,913	0,91	<,0001
ESO	-0,032	0,00	0,030	0,94	0,00

PTM2 = Número de plantas al momento de la cosecha; PPT = precipitación pluvial; VPD = Déficit de presión de vapor, HR = % humedad relativa promedio; ESO = Energía solar promedio.

CONCLUSIONES

- Las principales variables climáticas que afectan al maíz son el Déficit de Presión de Vapor y la humedad relativa, radiación solar y la lluvia.
- Las plantas con estrés hídrico son más susceptibles al estrés ambiental causado por otras variables climáticas como el VPD, humedad relativa y radiación solar.
- Las variables en la fase de llenado y secado del grano 81 a 100 dds (4 fase) se correlacionaron con el rendimiento de grano mejor que en la fase de 51 a 80 dds.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

REFERENCIAS

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo- Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO Riego y Drenaje 56. FAO. Roma. ISBN 92-5-304219-2.
- Autoridad Nacional del Ambiente. (2011). *Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático: ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*. - 2a ed.- Panamá. 170 p. <http://unfccc.int/resource/docs/natc/pannc2.pdf>
- Arve, L. A., Opstad-Kruse, O. M., Tanino, K. K., Olsen, J. E., Futsaether, C., & Torre, S. (2017). Daily changes in VPD during leaf development in high air humidity increase the stomatal responsiveness to darkness and dry air. *Journal of Plant Physiology*, 211, 63-69. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.12.011>
- Bheemanahalli, R., Vennam R. R., Ramamoorthy, P., & Reddy, K. R. (2022). Effect of post flowering heat and drought stresses on physiology, yield and quality in maize (*Zea mays* L.). *Plant Stress*, 6, 100106. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100106>
- Dai, A., Zhao, T., & Chen, J. (2018). Climate change and drought: A precipitation and evaporation perspective. *Current Climate Change Reports*, 4(3), 301-312. https://www.researchgate.net/publication/325068305_Climate_Change_and_Drought_a_Precipitation_and_Evaporation_Perspective
- Devi, M. J., & Reddy, V. R. (2020). Stomatal closure response to soil drying at different vapor pressure deficit conditions in maize. *Plant Physiology and Biochemistry*, 154, 714-722. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.07.023>
- Dong, X., Guan, L., Zhang, P., Liu, X., Li, S., Fu, S., Tang, L., Qi, Z., Qiu, Z., Jin, C., Huang, S., & Yang, H. (2021). Responses of maize with different growth periods to heat stress around flowering and early grain filling. *Agricultural and Forest Meteorology*. 303,108378. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108378>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Gordón-Mendoza, R. (2021). *Manual Técnico: El maíz en Panamá: Características, requerimientos y recomendaciones para su producción en ambientes con alta variabilidad climática*. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá. 108 p. <http://www.idiap.gob.pa/download/manual-tecnico-el-maiz-en-panama/?wpdmdl=5371>
- Grossiord, Ch., Buckley, T. N., Cernusak, L. A., Novick, K. A., Poulter, P., Siegwolf, R. T. W., Sperry, J. S., & McDowell, N. G. (2020). Plant responses to rising vapor pressure deficit. *New Phytologist*, 226(6), 1550-1566. <https://doi.org/10.1111/nph.16485>
- Hsiao, J., Swann, A. L. S., & Kim, S. H. (2019). Maize yield under a changing climate: The hidden role of vapor pressure deficit. *Agricultural and Forest Meteorology*, 279, 107692. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107692>
- Inoue, T., Sunaga, M., Ito, M., Yuchen, Q., Matsushima, Y., Sakoda, K., & Yamori, W. (2021). Minimizing VPD fluctuations maintains higher stomatal conductance and photosynthesis resulting in improvement of plant growth in lettuce. *Front plant Sci*. 12, 646144. <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2021.646144/full>
- Lobell, D. B., Hammer, G. L., McLean, G., Messina, C., Roberts, M. J., & Schlenker, W. (2013). The critical role of extreme heat for maize production in the United States. *Nature Climate Change*, 3, 497-501. <https://doi.org/10.1038/nclimate1832>
- López, J., Way, D. A., & Sadok, W. (2021). Systemic effects of rising atmospheric vapor pressure deficit on plant physiology and productivity. *Global Change Biology*, 27, 1704-1720. <https://doi.org/10.1111/gcb.15548>
- Niu, S., Du, X., Wei, D., Liu, S., Tang, Q., Bian, D., Zhang, Y., Cui, Y., & Gao, Z. (2021). Heat stress after pollinization reduces kernel number in maize by insufficient assimilates. *Front. Genet.*, 12, 728166. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.728166>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Ruane, A. C., DeWayne, C.L., Horton, R. M., Gordón, R., McCollum, R., Brown, D., Killough, B., Goldberg, R., Greeley, A. P., & Rosenzweig, C. (2013). Climate change impact uncertainties for maize in Panama: Farm information, climate projections, and yield sensitivities. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170, 132-145.

<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.10.015>

Sanginés de, C. P., Vitasse, Y., Jassey, V. E. J. Butler, A., & Signarbieux, C. (2017). Vapor pressure deficit and extreme climatic variables limit tree growth. *Global Change Biology*, 24, 1108-1122. <https://doi.org/10.1111/gcb.13973>

Tong, B., Guo, J., Xu, H., Wang, Y., Li, H., Bian, L., Zhang, J., & Zou, S. (2022). Effects of soil moisture, net radiation, and atmospheric vapor pressure deficit on surface evaporation fraction at a semi-arid grass site. *Science of the total environment*, 849, 157890. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157890>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

III. EFECTO DE LAS FECHAS DE SIEMBRA EN LA INCIDENCIA DE LA POLINIZACIÓN EN EL MAÍZ¹

*Román Gordón-Mendoza²; Jorge E. Franco-Barrera³; Francisco P. Ramos-Manzané⁴;
Jorge I. Núñez-Cano⁵; Ana E. Sáez-Cigarruista⁶*

RESUMEN

El estudio se desarrolló en la Estación Experimental del IDIAP en El Ejido-Los Santos. Localizada entre los 7°54' de latitud Norte y 80°22' longitud Oeste, a unos 25 msnm. La unidad experimental constó de seis surcos de 5,2 m de largo, con un arreglo de 0,75 m entre surcos y 0,20 m entre plantas. La parcela efectiva fue los dos surcos centrales de cada unidad experimental. Se evaluaron dos híbridos de maíz y dos sistemas uno en secano y otro en riego por goteo suplementario, dependiente de las lluvias de la temporada. Se realizó la siembra en tres fechas distintas (agosto, septiembre y octubre) separadas 20 días entre las mismas, para que el desarrollo de las plantas estuviera sometido a distintas condiciones ambientales y de lluvia. El objetivo del estudio fue determinar la variable climática que más influye en el rendimiento de grano. El síntoma que más impactó en la baja del rendimiento fue la incidencia del Diente de Perro (DPE) o mazorcas con deficiente polinización. La incidencia o porcentaje de esta variable en parcelas con riego suplementario pasó de 3,0 y 5,3% en agosto y septiembre a 51,5% en la siembra de octubre, lo que representa una reducción de 54,5% del rendimiento en la siembra de octubre. Este efecto es más marcado en las siembras en secano el que presenta un 2,6 y 8,8% en agosto y septiembre a 61,0% de mazorcas con el síntoma de DPE en la siembra en secano en octubre, con una reducción del 69,2% del rendimiento. En ambos sistemas se encontraron las mismas variables que afectan las floraciones masculinas y femeninas en el período de los 15 días después de la floración. El déficit de presión de vapor (VPD) fue la variable que influye más en el aumento de la incidencia de las mazorcas con DPE tanto en la floración masculina ($r > 0,70$) como femenina ($r > 0,80$).

Palabras clave: Mazorcas con mala polinización, VPD, Diente de Perro, estrés hídrico.

¹Recepción: 27 de agosto de 2025. Aceptación: 17 de octubre de 2025.

²Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Centro de Innovación Agropecuaria de Azuero "Ing. Germán De León" (CIA-Azuero), Los Santos, Panamá. e-mail: gordon.roman@gmail.com;

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8433-2357>

³IDIAP, CIA-Azuero, Panamá. M.Sc. Ambiente. e-mail: joenfra13@gmail.com;

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0000-0247-411X>

⁴IDIAP, CIA-Azuero, Panamá. e-mail: franciscoramos2016@gmail.com;

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0003-3203-3069>

⁵IDIAP, CIA-Azuero, Panamá. PhD. Nutrición Mineral e-mail: jorgenunezcano@gmail.com;

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0005-3417-4791>

⁶IDIAP, CIA-Azuero, Panamá. PhD. Ecofisiología Vegetal. e-mail: ansacig@gmail.com;

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4901-7263>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

III. EFFECT OF PLANTING DATES ON POLLINATION INCIDENCE IN MAIZE

ABSTRACT

The study was conducted at the IDIAP Experimental Station in El Ejido-Los Santos, located at 7°54' N latitude and 80°22' W longitude, at approximately 25 m above sea level. The experimental unit consisted of six rows, each 5.2 m long, arranged at 0.75 m between rows and 0.20 m between plants. The effective plot comprised the two central rows of each experimental unit. Two maize hybrids and two production systems-rainfed and supplemental drip irrigation dependent on seasonal rainfall-were evaluated. Sowing was carried out on three different dates (August, September, and October), spaced 20 days apart, so that plant development occurred under contrasting environmental and rainfall conditions. The objective of the study was to identify the climatic variable that most strongly influences grain yield. The symptom with the most significant impact on yield reduction was the incidence of "Diente de Perro" (DPE), or poorly pollinated ears. In plots with supplemental irrigation, DPE incidence increased from 3.0% and 5.3% in August and September to 51.5% in the October sowing, corresponding to a 54.5% yield reduction in October. This effect was even more pronounced under rainfed conditions: DPE incidence rose from 2.6% and 8.8% in August and September to 61.0% in the October sowing, resulting in a 69.2% yield reduction. In both systems, the same environmental factors affected male and female flowering during the 15-day post-silking period. Vapor pressure deficit (VPD) was the climatic variable that most strongly influenced the increase in DPE incidence, showing high correlations with both tassel flowering ($r > 0.70$) and silk flowering ($r > 0.80$).

Key words: Poor pollination, VPD, Diente de Perro, water stress.

INTRODUCCIÓN

La formación de la mazorca, así como el número de mazorcas por planta y el número de granos por mazorca, es decir, la fracción cosechable de la biomasa se determina en la fase reproductiva. Como el maíz produce las flores masculinas en la inflorescencia terminal (espiga) y las flores femeninas en las axilas laterales (mazorcas), existe una distancia entre ambas, por lo que el polen debe viajar más de un metro para fecundar los estigmas. Además, existe un período que va de 1 a 2 días, entre la emisión del polen (anthesis) y la salida de los estigmas en la floración (barbeo), conocido ASI por sus siglas en inglés (Anthesis Siliking Interval). Ambos aspectos, hacen que la polinización



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

y la producción de granos sea una fase extremadamente sensitiva al estrés ambiental causado por distintas variables climáticas (Bolaños & Barreto, 1991; Bolaños & Edmeades, 1993c). Lizaso et al. (2018) indicaron que el rendimiento de grano de maíz se reduce bajo estrés por calor, principalmente a través de la viabilidad del polen que a su vez determina el número de granos; aunque también se ha detectado un efecto menor pero significativo del componente femenino. Los problemas de polinización del maíz, que resultan en mazorcas mal llenas o mazorcas estériles, pueden deberse a diversos factores ambientales y de manejo. Las altas temperaturas, la sequía y el daño de los insectos pueden interferir con la viabilidad del polen, la aparición de los estigmas y la polinización, lo que lleva a una reducción de los rendimientos.

El mal llenado de la mazorca por la baja tasa de disponibilidad de polen, se atribuye principalmente a varios factores ambientales, a la sequía y las altas temperaturas al momento de la floración según Aylor, 2004; Schoper et al., 1986; Herrero & Johnson, 1980, baja humedad relativa del ambiente al momento de la polinización (Aylor, 2003). El Déficit de Presión de Vapor (VPD) es otra variable a considerar en la pérdida de viabilidad del polen (Fonseca y Westgate, 2005; Aylor, 2004). A estos factores ambientales, se le suma el exceso de lluvias al momento de la liberación del polen, la cual puede afectar la distribución de este; causando también mal llenado de la mazorca. En el caso de este experimento, el causante del mal llenado; fue el ambiente seco con alto VPD, baja humedad relativa y alta radiación solar tuvieron presentes al momento de la polinización en la siembra de octubre, más no así, en las de agosto y septiembre.

El estrés abiótico, como el calor, la sequía, el frío, las inundaciones y la salinidad, afecta negativamente la productividad de los cultivos. Diversas etapas del desarrollo reproductivo son especialmente sensibles al estrés ambiental, lo que puede provocar esterilidad total y graves pérdidas de rendimiento (Begcy & Dresselhaus, 2018). El estrés térmico es una limitación importante para la producción actual y futura de maíz a escala global. Tanto los órganos reproductivos masculinos como femeninos desempeñan un papel importante en el aumento de la producción de semillas bajo estrés térmico durante la floración, pero sus contribuciones relativas a la producción de semillas no están claras (Dong et al., 2024). Existe una fuerte interacción de la temperatura con el déficit de presión



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

de vapor (VPD), se ha demostrado que la viabilidad del polen disminuye al disminuir el contenido de humedad producto del aumento de la temperatura y VPD. Está pérdida de la viabilidad ocurre en el tiempo de movimiento del polen desde la panoja a los estigmas de la mazorca (Fonseca & Westgate, 2005). Estos resultados sugieren que a medida que aumenta la temperatura y aumenta el VPD, es más probable que la polinización pudiera sufrir interrupciones, especialmente con la posibilidad de eventos de temperatura más extremas. Cuantificar el impacto de los episodios de temperaturas extremas sobre la viabilidad del polen y la interrupción de los procesos reproductivos será más importante con la proyección de que los eventos de temperaturas extremas aumentarán con el cambio climático (Tebaldi et al., 2006). Estos rangos de temperatura y el potencial de eventos extremos serán importantes para el crecimiento y la producción de maíz, debido a la proyección de que las temperaturas aumentarán en el futuro (Hatfield & Dold, 2018). Traore et al. (2000), encontraron que el índice de cosecha se vio afectado por este déficit solo cuando se impuso estrés durante la antesis. Este efecto ha sido estudiado y se ha demostrado que está estrechamente relacionado con las épocas de siembra (Lauer et al., 1999; Norwood, 2001). El objetivo del estudio fue determinar la variable climática que más influye en el rendimiento de grano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en la Estación Experimental del IDIAP en El Ejido-Los Santos. Localizada entre los 7°54' de latitud Norte y 80°22' longitud Oeste, a unos 25 metros sobre el nivel del mar. El manejo agronómico en cuanto a control de maleza y fertilización se realizó según la tecnología generada por el IDIAP (Gordón-Mendoza, 2021).

La unidad experimental constó de seis surcos de 5,2 m de largo, con un arreglo de 0,75 m entre surcos y 0,20 m entre plantas. La parcela efectiva fueron los dos surcos centrales de cada unidad experimental. El diseño utilizado fue el de Bloques completos al azar con 3 repeticiones. Se evaluaron tres factores en un arreglo Factorial en Fajas dobles 3 x 3 x 2. Se realizó la siembra en tres fechas distintas (agosto, septiembre y octubre) separadas 20 días entre las mismas. Se evaluaron dos híbridos de maíz y dos sistemas uno con riego por goteo suplementario, y seco dependiente de las lluvias de la temporada.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

El sistema de riego suplementario se utilizó para mantener las parcelas a capacidad de campo (de acuerdo con monitoreos con tensiómetros ubicados en las parcelas) y así garantizar que las plantas no pasaran por estrés debido a la precipitación pluvial errática que se presentaba en cada período o fecha de siembra a través de los años que duró la investigación. Por otro lado, las parcelas de secano sometieron a las plantas al estrés natural de falta de lluvias de cada fecha de siembra a través de los años. Se midieron las variables más comunes en el cultivo como lo son: Floración masculina y femenina, rendimiento de grano, porcentaje de humedad, número de plantas y mazorcas cosechadas, número de mazorcas con polinización deficiente o diente de perro (DPE) (Figura 1). Se realizó un análisis de correlación y regresión entre el rendimiento y los porcentajes de mazorcas con deficiente polinización de cada siembra en las distintas fechas de siembra a través de los años que duró el estudio.

Las variables climáticas se obtuvieron de una estación meteorológica portátil tipo Davis®, ubicada a menos de 100 m lineales de la parcela experimental. Se midió la precipitación pluvial, temperatura máxima y mínima del aire, porcentaje de humedad relativa máxima y mínima, radiación solar, radiación ultravioleta, energía solar. Se calculó la evapotranspiración potencial de acuerdo con la ecuación de Penman Monteith y el déficit de presión de vapor (VPD) de acuerdo con Allen et al., 2006.

Los datos climáticos como temperatura promedio, temperatura máxima, radiación solar, energía solar, humedad relativa promedio, radiación ultravioleta, evapotranspiración potencial y déficit de presión de vapor se promediaron o sumaron 5, 10 y 15 días después de la floración masculina y femenina. Luego cada valor se correlacionó con el porcentaje de mazorcas con mala polinización (diente de perro) tanto en las parcelas con riego suplementario como en secano. Posteriormente se procedió a realizar una regresión múltiple entre el rendimiento de grano por sistema y las distintas variables climáticas a través del procedimiento Stepwise de SAS para estimar el efecto que tienen estas sobre el rendimiento.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



Figura 1. Mazorcas con mala o deficiente polinización, denominadas Diente de Perro (DPE).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento de grano en el sistema de secano osciló entre 1,75 a 10,17 t.ha⁻¹ mientras que en las parcelas con riego suplementario oscilaron entre 1,84 a 9,36 t.ha⁻¹ (Cuadro 1). Con relación a la mazorca con DPE en secano y riego suplementario los porcentajes máximos por sistemas fueron de 97,6% y 72,7%, respectivamente, variando a través de los años. El rendimiento de grano según las fechas de siembra de agosto y septiembre superaron al rendimiento de las siembras en octubre tanto en el sistema de secano (8,28, 6,86 y 2,55 t.ha⁻¹) como con riego suplementario (8,31, 8,52 y 3,78 t.ha⁻¹). En estas mismas fechas de siembra el porcentaje de mazorcas DPE fue bajo en las primeras dos fechas de ambos sistemas (menor de 10%) y aumentó en octubre tanto en secano (61,0%) como en riego suplementario (51,5%).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 1. Rendimiento de grano y otras características agronómicas por sistema a través de años El Ejido, 2016-2022.

Año	Fecha Siembra	Secano					Riego suplementario				
		Rend (t.ha ⁻¹)	DPE (%)	Ptm2	Mzm2	Alpt (cm)	Rend (t.ha ⁻¹)	DPE (%)	Ptm2	Mzm2	Alpt (cm)
2016	Ago	7,05	0,0	5,83	5,73	232	7,72	0,0	6,43	6,20	243
	Sep	7,76	1,8	6,60	6,37	258	8,27	1,8	6,56	6,35	270
	Oct	3,12	50,6	6,35	5,94	221	5,59	27,2	6,20	5,77	234
2017	Ago	10,17	0,0	6,56	6,65	272	9,36	0,0	6,50	6,26	273
	Sep	8,00	3,5	6,18	6,20	233	7,95	7,3	6,58	6,05	261
	Oct	1,75	97,6	6,00	5,13	219	3,60	72,7	6,65	5,94	241
2018	Ago	9,58	4,8	7,01	6,73	236	9,12	5,7	6,58	6,49	247
	Sep	6,39	3,7	6,54	5,94	228	7,97	3,0	6,75	6,18	238
	Oct	2,06	61,0	6,50	5,47	233	3,70	51,1	6,60	5,96	244
2019	Ago	7,88	2,4	6,45	6,35	232	7,60	2,6	6,13	5,73	227
	Sep	6,60	16,3	5,90	5,36	228	8,51	6,9	6,18	5,58	240
	Oct	1,81	56,6	6,67	6,07	214	1,84	46,2	6,71	5,94	220
2020	Ago	7,74	7,5	6,07	5,79	248	7,48	6,8	6,30	5,79	252
	Sep	6,96	10,9	6,13	6,05	233	8,92	3,4	6,58	6,28	252
	Oct	3,15	70,9	6,60	6,32	239	3,52	54,9	6,45	5,88	237
2021	Ago	8,95	1,3	6,92	6,84	226	8,96	1,7	6,77	6,69	235
	Sep	6,22	5,7	5,85	5,45	220	9,34	4,7	6,56	6,39	233
	Oct	2,47	66,5	3,44	2,97	175	4,68	62,9	6,11	4,32	214
2022	Ago	6,58	2,3	6,62	6,47	230	7,95	4,0	6,50	6,50	237
	Sep	6,09	20,1	5,73	5,22	216	8,66	9,9	6,61	6,37	253
	Oct	3,50	24,0	6,67	6,30	175	3,56	45,4	6,13	6,03	214
	Agosto	8,28	2,6	6,50	6,36	239	8,31	3,0	6,46	6,24	245
	Septiembre	6,86	8,8	6,13	5,80	231	8,52	5,3	6,54	6,17	250
	Octubre	2,55	61,0	6,03	5,46	211	3,78	51,5	6,41	5,69	229
	Promedio	5,90	24,2	6,22	5,87	227	6,87	19,9	6,47	6,03	241

Rend = Rendimiento de grao, DPE = Diente de perro, Ptm2 = plantas/m², Mzm2 = mazorcas/m², Alpt = Altura de planta

Relación entre el rendimiento de grano y % mazorcas con DPE

El estrés hídrico puede retrasar la emergencia de los estigmas hasta que la liberación de polen esté casi terminada o completamente terminada. Durante períodos de altas temperaturas, baja humedad relativa y un nivel inadecuado de humedad del suelo, los estigmas expuestos pueden secarse y volverse no receptivos a la germinación del polen (Lauer, 2006).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

El análisis de correlación del rendimiento de grano en los sistemas de secano y riego suplementario con los porcentajes de mazorcas con DPE presentaron un coeficiente de correlación de -0,89 y -0,91, respectivamente. De todas las variables asociadas medidas a la planta éstas fueron las que explicaron con más precisión la reducción del rendimiento en ambos sistemas. La Figura 2 muestra la ecuación de regresión de ambos sistemas, indicando la relación negativa de esta característica (DPE) con el rendimiento de grano.

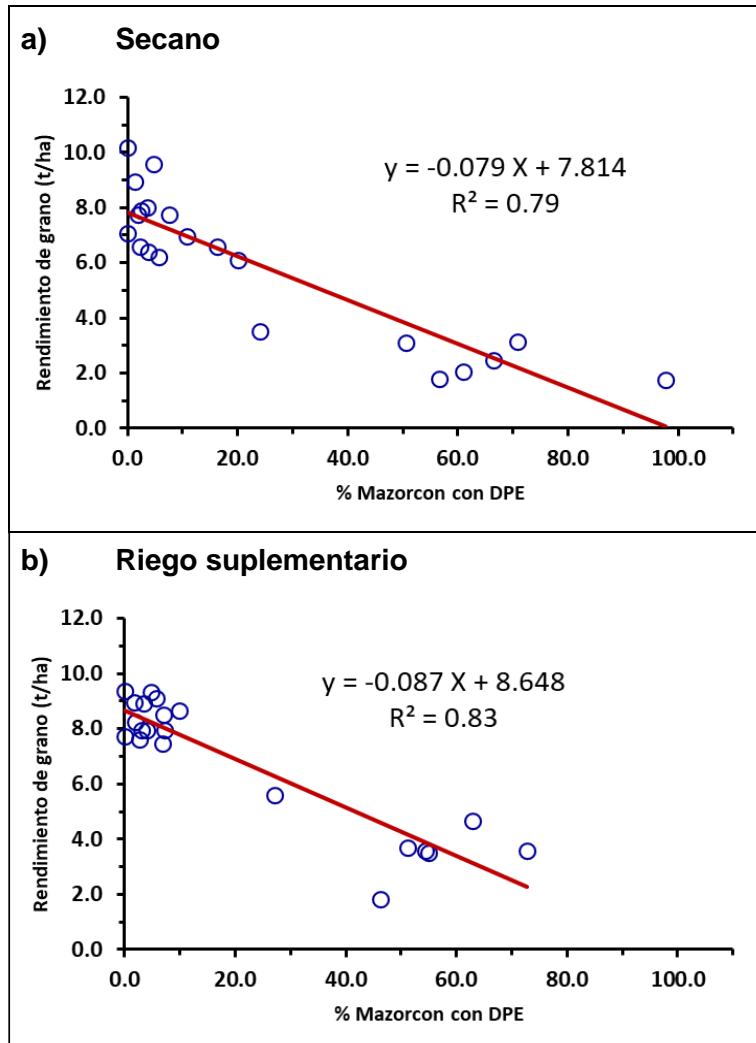


Figura 2. Relación entre el rendimiento de grano y el porcentaje de mazorcas con polinización deficiente bajo los sistemas de secano (a) y riego suplementario (b) El Ejido, 2013-2022.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

La pendiente de la regresión lineal de ambas ecuaciones es parecida, aunque ligeramente menor en el sistema de riego suplementario. Esto sugiere que las plantas en seco al estar estresada por la baja humedad del suelo se afectan más que las plantas que no sufren estrés hídrico por la falta de humedad del suelo en ninguna etapa de su desarrollo.

Relación entre el % mazorcas con DPE y las variables climáticas:

La floración y el llenado de grano son dos fases críticas para la determinación del rendimiento de grano (Ndlovu et al., 2021). Estreses en la fase de floración afectan la polinización y los componentes asociados a la biomasa, resultando en reducción del rendimiento de grano (Oury et al., 2016). En el Cuadro 2 se presentan los coeficientes de correlación lineal de Pearson entre el porcentaje de mazorcas con DPE y las distintas variables climáticas en tres períodos (5, 10 y 15 días) después de la floración (DDF) masculina y femenina. En general, las variables climáticas en el período de los 15 días después de ambas floraciones presentaron los coeficientes más altos en ambos sistemas. Por otro lado, Wang et al. (2021), encontraron que el período más sensible con el estrés térmico los cinco días después de la anthesis como función de la reducción del número de granos de polen más que con la viabilidad de este. Lizaso et al. (2018) encontraron que el rendimiento de grano de maíz se reduce bajo estrés térmico principalmente a través de la viabilidad del polen que a su vez determina el número de granos, aunque también se detectó un efecto más pequeño pero significativo del componente femenino. La etapa de anthesis consiste en el desarrollo de los órganos reproductivos, la polinización y la fertilización, y la diferenciación temprana de los granos, que es una etapa típicamente sensible al calor y otros factores de estrés abióticos (Gupta et al., 2015).

En el sistema seco el aumento de la precipitación pluvial acumulada en los 15 DDF femenina reduce la incidencia de mazorcas con DPE (-0,56) mientras que el VPD acumulado en ese mismo período aumenta la incidencia de DPE (0,78). Estas mismas dos variables (lluvia y VPD) tuvieron el mismo efecto en las parcelas con riego suplementario ($r = -0,57$ y $0,84$, respectivamente). Con respecto al período de 15 DDF de la floración masculina, el VPD explicó el 0,71 en parcelas en seco y 0,80 en las parcelas con riego suplementario del aumento del % de mazorcas DPE. La liberación de polen, la polinización, el crecimiento del tubo polínico y la formación temprana del grano en el período



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

inmediatamente posterior a la estigmatización son más sensibles al estrés térmico en el maíz (Wang et al., 2021).

Cuadro 2. Coeficientes de correlación lineal de Pearson de la relación del porcentaje de mazorcas con DPE y las distintas variables climáticas a los 5, 10 y 15 días después de la floración masculina y femenina en dos sistemas de estrés hídrico.

Variables climáticas	SECANO						RIEGO SUPLEMENTARIO					
	F MASCULINA			F FEMENINA			F MASCULINA			F FEMENINA		
	5 DDF	10 DDF	15 DDF	5 DDF	10 DDF	15 DDF	5 DDF	10 DDF	15 DDF	5 DDF	10 DDF	15 DDF
PPT	-0,19	-0,29	-0,51	-0,17	-0,36	-0,56	-0,18	-0,29	-0,53	-0,20	-0,39	-0,57
T Prom	0,16	0,13	0,18	0,13	0,13	0,24	0,17	0,15	0,27	0,15	0,16	0,26
T Max	-0,09	-0,10	-0,03	-0,15	-0,08	0,00	0,00	0,00	0,07	-0,05	0,01	0,08
HR	-0,14	0,13	-0,47	-0,16	-0,26	-0,54	-0,24	0,08	-0,56	-0,24	-0,37	-0,55
R Max	-0,44	-0,51	-0,48	-0,51	-0,44	-0,40	-0,45	-0,55	-0,56	-0,53	-0,50	-0,46
SEN	-0,34	-0,53	-0,18	-0,02	-0,17	0,22	-0,30	-0,55	-0,22	0,10	-0,13	0,21
Eto	-0,08	-0,13	0,17	0,05	-0,03	0,27	-0,08	-0,13	0,09	0,09	0,05	0,35
UV	0,03	-0,08	0,04	0,06	0,15	0,38	0,20	0,03	0,36	0,03	0,17	0,45
VPD	-0,04	-0,02	0,71	0,02	0,09	0,78	0,07	0,10	0,80	0,11	0,19	0,84

PPT = Precipitación pluvial, TProm = Temperatura promedio, T Max = Temperatura máxima, HR = Humedad relativa promedio, RMax = Radiación solar máxima, SEN = Energía solar, Eto = Evapotranspiración potencial, UV = Radiación ultravioleta, VPD = Déficit de Presión de Vapor.

Tanto la liberación del polen como la receptividad de los estigmas del maíz se encuentran demarcadas a un corto período de tiempo. La liberación del polen ocurre exclusivamente durante las horas de luz, en especial durante la mañana hasta antes del mediodía. La receptividad de los estigmas decae rápidamente después de los siete días de su aparición, siendo nula a los 14 días de su emergencia (Garay & Cruz, 2015).

En ambos tipos de floración (femenina y masculina) las pendientes de las líneas de regresión son más pronunciadas en el sistema de siembra de secano (Figura 3), encontrando mayor porcentaje de mazorcas con DPE, lo que sugiere que una planta estresada por déficit hídrico se ve más afectada por las condiciones climáticas del ambiente. Bheemanahalli et al. (2022), encontraron que la germinación del polen disminuyó más cuando las plantas estuvieron sometidas por estrés hídrico y de temperatura que cuando fueron sometidas a un solo estrés o estreses separados. Zhou et al. (2017) informa



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

que las respuestas de estrés hídrico y temperatura combinados pueden ser únicos con respecto a los estreses individuales.

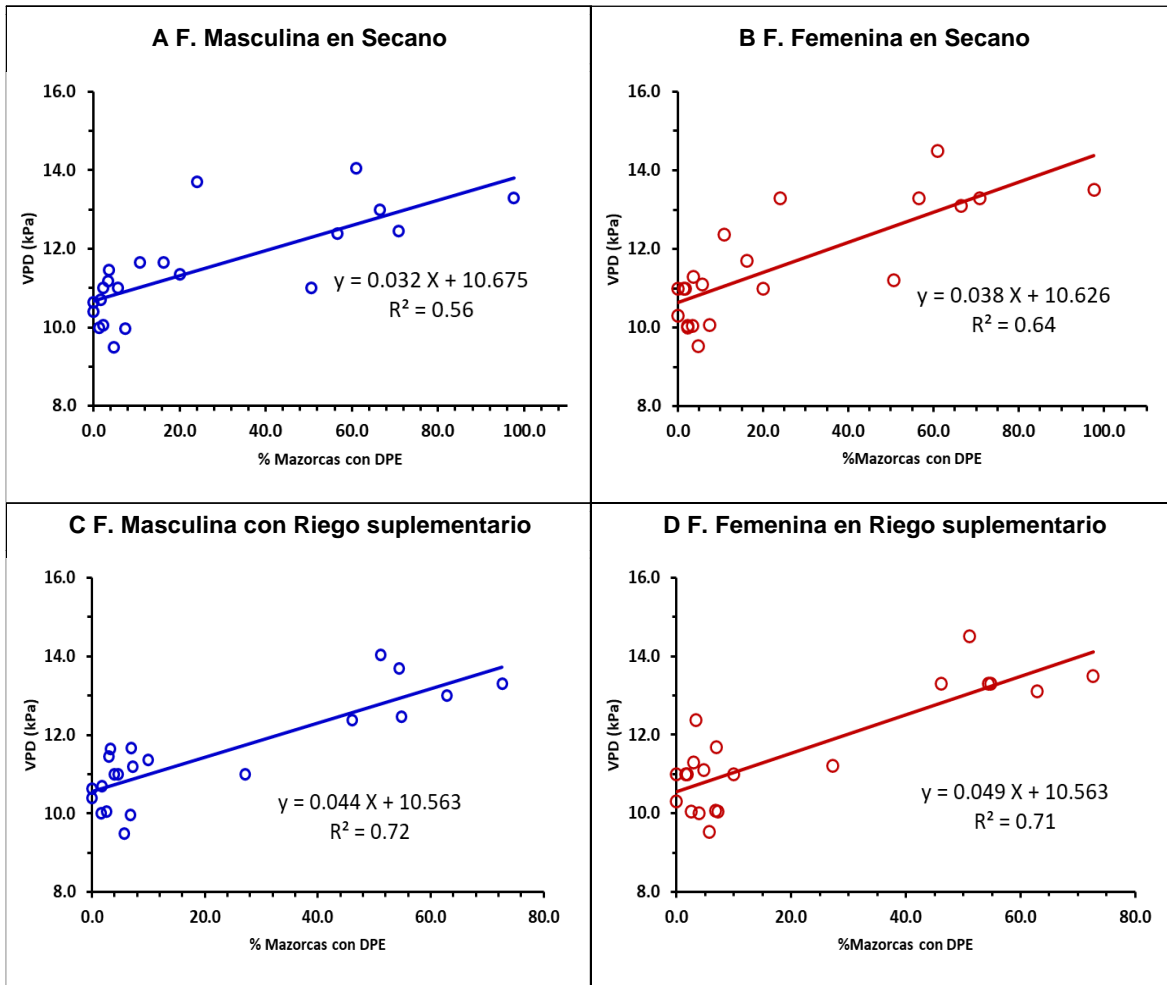


Figura 3. Relación entre el porcentaje de mazorcas con DPE y el VPD en los 15 días después de la floración masculina (A) y femenina (B) en las siembras en seco y floración masculina (C) y femenina (D) en las siembras con riego suplementario.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Análisis de Regresión múltiple

Los estadísticos del análisis de regresión múltiple del porcentaje de mazorcas con DPE y las distintas variables climáticas en el período de 15 DDF femenina y masculina para los dos sistemas evaluados (secano y riego suplementario) se presentan en el Cuadro 3. El coeficiente de regresión de los cuatro modelos fue superior a 0,85, alcanzando los mayores valores en el sistema con riego suplementario ($R^2 = 0,91$).

En ambos sistemas se encontraron casi las mismas variables que afectan las floraciones en el período de los 15 días DDF. El VPD sigue siendo la variable que influye más en el aumento de la incidencia de las mazorcas con DPE; en los cuatro modelos es la variable con mayor parámetro estimado (> 23) y a su vez es altamente significativo. La radiación promedio reduce la incidencia de las mazorcas con DPE y su incidencia favorable es mayor en la floración femenina que en la masculina. Por otra parte, la Energía solar afecta en el periodo posterior a la floración femenina incrementando la incidencia de DPE. Dong et al. (2024) indican que el VPD, que es una medida de la sequedad atmosférica, puede afectar significativamente la polinización y el rendimiento del maíz. La VPD elevada, a menudo asociada con altas temperaturas y baja humedad, puede provocar una reducción de la viabilidad del polen, una mala emergencia de los estigmas y, en última instancia, una menor formación de granos.

Estudios realizados por Dong et al. (2024) encontraron que el rendimiento de grano se correlacionó significativamente de forma negativa con los valores de temperatura máxima y promedio, horas de sol y VPD durante los 15 días que enmarcan la etapa de floración femenina. En este estudio el VPD tuvo la mayor importancia para la variación del conjunto de semillas seguido de la temperatura promedio y la lluvia. Por otra parte, Turc et al. (2016) indican que altos valores de VPD inducidos por el estrés debido a la sequía pueden inhibir el crecimiento de los estigmas los cuales reducen la emergencia de estos y de esta forma afectando la polinización.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 3. Parámetros estimados del procedimiento de regresión múltiple (Stepwise) entre el porcentaje de mazorcas con DPE y las variables climáticas acumuladas en la fase de 15 DDF femenina y masculina en los sistemas de secano y riego suplementario, El Ejido, 2016 -2022.

Floración	Variables	Parámetro estimado	Prob >F	R ² parcial	R ² del modelo	Pr >F
		Secano				
Masculina	VPD	27,95	0,001	0,50	0,50	0,002
	RPR	-1,64	0,001	0,36	0,86	0,001
Femenina	VPD	27,42	0,001	0,52	0,52	0,002
	RPR	-10,07	0,054	0,32	0,84	0,001
	SEN	4,11	0,097	0,03	0,88	0,097
Riego suplementario						
Masculina	VPD	26,40	0,003	0,48	0,48	0,003
	RPR	-1,00	0,001	0,41	0,88	0,001
	TMax	-3,33	0,093	0,03	0,91	0,093
Femenina	VPD	23,86	0,001	0,49	0,49	0,003
	RPR	-10,63	0,007	0,36	0,86	0,001
	SEN	4,47	0,015	0,06	0,91	0,015

VPD = Déficit de presión de vapor, PPT = precipitación pluvial; RPR = Radiación solar promedio, SEN = Energía solar, TMax = Temperatura máxima.

CONCLUSIONES

- El Déficit de presión de vapor (VPD) y la radiación solar son las variables climáticas que mejor explicaron la incidencia de mazorcas con mala polinización.
- La incidencia de las mazorcas con mala polinización o presencia del Diente de Perro (DPE) está altamente correlacionada con el rendimiento de grano.
- La etapa de floración en el cultivo de maíz es muy sensible a las condiciones climáticas del ambiente, siendo los 15 días después de la antesis y el barbeo la que mejor explicaron la incidencia de las mazorcas con mala polinización.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

REFERENCIAS

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo- Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO Riego y Drenaje 56. FAO. Roma. ISBN 92-5-304219-2.
- Aylor, D. E. (2004). Survival of maize (*Zea mays*) pollen exposed in the atmosphere. *Agricultural and Forest Meteorology*, 123,125-133.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.12.007>
- Aylor, D. E. (2003). Rate of dehydration of corn (*Zea mays*) pollen in the air. *Journal of experimental Botany*, 54(391), 2307-2312. <https://doi.org/10.1093/jxb/erg242>
- Begcy, K., & Dresselhaus, T. (2018). Epigenetic responses to abiotic stresses during reproductive development in cereals. *Plant Reprod.* 31, 343-355.
<https://doi.org/10.1007/s00497-018-0343-4>
- Bheemanahalli, R., Ramamoorthy, P., Poudel, S., Samiappan, S., Wijewardane, N., & Reddy, K. R. (2022). Effect of drought and heat stresses during reproductive stage on pollen germination, yield and leaf reflectance properties in maize (*Zea mays*). *Plant Direct* 6(8), e434. <https://doi.org/10.1002/pld3.434>
- Dong, X., Li, B., Yan, Z., Guan, L., Huang, S., Li, S., Qi, Z., Tang, L., Tian, H., Fu, Z., & Yang, H. (2024). Impacts of high temperature, relative air humidity, and vapor pressure deficit on the seed set of contrasting maize genotypes during flowering. *Journal of Integrative Agriculture*, 23(9), 2955-2969.
<https://doi.org/10.1016/j.jia.2023.09.007>
- Fonseca, A. E., & Westgate, M. E. (2005). Relationship between desiccation and viability of maize pollen. *Field Crops Research*, 94(2-3), 114-125.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.12.001>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Garay, J. A., & Cruz-Colazo, J. (2015). El cultivo de maíz en San Luis. *Información Técnica* 188.

Gordón-Mendoza, R. (2021) El maíz en Panamá: Características, requerimientos y recomendaciones para su producción en ambientes con alta variabilidad climática. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá. 110p.

[https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/manual tecnico el maiz en pana ma.pdf](https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/manual_tecnico_el_maiz_en_pana_ma.pdf)

Gupta, S. K., Rai, K. N., Singh, P., Ameta, V. L., Gupta, S., Jayalekha, K., Mahala, R. S., Pareek, S., Swami, M. L., & Verma, Y. S. (2015), Seed set variability under high temperatures during flowering period in pearl millet (*Pennisetum glaucum* L. (R.) Br.). *Field Crops Research*, 171, 41-53. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.11.005>

Hatfield, J. L., & Dold, C. (2018). Climate change impacts on corn phenology and productivity. In: Amanullah, Fahad, S., editors. *Corn Production and Human Health in Changing Climate*. London, UK: *IntechOpen*. Chapter, 6, 95-114.

<http://doi.org/10.5772/intechopen.76933>

Herrero, M. P., & Johnson, R. R. (1980). High Temperature Stress and Pollen Viability of Maize. *Crop Science*, 20(6), 796.

<https://doi.org/10.2135/cropsci1980.0011183X002000060030x>

Lauer, J. G., Carter, P. R., Wood, T. M., Diezel, G., Wiersma, D. W., Rand, R. E., & Mlynarek, M. J. (1999). Corn Hybrid Response to Planting Date in the Northern Corn Belt. *Agronomy Journal*, 91, 834-839. <https://doi.org/10.2134/agronj1999.915834x>

Lauer, J. G. (2006). Concerns about drought as corn pollination begins. University of Wisconsin Agronomy Department. *Field Crops*, 28, 493-42.

<https://corn.agronomy.wisc.edu/AA/pdfs/A042.pdf>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Lizaso, J. I., Ruiz Ramos, M., Rodríguez, L., Gabaldon Leal, C., Oliveira, J. A., Lorite, I. J., & Rodríguez, A. (2018). Impact of high temperatures in maize: Phenology and yield components. *Field Crops Research*, 216, 129-140.

<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.11.013>

Ndlovu, E., van Staden, J., & Maphosa, M. (2021). Morpho-physiological effects of moisture, heat and combined stresses on *Sorghum bicolor* [Moench (L.)] and its acclimation mechanisms. *Plant Stress*, 2, 100018. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100018>

Norwood, C. A. (2001). Planting Date, Hybrid Maturity, and Plant Population Effects on Soil Water Depletion, Water Use, and Yield of Dryland Corn. *Agronomy Journal*, 93(5), 1034-1042. <https://doi.org/10.2134/agronj2001.9351034x>

Oury, V., Caldeira, C. F., Prodhomme, D., Pichon, J. P., Gibon, Y., Tardieu, F., & Turc, O. (2016). Is change in ovary carbon status a cause or a consequence of maize ovary abortion in water deficit during flowering? *Plant Physiology*, 171(2), 997-1008.

<https://doi.org/10.1104/pp.15.01130>

Schooper, J. B., Lambert, R. J., & Vasilas, B.L. (1986). Maize Pollen Viability and Ear Receptivity under Water and High Temperature Stress1. *Crop Science*, 26(5), 1029.

<https://doi.org/10.2135/cropsci1986.0011183X002600050038x>

Tebaldi, C., Hayhoe, K., Arblaster, J. M., & Meehl, G. A. (2006). Going to the extremes: An intercomparison of model simulated historical and future changes in extreme events. *Climatic Change*, 79(3-4), 185-211. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9051-4>

Turc, O., Bouteillé, M., Fuad-Hassan, A., Welcker, C., & Tardieu, F. (2016). The growth of vegetative and reproductive structures (leaves and skills) respond similarly to hydraulic cues in maize. *New Phytologist*, 212, 377-388.

<https://doi.org/10.1111/nph.14053>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Traore, S. B., Carlson, R. E., Pilcher, C. D., & Rice, M. E. (2000). Bt and Non-Bt maize growth and development as affected by temperature and drought stress. *Agronomy Journal*, 92, 1027-1035. <https://doi.org/10.2134/agronj2000.9251027x>

Wang, Y., Sheng, D., Zhang, P., Dong, X., Yan, Y., Hou, X., Wang, P., & Huang, S. (2021). High temperature sensitivity of kernel formation in different short periods around silking in maize. *Environmental and Experimental Botany*, 183, 104343. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104343>

Zhou, R., Yu, X., Ottosen, C.-O., Rosenqvist, E., Zhao, L., Wang, Y., Yu, W., Zhao, T., & Wu, Z. (2017). Drought stress had a predominant effect overheat stress on three tomato cultivars subjected to combined stress. *BMC Plant Biology*, 17, 24. <https://doi.org/10.1186/s12870-017-0974-x>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

EVOLUCIÓN DEL RENDIMIENTO Y DE LA OFERTA DEL TOMATE INDUSTRIAL EN PANAMÁ (1969-2023)¹

Jaime Espinosa-Tasón²; Liliam M. Marquínez-Batista³; Roberto Quiroz⁴

RESUMEN

El tomate industrial es un cultivo estratégico para la agroindustria panameña, pero enfrenta desafíos estructurales y tecnológicos que comprometen su sostenibilidad. Este estudio analiza la evolución del rendimiento y de la oferta nacional de tomate industrial en Panamá entre 1969 y 2023, considerando fases tecnológicas homogéneas. Se empleó un enfoque cuantitativo con diseño longitudinal de tendencia, utilizando series históricas de rendimiento, superficie cosechada, producción y número de productores, a partir de informes del Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA) y del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Se identificaron tres fases: hibridación (1969-1984), ralentización productiva (1985-2004) e intensificación (2005-2023). Se estimaron indicadores de rendimiento, variabilidad, desplazamiento de la oferta y brechas tecnológicas. Los resultados muestran un incremento sostenido del rendimiento medio nacional, con un repunte marcado en la fase de intensificación. En contraste, la superficie cosechada y el número de productores disminuyeron de forma significativa, lo que redujo la oferta total. A pesar de los avances, persiste una brecha entre el rendimiento observado y el potencial alcanzable con el paquete tecnológico disponible. Se concluye que, aunque la innovación ha mejorado la eficiencia a nivel de productor, no ha sido suficiente para sostener la oferta del cultivo. Se recomienda cerrar la brecha de adopción tecnológica, fortalecer la extensión y mitigar la contracción estructural del sector mediante estrategias de integración y apoyo a productores.

Palabras clave: Adopción de tecnología, cambio estructural, fitomejoramiento, oferta y demanda, transferencia de tecnología.

¹Recepción: 29 de septiembre de 2025. Aceptación: 26 de octubre de 2025.

²Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Centro de Innovación Agropecuaria Azuero (CIA Azuero), miembro del SIN-SENACYT. Ph.D. Economía Agraria.

e-mail: jaime.espinosa@idiap.gob.pa; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3114-3365>

³IDIAP, CIA Chiriquí. M.Sc. Socioeconomía Ambiental. e-mail: marquinezliliam@gmail.com;

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0001-0079-1450>

⁴IDIAP, CIA Chiriquí, miembro del SIN-SENACYT. Ph.D. Nutrición (Bioquímica y fisiología vegetal).

e-mail: raquirozguerra@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8401-2700>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

EVOLUTION OF THE YIELD AND SUPPLY OF INDUSTRIAL TOMATOES IN PANAMA (1969-2023)

ABSTRACT

Industrial tomatoes are a strategic crop for Panama's agro-industry, but they face structural and technological challenges that threaten their sustainability. This study analyzes the evolution of yield and national supply of industrial tomato in Panama from 1969 to 2023, organized into homogeneous technological phases. We employed a quantitative approach with a longitudinal trend design, using historical series on yield, harvested area, production, and number of growers from official reports of the Ministry of Agricultural Development (MIDA) and the Panamanian Institute of Agricultural Innovation (IDIAP). Three phases were identified: hybridization (1969-1984), productivity slowdown (1985-2004), and intensification (2005-2023). We estimated indicators of yield, variability, supply shifts, and technology gaps. Results show a sustained increase in national average yield, with a pronounced upturn during the intensification phase. By contrast, harvested area and the number of growers declined significantly, leading to a contraction in total supply. Despite technological advances, a gap remains between observed yields and attainable yields under the available technology package. We conclude that innovation has improved producer-level efficiency, but has not been sufficient to sustain aggregate supply. Public policies should prioritize closing the technology adoption gap, strengthening extension services, and mitigating the sector's structural contraction through integration strategies and targeted support to producers.

Keywords: Plant breeding, structural change, supply and demand, technology transfer, technology adoption.

INTRODUCCIÓN

En Panamá, el cultivo de tomate para procesamiento se estableció a fines de la década de 1940, cuando la empresa Nestlé instaló una planta receptora en Natá (provincia de Coclé). El proyecto inició con 15 agricultores y 185 t entregadas; para 1985 ya se compraban 27,743 t a 677 productores, con un movimiento estimado de cuatro millones de balboas, mostrando la rápida relevancia económica alcanzada por la cadena en menos de 40 años. Durante los primeros años se registraron brotes severos de marchitez causada por *Fusarium* y, más tarde, por *Ralstonia solanacearum* (sin. *Pseudomonas solanacearum*).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

La primera se controló con cultivares tolerantes importados, mientras que la segunda se mitigó temporalmente trasladando siembras a suelos no infestados (De León, 1987).

Hacia finales de los 60, la marchitez bacteriana infestaba $\approx 90\%$ de las áreas aptas de Coclé, provocando pérdidas importantes y poniendo en duda la viabilidad de la industria; la procesadora incluso evaluó suspender la compra local y relocalizar la planta. En respuesta, el entonces Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (hoy IDIAP) lanzó un programa de mejoramiento para resistencia a la marchitez bacteriana. Entre 1966 y 1982 se evaluaron líneas extranjeras y se hibridaron fuentes locales con germoplasma asiático. Para 1985, 92% de las siembras empleaban materiales multirresistentes, de modo que la marchitez bacteriana dejó de ser el principal obstáculo en la región productora (De León, 1987).

El periodo siguiente, de mediados de los 80, a inicios de los 2000, se caracterizó por relativa estabilidad del rendimiento. Aunque se introdujeron variedades como/ IDIAP-T5, T6 y T8, el avance fue limitado por factores externos, incluidos eventos ENOS (p. ej., el episodio cálido de 1997-1998) y la incidencia de begomovirus transmitidos por *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae), vector ampliamente distribuido en América Tropical (Engel et al., 1998). Estas condiciones restringieron el potencial de rendimiento e incrementaron la variabilidad interanual.

Un segundo hito ocurrió en 2005, cuando el Gobierno de Panamá, la Asociación de Productores de Tomate y Nestlé acordaron un plan de competitividad. Con la adopción del paquete tecnológico del IDIAP-alta densidad, riego por goteo, nuevas variedades y fertilización basada en análisis de suelo y foliares-el rendimiento promedio pasó de 32 t.ha^{-1} a 68 t.ha^{-1} entre 2006-2008; algunos productores superaron 90 t.ha^{-1} con el cultivar IDIAP-T9, evidenciando la transición hacia un crecimiento intensivo sustentado en innovación público-privada (Guerra et al., 2016).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

En la última década, ensayos multilocales del IDIAP confirman avances del programa de mejoramiento. Nuevas líneas mutantes derivadas de cultivares comerciales alcanzaron un rendimiento cercano a $70 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ en fincas de productores, superando con holgura el promedio nacional (Jaén-Villarreal et al., 2024). Esta tendencia sugiere que los materiales orientados a purés y salsas que el instituto prevé liberar podrían ampliar aún más la frontera productiva (Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá [IDIAP], 2025). El impulso varietal se ha acompañado de esfuerzos de extensión, incentivos públicos y adopción masiva de riego por goteo desde 2005, consolidando un paquete que integra genética, manejo del agua y densidades altas (Guerra et al., 2016).

Sin embargo, los avances tecnológicos y los factores externos han pesado sobre la industria. Un estudio de Herrera Ballesteros (2025) indica que las reformas comerciales tras la adhesión a la Organización Mundial del Comercio (OMC), incluidas la reducción arancelaria a un techo de 15% y nuevas normas de competencia, tuvieron efectos estructurales en la agricultura panameña, reduciendo la presencia de productores locales y la contribución del sector primario al Producto Interno Bruto (PIB). A este contexto de presión competitiva se suman retos fitosanitarios: un relevamiento nacional reportó 42% de incidencia de begomovirus en plantaciones comerciales de tomate, patógeno estrechamente asociado a colapsos de rendimiento (Herrera-Vásquez et al., 2016).

Pese a la abundante evidencia sobre rentabilidad a nivel de finca, faltan evaluaciones que midan el cambio agregado de la innovación sobre la oferta nacional. Para cubrir este vacío, el presente estudio propone un método empírico sencillo y reproducible basado en dos insumos disponibles: (i) series históricas de rendimiento y superficie cosechada y (ii) el desplazamiento de la oferta inducido por la innovación. Mostramos que es posible cuantificar el cambio tecnológico aun con información parcial sobre adopción y costos, aportando una herramienta útil para formuladores de políticas y actores de la cadena del tomate industrial. En consecuencia, el objetivo es analizar la evolución del rendimiento y de la oferta nacional de tomate industrial en Panamá entre 1969 y 2023, con base en fases tecnológicas.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño del estudio

Este trabajo comprende una investigación de enfoque cuantitativo, con alcance descriptivo-explicativo. Se sigue un diseño longitudinal de tendencia que examina el periodo 1969-2023 para caracterizar la trayectoria de los cultivares y estimar la variación de la oferta o desplazamiento tecnológico del tomate industrial panameño.

Se analizan variables registradas como series de tiempo anuales, es decir, con un valor por cada año dentro del periodo evaluado. Las variables principales son rendimiento ($t \cdot ha^{-1}$), producción ($t \cdot año^{-1}$), superficie cosechada (ha), productores (núm.) y rendimiento potencial de cultivares predominantes ($t \cdot ha^{-1}$). Las fuentes de datos analizados comprenden artículos científicos, informes técnicos y memorias de mejoramiento del IDIAP del periodo comprendido entre 1985 y 2024; series históricas de los cierres agrícolas de la Dirección de Estadística del Ministerio de Desarrollo Agropecuario de Panamá (MIDA) del periodo 1990-2023 (Ministerio de Desarrollo Agropecuario de Panamá [MIDA], 2024a; MIDA, 2024b).

Delimitación de fases tecnológicas

Para comprender y analizar la evolución de la productividad (rendimiento) del tomate industrial en Panamá, el período 1969-2023 fue segmentado en fases tecnológicas distintivas. Esta delimitación se realizó mediante un análisis combinado de:

1. Evidencia documental: Se revisaron y sintetizaron fuentes de literatura técnica y científica nacional relevante (p. ej.; Herrera, 1988; Qvistgaard, 1990; MIDA, 2024a; MIDA, 2024b), lo que permitió identificar hitos en la adopción de cultivares, prácticas de manejo y tecnologías de cultivo a lo largo del tiempo.

2. Análisis de patrones empíricos: Se examinó la serie histórica de datos de rendimiento medio nacional de tomate industrial, buscando puntos de inflexión y cambios notorios en la tendencia y variabilidad del rendimiento. Estos patrones se interpretaron a la luz de la evidencia documental para identificar períodos caracterizados por regímenes tecnológicos homogéneos. Para una representación visual de la dispersión absoluta de los



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

rendimientos, el centro y cualquier valor atípico potencial se graficaron con diagramas de caja (box-plot).

Los años de quiebre se determinaron al coincidir con cambios significativos en el cultivar predominante y/o en el paquete de manejo tecnológico asociado, lo que asegura la homogeneidad tecnológica dentro de cada fase y permite una comparación robusta del progreso tecnológico y del rendimiento entre los períodos definidos. La descripción detallada de estas fases, incluyendo sus criterios principales y las fuentes que los sustentan, se presenta y discute en la sección de resultados 3,1 Trayectoria genética y productiva.

Indicadores del progreso productivo

Se calcularon, en cada periodo tecnológico definido, los indicadores de media aritmética (μ), mediana, diferencia de medias ($\Delta\mu$), porcentaje de cambio y pendiente de regresión lineal ordinaria (MCO), resumidos en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Indicadores del cambio de rendimiento, fórmulas e interpretación.

Indicador	Fórmula	Indica
1. Media Aritmética (μ)	$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$	Valor promedio del rendimiento en un período dado.
2. Mediana	Valor central de la serie de rendimiento ordenada.	Medida de tendencia central que es menos sensible a valores extremos o atípicos.
3. Diferencia de medias ($\Delta\mu$)	$\Delta\mu = \mu_{fase\ i} - \mu_{fase\ i-1}$	Incremento o disminución absoluto de rendimiento ($t.ha^{-1}$) entre fases.
4. Porcentaje de cambio de medias	$\left(\frac{\mu_{fase\ i} - \mu_{fase\ i-1}}{\mu_{fase\ i-1}} \right) * 100$	Ganancia o pérdida relativa (%) en el rendimiento promedio entre fases.
5. Pendiente de regresión lineal MCO	Pendiente de $Y=a+b \cdot \text{año}$, donde Y es el rendimiento.	Tasa de cambio promedio del rendimiento ($t.ha^{-1}$) a lo largo del tiempo dentro de una fase.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Además, para caracterizar la variabilidad relativa anual asociada a la producción nacional, la expansión de la superficie cosechada y el rendimiento, se calcularon los coeficientes de variación (CV= desviación típica/media) dentro de cada fase. Estos indicadores fueron seleccionados para permitir una cuantificación robusta del progreso productivo y una comparación objetiva entre las distintas fases tecnológicas.

Desplazamiento proporcional de la oferta

El análisis se basa en el modelo de excedente económico, frecuentemente utilizado para medir los efectos de las innovaciones tecnológicas en el sector agrario (Alston et al., 1995; Masters et al., 1996; Maredia et al., 2000). El principio fundamental es que una mejora tecnológica, como la adopción de una nueva variedad de cultivo o una práctica agrícola más eficiente, aumenta la productividad. Este modelo postula que una mejora en la productividad se representa como un desplazamiento positivo de la curva de oferta.

Para el propósito de este estudio, se estima el desplazamiento de la oferta ($j_{obs,f}$) para cada fase tecnológica, definido como el desplazamiento proporcional de la oferta en unidades de rendimiento. Este indicador refleja el aumento relativo de la cantidad ofrecida debido al avance tecnológico; representa un desplazamiento físico de la curva, suficiente para comparar el progreso tecnológico entre fases.

$$j_{obs,f} = \frac{\sum_{t \in f} \Delta Y_t}{\bar{Y}_f} \quad [1]$$

donde,

f = Fase tecnológica

t = Año agrícola dentro de la fase

$\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1}$ incremento interanual de rendimiento nacional ($t \cdot ha^{-1}$)

\bar{Y}_f = Rendimiento medio de la fase f ($t \cdot ha^{-1}$)

Si bien este análisis asocia las ganancias de rendimiento principalmente a la genética vegetal, es importante reconocer que cada nuevo cultivar fue liberado como parte de un paquete tecnológico integral, que incluyó nuevas densidades de siembra, esquemas de fertilización y mejoras en el manejo agronómico. Por tanto, el coeficiente refleja el



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

impacto genético, y también el efecto conjunto del paquete tecnológico sobre la oferta agrícola, con implicaciones directas en la reducción del costo marginal de producción y en la rentabilidad del cultivo.

Además del desplazamiento efectivo $j_{obs,f}$ se estimó la brecha contrafactual del desplazamiento potencial pleno ($j_{pot,f}$) que expresa el porcentaje de expansión posible de la oferta, tomando como base el rendimiento medio real de la fase, si se capturara íntegramente el potencial de rendimiento experimental.

$$j_{pot,f} = \frac{Y_{pot,f} - \bar{Y}_f}{\bar{Y}_f} \quad [2]$$

donde

f = Fase tecnológica

$Y_{pot,f}$ = Rendimiento medio potencial (o de referencia experimental) del paquete predominante en la fase f

\bar{Y}_f = Rendimiento medio observado en la fase f

$j_{pot,f}$ = proporción en que la oferta se podría haber desplazado si se capturaba totalmente el potencial de rendimiento

Los valores de $Y_{pot,f}$ se tomaron de ensayos de rendimientos potenciales reportados por el IDIAP (Lasso et al., 2002; Him et al., 2004; Jaén-Villarreal et al., 2024).

RESULTADOS

Trayectoria genética y productiva

El potencial de rendimiento del tomate industrial panameño, desde 1969 hasta 2024, muestra un notable incremento, pasando de 12 t.ha⁻¹ a potenciales superiores a las 80 t.ha⁻¹. El Cuadro 2, presenta los rendimientos potenciales obtenidos en ensayos del IDIAP o validaciones en fincas bajo manejo óptimo para cada cultivar.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 2. Cronología del rendimiento potencial de los cultivares predominantes de tomate industrial en Panamá (1969-2024).

Período de predominio	Cultivar o líneas principales	Rendimiento potencial reportado (t.ha ⁻¹)	Fuente
1969-1974	Roma VF	12	De León (1987)
1975-1979	Rossol VFN	18 - 20	De León (1987)
1980-1984	L-1-12	28 - 34	De León (1987)
1983-1985	Taiwán x 1-12 #5 y recombinantes	28 - 34	De León (1987); Herrera (1988)
1986-1991	Dina; Entero Grande /Chico	35 - 40	Herrera (1988); Qvistgaard (1990)
1992-1997	L-4A; IDIAP T-5, T-6	45 - 50	Lasso et al. (2002)
1998-2004	IDIAP T-7 / T-8	55 - 80	Him et al. (2004); Guerra et al. (2016)
2005-2013	IDIAP T-9	68 - 91	Guerra et al. (2016)
2014-2024	IDIAP-T8	55 - 80	Guerra et al. (2016); Jaén-Villarreal et al. (2024)

Es importante destacar que los datos del Cuadro 2 que representan el rendimiento potencial bajo condiciones óptimas, no corresponden al rendimiento medio nacional. La evolución de este último, que refleja las condiciones reales de campo, es más compleja debido al impacto directo e indirecto que generan los eventos causados por el Niño y la Oscilación del Sur (ENOS), como se puede observar en la Figura 1. La dinámica del rendimiento a lo largo del tiempo revela una segmentación en tres fases principales.

Para una visualización estadística de la distribución del rendimiento medio nacional en cada una de estas fases tecnológicas, la Figura 2 a través de un gráfico de caja y bigotes, muestra las características principales de cada período.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

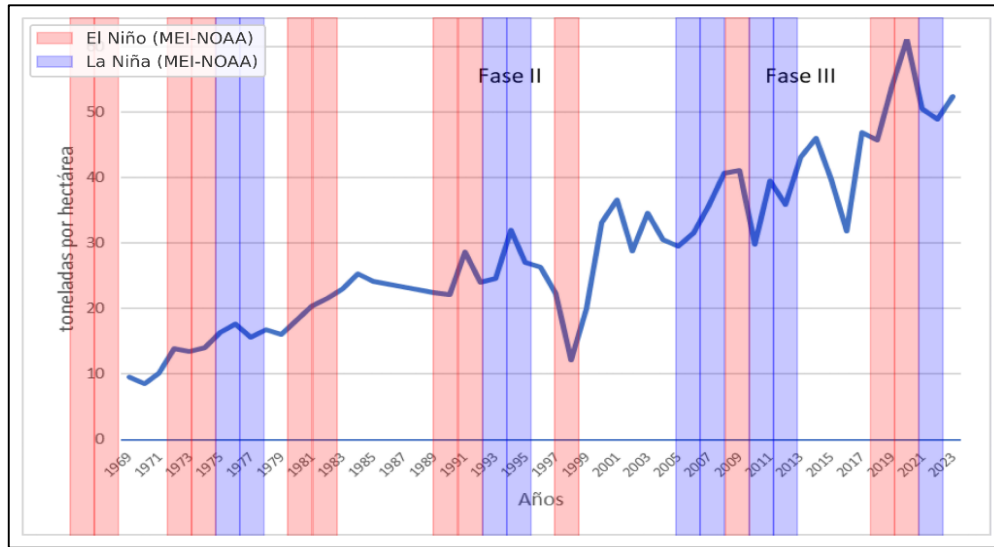


Figura 1. Evolución del rendimiento medio nacional de tomate industrial por fase tecnológica con franjas que indican eventos ENOS, Panamá 1969-2023.

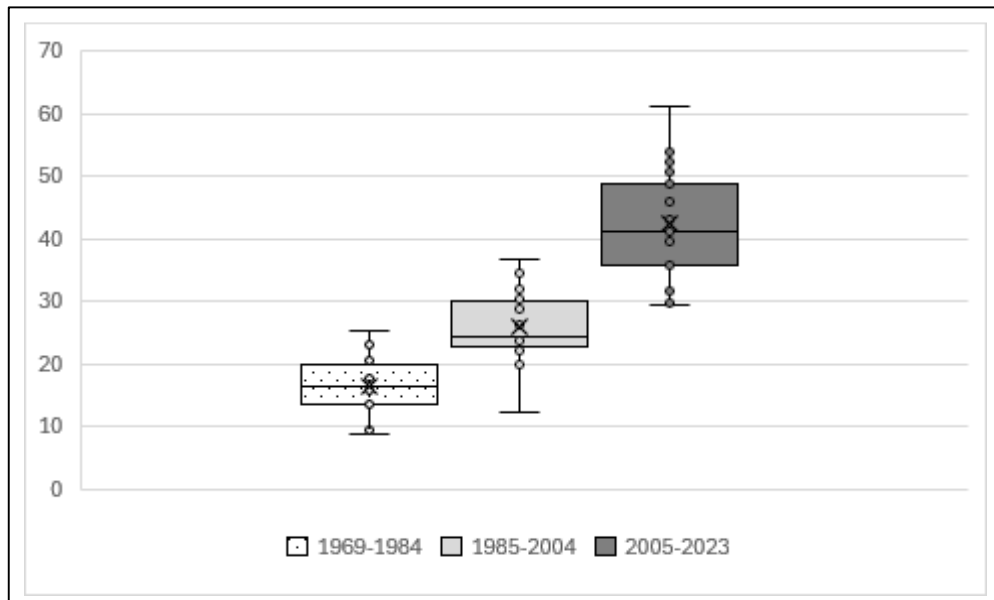


Figura 2. Distribución del rendimiento medio nacional de tomate industrial por fases tecnológicas, Panamá (1969-2023).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

El progreso del rendimiento medio nacional se ha desarrollado en tres fases principales, con características distintivas:

Fase I (1969-1984): Corresponde a la fase de hibridación de materiales provenientes de Carolina del Norte, Guyana Francesa y Hawái con Roma VF. De estos cruces nacen las variedades 1-12 y otras líneas nacionales. Se desarrolla la hibridación entre materiales nacionales e hibridación de materiales nacionales con material procedente de Taiwán. Caracterizada por los rendimientos más bajos, con una mediana y un promedio concentrado alrededor de 16 t.ha⁻¹. La caja es relativamente compacta, indicando una menor dispersión de los datos en esta fase inicial (Figura 2).

Fase II (1985-2004): Se generan e introducen nuevas variedades como Dina, Entero Grande, L-4A, IDIAP-T-5, T-6, T-7 y T-8; se observa un ligero aumento en el rendimiento promedio; la mediana es alrededor de 25 t.ha⁻¹, pero la distribución de los datos sigue siendo relativamente contenida, lo que indica un estancamiento con poca variabilidad en los rendimientos. Eventos climáticos como el niño 1997-98 y la alta incidencia de begomovirus, afectaron enormemente el rendimiento, lo que se evidencia en una pronunciada caída durante esta fase.

Fase III (2005-2023): Esta fase evidencia un salto significativo en el rendimiento medio. La adopción de variedades como IDIAP-T-9 y el posterior dominio de IDIAP-T-8 con alta densidad de siembra, riego por goteo y manejo integrado de plagas impulsaron el rendimiento medio, cuya distribución se centra ahora en un rango significativamente superior, con la mediana y el promedio superando las 40 t.ha⁻¹. La caja (Figura 2) se sitúa en un rango de valores mucho más altos que las fases anteriores, y aunque puede presentar una mayor dispersión absoluta (caja más ancha), esto se da sobre una base de productividad considerablemente elevada, reflejando la adopción de tecnologías más intensivas.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

El análisis de los indicadores productivos por fase (Cuadro 3) confirma y cuantifica las tendencias observadas en la Figura 1 y la Figura 2. Se evidencia un aumento sostenido en el rendimiento promedio del tomate industrial a lo largo del tiempo. La proximidad entre la media y la mediana en todas las fases indica una distribución relativamente simétrica de los rendimientos dentro de cada período.

Cuadro 3. Indicadores del rendimiento medio nacional de tomate industrial por fases tecnológicas, Panamá (1969-2023).

Fase	Años	Media (t.ha ⁻¹)	Mediana (t.ha ⁻¹)	$\Delta\mu$ (entre fases)	% cambio de μ	Pendiente MCO (t.ha ⁻¹)
I (1969-1984)	16	16,30	16,20			0,96
II (1985-2004)	20	25,96	24,35	9,66	59%	0,41
III (2005-2023)	19	42,29	41,11	16,33	63%	1,24

Los resultados muestran una dinámica cambiante en la tasa de incremento de la productividad. En la Fase I, el rendimiento mostró una pendiente de crecimiento de cerca de 1 t.ha⁻¹.año⁻¹, indicando un progreso inicial. Sin embargo, durante la Fase II, se observa una desaceleración significativa en la tasa de crecimiento, con una pendiente de tan solo 0.41 t.ha⁻¹.año⁻¹, lo que refleja un progreso anual más lento en la mejora del rendimiento, a pesar del incremento total en el promedio de la fase. Finalmente, la Fase III presenta una recuperación y aceleración marcada, con una pendiente de 1.24 t.ha⁻¹.año⁻¹. Este valor, que representa la tasa de crecimiento anual más alta de todos los periodos, es un claro indicador del impacto de la adopción de nuevas tecnologías, marcando un efectivo punto de inflexión en la productividad del tomate industrial panameño.

Desplazamiento y brecha potencial de la oferta

En esta sección, se analiza cómo la evolución del rendimiento del tomate industrial se traduce en coeficientes de desplazamiento de la oferta, que cuantifican la conversión del potencial productivo en oferta efectiva. Es crucial entender este análisis dentro del contexto de la contracción general observada en la oferta total del sector.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Para cada fase tecnológica f se calcularon dos indicadores clave: (i) el coeficiente de desplazamiento efectivo de la oferta, $j_{obs,f}$, que mide la oferta alcanzada con las prácticas predominantes y los rendimientos reales; y (ii) el coeficiente de desplazamiento potencial pleno, $j_{pot,f}$, que representa la oferta máxima que se obtendría si se hubiera logrado el rendimiento experimental de referencia $Y_{pot,f}$. La diferencia entre estos dos, Δj_f , constituye la brecha no aprovechada y su versión porcentual indica la fracción del potencial que aún resta por transformar en producción. El Cuadro 4 resume estos coeficientes de crecimiento de la oferta, derivados del rendimiento, que nos permiten comparar el crecimiento real de la oferta (por unidad de superficie) con el crecimiento potencial, y así identificar brechas. Aunque la oferta total del sector pueda estar contrayéndose (debido a la salida de productores o una menor superficie cosechada), estos coeficientes de desplazamiento muestran cómo se está comportando la oferta por unidad de rendimiento o cuánto se está extrayendo de cada hectárea o del potencial tecnológico.

Cuadro 4. Coeficientes de desplazamiento de la oferta y distancia al potencial experimental en cada fase.

Fase	$j_{obs,f}$	$Y_{pot,f}$	$j_{pot,f}$	Δj_f	Brecha %
I (1969-1984)	0,97	32	0,96	-0,01	≈ 0 % (sin brecha)
II (1985-2004)	0,24	60	1,31	1,07	81%
III (2005-2023)	0,54	80	0,89	0,35	40%

$j_{obs,f}$ = desplazamiento efectivo de la oferta; $Y_{pot,f}$ = rendimiento potencial de referencia; $j_{pot,f}$ = desplazamiento potencial pleno; $\Delta j_f = j_{pot,f} - j_{obs,f}$; Brecha % = $(\Delta j_f / j_{pot,f}) \times 100$.

Se observan tres patrones claros. En la fase I el desplazamiento observado (0,97) prácticamente agotó el potencial (0,96), indicando que la adopción de L-1-12 y el riego por surcos convirtieron en producción casi todo el rendimiento experimental disponible. La fase II contrasta drásticamente; sólo se logró un desplazamiento de 0,24 frente a un potencial de 1,31; el 81% del margen potencial permaneció inexplorado debido a la contracción extensiva y a los choques climáticos y fitosanitarios. Finalmente, en la fase III el paquete tecnológico IDIAP-T-9/T-8 intensivo elevó j_{obs} a 0,54, pero aún deja un 40% del potencial por alcanzar, lo que subraya la necesidad de cerrar la brecha de adopción y manejo para sostener la oferta nacional (Cuadro 4).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Dinámica extensiva-intensiva y ajuste estructural de la oferta

La trayectoria del rendimiento, la superficie y la producción del tomate industrial, que se muestra en la Figura 3, confirma una transición del crecimiento extensivo al intensivo, cuando la superficie deja de expandirse e incluso se contrae, sólo la innovación varietal y el manejo intensivo logran sostener la oferta; sin embargo, en las últimas dos décadas, dichas mejoras fueron insuficientes para revertir la tendencia descendente de la producción nacional.

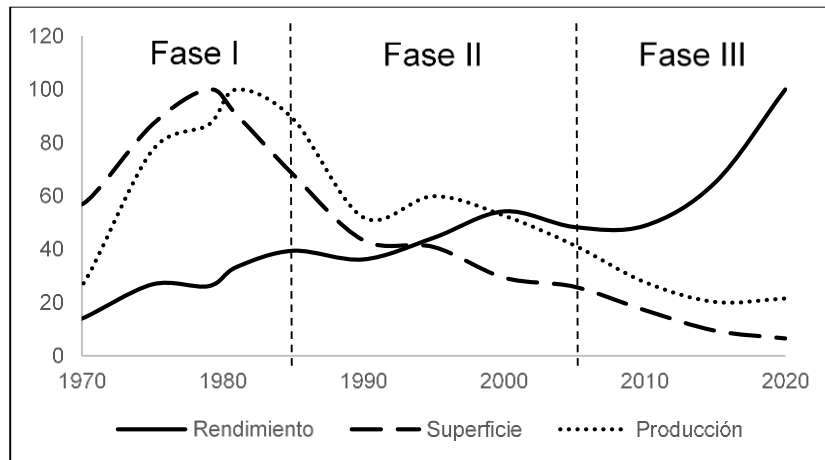


Figura 3. Evolución indexada de rendimiento, superficie y producción, 1970-2020 (año 0 = 100).

El rendimiento se volvió progresivamente más estable; su variabilidad relativa disminuyó de 28% a 20% (Figura 4). En cambio, la superficie cosechada mostró la variabilidad inversa de 23% en la fase I a 47% en la fase III. La producción refleja ambas dinámicas, con un máximo de variación (39%) en la fase inicial y un valor mínimo (27%) en la fase intermedia.

La relación es lineal y positiva con un coeficiente de correlación de 0,97 entre el número de productores y la superficie total cosechada. La visualización de los datos a lo largo del tiempo en esta figura muestra una clara trayectoria: mientras que años como 1995, 1996 y 1997 se ubican en la parte superior derecha del gráfico (mayor número de productores y mayor superficie), los años posteriores, incluyendo 2001, 2009, 2013, 2020



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

y 2023, se desplazan consistentemente hacia la parte inferior izquierda, reflejando una disminución simultánea tanto del número de productores como de la superficie total cosechada (Figura 5).

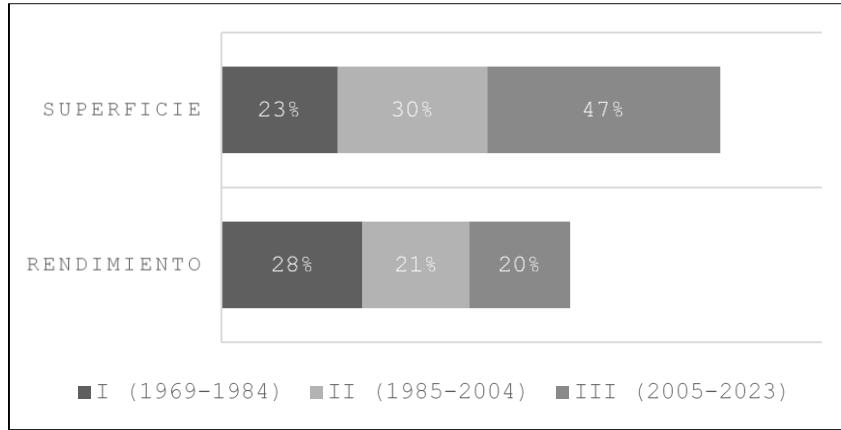


Figura 4. Variabilidad relativa (coeficiente de variación) de la superficie y el rendimiento.

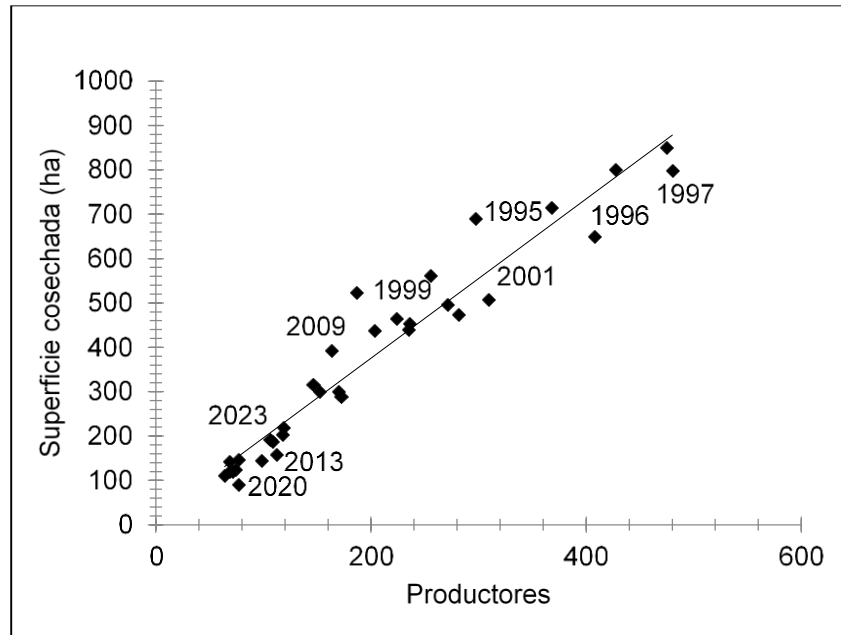


Figura 5. Relación entre el número de productores y la superficie cosechada del tomate industrial en Panamá, con trayectoria temporal, 1991-2023.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Por otra parte, el análisis del cociente entre la producción media y el número de productores por año, utilizado como un proxy de la escala o intensidad productiva individual, se presenta en la Figura 6. Se muestra una tendencia ascendente en este indicador a lo largo del periodo 1991-2023. Es importante destacar que esta tendencia de aumento en la cantidad promedio de tomates que cada productor es capaz de producir en un año se observa en un contexto donde la producción total anual del sector ha disminuido. Este contraste sugiere una mejora en la capacidad productiva individual de los productores más competitivos y una intensificación de la producción por parte de ellos, en un sector que, a nivel agregado, se está contrayendo.

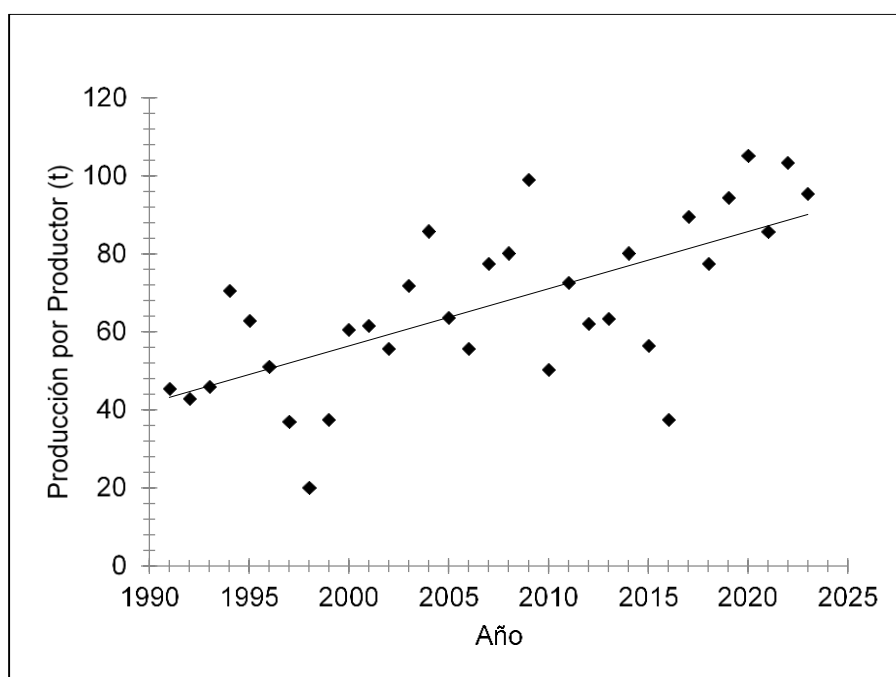


Figura 6. Tendencia de la producción media por productor de tomate industrial en Panamá en el periodo 1991-2023.

El análisis de los datos revela una compleja dinámica en el sector tomatero industrial de Panamá. Se ha evidenciado una transición de un modelo de crecimiento extensivo a uno intensivo, caracterizado por una disminución significativa y correlacionada tanto del número de productores como de la superficie total cosechada. Aunque se observa una mejora en la producción media por productor, lo que sugiere una mayor eficiencia o



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

escala a nivel individual, esta tendencia no ha sido suficiente para contrarrestar la contracción general del sector y la disminución de la producción nacional total. Estos hallazgos plantean interrogantes fundamentales sobre la sostenibilidad y las presiones estructurales que enfrenta la actividad, aspectos que serán explorados y contextualizados en la siguiente sección de Discusión.

DISCUSIÓN

La trayectoria productiva del tomate industrial panameño, con sus fases de crecimiento y el subsecuente ajuste estructural, se alinea notablemente con la teoría de la espiral tecnológica (Technology Treadmill) propuesta por Cochrane (1958) y revisitada por Levins & Cochrane (1996). A medida que las innovaciones genéticas y de manejo, como la densidad de siembra, el riego por goteo y la fertilización, impulsaron rendimientos por hectárea significativamente mayores, los productores que adoptaron estas tecnologías lograron ventajas competitivas. Sin embargo, este progreso ha venido acompañado de una reducción en la superficie cultivada y en el número total de agricultores, como se observa en Panamá, donde el aumento de la eficiencia por productor no ha logrado compensar la contracción extensiva del sector. Este fenómeno, donde la mejora tecnológica impulsa la producción por unidad, pero simultáneamente contribuye a la consolidación y exclusión de productores menos adaptados o con menores recursos, es un patrón reconocido en la agricultura global (Thompson et al., 2024).

El análisis de Houser & Stuart (2019) sobre las respuestas de los agricultores a los impactos del cambio climático refuerza cómo la lógica de la espiral tecnológica impulsa la intensificación incluso frente a desafíos externos. Su estudio, que muestra cómo los agricultores aumentan la aplicación de nitrógeno para asegurar rendimientos frente a eventos de fuertes lluvias, ilustra cómo las presiones económicas llevan a prácticas intensivas. En el caso panameño, la persistencia de la disminución de la producción total a pesar de los mayores rendimientos por superficie valida la noción de una espiral acelerada donde los productores están bajo una presión constante para optimizar la producción. Sin embargo, esta optimización no se traduce en un crecimiento o mantenimiento de la oferta total, lo que subraya que la eficiencia técnica no siempre resuelve los problemas estructurales de un sector.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Por último, el trabajo de Hansen (2019) sobre la diferenciación como una posible salida a la espiral tecnológica ofrece un contrapunto relevante a la situación observada en Panamá. Si bien la competencia basada en precios es central en la hipótesis original, la diferenciación de productos (por ejemplo, a través de la agricultura orgánica o de especialidades) busca permitir a los productores capturar primas de precio y así escapar de la carrera implacable por la reducción de costos. En el contexto del tomate industrial de Panamá, la disminución general del sector, incluso con el aumento de rendimiento, sugiere que las opciones de diferenciación pueden ser limitadas o insuficientes para contrarrestar las presiones estructurales, o que las presiones son tan abrumadoras que la intensificación tecnológica y el aumento de rendimiento no pueden evitar la contracción general. Esto abre una línea de investigación sobre si la adopción de estrategias de diferenciación podría ofrecer una vía para la resiliencia y la sostenibilidad del sector, más allá de la mera eficiencia productiva.

Una evaluación monetaria del excedente económico, que requeriría elasticidades de oferta y demanda, precios y costos de investigación, se deja como línea de investigación posterior cuando tales datos estén disponibles.

Implicaciones para la política

La comparación entre los rendimientos observados y los potenciales revela que los esfuerzos futuros no deberían centrarse sólo en generar nuevas variedades (el potencial ya supera 80 t.ha^{-1}), sino en cerrar la brecha de adopción y manejo (p. ej. riego eficiente, monitoreo de mosca blanca, densidad óptima) que impide convertir ese potencial en producción efectiva. Programas de extensión focalizados y contratos que remuneren contenido de sólidos podrían reducir el desfase intensivo y frenar la pérdida extensiva de superficie.

En términos de política, la adhesión a la OMC subraya la necesidad de estrategias que combinen innovación genética y agronómica con esquemas de integración vertical (contratos más estables, seguros climáticos y diferenciación de producto) para evitar que los avances intensivos queden neutralizados por la erosión extensiva.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

El sector del tomate industrial en Panamá ejemplifica un monoposonio, con Nestlé (a través de Maggi) actuando como el único comprador de la totalidad de la producción de los agricultores. Esta situación le otorga a Nestlé una ventaja para establecer los precios y las cantidades de compra, resultando para los agricultores en una producción ajustada a la demanda de la empresa.

Las reglas de la OMC sobre subsidios o medidas antidumping podrían ofrecer un marco para que el gobierno panameño negocie mejores condiciones o implemente políticas de apoyo a los productores, como precios mínimos garantizados o subsidios a la producción, para mitigar los efectos del monoposonio y fomentar la sostenibilidad del sector agrícola.

CONCLUSIONES

- Este estudio ha cuantificado la notable evolución del rendimiento y la oferta del tomate industrial en Panamá a lo largo de 55 años, identificando tres fases tecnológicas distintas que reflejan la adaptación del sector a desafíos fitosanitarios y presiones de mercado. Se ha demostrado un incremento significativo en el rendimiento promedio por hectárea, impulsado por la adopción de paquetes tecnológicos innovadores, fruto de la colaboración público-privada en investigación y desarrollo.
- A pesar de las ganancias en productividad a nivel de campo, el análisis revela una dinámica de espiral tecnológica (Technology Treadmill), donde el aumento de la eficiencia ha conllevado una contracción simultánea de la superficie cultivada y del número de productores. Esta intensificación de la producción por unidad de superficie ha permitido la sostenibilidad de la industria para los actores restantes, pero disminuyendo la posibilidad de los productores menos competitivos y una menor oferta nacional total. La brecha persistente entre el rendimiento observado y el potencial genético de los cultivares subraya que el desafío actual no es solo la disponibilidad de tecnología, sino su adopción y manejo efectivos por parte de los agricultores.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Las implicaciones de política derivadas de estos hallazgos son claras: las intervenciones futuras no deben centrarse únicamente en la introducción de nuevas variedades, sino en programas que faciliten el cierre de la brecha de adopción y manejo. Además, es crucial explorar mecanismos que promuevan la integración vertical, la estabilidad contractual y la gestión de riesgos para los productores, mitigando así la erosión de la base productiva y asegurando la competitividad y la resiliencia a largo plazo del sector del tomate industrial en Panamá.

REFERENCIAS

- Alston, J. M., Norton, G. W., & Pardey, P. G. (1995). *Science under scarcity: Principles and practice for agricultural research evaluation and priority setting*. International Service for National Agricultural Research. <https://hdl.handle.net/10568/136536>
- Cochrane, W. W. (1958). *Farm Prices: Myth and Reality*. University of Minnesota Press. https://books.google.com/books/about/Farm_Prices.html?id=O8IGDHM4Ut0C
- De León, G. (1987). Proceso para la obtención de resistencia de tomate a *Pseudomonas solanacearum* en Panamá. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, (05), 11-15. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6708>
- Engel, M., Fernández, O., Jeske, H., & Frischmuth, T. (1998). Molecular characterization of a new whitefly-transmissible bipartite geminivirus infecting tomato in Panama. *Journal of General Virology*, 79, 2313-2317. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9780034/>
- Guerra M., J. A., Villarreal Núñez, J. E., Herrera Vásquez, J. A., Aguilera Cogley, V., & Osorio Burgos, O. (2016). Manual técnico: Manejo integrado del cultivo de tomate industrial. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. <http://www.idiap.gob.pa/agricola/>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Hansen, H. O. (2019). The Agricultural Treadmill-A Way Out Through Differentiation? An Empirical Analysis of Organic Farming and the Agricultural Treadmill. *Journal of Tourism, Heritage & Services Marketing (JTHSM)*, 5(2), 20-26.

<https://ssrn.com/abstract=3747761>

Herrera, A. P. de, (1988). *Estudio de seguimiento en costos de producción, rentabilidad y utilización de insumos agropecuarios en la producción de tomate industrial en época seca - Los Santos*. IDIAP - Boletín Técnico # 20. Panamá, 1988.

Herrera Ballesteros, V. H. (2025). Impacto de la globalización en el sector primario de Panamá: Una mirada ambispectiva. *Cuadernos Nacionales*, (36), 78-94.

https://revistas.up.ac.pa/index.php/cuadernos_nacionales/article/view/6829

Herrera-Vásquez, J. A., Ortega, D., Romero, A. B., Davino, S., Mejía, L. C., Panno, S., & Davino, M. (2016). Begomoviruses infecting tomato crops in Panama. *Journal of Phytopathology*, 164(2), 102-113. <https://doi.org/10.1111/jph.12436>

Him, P. V., de Gutiérrez, G. T., García, N., & Castillo, A. (2004). Nueva alternativa para la producción industrial de tomate. IDIAP T-7. Azuero, Panamá. *Ciencia Agropecuaria*, (16), 121-121. <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/425>

Houser, M., & Stuart, D. (2020). An accelerating treadmill and an overlooked contradiction in industrial agriculture: Climate change and nitrogen fertilizer. *Journal of Agrarian Change*, 20(2), 215-237. <https://doi.org/10.1111/joac.12341>

Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá. (2025, 20 de junio). El IDIAP presenta al Comité Nacional de Semillas los cultivares IDIAP-TM Salsa-25 e IDIAP-TM Ejido-25 para la agroindustria nacional [Publicación de estado en Facebook]. Facebook.

<https://www.facebook.com/idiap/posts/1487318455573991>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Jaén-Villarreal, J. E., González Cepero, M. C., Camargo Buitrago, I., Gordón Mendoza, R., Sáez Cigarruista, A. E., & Centella Pereira, F. A. (2024). Adaptabilidad y estabilidad de mutantes de tomate en Los Santos, Panamá. *Agronomía Costarricense*, 48(1), 27-38. <https://doi.org/10.15517/rac.v48i1.59124>
- Lasso, R., Him, P. V., de Gutiérrez, G. T., Herrera, C., García, N., & Castillo, A. (2002). Cultivar de tomate: "L-4 A". *Ciencia Agropecuaria*, (12), 224-224. <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/443>
- Levins, R. A., & Cochrane, W. W. (1996). The treadmill revisited. *Land Economics*, 72(4), 550-553. <https://doi.org/10.2307/3146915>
- Maredia, M. K., Byerlee, D., & Anderson, J. R. (2000). Ex post evaluation of economic impacts of agricultural research programs: a tour of good practice. <https://hdl.handle.net/10947/503>
- Masters, W.A., B. Coulibaly, D. Sanogo, M. Sidibé, & A. Williams. (1996). *The Economic Impact of Agricultural Research: A Practical Guide*. Department of Agricultural Economics, Purdue University, West Lafayette, IN. <https://sites.tufts.edu/willmasters/research/impact/>
- Ministerio de Desarrollo Agropecuario de Panamá. (2024a). Históricos de los Rubros Agrícolas 1992-2019. <https://mida.gob.pa/direcciones/direccion-de-agricultura/>
- Ministerio de Desarrollo Agropecuario de Panamá. (2024b). Cierres Agrícolas. 2014-2023. <https://mida.gob.pa/direcciones/direccion-de-agricultura/>
- Qvistgaard P., C. (1990). *Industrial tomatoes in Panama: a comparative analysis of its competitive potential in the United States market for Panamanian producers*. Thesis. Oregon State University. <http://hdl.handle.net/1957/19150>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Thompson, P. B., Bischof, J., Powell-Palm, M. J., Smith, K., & Tiersch, T. R. (2024). Biopreservation in agriculture and food systems: a summary of ethical issues. *Journal of Law, Medicine & Ethics*, 52(3), 666-678.

<https://doi.org/10.1017/jme.2024.149>

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro sincero reconocimiento al Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) por su valioso apoyo institucional en la realización de este estudio. Extendemos un agradecimiento a la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) por el apoyo brindado a través del Sistema Nacional de Investigación de Panamá (SNI).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA, UNA INVERSIÓN RENTABLE: IMPACTO ECONÓMICO DE TECNOLOGÍAS DE IDIAP EN SEIS RUBROS PRODUCTIVOS¹

Liliam M. Marquínez-Batista²; Jaime Espinosa-Tasón³; Mariana Cruz-Chu⁴; Luis Hertentains-Caballero⁵; Román Gordón-Mendoza⁶; Rodrigo A. Morales-Araúz⁷; Ismael Camargo-Buitrago⁸; Evelyn Quirós-McIntire⁹; Luis A. Barahona-Amores¹⁰; Arnulfo Gutiérrez-Gutiérrez¹¹; Roberto Rodríguez-Chávez¹²; Emigdio Rodríguez-Quiel¹³; Francisco González-Guevara¹⁴; José L. Jorge-Ramos¹⁵; José A. Guerra-Murillo¹⁶; Nilso García¹⁷; Roberto Quiroz¹⁸

RESUMEN

Los fondos públicos destinados a investigación agropecuaria suelen ser limitados, en parte por la falta de evidencias robustas que demuestren su rentabilidad. Este estudio constituye la primera evaluación integral en Panamá del impacto económico de tecnologías generadas por el Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) en los rubros agrícolas: arroz, maíz, papa, poroto, tomate y pasturas mejoradas. El objetivo fue generar evidencia que respalde la importancia de invertir en investigación agropecuaria. Se analizaron series históricas de rendimientos (1975-2024), estadísticas oficiales, informes técnicos y registros de inversión estatal. La metodología incluyó un análisis contrafactual (“con y sin investigación”), estimación de tasas de adopción, atribución de beneficios a la investigación (de 25% a 45%) y el uso de indicadores como Valor Actual Neto (VAN) y Relación Beneficio-Costo (B/C), ajustados por inflación y tasas de descuento. Los resultados muestran que los beneficios superaron ampliamente la inversión. En 2024, los beneficios totales fueron B/. 184 millones, de los cuales B/. 71,6 millones corresponden a investigación. Con una tasa de descuento del 10%, el VAN fue de B/. 354 millones (B/. 138 atribuibles a la investigación) y la relación B/C indicó que por cada balboa invertido retornaron 2,1, de los cuales 0,24 se explican por la investigación. El mayor impacto se estimó en arroz y pasturas mejoradas, mientras que maíz, papa, poroto y tomate, aunque menores en escala, aportaron a la diversificación y seguridad alimentaria. En conclusión, la inversión en investigación agropecuaria en Panamá es rentable y estratégica, al mejorar productividad y sustentabilidad agrícola.

Palabras clave: Atribución, contrafactual, inversión estatal, rentabilidad, tasas de adopción.

¹Recepción: 03 de octubre de 2025. Aceptación: 20 de octubre de 2025. Parte de la tesis doctoral en Ciencias Agropecuarias del primer autor, en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá (FCA-UP).

²FCA-UP. e-mail: marquinezliliam@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0001-0079-1450>

³Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). e-mail: jaimespinosatason@idiap.gob.pa; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3114-3365>

⁴Consultora Internacional. e-mail: mcruzchu@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8645-2141>

⁵IDIAP. e-mail: lahertentains@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0007-7941-4685>

⁶IDIAP. e-mail: gordon.roman@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8433-2357>

⁷IDIAP. e-mail: rodrigoamoralesa@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7230-4578>

⁸IDIAP. e-mail: camargo.ismael@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4199-0621>

⁹IDIAP. e-mail: evelynitzel26@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9754-1393>

¹⁰IDIAP. e-mail: alberline@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-5824-7688>

¹¹IDIAP. e-mail: arnulfoquiterrezqu@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6003-9802>

¹²Janson Hydroponics, Inc. e-mail: orocha22@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0009-7356-4601>

¹³IDIAP. e-mail: emigdiordrodriguezq@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0003-9997-7670>

¹⁴IDIAP. e-mail: frankgo1219@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0001-2094-9569>

¹⁵Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA). e-mail: ljorge01@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0007-8365-0234>

¹⁶IDIAP. e-mail: guerra.joseangel@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4114-0814>

¹⁷IDIAP. e-mail: nmq312000@yahoo.es; ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0005-2263-3583>

¹⁸IDIAP. e-mail: raquirozguerra@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8401-2700>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

AGRICULTURAL RESEARCH, A PROFITABLE INVESTMENT: ECONOMIC IMPACT OF IDIAP TECHNOLOGIES IN SIX PRODUCTIVE SECTORS

ABSTRACT

Public funding for agricultural research is often constrained by a lack of robust evidence on its returns. This study provides the first comprehensive assessment in Panama of the economic impact of technologies developed by the Panamanian Institute of Agricultural Innovation (IDIAP) in rice, maize, potatoes, beans, tomatoes, and improved pastures. The objective was to quantify the return on investment in agricultural research. We analyzed historical series (yield, harvested area, production, and number of producers) from 1975 to 2024, along with official statistics, technical reports, and public investment records. Methods included a with- and without-research counterfactual, adoption-rate estimation, benefit attribution to research (25–45%), and calculation of Net Present Value (NPV) and Benefit–Cost ratio (B/C), deflated and discounted. Results show that total benefits far exceeded public investment. In 2024, total benefits were B/. 184 million, of which B/. 71.6 million are attributable to research. At a 10% discount rate, NPV reached B/. 354 million (B/. 138 million attributable to research), and the B/C indicated that each balboa invested yielded 22.1, 9.24 of which is attributable to research. The most significant impacts were estimated for rice and improved pastures, while maize, potato, common bean, and tomato contributed to diversification and food security on a smaller scale. We conclude that investing in agricultural research in Panama is profitable and strategic, enhancing sectoral productivity and sustainability.

Keywords: Attribution, counterfactual, public investment, returns, adoption-rate estimation.

INTRODUCCIÓN

La inversión estatal en investigación y desarrollo agropecuarios (I+D) enfrenta restricciones presupuestarias debido a la limitada evidencia sobre sus retornos económicos (Daigneault et al., 2016; Borja-Bravo et al., 2020). En este contexto, los estudios de impacto resultan fundamentales para orientar la política agropecuaria y respaldar la asignación de recursos públicos.

La investigación genera conocimiento y tecnología, mientras que la innovación los convierte en soluciones aplicadas que involucran a múltiples actores (Anandajayasekaram, 2022; Toillier et al., 2021; World Bank, 2012). Esta relación explica por qué la inversión en I+D fortalece los sistemas agroalimentarios (Alston et al., 2020; CGIAR, 2021; Hall et al., 2006).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

A escala global, el gasto en I+D asciende a USD 2,4 billones, de los cuales entre USD 65 y 100 mil millones corresponden a tecnologías agropecuarias (Organización de Estados Iberoamericanos [OEI] & Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2023; Investigación y Desarrollo Mundial (R&D World), 2024; Stads et al., 2016). Los retornos económicos varían entre 20% y 50% (European Commission, 2015), con altos beneficios en países desarrollados (Fan et al., 2004; Fan et al., 2008; López et al., 2017; Mogues et al., 2015). En contraste, los países de ingresos medios y bajos invierten apenas 0,53% del PIB, frente a la media mundial de 2,63% (Naciones Unidas, 2024).

En América Latina y el Caribe, la inversión pública en I+D agropecuarios es desigual. Panamá invierte por debajo del promedio regional y muy por debajo de países líderes como Brasil, Uruguay, Argentina, México, Costa Rica y Chile (Stads et al., 2016). Esta brecha limita la generación de evidencia sistemática sobre los retornos de la investigación.

La institucionalización de evaluaciones de impacto se asocia con mayores niveles de inversión en I+D. Corea del Sur y Estados Unidos destinan más del 5% del PIB y cuentan con sistemas de medición robustos, mientras que en muchos países en desarrollo estas prácticas siguen siendo incipientes (OEI & UNESCO, 2023; Pratt et al., 2023). Aunque existen metodologías consolidadas, su aplicación sistemática sigue siendo limitada (Alston et al., 1995; World Bank Group & Independent Evaluation Group, 2012; Lan et al., 2018).

Pese a la capacidad demostrada en la generación de tecnologías agropecuarias, Panamá no cuenta con evaluaciones exhaustivas de sus beneficios económicos. Esta ausencia contribuye a que la I+D sea percibida como gasto y no como inversión estratégica.

El objetivo de este estudio fue evaluar el impacto económico de la adopción de tecnologías desarrolladas por el IDIAP en seis rubros agrícolas prioritarios: pasturas mejoradas, poroto (*Phaseolus vulgaris*), maíz (*Zea mays*), papa (*Solanum tuberosum*), arroz (*Oryza sativa*) y tomate (*Solanum lycopersicum*), con el fin de aportar evidencia científica que respalde la asignación eficiente de recursos públicos en investigación agropecuaria.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

MATERIALES Y MÉTODOS

Ámbito de análisis

Para evaluar el impacto de las tecnologías generadas por el IDIAP, se emplearon series históricas de rendimientos promedios de los principales rubros agrícolas nacionales: arroz, variedades de maíz, maíz híbrido, papa, poroto y tomate industrial. En el área de producción animal se incluyó el rubro de pasturas mejoradas, dado su efecto en la productividad de la ganadería de cría y ceba. El periodo de estudio abarcó de 1975 a 2024.

Fuentes de datos

Las fuentes de información combinaron estadísticas oficiales y documentos técnicos institucionales. En particular, se utilizaron los anuarios estadísticos de siembra y cosecha publicados por el Ministerio de Desarrollo Agropecuario de Panamá (MIDA, 1990-2024), considerados la principal referencia nacional en materia de producción agrícola. Complementariamente, se revisaron artículos científicos, informes técnicos y resultados de investigación generados por el IDIAP, que sintetizan la experiencia acumulada de los programas en diversos rubros productivos.

Para el análisis económico, los datos de inversión y gasto público en investigación y desarrollo agropecuario del IDIAP se obtuvieron de los registros oficiales publicados en la Gaceta Oficial de la República de Panamá y de información institucional. Estos datos incluyen recursos asignados a programas, proyectos y actividades de generación y transferencia de tecnologías.

La combinación de estadísticas oficiales, documentación técnica e información financiera permitió construir series históricas consistentes de rendimientos, identificar los cambios tecnológicos en los sistemas productivos del país y valorar económicamente el impacto de la investigación agropecuaria.

Bases para evaluar los beneficios de programas con flujos sucesivos de variedades

Los programas de mejoramiento genético exitosos, como los considerados en este estudio, no se limitan a liberar una sola variedad en un momento específico, sino que constituyen procesos continuos de innovación que generan nuevas variedades a lo largo del



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

tiempo. El modelo de adopción ilustrado en la Figura 1 muestra cómo la difusión acumulada de variedades mejoradas (VMs) resulta de la introducción secuencial de distintas generaciones de éstas.

Este enfoque permite distinguir dos fuentes principales de beneficios. La primera corresponde a los incrementos iniciales de productividad derivados de la adopción temprana de variedades mejoradas, que suelen manifestarse de manera rápida y significativa. La segunda proviene de los beneficios adicionales generados cuando variedades más recientes sustituyen a las anteriores.

Aunque estos beneficios incrementales son menos visibles en el corto plazo, en el largo plazo representan una proporción considerable del impacto atribuido al mejoramiento genético. Por tanto, al analizar programas de liberación continua de variedades, es fundamental reconocer ambos tipos de beneficios. De lo contrario, se corre el riesgo de sobrestimar los impactos de la investigación (Maredia & Byerlee, 1999).

Estimación del Impacto Tecnológico

Muchos estudios sobre el mejoramiento genético de cultivos parten de la premisa implícita de que, en ausencia del programa evaluado, los rendimientos de las variedades utilizadas por los agricultores se habrían mantenido constantes (línea punteada inferior en la Figura 2). Este supuesto resulta poco realista, ya que en la práctica suelen existir fuentes alternativas de variedades mejoradas.

En este estudio, la comparación se estableció entre los rendimientos efectivamente alcanzados por los agricultores y los rendimientos estimados bajo un escenario sin programa de mejoramiento genético, también denominado contrafactual (Gittinger, 1982; Heisey & Morris, 2002; Marshall & Brennan, 2001). El modelo conceptual (Figura 2) ilustra la evolución del rendimiento promedio observado en el país frente a la trayectoria contrafactual.

Si bien no es posible conocer con certeza qué habría ocurrido en ausencia del programa, se aplicó un criterio analítico para aproximar los posibles incrementos de rendimiento bajo dicho escenario. Para ello, los rendimientos hipotéticos sin la intervención



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

del IDIAP se estimaron mediante una función logística (Griliches, 1957; Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo [CIMMYT], 1988). modificada para obtener los valores asintóticos en $t \cdot ha^{-1}$:

$$Y = Y_{max} * \frac{L}{1 + A * exp^{k*t}} + Y_0$$

dónde: Y es el rendimiento estimado, Y_0 corresponde al rendimiento promedio previo al inicio del programa, Y_{max} al rendimiento promedio máximo alcanzado por los agricultores, L es el valor asintótico (fijado en 0,5), A es una constante relacionada con el inicio de la adopción y k es la constante relacionada con la tasa de adopción.

Se asumió un valor asintótico equivalente al 50% del rendimiento promedio máximo alcanzado por las variedades mejoradas, límite superior recomendado para este tipo de análisis (Alston et al., 1995; Evenson & Gollin, 2002; Maredia & Raitzer, 2010). Los rendimientos máximos ($t \cdot ha^{-1}$) variaron según cada rubro.

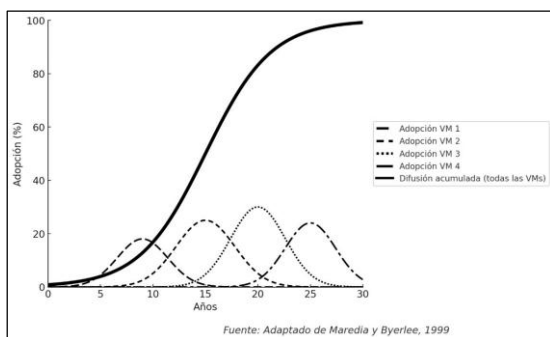


Figura 1. Modelo estilizado de difusión de variedades mejoradas: la curva acumulada refleja la adopción total a lo largo del tiempo, mientras que las curvas individuales representan la adopción de variedades liberadas en distintos momentos.

Nota: VM=variedad mejorada. Fuente: Adaptado de Maredia & Byerlee (1999).

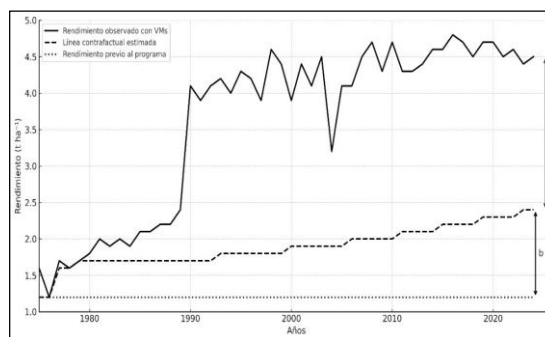


Figura 2. Evolución del rendimiento de los cultivos evaluados con y sin programa de mejoramiento genético.

Nota: a= rendimiento atribuido a la mejora tecnológica versus el contrafactual; a+b= rendimiento atribuido a la mejora tecnológica, con respecto al rendimiento de los productores previo a la implementación del programa de mejoramiento genético.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Estimación de los Beneficios

Los beneficios económicos asociados a la adopción de VMs dependen directamente de los incrementos de productividad que generan cuando son cultivadas por los agricultores. En términos generales, dichos incrementos se miden como mejoras en el rendimiento, expresadas en unidades adicionales de producto cosechado por superficie cultivada (área señalada con la flecha “a” en la Figura 2). De esta manera, los beneficios totales respecto al rendimiento previo a la implementación de programas de mejoramiento corresponden a la suma de las áreas “a + b”.

Las tasas de adopción anuales se estimaron para cada rubro a partir de datos discretos. En el caso de las pasturas mejoradas, se construyó un continuo de adopción con base en los censos agropecuarios. El análisis consideró únicamente el escenario de producción de carne en sistemas con pasturas mejoradas frente a pastos naturales. Se asumió un ciclo de 300 días de ceba por año y los rendimientos reportados por Pinzón et al. (1990): 252 kg/300 días para pasto mejorado (Cuadro 1) y 31.5 kg para pasto natural (*Hiparrhenia rufa* sin fertilización). El precio utilizado fue de USD 1.90 por kilogramo de peso vivo en época lluviosa (Corrales, 2021).

Para los demás cultivos, las tasas de adopción se obtuvieron mediante entrevistas a expertos utilizando la herramienta ADOPT, desarrollada por CSIRO (Kuehne et al., 2017). Posteriormente, se generó un continuo de adopción y se calcularon los beneficios económicos empleando los precios históricos reportados en las estadísticas oficiales del MIDA.

Efecto Inflación y Deflación

Para eliminar el efecto de la inflación, se aplicó el método de inflación histórica acumulada (Hulten, 1979), considerando las tasas anuales registradas entre 1975 y 2024, con 1975 como año base (Banco Interamericano de Desarrollo [BID], 2025). Se calculó un factor acumulado que refleja el incremento del nivel de precios y que permitió convertir beneficios e inversiones nominales a valores constantes.

El factor acumulado se estimó de manera recursiva como:

$$\text{Factor acumulado} = (1 + \text{tasa de inflación por año}) * (\text{factor acumulado del año anterior})$$



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Una vez obtenido dicho factor, los valores nominales de beneficios e inversión de cada año se dividieron entre el factor correspondiente, expresando los resultados en balboas constantes del año base, bajo el supuesto de precios invariables.

$$\text{Valor balboas constantes} = \frac{\text{Valor nominal}}{(1 + i)^n}$$

Atribución del Impacto Tecnológico a la Investigación y Desarrollo (I+D)

El enfoque metodológico descrito permite identificar el cambio en rendimientos atribuible al progreso tecnológico; sin embargo, asignar dicho impacto a una sola fuente institucional es complejo. En este estudio se asumió que el IDIAP constituye el principal agente de generación de tecnologías agrícolas en el país, y por tanto se le otorga un rol central en los cambios observados.

Se reconoce, sin embargo, que la evolución de los rendimientos también depende de factores complementarios: políticas públicas, programas de crédito y subsidios, participación privada en insumos y semillas, comercio agrícola y el accionar de agentes de extensión y productores. Por ello, el impacto estimado debe entenderse como un efecto agregado en el que el IDIAP ha jugado un papel predominante, aunque no exclusivo.

Para reflejar esta realidad, se atribuyó solo una fracción de los beneficios directamente a la investigación pública. La literatura recomienda porcentajes entre 30% y 50% cuando no existe información precisa (Alston et al., 2000; Pehu & O’Kane, 2017). En este estudio se adoptaron valores diferenciados: 45% para pasturas, 40% para arroz y maíz de variedades locales, 35% para papa, tomate y poroto, y 25% para maíz híbrido importado, potenciado mediante adaptación tecnológica.

Los beneficios atribuibles a la investigación se contrastaron con la inversión pública en I+D agropecuarios registrada como Ct, aplicando el método del VAN con tasas de descuento de 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5% y 15,0%. De esta forma se obtiene una medida del retorno económico de la investigación, integrando beneficios y costos públicos.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Las fórmulas empleadas fueron (Maredia & Raitzer, 2010):

$$VAN = \sum_t \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

$$VTB = \sum_{t=s}^n \sum_{i=1}^z \frac{B_{it} a_{it}}{(1+r)^t}$$

$$VTC = \sum_{t=f}^j \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

$$VAN = \sum_{t=f}^n \frac{B_{it} a_{it} - C_t}{(1+r)^t}$$

$$RBC = \frac{\sum_{t=s}^n \sum_{i=1}^z \frac{B_{it} a_{it}}{(1+r)^t}}{\sum_{t=f}^j \frac{K_t}{(1+r)^t}}$$

Donde:

VTB = Valor total del beneficio estimado (en balboas de 1975)

t = año (1975 año base del estudio, igual a 0)

s = año donde inicia el periodo de beneficio para el rubro productivo i

n = año donde termina el periodo del beneficio para el rubro productivo i

i = rubro productivo: 1=pasto, 2=arroz, 3=maíz, 4=porotos, 5=papa, 6=tomate

z = número total de cultivos productivos que reportan beneficios en el año t

B = Valor del beneficio estimado (en balboas de 1975)

a = coeficiente de atribución: a=1 para beneficio al país; 0,25 < a < 0,45 para IDIAP

r = tasa real de descuento

VTC=Valor total de los costos

C_t = Costo de la inversión (en balboas de 1975)

K = Inversión total del Estado Panameño en IDIAP

f = primer año de inversión del Estado Panameño en IDIAP

j = último año considerado en la inversión de fondos del Estado en IDIAP

VAN= Valor Actual Neto

RBC = Relación Beneficio - Costo



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Resumen de las tecnologías generadas para los seis rubros productivos evaluados

Los avances tecnológicos en los seis rubros productivos evaluados se vinculan directamente con la identificación de problemas productivos y la implementación de soluciones promovidas por el IDIAP (Cuadro 1). El desarrollo de variedades mejoradas, junto con tecnologías de manejo agronómico y la introducción de pasturas de mayor calidad, fueron estrategias clave para superar limitantes como plagas, enfermedades, deficiencias en la fertilización, escasez de semilla y deficiencias de manejo agronómico.

En conjunto, el cuadro muestra cómo la combinación de innovación genética, prácticas agronómicas mejoradas y tecnologías de manejo contribuyó de manera decisiva a elevar la productividad agrícola y ganadera del país durante el periodo de análisis.

Cuadro 1. Comparativo de variedades liberadas y tecnologías conexas generadas por IDIAP para seis cultivos.

Cultivo/ Variedades principales	Atributos mejorados	Tecnologías conexas	Limitantes solucionadas
Pasturas mejoradas <i>Brachiaria brizantha</i> (CIAT 664, 6298), <i>B. humidicola</i> (CIAT 679), <i>B. dictyoneura</i> (CIAT 6133), <i>Arachis pintoi</i> (Porvenir), <i>B. decumbens</i> (Señal), <i>B. rugulosa</i> (Tanner)	Alta productividad de biomasa, tolerancia a sequía y suelos ácidos, digestibilidad, proteína, tolerancia a pastoreo. Rendimiento potencial: 1,031 kg/ha/día carne; 0,692 kg/animal/día Pasturas naturales: 0,15 kg/animal/día.	Fertilización NPK, manejo de suelos ácidos, uso de leguminosas, ensilaje, heno.	Sequía, encharcamiento, manejo deficiente, bajos índices productivos, baja capacidad de carga.
Arroz IDIAP 38, IDIAP 145-05, IDIAP 54-05, IDIAP 52-05, IDIAP FL 069-18, IDIAP FL 148-18, IDIAP FL Alanjeña-22, 38, 5205, IDIAP FL 106-11, IDIAP FL 137-11, IDIAP FL 72-17, Oryzica 1	Calidad molinera, tolerancia a plagas y enfermedades, ciclos cortos-intermedios. Rendimiento potencial: Experimental: 9 t·ha ⁻¹ ; Productores: 3,8 (secano), 5,7 (riego).	Semilla certificada, fertilización balanceada, riego, control de plagas y enfermedades.	<i>Pyricularia oryzae</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Burkholderia glumae</i> , enfermedades fúngicas y bacterianas en follajes y panículas, complejo ácaro-hongos-bacterias, virosis.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cont.

<p>Maíz IDIAP-MV-1102, IDIAP-MV-1104, IDIAP-MQ-09, IDIAP-MQ-18, IDIAP-MV-1816, IDIAP-ProA-04, Guararé 8128</p>	<p>Tolerancia a sequía, alto β-caroteno, proteína mejorada, adaptación a densidades altas. Rendimiento potencial: Híbridos: 9,9 t·ha⁻¹; Variedades: 5,8 t·ha⁻¹</p>	<p>Siembra mecanizada, aumento en las densidades de siembra, fertilización, fechas adecuadas de siembra, arreglos topológicos.</p>	<p>Estrés hídrico y térmico, reducción de afectación por complejo del achaparramiento transmitido por chicharrita <i>Dalbulus maydis</i>.</p>
<p>Poroto Barriles, Primavera, Renacimiento, IDIAP R2, IDIAP R3, IDIAP C1, IDIAP NUA 24, IDIAP NUA 11, IDIAP NUA 45, IDIAP NUA 336, IDIAP P-09-11, IDIAP P-13-38, IDIAP CS 2-2-22, IDIAP P-3-16-22</p>	<p>Biofortificación (Fe, Zn), tolerancia a plagas y enfermedades, calidad de grano. Rendimiento potencial: Mejoradas: 2,5 t·ha⁻¹; Tradicionales: 1,6 t·ha⁻¹</p>	<p>Labranza mínima, fertilización, riego inicial, manejo postcosecha.</p>	<p><i>Thanatephorus cucumeris</i>, <i>Phaeoisariosis griseola</i>, <i>Thanatephorus cucumeris</i>, calor.</p>
<p>Papa IDIAP-92, IDIAFRIT, Granola, Kondor, Atlantic, Amigo, IDIAP Roja-17</p>	<p>Resistencia/tolerancia a plagas y enfermedades, rendimientos, consumo fresco e industria, mejor almacenamiento de tubérculos semilla, siembra continua. Rendimiento potencial: Mejoradas: 50 t·ha⁻¹; Tradicionales: 20–25 t·ha⁻¹</p>	<p>Fertilización, control químico de enfermedades y plagas de artrópodos, manejo de densidad de tallos, manejo de tubérculos semillas, almacenamiento controlado.</p>	<p>Escasez de tubérculos semilla, ciclo anual de siembra limitado, <i>Phytophthora infestans</i>, <i>Globodera rostochiensis</i>, <i>G. pallida</i>, infecciones por <i>R. solanacearum</i>, virosis, <i>Liriomyza</i> spp.</p>
<p>Tomate IDIAP T-7, IDIAP T-8, IDIAP T-9; Entero Chico y Entero Grande</p>	<p>Firmeza de frutos, sólidos solubles (Brix 5-7), vida de anaquel (30-40 días), tolerancia a la marchitez bacteriana. Rendimiento potencial: Mejoradas: 80 t·ha⁻¹; Tradicionales: 54–68 t·ha⁻¹; Criollos <45 t·ha⁻¹</p>	<p>Fertilización, fertirriego, densidad 37,000 plantas/ha, manejo postcosecha.</p>	<p>Calor, <i>Ralstonia solanacearum</i>, virosis, nemátodos, <i>Bemisia tabaci</i>, <i>Helicoverpa armigera</i>.</p>

Fuente: Morales, et al., (1994); Montenegro & Pinzón (1998); Pinzón & Montenegro (2002); Pinzón et al. (2005); Espino & Victoria (2002); Hertentains et al. (2008); Gutiérrez & Muñoz (2009); Rodríguez & Lorenzo (2009); Camargo et al. (2014); Rodríguez et al. (2015); Guerra et al. (2016); MIDA (2017); Urbina (2018); Gordón–Mendoza et al. (2016, 2020); Arosemena-Jaén et al. (2023); IDIAP (2024b); Guerra-Martínez & De Gracia-Gálvez (2023).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Enfrentando la variabilidad climática con variedades mejoradas

La incorporación de información climática es fundamental para interpretar la dinámica de los rendimientos agrícolas en Panamá, ya que los eventos extremos asociados a El Niño y La Niña han incidido históricamente en reducciones o aumentos de productividad, particularmente en arroz, maíz y pasturas.

La evolución del Índice Multivariado El Niño-Oscilación del Sur (MEI-ENOS) entre 1980 y 2024, se presenta en la Figura 3, con base en la serie oficial de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, 2024). Se muestran los valores mensuales (línea gris) y la media móvil de seis meses (línea negra continua), que permite identificar con mayor claridad las fases cálidas (El Niño) y frías (La Niña), delimitadas por los umbrales de +0,5 y -0,5 unidades de anomalía.

En los últimos 10 años, se observa una marcada variabilidad climática, con años de lluvias extremas ya sea en exceso o en déficit, de modo que los promedios históricos prácticamente no se cumplen (Figura 3), pues cada año se ubica por encima o por debajo de la media histórica registrada. En este sentido, el uso de variedades mejoradas, más tolerantes a sequías o excesos hídricos, constituye una estrategia clave para enfrentar la variabilidad climática y favorecer la adaptación a los impactos sobre la seguridad alimentaria y la sostenibilidad productiva.

Uno de los objetivos centrales de los programas de mejoramiento genético del IDIAP ha sido desarrollar variedades con mayor tolerancia a los efectos directos e indirectos de los extremos climáticos, considerando que la irregularidad de las lluvias constituye uno de los factores más determinantes para alcanzar rendimientos competitivos (Gordón-Mendoza, 2020).

Los bajos rendimientos de ciertos cultivos coinciden con la presencia de eventos extremos del El Niño y La Niña, que modifican las condiciones de lluvia y temperatura en la región. Esta relación sugiere un efecto de la variabilidad climática sobre la productividad. Aunque se reconoce que otros factores agrícolas y socioeconómicos también influyen, no



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

fueron considerados en este análisis. Por ello, la asociación presentada debe interpretarse como una evidencia parcial y no como una relación causal única.

El análisis de rendimientos entre 1975 y 2024 confirma una estrecha asociación con los eventos El Niño y La Niña (Figura 4), que modifican la precipitación y la temperatura en Centroamérica, afectando tanto sistemas de secano como de riego (Magaña Rueda, 1999; Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2015; NOAA, 2024). De manera consistente, las variedades mejoradas superaron a las tradicionales incluso en años de clima extremo, evidenciando su mayor tolerancia.

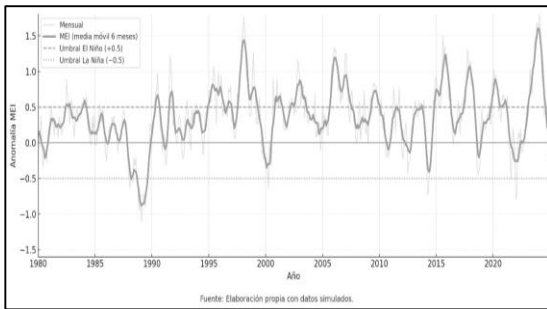


Figura 3. Índice Multivariado ENOS (MEI) simulado para el periodo 1980-2024.

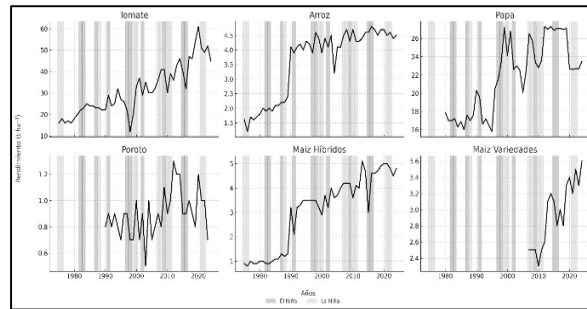


Figura 4. Evolución de los rendimientos de los cultivos evaluados frente a la variabilidad climática.

En tomate, las caídas más marcadas se registraron durante los eventos Niño (1997-1998, 2015-2016), cuando la sequía y el estrés térmico redujeron significativamente la producción, mientras que las fases neutrales permitieron repuntes. El arroz mostró vulnerabilidad tanto a déficits como a excesos de lluvia, con descensos durante los Niños fuertes (1982-83, 1997-98, 2015-16) y en la Niña 2010-12.

En papa, los picos de rendimiento coincidieron con condiciones más húmedas posteriores a episodios Niña (1999-2001, 2010-12). Por ejemplo, en la década de los 90, los episodios de El Niño y La Niña, generaron mayor susceptibilidad del cultivo a plagas y enfermedades (Magaña Rueda, 1999; NOAA, 2024), época en que los rendimientos de papa en las tierras altas de Panamá, se vieron seriamente afectados



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

por la invasión de la mosquita minadora (*Liriomyza* spp.), que ocasionó pérdidas de hasta un 35% (Morales et al., 1994).

El poroto presentó gran inestabilidad, con mínimos durante Niño (1982-83, 1997-98) y mejor desempeño bajo condiciones de Niña, coherente con la alta sensibilidad de las leguminosas al déficit hídrico (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2016). En maíz híbrido, la adopción tecnológica elevó los rendimientos promedio, aunque persistieron caídas en años críticos (1997-98, 2010-12, 2015-16). En contraste, el maíz de variedades locales mantuvo niveles menores y mayor vulnerabilidad a la sequía.

En conjunto, los resultados confirman que la variabilidad climática asociada al ENOS ha sido un factor determinante en la trayectoria de los rendimientos, condicionando tanto su nivel como su estabilidad interanual. Esta evidencia refuerza la necesidad de diseñar estrategias de adaptación diferenciadas por cultivo, que integren prácticas de manejo del agua, diversificación genética y el uso sistemático de pronósticos climáticos. En este marco, Gordón-Mendoza (2020) destaca, por ejemplo, que, en el caso del maíz, la selección adecuada de las fechas de siembra constituye una de las decisiones más críticas para mitigar los efectos adversos de la variabilidad climática sobre la producción agrícola.

Análisis económico

El análisis económico de la inversión pública en investigación agropecuaria a través del IDIAP muestra beneficios significativos y sostenidos para el país. Entre 1975 y 2024, el gasto anual en investigación osciló entre B/. 50,000 y B/. 9,4 millones, con un promedio de B/. 3,5 millones (Figura 5). En términos relativos, la inversión destinada al IDIAP representó, en valores constantes, el 0,5% del PIB agropecuario y apenas el 0,02% del PIB nacional en el período analizado.

Estas cifras confirman la baja intensidad de inversión en I+D agropecuarios en Panamá, en línea con los indicadores internacionales que señalan rezagos en la región. En contraste, los países que cuentan con sistemas consolidados de evaluación de



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

impactos y fuerte compromiso con la I+D destinan más del 5% del PIB agropecuario a investigación (FAO, 2016; Pratt et al., 2023). Esta brecha refleja la necesidad de fortalecer la inversión pública para potenciar los retornos demostrados en productividad y seguridad alimentaria.

Beneficios obtenidos por la adopción de las tecnologías generadas por IDIAP para seis rubros productivos

A pesar de que la inversión pública en investigación agropecuaria ha sido relativamente modesta en términos fiscales, los beneficios derivados de la adopción de tecnologías resultaron ampliamente superiores. Hacia 1985, apenas una década después de la creación del IDIAP, los beneficios anuales ya alcanzaban B/. 21 millones. Veinte años más tarde superaban los B/. 100 millones y, en la actualidad, rondan los B/. 184 millones. De este total, B/. 71,6 millones se atribuyen directamente a la investigación (Figura 6), lo que confirma la alta rentabilidad económica de la investigación agropecuaria en Panamá.

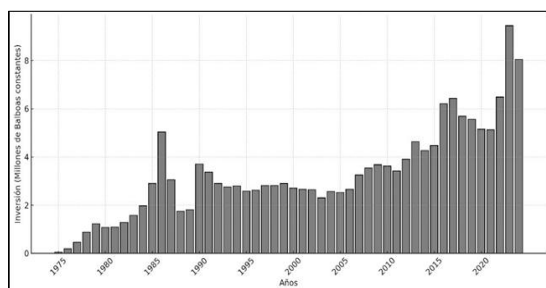


Figura 5. Inversión anual del Estado destinada al IDIAP (1975-2024).

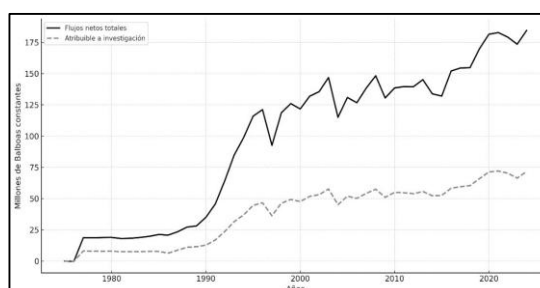


Figura 6. Flujos netos descontados obtenidos por la adopción de las tecnologías generadas por IDIAP para seis rubros productivos.

Indicadores Económicos con variaciones con las tasas de descuento

La literatura en evaluación de proyectos señala que la tasa de descuento es un factor crítico en la valoración, al reflejar el costo de oportunidad de los recursos y el riesgo asociado a la inversión (Boardman et al., 2018; Castillo & Zhangallimbae, 2021; Lilford, 2023). Con el fin de analizar la sensibilidad de los resultados, en este estudio se aplicaron tasas de descuento desde 0% hasta 15% (Figura 7), evaluando el comportamiento de dos indicadores económicos: la Relación B/C y el VAN. Los resultados muestran que, aun bajo



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

escenarios de descuento más exigentes, la investigación agropecuaria mantiene una rentabilidad positiva, lo que refuerza su justificación como política pública de inversión.

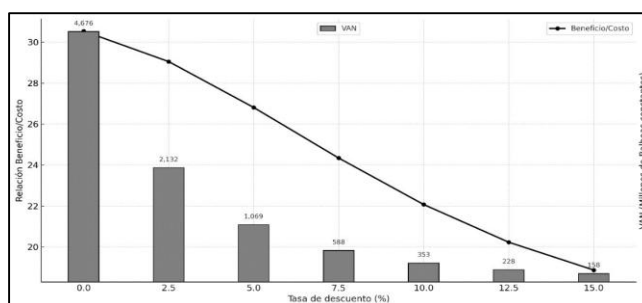


Figura 7. Sensibilidad de indicadores económicos por las variaciones en las tasas de descuento en la evaluación de tecnologías agropecuarias del IDIAP (1975-2024).

El análisis de sensibilidad muestra que, aunque ambos indicadores disminuyen progresivamente a medida que aumenta la tasa de descuento, el VAN se mantiene positivo y la Relación B/C supera la unidad en todos los escenarios. Para la discusión, se utilizaron los resultados con una tasa de descuento del 10%, dado que la literatura recomienda tasas moderadas (10-12%) en evaluaciones agrícolas (Bullard et al., 2002; Chizmar et al., 2020).

Con una tasa de 10%, se obtuvo un VAN de B/. 354 millones y una Relación B/C de 22.1 (Cuadro 2), implicando que, por cada balboa invertido por el Estado panameño en el IDIAP, se recibe más de veinte en retorno. Estos resultados son consistentes con la evidencia internacional, que reporta tasas internas de retorno entre 30% y 60% y relaciones B/C superiores a 10 en proyectos de investigación agrícola en América Latina, África y Asia (Morris & Heisey, 2003; Maredia & Raitzer, 2010; Fuglie et al., 2024).

Cuadro 2. Indicadores económicos de rentabilidad de seis rubros productivos en Panamá.

Indicador	Total	Atribuible a investigación
VAN (Valor Actual Neto, 10%)	B/. 354 millones	B/. 139 millones
Relación B/C (10%)	22.1	9.2

Nota: Cálculos basados en una tasa de descuento del 10%. Valores en balboas constantes de 1975.

El análisis de atribución confirma que, incluso bajo supuestos conservadores, la investigación agrícola en Panamá es altamente rentable. El VAN atribuible a investigación



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

se mantuvo en B/. 139 millones y la Relación B/C en 9,2, lo que demuestra que la parte del impacto directamente vinculada a la I+D supera ampliamente la inversión realizada.

En América Latina y el Caribe, diversos estudios reportan relaciones beneficio-costos superiores a 10 (Alston et al., 2000). Experiencias en Brasil, México y Asia documentan retornos que multiplican varias veces la inversión inicial en programas de arroz, maíz y frijol (Morris & Heisey, 2003; Maredia & Raitzer, 2010; Fuglie et al., 2024). Maredia & Raitzer (2010) señalan además que la investigación agrícola suele generar retornos sociales más altos que otras alternativas de gasto público, dado que los impactos se sustentan tanto en el aumento de rendimientos como en la sostenibilidad de la adopción. Esta conclusión coincide con el caso panameño, donde la amplia adopción de variedades mejoradas en arroz, maíz, papa, poroto, tomate y pasturas mejoradas explica gran parte de los beneficios observados.

Finalmente, Alston et al. (2000) recomiendan aplicar supuestos conservadores en la evaluación económica para evitar sobreestimaciones. En este sentido, la restricción metodológica empleada en este estudio que limitó el contrafactual al 50% del rendimiento promedio de las variedades mejoradas refuerza la validez de los resultados al reducir el riesgo de sesgos positivos en las estimaciones.

Beneficios segregados por rubros productivos

Los beneficios brutos generados por las tecnologías del IDIAP (Cuadro 3) muestran trayectorias diferenciadas entre los rubros evaluados (Figuras 8-13).

Pasturas mejoradas. Los beneficios totales se consolidaron rápidamente, pasando de cerca de B/. 19 millones en los primeros años a más de B/. 100 millones anuales en la actualidad (Figura 8). De este total, se atribuyen a la investigación B/. 53.9 millones (45%), una estimación conservadora frente a la literatura que sugiere rangos de 50-65% (Monjardino et al., 2022). Estos resultados ratifican la elevada rentabilidad de la inversión en forrajes, dado que las mejoras en calidad y productividad repercuten directamente en el desempeño de los sistemas ganaderos (Paul et al., 2020; Duncan et al., 2020).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 3. Beneficios anuales por rubro productivo y parte atribuible a I+D (valores constantes).

Rubro productivo	Rango de beneficios anuales (B/. millones)	Supuesto de atribución a I+D	Rango de Beneficios atribuibles (B/. millones)
Pasturas mejoradas	19.0 - 120.0	45%	9.0 - 54.0
Arroz	4.0 - 69.0	40%	1.5 - 28.0
Maíz	3.0 - 23.0	25%	0.8 - 6.0
Papa	0.1 - 4.0	35%	< 0.1 - 2.5
Poroto	1.2 - 4.0	35%	< 0.1 - 0.6
Tomate	1.2 - 4.0	35%	0.1 - 0.6

Notas: Rangos anuales según texto principal y Figuras 8–13. Atribución aplicada: Pasturas 45%; Arroz 40%; Maíz 25%; Papa/Poroto/Tomate 35%. Valores en balboas constantes; para pasturas se reporta “≥ 100” y el valor atribuible aproximado (≈ 53.9). Referencias de atribución: Alston et al. (2000); Maredia & Raitzer (2010); Pehu & O’Kane (2017).

Arroz. Desde las décadas de 1970 y 1990, las variedades liberadas por el IDIAP han aportado de manera decisiva a la productividad. Sin embargo, la irrupción del ácaro *S. spinki* entre 2004 y 2006 redujo la producción en más del 60%, evidenciando la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas ante limitantes. La rápida respuesta con materiales resistentes a plagas como el ácaro *S. spinki*, *Rhizoctonia solani*, *Magnaporthe oryzae* permitió recuperar la producción y, desde 2010, los beneficios anuales fluctúan entre B/. 49,6 y 54 millones, de los cuales entre B/. 19,9 y 21,9 millones son atribuibles a la investigación (Figura 9). Este patrón confirma el papel estratégico del mejoramiento genético en la gestión de riesgos (Morris & Heisey, 2003).

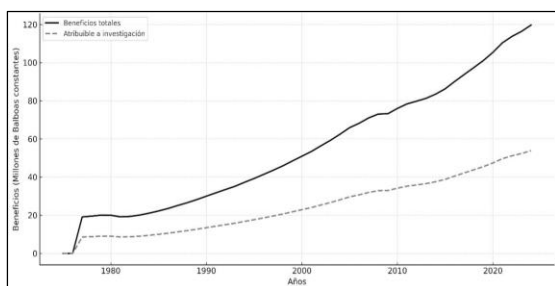


Figura 8. Beneficios obtenidos por las tecnologías generadas por IDIAP: pasturas mejoradas

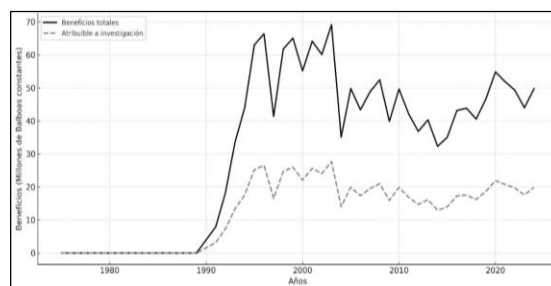


Figura 9. Beneficios obtenidos por las tecnologías generadas por IDIAP: arroz

Maíz. La introducción de híbridos y variedades, junto con innovaciones agronómicas (densidad de siembra, fertilización), ha sostenido un crecimiento desde 2009,



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

con beneficios anuales entre B/. 19,5 y 23 millones, de los cuales B/. 4,9 a 5,4 millones corresponden a investigación (Figura 10). Sin embargo, el mayor potencial de los híbridos conlleva costos adicionales en semillas y manejo, lo que requiere un cálculo cuidadoso de los beneficios netos (Maredia & Raitzer, 2010; Fuglie et al., 2024).

Papa. Este cultivo ha generado beneficios anuales en el rango de B/. 0,1 a 7 millones, con alrededor del 35% atribuible a la investigación (< 0,1 - 2,5 millones) (Figura 11). Aún con desafíos importantes debido a la variabilidad climática y la presión de plagas, como es el caso de la mosquita minadora (*Liriomyza* spp.) en la década de 1990. La literatura señala que las pérdidas llegaron hasta un 35% y los costos se incrementaron por el uso intensivo de insecticidas (Morales et al., 1994). Esta situación evidencia que, pese a las adversidades, las tecnologías generadas para este cultivo han permitido mantener su productividad y aportar significativamente a la economía y seguridad alimentaria nacional.

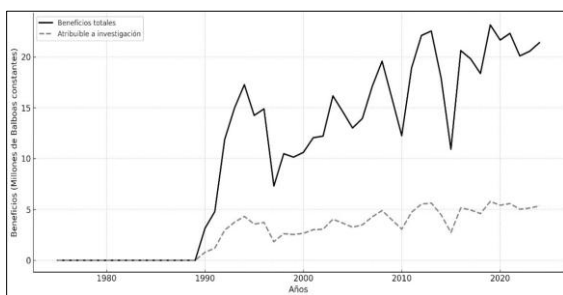


Figura 10. Beneficios obtenidos por las tecnologías generadas por IDIAP: maíz

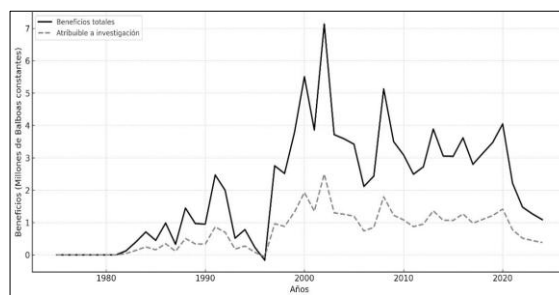


Figura 11. Beneficios obtenidos por las tecnologías generadas por IDIAP: papa

Poroto. Los beneficios han oscilado entre B/. < 0,1 - 1,7 millones por año, con aproximadamente 35% atribuible a la investigación (< 0,1 - 0,6 millones) (Figura 12). En 2003 se registraron valores negativos, ya que los rendimientos fueron inferiores al contrafactual debido a condiciones climáticas extremas. Aun así, la investigación ha permitido introducir materiales más resistentes a plagas y enfermedades, en línea con evaluaciones de Duncan et al. (2020).

Tomate. Con beneficios anuales similares a los del poroto (0,2 - 1,7 millones), de los cuales cerca del 35% corresponde a investigación (0,1 - 0,6 millones), este rubro



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

enfrenta alta variabilidad interanual y caídas durante eventos Niño severos (Figura 13). Sin embargo, la liberación de materiales con mayor vida de anaquel y resistencia genética a enfermedades, principalmente la marchitez bacteriana causada por *Ralstonia solanacearum*, permite reducir pérdidas, estabilizando los rendimientos, consolidando su adopción en campo y contribuyendo a la seguridad alimentaria y a la diversificación de ingresos para pequeños productores (IDIAP, 2024a).

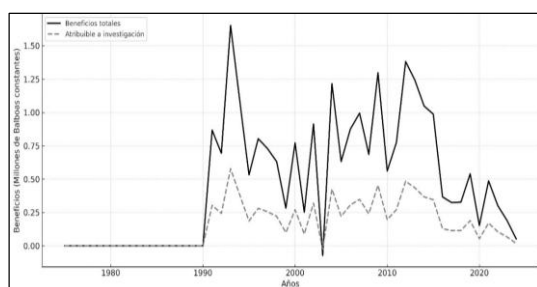


Figura 12. Beneficios obtenidos por las tecnologías generadas por IDIAP: poroto

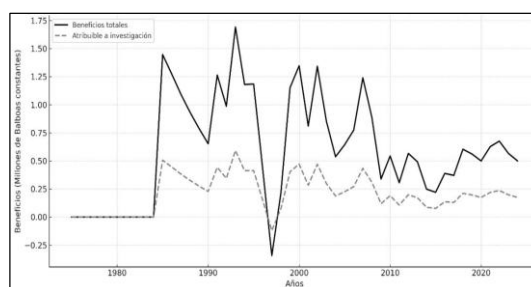


Figura 13. Beneficios obtenidos por las tecnologías generadas por IDIAP: tomate

En conjunto, los resultados confirman que, aunque arroz y pasturas concentran la mayor parte de los beneficios económicos, los cultivos de menor escala papa, poroto y tomate cumplen un papel relevante en la diversificación productiva, la seguridad alimentaria y la resiliencia de los agricultores. Estos hallazgos son consistentes con la literatura internacional, que documenta retornos sociales elevados y sostenidos de la investigación agrícola incluso bajo supuestos conservadores (Maredia & Raitzer, 2010; Kramer et al., 2020; Fuglie et al., 2024).

CONCLUSIONES

- La evidencia muestra que los recursos asignados por el Estado panameño al IDIAP han sido históricamente bajos y con marcada variabilidad, representando apenas una fracción del Producto Interno Bruto Agropecuario (PIB-Agr). Esta limitación ha restringido la capacidad institucional para responder de manera sostenida a los desafíos tecnológicos del sector.
- Aun con una inversión modesta, la investigación desarrollada ha generado beneficios económicos significativos. El análisis de seis de los más de 30 rubros productivos en los



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

que el IDIAP ha innovado, evidencia retornos que superan ampliamente la inversión, como lo confirman los indicadores de VAN y Relación B/C. Estos resultados respaldan la necesidad de incrementar y estabilizar el financiamiento destinado al IDIAP, reconociendo la investigación agropecuaria como política estratégica para fortalecer la productividad, la competitividad y la seguridad alimentaria del país.

- Es el primer esfuerzo sistemático y documentado para medir el impacto económico de la investigación agropecuaria en Panamá. A partir de esta experiencia, resulta indispensable establecer mecanismos institucionales de evaluación periódica y estandarizada de la inversión en I+D agropecuarios, que generen evidencia verificable y actualizada para orientar la formulación de políticas y la asignación eficiente de recursos en el sector.

REFERENCIAS

- Alston, J. M., Norton, G. W., & Pardey, P. G. (1995). *Science under scarcity: Principles and practice for agricultural research evaluation and priority setting*. International Service for National Agricultural Research. <https://hdl.handle.net/10568/136536>
- Alston, J. M., Marra, M. C., Pardey, P. G., & Wyatt, T. J. (2000). Research returns redux: a meta-analysis of the returns to agricultural R&D. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 44(2), 185-215.
<https://ageconsearch.umn.edu/record/117834/files/1467-8489.00107.pdf>
- Alston, J. M., Pardey, P. G., & Rao, X. (2020). *The Payoff to Investing in CGIAR Research*. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.337029>
- Anandajayasekeram, P. (2022). The role of agricultural R&D within the agricultural innovation systems framework. In *Innovation in small-farm agriculture* (pp. 75-87). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003164968>
- Arosemena-Jaén, E., Turmel, M. S., Tomita, K., & Navarro, M. (2023). Reposición de macronutrientes con aplicaciones de molibdeno en pastura con leguminosas nativas. *Ciencia Agropecuaria*, (37), 177-203.
<http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/622/518>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Banco Interamericano de Desarrollo. (2025). Mapa de Información Económica de la República de Panamá (MINERPA). <https://minerpa.com.pa/>
- Boardman, A., Greenberg, D., Vining, A., & Weimer, D. (2018). Cost-benefit analysis: Concepts and practice (5th ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/bca.2020.18>
- Borja-Bravo, M., Cuevas-Reyes, V., & Velez-Izquierdo, A. (2020). Impacto económico de la adopción de tecnología para la producción de frijol en condiciones de temporal en el norte centro de México. *CienciaUAT*, 14(2), 104-116. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582020000100104
- Bullard, S. H., Gunter, J. E., Doolittle, M. L., & Arano, K. G. (2002). Discount rates for nonindustrial private forest landowners in Mississippi: How high a hurdle? *Southern Journal of Applied Forestry*, 26(1), 26-31. <https://scholarworks.sfasu.edu/cqi/viewcontent.cgi?article=1066&context=forestry>
- Camargo-Buitrago, I., Quirós-McIntire, E. I., & Zachrisson, B. (2014). *Las variedades mejoradas de arroz del Idiap: un aporte al desarrollo del sector arrocero panameño*. Innovación tecnológica para el manejo integrado del cultivo de arroz en Panamá, 140 p. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. [https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/MIC_arroz_\(IDIAP\).pdf](https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/MIC_arroz_(IDIAP).pdf)
- Castillo, J. G., & Zhangallimbay, D. (2021). La tasa social de descuento en la evaluación de proyectos de inversión: una aplicación para el Ecuador. *Rev. CEAPL*, (134), 77-98. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/91cab4af-bbd4-41c5-b263-3e217bd549eb/content>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2015). *Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe: dinámicas, tendencias y variabilidad climática*. <https://hdl.handle.net/11362/3955>
- CGIAR System Organization. (2021). *CGIAR 2030 research and innovation strategy: Transforming food, land, and water systems in a climate crisis*. Montpellier, France: CGIAR System Organization. <https://hdl.handle.net/10568/110918>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Chizmar, S., Castillo, M., Pizarro, D., Vasquez, H., Bernal, W., Rivera, R., ... & Cubbage, F. (2020). A discounted cash flow and capital budgeting analysis of silvopastoral systems in the Amazonas region of Peru. *Land*, 9(10), 353. <https://doi.org/10.3390/land9100353>
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (1988). La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. Edición completamente revisada. México D.F., México: CIMMYT. <https://repository.cimmyt.org/entities/publication/8a41fe98-9f6c-41a5-a179-72d903c76800/full>
- Corrales Ojo, G. (2021). *Análisis de la variación de precios de bovinos comercializados en subastas ganaderas de Panamá 2016-2020* (Tesis de Ingeniero Agrónomo Zootecnista, Universidad de Panamá). <http://up-rid.up.ac.pa/id/eprint/6650>
- Daigneault, A., Brown, P., & Gawith, D. (2016). Dredging versus hedging: Comparing hard infrastructure to ecosystem-based adaptation to flooding. *Ecological Economics*, 122, 25-35. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.11.023>
- Duncan, A. J., Peters, M., Schultze-Kraft, R., Thornton, P. K., Teufel, N., Hanson, J., & McIntire, J. (2020). The impact of CGIAR centre research on use of planted forages by tropical smallholders. In *The Impact of the International Livestock Research Institute* (pp. 450-479). Wallingford UK: CABI. <https://doi.org/10.1079/9781789241853.0450>
- European Commission. (2015). *The Value of Research*. Directorate-General for Research and Innovation. RISE Group. https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/60_-_rise-value_of_research-june15_1.pdf
- Evenson, R., & Gollin, D. (2002). The Green Revolution: an end of century perspective. https://www.researchgate.net/publication/228855381_The_Green_Revolution_An_end_of_century_perspective
- Fan, S., Jitsuchon, S., & Methakunnavut, N. (2004). The importance of public investment for reducing rural poverty in middle-income countries: The case of Thailand. <https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/96c9ad4c-5427-4eed-acd2-bae6d9f28148/content>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Fan, S., Yu, B., & Jitsuchon, S. (2008). Does allocation of public spending matter in poverty reduction? Evidence from Thailand. *Asian Economic Journal*, 22(4), 411-430. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8381.2008.00284.x>
- Fuglie, K. O., Hertel, T. W., Lobell, D. B., & Villoria, N. B. (2024). Agricultural productivity and climate mitigation. *Annual Review of Resource Economics*, 16(1), 21-40. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-101323-094349>
- Gittinger, J. P. (1982). *Economic analysis of agricultural projects (completely revised and expanded)* (No. Ed. 2, pp. xxi+-505pp). <https://documents1.worldbank.org/curated/en/584961468765021837/pdf/multi0page.pdf>
- Gordon–Mendoza, R., Franco–Barrera, J. H., & Camargo–Buitrago, I. (2016). Impacto de la tecnología generada en el cultivo de maíz para la Región de Azuero. *Ciencia Agropecuaria*, (24), 1-18. <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/106>
- Gordón-Mendoza, R. (2020). Variabilidad climática y su efecto sobre la producción de maíz. *Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá: Calle Carlos Lara, Panamá*. <http://www.idiap.gob.pa/download/variabilidad-climatica-y-su-efecto-sobre-la-produccion-de-maiz/?wpdmdl=4596>
- Gordón-Mendoza, R., Franco-Barrera, J. E., Núñez-Cano, J. I., Sáez-Cigarruista, A. E., Ramos-Manzané, F. P., Jaén-Villarreal, J. E., & San Vicente-García, F. M. (2020). Evaluación y selección de variedades de maíz para sistemas de agricultura familiar de Panamá, 2017-2019. *Ciencia Agropecuaria*, (31), 99-126. <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/303/241>
- Guerra Murillo, J.A., Villarreal Núñez, J.E., Herrera Vásquez, J.A., Aguilera, V.A. & Osorio, O. (2016). Manual técnico Manejo integrado del cultivo de tomate industrial. <http://www.idiap.gob.pa/download/manual-tecnico-manejo-integrado-del-cultivo-de-tomate-industrial/?wpdmdl=3309>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Guerra-Martínez, P., & De Gracia-Gálvez, M. S. (2023). Factibilidad bioeconómica por simulación de tres escenarios de ceba intensiva de acabado en pastoreo. *Ciencia Agropecuaria*, (37), 7-34.
<http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/614>
- Gutiérrez, A. G., & Muñoz, J. (2009). Interacción genotipo por ambiente de siete variedades de papa en la zona papera de Chiriquí, Panamá. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 15(1), 12-18. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5512046>
- Griliches, Z. (1957). Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technological Change. *Econometrica*, 25(4), 501-522. <https://www.jstor.org/stable/1905380>
- Hall, A., Janssen, W., Pehu, E., & Rajalahti, R. (2006). *Enhancing Agricultural Innovation: How to Go beyond the Strengthening of Research Systems*. International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank.
<http://documents.worldbank.org/curated/en/492901468197385434>
- Heisey, P. W., & Morris, M. L. (2002). Practical challenges to estimating the benefits of agricultural R&D: The case of plant breeding research.
<https://doi.org/10.22004/AG.ECON.19828>
- Hertentains, L. A., Troetsch, O. A., & Santamaría, E. E. (2008). Potencial de *Brachiaria brizantha* CIAT 6298 en la producción de carne de cebú y otros cruces en Bugaba, Chiriquí. *Ciencia Agropecuaria*, (20), 1-13.
<http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/190>
- Hulten, C. R. (1979). *On the "importance" of productivity change*. *The American Economic Review*, 69(1), 126-136.
<https://www.jstor.org/stable/1802503#:~:text=https%3A//www.jstor.org/stable/1802503>
- Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. (1995). Plan operativo anual 1995. 158p. Panamá.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá. (2024a). *Disponibilidad de germoplasma resistente a diferentes patógenos plagas a nivel nacional*. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá.

https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/Disponibilidad_de_germoplasma_resistente_IDIAP.pdf

Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). (2024b). Informe técnico anual del proyecto de arroz. IDIAP.

Investigación y Desarrollo Mundial (R&D World). (2024). 2024 Global R&D Funding Forecast. <https://www.rdworldonline.com/research-development-2024-global-rd-investment-forecast/>

Kramer, B., Rusconi, R., & Glauber, J. W. (2020). Five years of regional risk pooling: An updated cost-benefit analysis of the African risk capacity. <https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/e62a4a72-79c3-4778-997c-77b13836ec2e/content>

Kuehne, G., Llewellyn, R., Pannell, D. J., Wilkinson, R., Dolling, P., Ouzman, J., & Ewing, M. (2017). Predicting farmer uptake of new agricultural practices: A tool for research, extension and policy. *Agricultural systems*, 156, 115-125. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.06.007>

Lan, L., Sain, G., Czaplicki, S., Guerten, N., Shikuku, K. M., Grosjean, G., & Läderach, P. (2018). Farm-level and community aggregate economic impacts of adopting climate smart agricultural practices in three mega environments. *Plos one*, 13(11), e0207700. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207700>

Lilford, E. (2023). Natural resources: Cost of capital and discounting—Risk and uncertainty. *Resources Policy*, 80, 103242. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103242>

López, C. A., Salazar, L., & De Salvo, C. P. (2017). Public Expenditures, Impact Evaluations and Agricultural Productivity: Summary of the Evidence from Latin America and the Caribbean. <http://dx.doi.org/10.18235/0000627>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Magaña Rueda, V. O. (1999). Los impactos de El Niño en México. Centro de Ciencia de la Atmósfera UNAM, México. (pp. 229). <https://www.atmosfera.unam.mx/wp-content/uploads/2022/09/EINino.pdf>
- Maredia, M.K, & Byerlee, D. (eds). (1999). The Global Wheat Improvement System: Prospects for Enhancing Efficiency in the Presence of Research Spillovers. Mexico, DF (Mexico). CIMMYT. 160 p. series: CIMMYT Research Report No. 5. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20001616818>
- Maredia, M. K., & Raitzer, D. A. (2010). Estimating overall returns to international agricultural research in Africa through benefit-cost analysis: a “best-evidence” approach. *Agricultural Economics*, 41(1), 81-100. <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2009.00427.x>
- Marshall, G. R., & Brennan, J. P. (2001). Issues in benefit-cost analysis of agricultural research projects. *Aust. J. Agric. Resour. Econ.* 45 (2), 195–213. <https://doi.org/10.1111/1467-8489.00139>
- Ministerio de Desarrollo Agropecuario de Panamá. (2017). Resuelto N° OAL-004-ADM-2015. Certificado de Registro Cultivar Comercial IDIAP Roja-17. 22 de enero de 2015.
- Ministerio de Desarrollo Agropecuario. (1990-2024). *Cierres agrícolas anuales de Panamá*. MIDA. <https://mida.gob.pa/direcciones/direccion-de-agricultura/cierres-agricolas/>
- Mogues, T., Fan, S., & Benin, S. (2015). Public investments in and for agriculture. *The European Journal of Development Research*, 27(3), 337-352. <https://doi.org/10.1057/ejdr.2015.40>
- Monjardino, M., Loi, A., Thomas, D. T., Revell, C. K., Flohr, B. M., Llewellyn, R. S., & Norman, H. C. (2022). Improved legume pastures increase economic value, resilience and sustainability of crop-livestock systems. *Agricultural Systems*, 203, 103519. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103519>
- Montenegro, R., & Pinzón, B. R. (1998). Persistencia de la asociación *Digitaria swazilandensis* y *Arachis pintoi* CIAT 17434 bajo dos periodos de descanso. *Ciencia Agropecuaria*, (9), 105-116.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

<http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/460>

- Morales Araúz, R.A., Atencio, F. A., Lara, J.A. & Muñoz, Jorge A. (1994). La mosquita minadora (*Liriomyza* spp.), Diptera: Agromyzidae en Panamá. Monografía #1. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. 1994. <https://www.cabi.org/wp-content/uploads/Morales-1994-Liriomyza.pdf>
- Morris, M. L., & Heisey, P. W. (2003). Estimating the benefits of plant breeding research: methodological issues and practical challenges. *Agricultural Economics*, 29, 241-252. <https://iaes.cgiar.org/sites/default/files/pdf/108.pdf>
- Naciones Unidas. Consejo Económico y Social. (2024). *Cooperación mundial en ciencia, tecnología e innovación para el desarrollo: Informe del Secretario General (E/CN.16/2024/3)*. Comisión de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, 27º período de sesiones, Ginebra, 15-19 de abril de 2024. <https://docs.un.org/en/E/CN.16/2024/>
- National Oceanic and Atmospheric Administration (2024). *Cold & Warm Episodes by Season (1950-present)*. Climate Prediction Center. https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php
- Organización de Estados Iberoamericanos (OEI) & Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2023). *El Estado de la Ciencia: Principales Indicadores de Ciencia y Tecnología Iberoamericanos / Interamericanos* [Publicación]. <https://www.riicyt.org/wp-content/uploads/2023/12/EL-ESTADO-DE-LA-CIENCIA-2023.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). *Cambio climático y seguridad alimentaria en América Latina y el Caribe*. https://www.sica.int/documentos/cambio-climatico-y-seguridad-alimentaria-y-nutricional-america-latina-y-el-caribe-fao-2016_1_106985.html
- Paul, B. K., Koge, J., Maass, B. L., Notenbaert, A., Peters, M., Groot, J. C., & Tiftonell, P. (2020). Tropical forage technologies can deliver multiple benefits in Sub-Saharan Africa. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 40, 22. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00626-3>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Pehu, E., & O’Kane, M. (2017). Inception Report of the *Evaluation of the Independent Science and Partnership Council (ISPC)*. Rome, Italy: Independent Evaluation Arrangement (IEA) of CGIAR. <https://iaes.cgiar.org/sites/default/files/pdf/Inception-Report-Evaluation-of-ISPC-1.pdf>
- Pinzón, B., Cubillos, G., González, J., & Montenegro, R. (1990). Efecto del período de descanso y la dosis de nitrógeno sobre la producción de praderas de pasto faragua (*Hyparrhenia rufa* (Nees) Stapft). Evolución de la pradera y características del suelo. *Ciencia Agropecuaria*, (6), 39-58.
<http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/516>
- Pinzón, B., & Montenegro, R. (2002). Potencial de producción de carne en pasturas de *Brachiaria* solas y asociadas con la leguminosa *Arachis pintoii*. 1994-1996. *Ciencia Agropecuaria*, (11), 129-157.
<http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/378>
- Pinzón, B., Montenegro, R., & Santamaría, E. (2005). Repuesta de *Brachiaria decumbens* cv. señal a la aplicación fraccionada de nitrógeno en condiciones de Gualaca, Panamá. 2001-2003. *Ciencia Agropecuaria*, (18), 95-103.
<http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/245>
- Pratt, A. N., Stads, G. J., de los Santos, L., & Muñoz, G. (2023). Unlocking Innovation: Assessing the Role of Agricultural R&D in Latin America and the Caribbean.
<http://dx.doi.org/10.18235/0005006>
- Rodríguez, E. Q., & Lorenzo, E. (2009). Manual técnico: tecnologías para el manejo integrado del cultivo de frijol poroto (*Phaseolus vulgaris* L.) en Panamá. Panamá. PA. IDIAP. <http://www.idiap.gob.pa/download/manual-tecnico-tecnologias-para-el-manejo-integrado-del-cultivo-de-frijol-poroto/?wpdmdl=1286>
- Rodríguez, E., Lorenzo, E., & Guevara, F. G. (2015). IDIAP-R2 comparado con las variedades criollas de frijol poroto en Panamá. *Ciencia Agropecuaria*, (22), 59-69.
<http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/164>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Stads, G. J., Beintema, N., Pérez, S., Flaherty, K., & Falconi, C. (2016). Investigación agropecuaria en Latinoamérica y el Caribe. *Un análisis de las instituciones, la inversión y las capacidades entre países. ASTI/BID.*

<http://dx.doi.org/10.18235/0006519>

Toillier, A., Guillonnet, R., Bucciarelli, M., & Hawkins, R. (2020). *Developing capacities for agricultural innovation systems: lessons from implementing a common framework in eight countries.* Rome, FAO and Paris, Agrinatura.

https://capacity4dev.europa.eu/library/report-developing-capacities-agricultural-innovation-systems_en

World Bank Group & Independent Evaluation Group. (2012). *World Bank Group impact evaluations: relevance and effectiveness.* Washington, DC: World Bank Publications. <http://documents.worldbank.org/curated/en/206961468154467890>

World Bank. (2012). *Agricultural innovation systems: An investment sourcebook.* Agricultural and Rural Development. © World Bank.

<http://hdl.handle.net/10986/2247>

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro reconocimiento al Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) y, en particular, al equipo técnico que durante más de cincuenta años ha contribuido con esfuerzo y compromiso a la generación de tecnologías que fortalecen la base científica y productiva del sector agropecuario del país. Agradecemos igualmente a los productores que, al confiar en los procesos de investigación y adoptar las tecnologías desarrolladas por el IDIAP en condiciones reales de producción, han permitido validar su impacto en la productividad y la sostenibilidad. Este trabajo es fruto de la convergencia entre ciencia, práctica en el campo y respaldo humano, que en conjunto hacen posible el avance hacia una agricultura más resiliente y competitiva.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

LISTA DE COMPROBACIÓN PARA LA PREPARACIÓN DE ENVÍOS

Como parte del proceso de envío, los autores/as están obligados a comprobar que su envío cumpla todos los elementos que se muestran a continuación. Se devolverán a los autores/as aquellos envíos que no cumplan estas directrices.

- El envío no ha sido publicado previamente ni se ha sometido a consideración por ninguna otra revista (o se ha proporcionado una explicación al respecto en los Comentarios al editor/a).
- El archivo de envío está en formato OpenOffice y Microsoft Word.
- Siempre que sea posible, se proporcionan direcciones DOI o URL para las referencias.
- El texto tiene interlineado a espacio y medio; 11 puntos de tamaño de fuente arial; se utiliza cursiva en lugar de subrayado (excepto en las direcciones URL); y todas las ilustraciones, figuras y tablas se encuentran colocadas en los lugares del texto apropiados, en vez de al final.
- El texto se adhiere a los requisitos estilísticos y bibliográficos resumidos en las [Directrices del autor/a](#), que aparecen en Acerca de la revista.

A. NORMAS GENERALES

La revista Ciencia Agropecuaria publica artículos científicos originales realizados en cualquier área de las ciencias agropecuarias.

Los escritos deben ser redactados en español y enviados vía correo electrónico a cienciaagropecuaria@idiap.gob.pa (solicitar confirmación de lectura). La presentación en otro idioma deberá ser consultada previamente con el editor principal de la revista. Deben ser de interés para un público especializado, redactados en prosa científica y comprensible al lector.

Los trabajos que ingresan a la revista son revisados, evaluados, que cumplan con el formato establecido (formato de revisión). Una vez ajustados al formato de la revista, son enviados a especialistas (revisión de pared) y con dos dictámenes positivos se acepta la incorporación del trabajo al índice en curso.

Aquellos trabajos que no se ajusten a las normas para autores y formato de revisión (disponibles en: <http://www.idiap.gob.pa/download/formato-de-revision/?wpdmdl=916>) serán devueltos a los autores para los respectivos ajustes, antes de ser considerados para evaluación y los aceptados serán publicados bajo el entendimiento de que el material presentado es original e inédito, siendo los autores los únicos responsables por la veracidad y exactitud de las afirmaciones y datos

presentados. Además, la revista provee acceso libre inmediato a su contenido en el principio de que hacer disponibles gratuitamente investigaciones al público apoya a un mayor intercambio de conocimiento global.

Los trabajos deben enviarse vía correo electrónico a cienciaagropecuaria@idiap.gob.pa y su envío debe incluir carta de presentación del artículo, el documento, formato de revisión, declaración de inédito, aprobación de los autores y de las instituciones participantes mencionadas en el documento.

Todos los trabajos deben incluir título, autores, resumen y palabras claves, tal como se describen en el artículo.

Los trabajos deben ser preparados en el procesador de texto Microsoft Word, en letra arial, tamaño 11, a espacio y medio. Márgenes superior e inferior de 2,5 cm (1 pulgada) e izquierdo y derecho de 3,05 cm (1,2 pulgadas) y un máximo de 25 páginas.

Los nombres científicos deben ser escritos en cursiva, mayúscula inicial para el género y la especie en minúscula; para la familia se debe escribir en regular o normal (en Word) con mayúscula inicial. Las abreviaturas y signos redactados con base en el Sistema Internacional de Unidades (SI), también llamado Sistema Internacional de Medidas, usado internacionalmente y basado en el sistema métrico decimal.

Los cuadros y figuras (gráficos, dibujos, esquemas, diagramas) se presentan en secuencia lógica de acuerdo al texto. Adicional, deben aparecer en archivos aparte en original y las fotos en formato JPG o TIF. El tamaño de la fuente igual que el texto en negrita. Los cuadros y leyendas de las figuras deben ser enumerados en arábigo por orden de referencia en el texto.

Citación

La literatura citada se basa en la norma implementada por la Normas APA (7^a ed.) para la estructuración de la lista de referencias bibliográficas.

Sánchez, C. (11 de diciembre de 2019). Actualizaciones en la 7ma (séptima) edición de las Normas APA. *Normas APA (7ma edición)*. <https://normas-apa.org/introduccion/actualizaciones-en-la-7ma-septima-edicion-de-las-normas-apa/>

Generalidades

- Evitar el uso de referencias de datos no publicados, ya que no se encuentran con la disponibilidad para los lectores que deseen acceder a esas fuentes.
- Las referencias bibliográficas en el texto deben aparecer citadas en idioma español independiente del idioma de origen de la fuente.
- En la literatura cita las referencias deben redactarse de acuerdo con el idioma de origen de la misma.

- No se aceptan referencias bibliográficas que tengan más de diez años de antigüedad, a menos que sea indispensable o sea trabajos clásicos que mantienen su vigencia en el tiempo.
- Evitar más de tres citas para apoyar una idea o información.
- Las citas en el texto según APA la cita parentética menciona separando con una coma el apellido del primer autor del año; si son dos autores el apellido de cada autor va separado por “y”, finalmente cuando se trata de referencias con más de dos autores, se menciona el apellido del primer autor seguido de “et al.”.

Ejemplos:

Tipo de autor	Cita parentética	Cita narrativa
Un autor	(Fernández González, 2010)	Fernández González (2010)
Dos autores	(Echeita y Serrano, 2019)	Echeita y Serrano (2019)
Tres o más autores	(Blanco et al., 2019)	Blanco et al. (2019)
Autor corporativo o institucional con siglas <ul style="list-style-type: none"> • Primera cita • Citas sucesivas 	(Organización Mundial de la Salud [OMS], 2016) (OMS, 2016)	Organización Mundial de la Salud (OMS, 2016) OMS (2016)
Autor corporativo o institucional sin siglas	(Colegio Oficial de la Psicología de Madrid, 2020)	Colegio Oficial de la Psicología de Madrid (2020)

Casos especiales:

- Citas múltiples de un mismo autor y fecha: (Rodríguez, 2007a) o Rodríguez (2007b)
- Autores con apellidos iguales (se incluye la inicial del nombre): (J.M. Taylor, 2015; T. Taylor, 2014)
- Traducciones: (Piaget, 1966/2000) o Piaget (1966/2000)

Citas textuales:

En este tipo de citas debemos incluir autor, año y número de página/s. Si el trabajo no está paginado indicar sección o párrafo en el que se encuentra la información.

- Menos de 40 palabras: introducir en el texto la información entrecomillada.
- Más de 40 palabras: introducir la información en párrafo aparte con margen de 5 espacios y sin utilizar comillas.
- Cita textual extraída de una página: (Blanco et al., 2019, p. 252)
- Cita textual extraída de más de una página: (Blanco et al., 2019, p. 252-253)
- Cita textual sin numeración de página: (Blanco et al., 2019, párr. 3)

Redactar referencias en APA

Libro en papel

Echeita, G., y Serrano, G. (2019). Educación inclusiva: el sueño de una noche de verano. Octaedro.

Libro electrónico

Pichardo Galán, J., y Stéfano Barbero, M. (Eds.). (2015). *Diversidad sexual y convivencia: una oportunidad educativa*. Universidad Complutense de Madrid. http://eprints.ucm.es/34926/1/Diversidad_y_convivencia_2015_FINAL.pdf

Capítulo de libro

Gilmartín, M. A. (2008). Ambientes escolares. En J. A. Aragonés y M. Amérigo (Eds.), *Psicología ambiental* (pp. 221-237). Pirámide.

Entrada en diccionario o enciclopedia

American Psychological Association. (n.d.). Educational Psychology. En *APA dictionary of psychology*. Recuperado 26 Junio, 2020, de <https://dictionary.apa.org/educational-psychology>

Artículo de revista en papel

Rodríguez, C. (2007). God's eye does not look at signs. Early development and semiotics. *Infancia y Aprendizaje*, 30(3), 343-374.

Artículo de revista electrónica

- Artículo de revista con paginación y doi

Blanco, M., Veiga, O. L., Sepúlveda, A. R., Izquierdo-Gomez, R., Román, F. J., López, S., y Rojo, M. (2019). Ambiente familiar, actividad física y sedentarismo en preadolescentes con obesidad infantil: estudio ANOBAS de casos-controles. *Atención Primaria*, 52(4), 250-257. <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2018.05.013>

- Artículo de revista con identificador electrónico (eLocator)

Buring, D., Kilteni, K., Rabuffetti, M., Slater, M., y Pia, L. (2019). Body ownership increases the interference between observed and executed movements. *PLOS ONE*, 14(1), Article e0209899. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209899>

Comunicación en Congreso

Alonso-Vega, J., Álvarez-Iglesias, A., Ávila-Herrero, I., y Froxán-Parga, M. X. (2019, junio 18). *Verbal interaction analysis of the intervention to an adult with severe behavioral problems* [Presentación de póster]. XVI European Congress of Psychology, Moscú, Rusia. <https://doi.org/10.26226/morressier.5cf632bbaf72dec2b055469e>

Legislación

Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la mejora de la calidad educativa. *Boletín Oficial del Estado*, 295, de 10 de diciembre de 2013, 97858-97921. <http://www.boe.es/boe/dias/2013/12/10/pdfs/BOE-A-2013-12886.pdf>

Test

Wechsler, D. (2005). *Escala de inteligencia de Wechsler para niños-IV (WISC-IV): Manual técnico y de interpretación*. TEA

Página web

Organización Mundial de la Salud. (2016, abril). *Preguntas y respuestas sobre los trastornos del espectro autista (TEA)*. <https://www.who.int/features/qa/85/es/>

Tesis doctoral o trabajo académico

Fernández González, A. (2010). La inteligencia emocional como variable predictora de adaptación psicosocial en estudiantes de la Comunidad de Madrid [Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid]. Biblos-e Archivo. <http://hdl.handle.net/10486/4872>

Audiovisuales

TED. (2018, septiembre 24). *Paolo Bortolameolli: ¿Por qué nos emociona la música?* [Vídeo]. YouTube. <https://youtu.be/ulDYtj8kQUs>

Redes Sociales

- Perfil de Twitter

APA Style [@APA_Style]. (n.d.). *Tweets* [Perfil de Twitter]. Twitter. Recuperado Junio 19, 2020, de https://twitter.com/APA_Style

- Tweet

APA Education [@APAEducation]. (2018, Junio 29). *College students are forming mental-health clubs-and they're making a difference @washingtonpost* [Imagen con enlace adjunto] [Tweet]. Twitter. <https://twitter.com/apaeducation/status/1012810490530140161>

- Página de Facebook

Colegio Oficial de la Psicología de Madrid. (n.d.). *Home* [Página de Facebook]. Facebook. Recuperado Junio 19, 2020, de <https://es-es.facebook.com/Colegio-Of-de-la-Psicolog%C3%ADa-de-Madrid-155367554511985/>

No debe incluir lo siguiente:

Hay algunos tipos de trabajos que no deben ser incluidos en la lista de referencias. Por lo general, la razón por la cual no se incluye un trabajo es porque los lectores no podrán recuperarlo o porque la mención es tan amplia que los lectores no necesitan una entrada en la lista de referencias para comprender el uso.

Menciones generales de páginas web completas, publicaciones periódicas completas no requieren citas en el texto o entradas en la lista de referencias porque el uso es amplio y la fuente es familiar.

Las comunicaciones personales como correos electrónicos, llamadas telefónicas o mensajes de texto se citan solo en el texto, no en la lista de referencias, porque los lectores no pueden recuperar las comunicaciones personales.

Las frases o mensajes de eventuales entrevistados en la investigación pueden ser presentadas y discutidas en el texto, pero no necesitan citas ni entradas en la lista de referencias. En este caso, no es necesario una cita y su respectiva referencia porque las frases son parte de su investigación original. Además, también podrían comprometer la confidencialidad de los participantes, lo cual es una violación ética.

La fuente de una dedicatoria generalmente no aparece en la lista de referencias a menos que el trabajo sea un libro o revista académica. Por ejemplo, si agregas al comienzo de tu documento una cita inspiradora de un famoso, la fuente de la cita no aparece en la lista de referencia porque la cita está destinada a establecer el escenario para el trabajo, y no para justificar un punto clave.

Formato

La lista de referencias debe iniciar en una nueva página separada del texto. El título de esta página debe ser "Referencias" y debe estar centrado en la parte superior de la página. La palabra Referencias debe ir en negrita.

Las referencias deben estar organizada en orden alfabético de acuerdo con el apellido y las iniciales del nombre del primer autor.

Recordar: Debe redactar lo que desea resaltar de la información y luego presentar la cita, igual para los cuadros, figuras e imágenes. Los artículos que mencionen productos químicos, deberán hacerlo por el nombre genérico o ingrediente activo.

B. NORMAS ESPECÍFICAS

1. ARTÍCULOS

Se estructurará de la siguiente forma: Título (español e inglés), autores (afiliación, dirección, correo electrónico en pie de página), resumen y palabras claves en español e inglés, introducción, materiales y métodos, resultados y discusión, conclusiones, bibliografía, cuadros y figuras. Extensión máxima de 25 páginas, incluyendo cuadros, figuras, fotos y referencias.

1. **Título:** En mayúscula cerrada y centrado, debe expresar en 15 palabras el contenido, las materias y conceptos clave. Se proporcionará en español e inglés. Indicar en pie de página si fue tesis, proyecto, entre otros.
2. **Autores:** Debe indicar el nombre completo y sus dos apellidos sin abreviar y separados por un guion, centrado, después del título, se indicarán en orden, primer autor e indicar en el pie de página la afiliación de cada autor, Institución o Compañía en la que labora (nombre completo y siglas entre paréntesis), dirección o correo electrónico y en caso de contar con el apartado postal incluirlo.
3. **Resumen:** En español e inglés. Debe ser breve y evitar exceder de 5% (aproximadamente 250 palabras) del texto principal Incluye el objetivo de la investigación, método experimental, los resultados más importantes y las conclusiones. El resumen debe ser lo suficientemente explícito para que el lector obtenga un conocimiento exacto del contenido. Esto es esencial para el resumen en inglés.

4. **Palabras claves:** Un máximo de cinco palabras, pueden ser compuestas, y las mismas, deben permitir identificar la temática y evitar repetir las palabras del título.
5. **Introducción:** Debe ser breve y contendrá los antecedentes más importantes o relevantes de la investigación, el estado actual del tema objeto de la investigación, la problemática (alcances y limitaciones) y las razones por las cuales se hizo el planteamiento. Debe redactar lo que desea resaltar de la información y luego presentar la cita, igual para los cuadros y figuras.
6. **Materiales y métodos:** Se expondrá de forma concisa, los materiales utilizados y la metodología. Se deberá presentar los detalles necesarios para que el lector interesado pueda repetir la parte experimental, con indicación de sobre los datos agro meteorológicos, diseño y métodos de análisis estadísticos empleados. Para los procedimientos ya descritos en la literatura, deben ser citados y sólo se aceptará la mención de modificaciones sustanciales.
7. **Resultados y discusión:** Se dan a conocer los datos obtenidos más importantes. Estos deben presentarse en la forma más concisa posible, (si es necesario se utilizarán subtítulos, si son varios los factores que intervinieron en el estudio). Las figuras y cuadros deben ser elementos de apoyo a los resultados y no deben repetir la información que aparece en el texto. Los promedios y señalamientos de diferencias significativas deben acompañarse de las indicaciones de la variación relativa y probabilidad alcanzada. En la discusión de resultados se señalan las relaciones entre los hechos observados. Debe indicarse el significado de los hechos, las causas, los efectos e implicaciones.
8. **Conclusiones:** En esta sección se presentan los hechos significativos en forma clara y lógicamente. Las conclusiones deben dar respuesta a los objetivos descritos en la introducción.
9. **Referencias:** Se incluirá sólo la literatura citada tomando en cuenta la Norma APA (7ª) para la estructuración de la lista de referencias bibliográficas y se acepta con un mínimo de 10 citas.
10. **Agradecimiento:** (Opcional) Para efecto de reconocimiento del autor a personas e instituciones que hayan colaborado en la información del manuscrito, sus nombres deberán presentarse en esta sección.

2. NOTAS CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS

1. **Notas científicas:** Serán considerados aquellos escritos basados en aspectos experimentales, investigaciones terminadas o en curso, de cualquier tipo, que presenten un aspecto metodológico novedoso, con resultados que el autor decida comunicar, en este estilo, por considerarlo importante.
2. **Notas técnicas:** Serán considerados aquellos escritos que presenten: (1) Descripción de una nueva técnica de producción; (2) Estudios preliminares de caracterización de nuevos criterios de selección; (3) Resultados o logros sobresalientes de un programa (4) Temas de interés, científico y tecnológico. Se estructurará de igual forma que el artículo: Título (español e inglés), autores (identificación y lugar de trabajo en pie de página), resumen y palabras claves en

español e inglés, introducción, materiales y métodos, resultados y discusión, conclusiones, Referencias, cuadros y figuras. Extensión máxima de 10 páginas en Word con el mismo formato y márgenes solicitados en el artículo e incluyendo cuadros, figuras y referencias bibliográficas. Los cuadros no deberán ser más de 3.

3. COMUNICACIONES CORTAS

Las comunicaciones cortas son reportes de significado, urgencia e interés, pero deben contener resultados preliminares relevantes. Una extensión máxima de 10 páginas en Word. La introducción debe indicar la urgencia, el significado o el interés extraordinario de la información, lo cual ayudará al cuerpo editorial en la aceptación o rechazo de la comunicación. No debe ser estructurada de la misma manera que un artículo, debe contener una introducción breve sobre el tema y los resultados más importantes. Si se describe un trabajo sintético, se debe agregar suficiente material suplementario con el fin de quien lo desee pueda replicar la metodología.

Incluir: Título (español e inglés), autores (identificación y lugar de trabajo en pie de página), resumen y palabras claves en español e inglés.

4. ENSAYOS Y REVISIONES BIBLIOGRÁFICAS

Se estructurarán de la siguiente forma: Título (español e inglés), autores (identificación y lugar de trabajo en pie de página), resumen y palabras claves en español e inglés, introducción, subtítulos y referencias bibliográficas. Podrá ser presentado en otro idioma, previa consulta con el editor principal de la revista. Debe tener una extensión máxima de 25 páginas en Word con el mismo formato y márgenes solicitados en el artículo científico e incluyendo cuadros, figuras y no menos de 50 referencias bibliográficas.

Publicación semestral del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá

La publicación de artículos es sin costo alguno, la revista es de acceso abierto.

Los trabajos que ingresan a la revista se examinan que cumplan con el formato establecido. Una vez revisado y ajustado al formato, son enviados a especialistas y con dos dictámenes positivos se incorporan al índice en curso.

La publicación de los artículos es responsabilidad de los autores, quedando la revista científica CIENCIA AGROPECUARIA sin responsabilidad legal.

Correspondencia relativa a la distribución y canje debe dirigirse a:
Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP)
Centro de Información Documental Agropecuaria (CIDAGRO)
Tel. (507) 976-1265/1168 fax. 976-1349
e-mail: cidagro.idiap@idiap.gob.pa

Correspondencia relacionada al contenido editorial debe enviarse a:
Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP)
CIENCIA AGROPECUARIA - Revista Científica
Tel. (507) 500-0519/0520/0521/0522
e-mail: cienciaagropecuaria@idiap.gob.pa
Clayton - Ciudad del Saber
Panamá

ACCESO A LA REVISTA EN INTERNET

Texto completo

<http://www.idiap.gob.pa/revista-cientifica/>

<https://abc.senacyt.gob.pa/recursos-nacionales/>

<http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa>

<https://panindex.org/index.php/misearch/results?tipoBusqueda=revistas&query=ciencia+agropecuaria>

<https://www.latindex.org/latindex/ficha/27121>

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/revista?codigo=28740>

<https://www.sidalc.net/search/Search/Results?type=AllFields&filter%5B%5D=institution%3A%22IDIAP%22>

