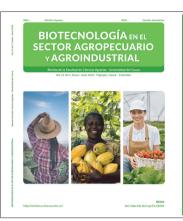


Universidad del Cauca



FOTOS DE PORTADA Flickr-Unsplash-Archivo propio













REDIB





















Dirección Revista

Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad del Cauca
Calle 5 No.4-70 Popayán, Colombia
Teléfono: 3192614648
e_mail de contacto, suscripciones e intercambio:
biotecnofaca@unicauca.edu.co
biotecnofaca2009@gmail.com
Página web e inscripciones:
http://revistas.unicauca.edu.co/
Revista Biotecnología en el Sector
Agropecuario y Agroindustrial
publica un volumen cada año con dos ediciones:
Primera: Enero-Junio

Segunda: Julio-Diciembre
- VRI-Vicerrectoría de Investigaciones
Universidad del Cauca

Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad del Cauca

ISSN- 1692-3561 Versión Impresa



ISSN- e 1909-9959 Versión Electrónica

Universidad del Cauca

Vol. 21 No 1 · Enero-Junio 2023

Héctor Samuel Villada Castillo- PhD. Editor

COMITÉ EDITORIAL

Silvio Andres Mosquera M. Sc.
Universidad del Cauca
Departamento de Agroindustria
Sandra Morales Velasco M.Sc.
Universidad del Cauca
Departamento de Ciencias Agropecuarias
Consuelo Montes M. Sc.
Universidad del Cauca
Departamento de Ciencias Agropecuarias
Diana Paola Navia, Ph.D.
Universidad San Buenaventura

Cali, Colombia Jhon Wilder Zartha S.-M. Sc. Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) Michael Peters - Ph.D. Universidad de Giessen - CIAT Ángel Pérez – Ph. D.
Universidad de Holguín de Cuba
José Ángel Gómez Ruiz – Ph.D
Universidad Autónoma de Madrid,España
Henry Armando Jurado Gámez–Ph.D.
Universidad de Nariño
Jaime Ricardo Rosero Noguera–Ph.D.
Universidad Nacional – Sede Medellín

COMITÉ CIENTÍFICO

Nelson Vivas Quila – Ph. D.
Universidad del Cauca
Departamento de Ciencias Agropecuarias
Misael Cortés Rodríguez-Ph. D.
Universidad Nacional de Colombia-Sede
Medellín
Alfredo Ayala Aponte Ph. D.

Universidad del Valle Escuela de Ingeniería de Alimentos Raúl Rodríguez Herrera,Ph. D. Plant Breeding 1999. Texas A&M University-USA. Vijaya Raghavan-Ph. D. Universidad de Mcgill de Canadá Aidé Sáenz Galindo,PhD.
Universidad Autónoma de Coahuila. Mexico
Francisco J. Moreno Andújar-Ph.D.
Instituto de fermentaciones industriales
Madrid, España
Maria del Mar Villamiel G. Ph.D.
Universidad Complutense de Madrid

Asistente Editorial
Willian Enrique Sotelo Ortiz
Diseño y Diagramación
Juan David Camayo Guzmán
Área de Desarrollo Editorial
Universidad del Cauca



UNIVERSIDAD DEL CAUCA

Rector Deibar René Hurtado Herrera

Vicerrectora Académica Aida Patricia González

Vicerrector Administrativo Jorge Enrique Barrera

Vicerrector De Investigaciones Francisco Pino Correa

Vicerrector De Cultura Y Bienestar César Alfaro Mosquera

Secretaria General Laura Ismenia Castellanos Vivas

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Decano Fredy Javier López Molina

Secretaria General Margoth Arenas

Jefe Departamento Agroindustria Sandra Patricia Godoy Bonilla

Jefe Departamento Ciencias Agropecuarias **Nelson José Vivas Quila**

Coordinador Programa Ingeniería Forestal Jorge Andrés Ramírez

Coordinador Programa De Ingeniería Agroindustrial Diego Roa

Coordinador Programa De Ingeniería Agropecuaria Diego Vergara Collazos

Coordinador Programa De Tecnología Agroindustrial José Fernando Solanilla Duque

BIOTECNOLOGÍA EN EL SECTOR AGROPECUARIO Y AGROINDUSTRIAL



Vol. 21 No 1 · Enero-Junio 2023 · ISSN-1692-3561 · ISSN-e 1909-9959 · DOI: https://doi.org/10.18684

Universidad del Cauca Facultad de Ciencias Agrarias Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial

ALCANCE

La Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial es una publicación con periodicidad semestral, arbitrada, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca, que acepta trabajos originales e inéditos producto de investigación en el campo de la ciencia, la ingeniería y la tecnología, que tengan un impacto en el sector agrario regional, nacional e internacional en temas como agroindustria alimentaria y no alimentaria, ciencias agrícolas y pecuarias, ciencias forestales, energía y medio ambiente, biotecnología, equipos y procesos, administración industrial, en idiomas español e inglés (si se postula en inglés, debe adjuntarse certificación de traducción realizada por una institución reconocida).

POLÍTICAS EDITORIALES

Compromiso de tipo formal

Con la remisión del manuscrito postulado para evaluación y publicación, el (los) autor(es) acepta(n) la totalidad de las condiciones estipuladas en las directrices de publicación.

Compromiso de tipo ético

Los autores deben establecer, por escrito (ver formato), un compromiso de tipo ético en cuanto a la originalidad y carácter inédito del manuscrito postulado, incluyendo los datos personales de cada uno de los autores: nacionalidad, escolaridad, correo electrónico institucional, teléfono, dirección postal y filiación institucional o, en su defecto, la dirección web donde pueden ser consultados, enlaces a bases de datos como CvLac, Google scholar, Researchgate, etc. La revista se abstendrá de aceptar y publicar manuscritos que presenten conflictos de intereses conocidos que puedan afectar su credibilidad: si estos conflictos no son declarados, el manuscrito será rechazado.

Derechos de autor

Con el envío de los trabajos, el (los) autor (es) conceden "Derechos de Autor" a la revista, por lo que los trabajos no pueden tener derechos otorgados a terceros, a la fecha de envío. La concesión de Derechos de autor significa la autorización para que la revista pueda hacer uso del manuscrito, o parte de él, con fines de divulgación y difusión de la actividad científica- tecnológica: en ningún caso, dichos derechos afectarán la propiedad intelectual que es propia de el (los) autor (es). Si se requiere una modificación en la autoría de un manuscrito luego de su pos-



tulación (y antes de su publicación), los proponentes deben informarlo por escrito adjuntando las razones de tal decisión:el comité editorial será la instancia que tomará la decisión final.

PROCESO GENERAL

Envío de manuscritos

El texto completo de los trabajos en formato Word, más la carta de presentación y la información de los evaluadores sugeridos (dos pares nacionales o internacionales), deben remitirse por intermedio de la plataforma Open Journal System (OJS) (http://revistas.unicauca.edu.co/index. php/biotecnologia/index), luego del registro como usuario o, en caso excepcional, por correo electrónico (biotecnofaca@unicauca.edu.co o biotecnofaca2009@gmail.com)

Evaluación

El Comité Editorial someterá los manuscritos a un software anti plagio y se encargará de la revisióninicial, se reservará el derecho de rechazar un manuscrito (decisión definitiva e inapelable) que presente deficiencias en estructura y redacción y que no cumpla con las áreas temáticas, las normas de publicación y referencias pertinentes o sugerir modificaciones con el objeto de lograr una mejor calidad (https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/about/submissions). Los trabajos aceptados se evaluarán a doble ciego, por árbitros expertos en el área de conocimiento, quienes emitirán un concepto detallado sobre la pertinencia y atractivo científico y tecnológico, la rigurosidad del tratamiento del tema, el ajuste a las normas de la revista y su contribución al desarrollo de la ciencia, la ingeniería y la tecnología. Por ningún motivo se permitirá la evaluación simultánea de más de dos manuscritos por un autor proponente; si dos manuscritosle son aceptados, serán publicados en ediciones diferentes.

Si el concepto de los dos árbitros es negativo, el manuscrito se rechaza. Si se presenta un concepto positivo y uno negativo, se acude a un tercer árbitro que determinará la condición del documento en evaluación: si es rechazado, el manuscrito y las observaciones de los árbitros se remiten a los autores para que consideren su sometimiento a otra publicación. Si el manuscrito es aceptado con modificaciones menores o mayores, éste y las observaciones de los árbitros se remiten a los autores para que éstos envíen una versión revisada y corregida en máximo 20 días, acompañada de una carta dirigida al Editor-Jefe (ver formato) enumerando detalladamente los cambios realizados con base en las observaciones de los árbitros: será el Editor-Jefe quien decida sobre la aceptación de la versión corregida. Pasados los 20 días, el editor, a discreción, tratará el manuscrito como caducado, por lo que deberá ser presentado nuevamente siguiendo el proceso indicado.

Los árbitros deben contar con título de maestría como mínimo, árbitros nacionales deben estar inscritos en la base de pares evaluadores de COLCIENCIAS, poseer CVLAC, ORCID, Google Scholar actualizados y acreditar publicaciones en el área específica durante los dos últimos 2 años previos al proceso de evaluación.

TIPOS DE MANUSCRITOS

Artículos de investigación científica

Documento que presenta, de manera detallada, los resultados de investigación científica original que signifiquen un aporte original al conocimiento en las áreas de acción de la revista. Se acepta un máximo de 5.500 palabras y 8 figuras y/o cuadros, entre 25 y 40 referencias, y su estructura es:

1. INTRODUCCIÓN, 2. MÉTODO, 3. RESULTADOS, 4. CONCLUSIONES y 5. REFERENCIAS.

Artículo corto

Documento breve que presenta resultados originales preliminares o parciales de una investigación científica o tecnológica, que por lo general requieren de una pronta difusión. Se acepta un máximo de 4.000 palabras y 5 figuras y/o cuadros, mínimo 15 referencias, y su estructura es: 1. INTRODUCCIÓN, 2. MÉTODO, 3. RESULTADOS, 4. CONCLUSIONES y 5. REFERENCIAS.

Artículo de reporte de caso

Documento que presenta los resultados de un estudio sobre una situación particular del sector, con el fin de dar a conocer las experiencias técnicas y metodológicas que constituyen un aporte al desarrollo, que incluye una revisión sistemática comentada de la literatura sobre casos análogos. Se acepta un máximo de 5.500 palabras y 8 figuras y/o cuadros, mínimo 20 referencias y está constituido por: 1. INTRODUCCIÓN, 2. MÉTODO, 3. RESULTADOS, 4. CONCLUSIONES y 5. REFERENCIAS.

Artículos de reflexión

Documento que presenta resultados de investigación sobre un tema específico bajo una óptica analítica, interpretativa y crítica del(los) autor(es) con base en fuentes originales, se acepta un máximo de 4.000 palabras y 6 figuras y/o cuadros, mínimo 30 referencias. La estructura es: 1. RESUMEN, 2. INTRODUCCIÓN, 3. DESARROLLO DEL TEMA, 4. CONCLUSIONES y 5. REFERENCIAS.

Artículo de revisión (Review)

Su publicación será producto de la invitación a investigadores reconocidos en áreas del campo de acción de la revista. Corresponde a una revisión analítica y crítica de literatura sobre un campo en ciencia o tecnología en el que se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas para mostrar los avances científicos y las tendencias de desarrollo, más los aportes de los proponentes. Se acepta un máximo de 8.000 palabras y 6 figuras y/o cuadros, mínimo 50 referencias y está compuesto por: 1. RESUMEN, 2. INTRODUCCIÓN, 3. DESARRO-LLO DEL TEMA, 4. CONCLUSIONES y 5. REFERENCIAS.

Cartas al editor

Son comunicaciones cortas, con posiciones críticas, analíticas o interpretativas sobre los manuscritos publicados previamente en la revista, temas o asuntos de interés profesional para los lectores, que a juicio del Comité editorial constituyen un aporte importante a la discusión del tema por parte de la comunidad científica de referencia.

Editorial

Documento escrito por el editor, un miembro del comité editorial o un investigador invitado sobre orientaciones en el dominio temático de la revista, sobre aportes a los investigadores en cuestionesde presentación y estructura de sus artículos, con reflexiones sobre la presentación de documentosescritos, su normatividad, su importancia y otros.

En cualquiera de los casos, el número de palabras permitidas incluye los resúmenes en español e inglés, figuras, cuadros, agradecimientos, referencias, etc.

SECCIONES DEL MANUSCRITO

Las partes que componen en documento son (ver artículo ejemplo):

La INTRODUCCIÓN debe resaltar la importancia de la investigación, presentar la literatura relacionada y entregar antecedentes necesarios para comprender la hipótesis de los autores. Al final, se debe hacer alusión a la pregunta de investigación o hipótesis, culminando con los objetivosdel trabajo propuesto.

El MÉTODO debe tener suficiente información que permita a otro investigador replicar el ensayo y lograr los mismos resultados, además de contener la localización y condiciones del lugar donde se adelantó experimento, el diseño experimental, el análisis estadístico y las referencias de losmétodos ya publicados.

Los **RESULTADOS** deben presentar en forma clara objetiva e imparcial los hallazgos y nuevos conocimientos que arrojó la investigación como respuesta al objetivo planteado, apoyados con cuadros y figuras, con el análisis estadístico y de los alcances de otros investigadores quealimenten la discusión.

Las **CONCLUSIONES** se describen de forma clara y precisa, derivadas del análisis de los resultados y con base en los objetivos planteados.

Los **AGRADECIMIENTOS** se incluyen si el autor(es) lo desea (n), redactados en forma sobria y que no supere 4 líneas.

Las **REFERENCIAS** deben contener todos los documentos utilizados. Todas las citaciones presentadas en el manuscrito deben coincidir con la lista de referencias del final, nunca debe referenciarse un autor que no haya sido citado en el texto y viceversa. Mínimo el 70% de ellas deben ser recientes (de los últimos tres años) y corresponder a artículos de investigación científica de corriente principal que puedan respaldar lo escrito, minimizando el uso de literatura gris (máximo el 10% de ellas, si se considera necesario) y la auto citación que no puede superar el 15%.

FORMATO GENERAL

En tamaño carta (21,59 cm de ancho y 27,94 cm de alto) con interlineado sencillo a una columna, escrito en Arial recta (excepto los nombres científicos que van en cursiva) de 11 puntos, márgenes de 3 cm en el borde superior, 2 cm en el inferior y 2,5 cm en las márgenes laterales. No se permite el uso de cajas de texto

Las cifras decimales se separan con coma. Si se hace uso de siglas, la primera mención en el documento debe considerar el significado completo, luego de ello, se usa la sigla como tal. No utilice puntos después de las unidades de medida (g, mm, m, km, ha, l, etc.). Si se usan números seguidos de un símbolo, separar con un espacio entre uno y otro, ej: 100 m, 250 km. Para los valores de significancia estadística, usar letra p en minúscula. Si se requieren coordenadas geográficas usar 6°18' N, y 53°33' W.

Cuadros y figuras

Deberán ubicarse luego de su respectiva citación en el texto y procesarse en el formato original, con buen contraste y resolución (calidad mínima de 300 dpi) para evitar policromías y facilitar la diagramación. En caso de requerir un pie de tabla/figura o fuente de consulta, debe estar escrito enArial 8 puntos normal. El título de los cuadros va en la parte superior (**Cuadro 1.** Título descriptivo.) y el de las Figuras en la parte inferior (**Figura 1.** Título descriptivo.), no debe superar dos líneas, enArial recta normal 9. Se deben usar líneas horizontales para separar la información del cuadro y cada columna debe tener encabezado (en negrilla, con mayúscula inicial). El tamaño de fuente al interior de un cuadro es arial 9 puntos normal.

Existen dos opciones para su citación:

Ejemplo 1:

... en la figura 1 se visualiza un comportamiento....;

Ejemplo 2:

Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 1).....

Título del manuscrito

Debe estar en español e inglés y hacer referencia al contenido de una forma clara y concisa, escrito en Arial 24 puntos, negrilla y centrado. Puede ser tan extenso como se considere y constar de dos partes, separadas entre sí por dos puntos. En nota al pie, antes de las filiaciones institucionales y, precedido de un asterisco, indicar el título del proyecto que originó el manuscrito, la entidad financiadora y la fecha de culminación (día, mea, año), si corresponde.

Información del autor (es)

Los autores se nombran según la importancia y contribución en la investigación y/o en la preparación del manuscrito, separados entre sí por punto y coma y enumerados con superíndice. Incluir los apellidos y nombres completos (si los posee), separados entre sí por un guión medio. En nota al pie de página (Arial 8 puntos, en la parte inferior de la primera página y justificada) se indicará la filiación de cada autor, la palabra Correspondencia (en negrilla) y

dos puntos, en la que debe aparecer el correo institucional del autor elegido para el envío de correspondencia.

Ejemplos:

Para autores:

MORAN-ZEMANATE, JUAN-PATRICIO¹; GOBERT-ALAIS, MARC-ANDREW²; REYES P., CARLOS A.³

Para filiación institucional:

- Título del proyecto de origen: "Evaluación de los procesos agroindustriales desarrollados en zonas rurales del Departamento del Cauca". Financiación: Entidad aportante. Culminación: 26 de enero de 2019.
- 1 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de investigación Ciencia y Tecnología de Biomoléculas de Interés Agroindustrial (CYTBIA). Máximo título profesional alcanzado. Ciudad, País. https://orcid.org/0000-0003-1154-6765 Correspondencia: gfvssp@unicauca.edu.co

Resumen

La palabra RESUMEN debe justificarse al margen izquierdo, en mayúscula y negrilla, iniciando la escritura luego de dos interlíneas en un solo párrafo justificado, entre 250 y 300 palabras e incluirá Introducción, justificación, objetivos, metodología, resultados y conclusiones de la investigación haciendo énfasis en los logros alcanzados. Debe ser conciso, escrito en español e inglés (ABSTRACT).

Palabras clave

Se ubican luego de cada resumen. El título en mayúscula, negrilla, en español (PALABRAS CLAVE) e inglés (KEYWORDS) seguido de dos puntos. Incluir, por lo menos diez (10) palabras separadas entre sí por punto y coma, cada unas de las cuales inicia con mayúscula. Se pueden tomar del cuerpo del texto y de las referencias usadas, se pueden repetir palabras encontradas en el título, usar acrónimos y varias versiones de un término en diferentes idiomas.

Ejemplo:

PALABRAS CLAVE: Bactris gasipaes; Maduración; Pos cosecha; Reología; Senescencia.

Títulos

Los de primer nivel para partes principales del manuscrito en arial 11 puntos, mayúscula sostenida y negrilla); los de segundo nivel con mayúscula inicial, negrilla y sin punto final, separados del textopor dos interlineas. Los de tercer nivel con mayúscula inicial, negrilla y un punto seguido, continuando el texto en el mismo renglón luego de un espacio.

Ejemplo:

MÉTODO

Materiales

Material vegetal. El material vegetal usado.....

Expresiones matemáticas

Deben ser escritas dejando dos espacios sobre, debajo y entre cada una de ellas y se debe utilizar el editor de ecuaciones de MS Word. Deben seguir un formato uniforme, justificarse al margen izquierdo y usar la expresión (Ec.1) con números arábigos consecutivos justificada al margen derecho (para mayor facilidad, insertarlas en un cuadro de dos columnas, sin bordes), citándolas en el sitio indicado. El significado de las variables y sus respectivas unidades deben aparecer luego de que se utilicen por primera vez, usando el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Ejemplo:

$$\beta-caroten = \frac{A~x~MW~x~DF~x~10^3x~VH}{\epsilon~x~l~x~SM} \tag{Ec. 1} \label{eq:beta-caroten}$$

A is the absorbance at 452 nm, MW is the molecular weight of β -carotene (536,8 g/mol), DF is the dilution factor, VH is the volume of hexane (0,003 L), ϵ is the molar extinction coefficient of β -carotene in hexane (145.300 L/mol cm, Rodríguez- Amaya, 2001), I is the path length (1 cm) and SM is the weight of starchy matrix in dry basis (0,04902 g).

Citaciones

Las citas dentro del texto siguen el formato (autor/es, año). Se podrán incluir trabajos aceptados, pero aún no publicados, especificando el nombre de la revista seguido de la expresión "en prensa/in press" o con su DOI correspondiente.

Dependiendo del número de autores que posea la publicación citada, se usará el siguiente formato:

Ejemplos:

Un autor:

Gómez (2020) encontró diferencias significativas en o

La estructura celular se vio afectada por la aplicación de (Gómez, 2020)

Dos autores:

Rawlings and Betece (2020) o (Rawlings and Betece, 2020)

Tres o más autores:

Malone et al., (2020) o (Malone et al., 2020)

Si se usan varias referencias que sirven de soporte a un tema particular, se consideran éstas en orden cronológico.

Ejemplo:

Los materiales biodegradables presentan beneficios......(Arboleda, 2018; Atkins and Fred, 2019; Martínez et al. 2020).

Para autor corporativo se coloca el nombre de la organización. La primera ocasión que se usa una organización, se considera con el nombre completo y entre paréntesis la sigla. En adelante, se cita solamente con la sigla.

Ejemplo:

La primera vez:

...según la ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO,2016)....

Para la segunda y demás veces:

....la consolidación de la cultura alimentaria (FAO, 2016) permite....

La cita de una cita es usada cuando se tiene acceso a una fuente de información a través de otra. Por ejemplo, si se está consultando un libro de Stephen Hawking y este cita una opinión o afirmación de Roger Penrose, entonces:

Ejemplo:

Penrose (citado por Hawking, 2010) piensa que las matemáticas (...)

Lista de referencias

La referencias consultadas se presentan en orden alfabético incluyendo los nombre y apellidos completos (si el manuscrito consultado así lo permite) de TODOS los autores (omitiendo el uso de *et al*, en mayúscula sostenida), con sangría francesa de 1,25 cm a partir de la segunda línea de cada una de ellas. Si se usa más de una referencia del mismo(s) autor(es), estas deben ir enorden cronológico y, si corresponden al mismo año, se deben diferenciar con letras minúsculas, lo cual también será aplicado en las citaciones.

Para la referenciación de números o volúmenes de alguna publicación es necesario usar números arábigos y no romanos. Los nombre de las revistas no se deben abreviar. Se debe incluir el DOI (Digital Object Identifier) de todas las referencias que lo posean, en formato vínculo (https://doi.org/10.6036/7171) que permita el acceso directo al documento con un click. No se debe poner un punto al final de un DOI o de una URL. Se deben indicar los numeros de página de inicioy finalización (completos) de un recurso (por ejemplo p. 238-250 y no p. 238-50). En revistas que publican una versión online porovisional sin paginación (online first) o revistas con publicación cointunua, es suficiente indicar "online first" o un número que se asigna por el editor (por ejemplo e196234 o art. 14) o no poner nada,: en ambos casos, puee ser suficiente con el volúmen ynúmero de la edición. Al usar referencias electrónicas, no usar las expresiones "Recuperado de", "Internet", "Online", "Disponible en".

Artículo científico sin DOI

DE BARROS-FERNANDES, REGIANE-VICTÓRIA; COSTA-GUIMARÃES, ISABELA; RODRIGUES-FERREIRA, CHRISTIANE L.; ALVARENGA B., DIEGO; VILELA-BORGES.

SORAIA; DE SOUZA, AMANDA-UMBELINA. Microencapsulated Rosemary (*Rosmarinus officinalis*) essential oil as a biopreservative in minas frescal cheese. Journal of Food Processing and Preservation, v. 41, n. 1, 2019, p. 127-145.

Artículo científico con DOI

DE BARROS-FERNANDES, REGIANE-VICTÓRIA; COSTA-GUIMARÃES, ISABELA; RODRIGUES-FERREIRA, CHRISTIANE L.; ALVARENGA B., DIEGO; VILELA-BORGES.

SORAIA; DE SOUZA, AMANDA-UMBELINA. Microencapsulated Rosemary (*Rosmarinus officinalis*) essential oil as a biopreservative in minas frescal cheese. Journal of Food Processing and Preservation, v. 41, n. 1, 2019, e12759.

https://doi.org/10.1111/jfpp.12759

Libro con autor

PASTOR-SIMSON, SHARON; STRAUS, MARTHA C. Post-harvest technology of horticulturalcrops. 1 ed. Jaipur (India): Oxford Book Company, 2010, 306 p, ISBN XXXXXX.

Libro en versión electrónica

PASTOR-SIMSON, SHARON; STRAUS, MARTHA C. Post-harvest technology of horticultural crops. 1 ed. Jaipur (India): Oxford Book Company, 2010, 306 p. https://doi.org/10.1111/jfpp.12759

Capítulo de libro

KOPER, OLGA B.; RAJAGOPALAN, SHYAMALA; WINECKI, SLAWOMIR; KLABUNDE, KENNETH

Vol. 21 No 1 · Enero-Junio 2023

J. Nanoparticle metal oxides for chlorocarbon and organophosphonate remediation. En FRYXELL, GLEN E.; CAO, GUOZHONG; Environmental applications of nanomaterials. London (United Kingdom): Imperial College Press, 2007, 520 p.

Reporte de un organismo o Gobierno

COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. La situación de la provisión de alimentos en un mundo moderno. Bogotá (Colombia): 1997, 20 p.

Seminarios y conferencias

ROMERO, FERNANDO. Sensación, pensamiento y método. Seminario Internacional sobre Gestiónde Calidad y Productividad como estrategia de desarrrollo (Cartagena, Colombia, 1990). Memorias, Bogotá (Colombia): 1990. p. 65-87.

Normas técnicas

UNITED STATES OF AMERICA. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS

(AOAC). ASTM D1434–82: Standard test method for determining gas permeability characteristics of plastic film and sheeting. Pennsylvania (USA): 2009, 22 p.

Tesis y trabajos de grado

LÓPEZ-VALENCIA, YVETH. Estudio de la cinética de deshidratación osmótica para la conservación de lisa (*Mugil cephalus*) [Tesis Ingeniería Pesquera]. Arequipa (Perú): Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Ciencias Biológicas, 2017, 154 p.

Patentes

MOREIRA, G.; MATOS, T. Embalagem biodegradável de amido de inhame. US 6.444.567, Clases 343, 356. Sao Paulo (Brasil): 2001.

Material electrónico

INTERNET ENGINEERING TASK FORCE (IETF). RFC: 3979: Intellectual property rights in IETF Technology. March 2005. http://www.ietf.org/rfc/rfc3979.txt [consultado julio 4 de 2009].

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). Inocuidad de los alimentos. 2019. https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-safety [consultado septiembre 2de 2019].

ASHWELL, M. ILSI Europe Concise Series. Concepts of functional foods. 2002. http://www.ilsi.org/Europe/Publications/C2002Con_Food.pdf [consultado mayo 13 de 2009].

BIOTECNOLOGÍA EN EL SECTOR AGROPECUARIO Y AGROINDUSTRIAL



Vol. 21 No 1 · Enero-Junio 2023 · ISSN-1692-3561 · ISSN-e 1909-9959 · DOI: https://doi.org/10.18684

EDITORIAL

18 Estimación de materiales lignocelulósicos residuales como adsorbentes de cromo y plomo*

PARRA-REYES, JAIME-ANDRÉS; PÉREZ, EDIER-HUMBERTO

- 28 Bacterias endófitas aisladas de cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) con actividad promotora de crecimiento vegetal*

 BARBOZA-GARCÍA, ADRIÁN; PÉREZ-CORDERO, ALEXANDER;
 CHAMORRO-ANAYA, LINA
- 39 Efecto de suplementación con forrajes verdes sobre parámetros productivos y calidad de huevo en gallinas*
 RODRÍGUEZ-MOLANO, CARLOS EDUARDO; NIÑO-MONROY, LAURA ESTEFANÍA; GARCÍA-GÓMEZ, HUGO ARMANDO
- 51 Suplementación con ensilaje de frutas en vacas doble propósito: digestibilidad y producción láctea* CASTAÑEDA-SERRANO, ROMÁN-DAVID; GONZÁLEZ-BERMEO, JOSÉ-FLAMINIO; VELEZ-GIRALDO, ALEJANDRA-MARIA
- 62 Efecto del ácido 1-naftalenacético sobre algunos componentes de rendimiento en yuca (*Manihot esculenta Crantz*) variedad MCol 2066* PARDO-PLAZA, YURI-JANIO; CANTERO-GUEVARA, MIRIAM-ELENA; MIRANDA- CARDONA, CRISTIAN-ANTONIO
- 73 Adaptabilidad y estabilidad fenotípica para el rendimiento en vaina verde de 20 líneas de arveja voluble (*Pisum sativum L.*) con gen afila* HERRERA-PORTILLA, DIANA-MILENA; CHECA-CORAL, OSCAR-EDUARDO; RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, DANIEL-MARINO
- 85 Resistencia de genotipos de ñame Dioscorea spp a la antracnosis Colletotrichum gloeosporioides Penz* CAMPO-ARANA, RODRIGO-ORLANDO; OBANDO-ECHEVARRÍA, MARTÍN; PÉREZ-POLO, DAIRO
- 97 Crecimiento del bagre dorado *Brachyplatystoma rousseauxii* en la región del Orinoco Medio usando modelos múltiples * GONZÁLEZ-SUÁREZ, ÁNGEL-RAFAEL
- 108 ÍNDICE TEMÁTICO



BIOTECNOLOGÍA EN EL SECTOR AGROPECUARIO Y AGROINDUSTRIAL



Vol. 21 No 1 · Enero-Junio 2023 · ISSN-1692-3561 · ISSN-e 1909-9959 · DOI: https://doi.org/10.18684

CIENCIA Y GÉNERO

La Naturaleza o *Physis*, tal y como la comprendían los griegos, supone el cumplimiento de todas las leyes físicas, mecánicas, químicas, termodinámicas y biológicas que gobiernan el planeta tierra y, con el tiempo, las del comportamiento de los seres orgánicos, sociales o no sociales. De manera que, en principio, los humanos obedecemos la *Physis* en correspondencia con la oferta de los bienes materiales y los humanos, para bien o para mal, formaban parte de ese paraíso eco sistémico, donde, al parecer, no había más que unas diferencias de genero asociado con la biología propia del dimorfismo sexual, necesario para sobrevivir dentro de las leyes de la jungla.

La deriva humana desde el paleolítico, un auténtico éxodo desde los secarrales de África, supuso el encuentro de la especie humana con nuevos ecosistemas y, por supuesto, la respuesta creativa de los humanos a la benignidad o la adversidad del ambiental. Para ello, cada comunidad humana creó una plataforma instrumental (la cultura) que le permitió vivir y dominar el entorno. Y pasó algo inesperado, las relaciones de género, equilibradas en todo sentido hasta entonces, se transponen en pleno neolíticos, gracias al gesto técnico (esa poiesis, ese acto metal que hace que las manos transformen la Naturaleza) y las aberraciones de la cultura.

No todo lo derivado de la cultura es razonablemente aceptable, ni para la lógica ni para la ética: es así, como cada cultura forjó una diferencia de genero donde el ser femenino quedó supeditado a la voluntad masculina en donde el macho es el que hace la guerra, que caza, que logra el botín, que controla territorio. Esa evolución forma parte de un devenir nefasto para un ser social, cooperante, dialogante y convivial... pues esa transmutación de los términos conduce a una segregación de la mitad de la población humana al estatus de criaturas de segunda, con funciones de exceso de carga laboral, pues las labores domésticas monótonas, desde el alba hasta el crepúsculo, recurrentes, circadianas y sin el sello gratificante de la novedad de la aventura, relegan a la mujer a una vida oprobiosa, que se hace más inmunda bajo el modelo capitalista de la primera y segunda revolución industrial.

Es probable que en el paleolítico el papel protagónico lo desempeña la mujer, pero en el Neolítico, las cosas suponen una revocación tecnológica que mezcla testosterona con venablos arrojadizas, arco con flechas puntiagudas de sílex. La cultura del macho conquistador hará trizas la armonía de género y dará paso a las epopeyas de la edad del bronce, con guerras interminables por la belleza de una mujer, donde hasta los dioses intervienen de manera conveniente en favor de los machos más masculinos (así fueran semidioses homosexuales, como Aquiles, que logra el clímax de la guerra al matar a Héctor, para vengar a su amante Patroclo) que romantizan



la era del machismo más hispido e hirsuto, y a un lado queda el verdadero valar de la mujer, que teje y desteje de manera fidelísima un manto a la espera de un héroe.

En esta epopeya, se olvida por completo que las mujeres con sus manos harán avanzar la revolución agrícola con la domesticación de plantas y animales, cultivo y recolección de los cereales e inclusive en la educación de los hijos, entre otras actividades, jugando un rol decisivo en la evolución humana, como parte del quehacer femenino. Los hallazgos arqueológicos, representan con imágenes femeninas simbólicamente la fertilidad, convertida en deidad, en la vida y la energía, esto se puede apreciar con la venus de Willendorf, como también la venus de Brassempouy, entre otras representaciones.

Los modelos de producción han influido en la modificación de la estructura social. La primera acción cultural colectiva de la humanidad en el neolítico, fue abandonar la caza que genera la primera crisis ambiental, tal como se conoce en el mito o realidad del Arca de Noé, acorralando selectivamente especies biológicamente reproducibles. Disminuidas las aguas, ese cambio climático natural originó, probablemente la primera revolución agrícola. Otro mito como el de Caín y Abel, recuerda a grupos sociales o colonización humana en la conquista de la naturaleza; unos domestican animales y crean la ganadería y otros se dedican a la agricultura. Estos humanos se localizan en los valles bajo condiciones ambientales favorables como los trópicos y subtrópicos, con herramientas y técnicas de siembra básicas, y por pura economía, mediante acumulación de energía, la idea de la agricultura construye los grandes imperios agrarios con base en los excedentes de cereales y granos, iniciando así la división del trabajo y se acentúa la segregación de género.

El aumento poblacional requiere de mayor producción de fuentes energéticas, también para los animales domesticados, es decir el ganado, por lo tanto, el papel de la mujer va cambiando. Analizados los vestigios primitivos bioarqueológicos, hay evidencias de algunas acciones violentas, descubiertas en los restos, según registro de marcas óseas de los restos hallados en las tumbas, como enfermedades por las dietas a las que estaban sometidas las mujeres; también el atuendo y el ajuar de enterramiento, resalta que los hombres tenían una posición preponderante en el núcleo social, basados datos funerarios y arqueológicos.

Sin embargo, el tipo de cultivo determina estas jerarquías sociales, mientras los granos y cereales perduran, los tubérculos y raíces tienden a su putrefacción, los primeros permiten almacenaje y traslado, los segundos como frutos suculentos son difíciles para su conservación, y es allí, donde por ejemplo, salta el genio creativo femenino y, en la profundidad de la selva húmeda donde la energía digestible es el más grande limitante, ellas, confinadas a la maloca y al comal incandescente, habrán de crear el proceso agroindustrial ancestral más representativo: la *farinha* (en castellano fariña). De ese modo se logra dominar el temible cianuro de las raíces de la mandioca amarga y, de paso, crear una materia prima almacenable que se incluye como guarnición en las elaboraciones más variadas del país *mais grande do mundo*.

La disputa entre Abel el pastor y Caín el agricultor, continúa avasallando la naturaleza, con dos maneras de producción bajo dos actividades extractivistas, una más discriminatoria frente a la otra, con el sacrificio de animales y el fácil daño a la tierra agrícola, para que los pastores produjeran más crías y así teológicamente, mejor visto por *Yahveh*: otra oportunidad de exclusión a la mujer del trabajo agrícola

para introducirla a labores domésticas. Sin embargo, su capacidad transformadora, lo dedica a la alfarería y al tejido, en un cambio de rol, sigue aportando históricamente a la adaptación cultural, idea el vestido, con lana y cuero crea la envolvente o segunda piel, el avance para el modo de vida humana y la manera de protección ambiental, en una evolución orgánica natural que induce cognitivamente al nuevo ser tecnológico desde la antigüedad.

Este ciclo de habitar estableció una economía de producción inducida por la industrialización insertada en un modelo de desarrollo capitalista dominante actual, libre de fronteras, con un comercio avasallante, incitación del consumo superfluo e ilimitado, que tiene como protagonista al residente humano de la biosfera, afrontando periodos complejos y críticos. Este anacrónico sistema económico y social deja impactos, en algunos casos irreversibles en los ecosistemas, situación compleja para la vida y pone en primer plano el cambio climático en la era denominada del Antropoceno. Pero además de la afectación a la naturaleza y amenaza a la vida, deja una estela de opresión y desigualdad en las sociedades más vulnerables, con creciente evidencias de maltrato y la subordinación sobre la mujer, tal como lo dice la ONU, al reconocer sobre el contexto histórico al que ha sido sometida esta.

El discurso sobre la vulnerabilidad física de la mujer es superado ante los hombres, gracias a su capacidad reproductiva y de reproducción como creadora de vida, también demostrado mediante ideas y reflexiones de vanguardia, que disciernen sobre los problemas que enfrenta la especie humana y la vida, ante el lastre de la industrialización. En el siglo XX la voz de cuestionamientos científicos en el libro "La primavera silenciosa" es presentado por Rachel Carson, precisamente para mostrar el colapso del medio ambiente, como una expresión de ideas que rebaten y contradicen postulados o falsos paradigmas, que solo legitiman la investigación de los llamados "hombres de ciencia". Es la primera mujer en dar a conocer los problemas de contaminación con pesticidas y agentes químicos de alto impacto como disruptores genéticos depositados en el mar y ríos, así mismo, cuestiona la relación del ser humano ante la naturaleza.

Sin embargo, la mujer del siglo XXI procura sobrevivir ante la visión androcentrista del mundo; no se trata de una reacción como activismo simbólico, del feminismo como una acción de hecho, es sencillamente la necesidad de la emancipación y del dominio de su propia naturaleza humana, es la reflexión sobre su papel fundamental de su feminidad, de su derecho a una identidad, como gestora de vida. En el contexto internacional desempeñan diferentes roles, como la excanciller alemana Angela Merkel y sus resistentes acciones ante la pandemia que vivió el planeta, con sus palabras invitando a "ver siempre el mundo a través de los ojos de los demás"; es ovacionada por hombres gobernantes quienes reconocen su talante. Esto, es simplemente la necesidad de comprender las adaptaciones evolutivas culturales, en aceptación a nuestra naturaleza, en una comprensión más profunda de seres humanos.

Estos paradigmas de la mujer en los diferentes ámbitos, son motivadores ante los problemas en escenarios del contexto nacional colombiano; Francia Márquez Mina vicepresidenta, gobierna desafiando retos que parecían incansables, es digna representante de comunidades marginadas históricamente. De otra parte, la imagen académica y femenina con la dirección de la Universidad Nacional de Colombia y un claro compromiso investigativo y de aporte a la ciencia, se presenta en la edición de la revista de la Universidad del Cauca; el trabajo de las profesoras y alumnas

de esta institución, integradas a grupos interdisciplinarios, en sus laboratorios, en los campos y con las comunidades, estudian temas de interés nacional sobre el medio ambiente, seguridad alimentaria y la producción agrícola y pecuaria, formulan, plantean soluciones y alternativas a las problemáticas del agro.

Los argumentos expuestos en esta edición por este selecto grupo de mujeres y hombres docentes, siguen vigentes, como cuando los orígenes inquietantes de la revolución agrícola, puesto que se plantean soluciones a la producción de granos cereales y plantas; investigaciones que tratan sobre el cultivo del arroz, los forrajes como siembra suplementaria en la producción avícola, o de la adaptabilidad en la producción de la arveja, aspectos trascendentales para la soberanía alimentaria de la humanidad. Por lo tanto, desde el origen de la humanidad, la mujer y el hombre, juegan un rol complementario. Aun así, los orígenes étnicos, el género, la condición sexual o los credos, no pueden alejar el derecho que asiste al ser humano para ser partícipe de un mundo que ha dado origen a los seres vivos, precisamente como seres tecnológicos, es posible la participación en todos los ámbitos; en esta cuestionada evolución, para que se continue procurando la sostenibilidad de la biosfera, como un aporte de todos, como se busca en el proyecto legislativo del Ministerio de la igualdad en Colombia.

Arq. Gustavo Adolfo Agredo Cardona
Especialista. Admón. obras Civiles Unilibre -EAN
Msc Medio Ambiente y Desarrollo-Universidad Nacional de Colombia
PhD Sostenibilidad, tecnología y humanismo -Universidad Politécnica de Cataluña
Director Grupo de investigación Arquitectura, medio ambiente y sostenibilidad.
Coordinador laboratorio LATES-Laboratorio de innovación
y modelización ambiental del territorio para la sostenibilidad.
Director Semillero de investigación -Construcción sostenible
con materiales alternativos.
Profesor Escuela de Arquitectura y Urbanismo (EAU)
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Universidad Nacional de Colombia

BIOTECNOLOGÍA EN EL SECTOR AGROPECUARIO Y AGROINDUSTRIAL



Vol. 21 No 1 · Enero-Junio 2023 · ISSN-1692-3561 · ISSN-e 1909-9959 · DOI: https://doi.org/10.18684

Estimación de materiales lignocelulósicos residuales como adsorbentes de cromo y plomo*

Estimation of residual lignocellulosic materials as adsorbents of chromium and lead

PARRA-REYES, JAIME-ANDRÉS1: PÉREZ, EDIER-HUMBERTO2

Historial del artículo

Recibido para evaluación: 18 de agosto 2020 Aprobado para publicación: 23 de mayo 2022

- * Proyecto de investigación de origen: "Adsorción de cromo y plomo en materiales lignocelulósicos". Financiación: Grupo de Investigación en Agroquímica, Universidad del Cauca. Culminación: enero de 2019.
- 1 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación, Departamento de Química, Grupo de Investigación en Agroquímica. Químico. Popayán, Colombia. https://orcid.org/0000-0001-9509-668X
- 2 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación, Departamento de Química, Grupo de Investigación en Agroquímica. Ph.D. Ciencias Químicas. Popayán, Colombia. http://orcid.org/0000-0002-4169-0082

Correspondencia: jparrar@unicauca.edu.co

Cómo citar este artículo:

PARRA-REYES, JAIME-ANDRÉS; PÉREZ, EDIER-HUMBERTO. Estimación de materiales lignocelulósicos residuales como adsorbentes de cromo y plomo. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, v. 21, n. 1, 2023, p.18-27. Doi: https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n1.2023.1610



RESUMEN

Los materiales lignocelulósicos residuales pueden usarse como adsorbentes de metales pesados presentes en el agua, propiciando la adsorción de iones metálicos sobre la superficie y sitios activos de los biomateriales, resultando en una remoción eficiente y de bajo costo. En este caso, se hace innovación con el aprovechamiento de residuos agroindustriales del fique (Furcraea macrophilla) y del capacho de maíz (Zea mays) como fases adsorbentes de los metales cromo y plomo, con el fin de valorar su capacidad como adsorbente de estos metales presentes en muestras de agua, determinado el tiempo de equilibrio, tipo de isoterma y capacidad máxima de adsorción; encontrando que en un tiempo de 12 horas, la fibra de fique tiene una capacidad de adsorción de Cr y Pb de 7,81 \pm 1,40 mg/g y 169,51 \pm 1,37 mg/g respectivamente, observando, una forma de isoterma de adsorción tipo Freundlich; mientras que la fibra de capacho de maíz presenta una capacidad de adsorción de $13,35 \pm 3,28$ mg/g para cromo y $15,01 \pm 3,47$ mg/g para plomo, mostrando un comportamiento en su isoterma de adsorción tipo Langmuir, concluyendo que ambas fibras tienen potencial para la remoción de los metales estudiados, especialmente la fibra de fique.

PALABRAS CLAVE:

Adsorción; Metales; Fique; Maíz; Materiales lignocelulósicos; Freundlich; Langmuir; Remoción; Contaminación; Biomateriales.

ABSTRACT

Residual lignocellulosic materials can be used as adsorbents for heavy metals present in water, promoting the adsorption of metal ions on the surface and active sites of biomaterials, resulting in a low-cost and efficient removal. In this case, the residues from the agroindustrial use of the fique (Furcraea macrophilla) and the agricultural process of the corn maize (Zea mays) were studied as adsorbing phases of chromium and lead metals, in order to assess their capacity as biosorbents of these metals present in water samples, determined by equilibrium time, type of isotherm and maximum adsorption capacity; finding that in a time of 12 hours, the fique fiber has an adsorption capacity of Cr and Pb of 7,81 \pm 1,40 mg/g and 169,51 \pm 1,37 mg/g respectively, observing, a form of Freundlich type adsorption isotherm; while the corn layer fiber has an adsorption capacity of 13,35 \pm 3,28 mg/g for chromium and 15,01 \pm 3,47 mg/g for lead, showing a behavior in its Langmuir-type adsorption isotherm , concluding that both fibers have potential for the removal of the metals studied, especially the fiber of fique.

KEYWORDS.

Adsorption; Metals; Fique; Maize; Lignocellulosic materials; Freundlich; Langmuir; Remotion; Contamination; Biomaterials.

INTRODUCCIÓN

La agroindustria combina la producción agrícola y los procesos industriales con el fin desarrollar productos alimenticios o materias primas destinadas al mercado para su consumo. Estos procesos deben ser sensibles a las problemáticas ambientales, siempre procurando el desarrollo de la conciencia social de manera sostenible, considerando que los subproductos agroindustriales generados en todas las etapas de producción, constituyen un problema de generación de residuos, el cual sigue en aumento y generan mayor contaminación al ambiente si no son aprovechados en otros procesos o son transformados en otros productos de más fácil degradación en el medio (González et al., 2017; Lansa et al., 2018).

Los residuos agroindustriales varían ampliamente en su composición, aunque la mayoría son de naturaleza almidonada o celulósica y muy pocos son ricos en nitrógeno. Los desechos agroindustriales celulósicos son de gran interés para su aprovechamiento en diferentes procesos, principalmente por el contenido aproximado de 40-60 % en celulosa, 30-40 % en hemicelulosas y 10-25 % en lignina, las cuales pueden variar dependiendo del tipo del material. Aunque la biomasa celulósica se utiliza generalmente como alimento para animales y fuente de energía mediante combustión directa, la cantidad excedente disponible se puede usar como materia prima para la bioconversión en productos de valor agregado y en diferentes procesos para la descontaminación de metales pesados en fuentes hídricas (Mo *et al.*, 2018).

Algunos de los tratamientos comunes para descontaminar efluentes que tienen presencia de metales pesados, son la precipitación química, el intercambio iónico, la tecnología de membranas, procesos electroquímicos y las extracciones orgánicas, entre otros; todos ellos tienen menor o mayor efectividad en la remoción, los cuales aunado a los costos del tratamiento los hace más o menos viable (Thakur *et al.*, 2020). Aprovechando la capacidad de captación pasiva de iones metálicos, los procesos de adsorción con residuos vegetales han llamado la atención por las propiedades que tienen estos materiales para retener, enlazar y acumular este y otros tipos de contaminantes por diferentes mecanismos asociados a sus componentes poliméricos principales, lignina y celulosa (Blázquez *et al.*, 2011; Neris *et al.*, 2019).

Los residuos de biomasa vegetal se destacan como un bioacumulador de especies metálicas mediante distintos mecanismos de adsorción y acumulación al interior de las células vivas y también como un biosorbente en la superficie de la célula con la biomasa sin vida (Rocha de Freitas *et al.*, 2019). El fenómeno de captación puede ocurrir por intercambio iónico, precipitación, complejación o atracción electrostática (Bankar and Nagaraja, 2018): ambos procesos son considerados biosostenibles pues son eficientes para la remoción de metales pesados y además son de bajo costo de implementación, sin embargo, los procesos de bioacumulación alcanzan un equilibrio de adsorción a bajas concentraciones y los procesos de funcionamiento de las plantas pueden verse afectados por el tipo de metal, su toxicidad y concentración, los cuales finalmente llevan a la interrupción del proceso de adsorción por la muerte de los organismos por la incorporación del metal en el interior de las células (Kanamarlapudi *et al.*, 2018); por otro lado, los procesos de biosorción, al emplear biomasa vegetal sin vida, permiten que el proceso sea más eficiente y que no se vea afectada por la toxicidad de los metales, alcanzando equilibrios a concentraciones mucho mayores y facilitando además los procesos de desorción, recuperación y reutilización de la biomasa (Shamim, 2018). En el presente reporte se evaluó la capacidad de los residuos lignocelulósicos de fique y maíz frente la retención de los metales pesados Cr y Pb.

MÉTODO

Los residuos vegetales de aserrín de Fique y capacho de Maíz se obtuvieron de diversos puntos geográficos de la meseta del municipio de Popayán (Colombia) y fueron trasladados al laboratorio de Agroquímica de la Universidad del Cauca (2°26'46,2" N 76°35'57,2" O, temperatura promedio de 24 °C, altitud de 1785 msnm y humedad relativa entre 73 y 80 %) donde fueron adecuados para desarrollar los procesos de biosorción, secando los materiales a temperatura ambiente, molerlos en un molino eléctrico Retsch y tamizarlos con un tamiz número 40, obteniendo un tamaño de partícula de 425 µm para cada una de las fibras vegetales. Este protocolo fue adaptado según las condiciones del laboratorio, con base en lo consignado por Crini and Lichtfouse (2018).

A las muestras procesadas se les determinó el tiempo de equilibrio de adsorción para los metales Cr y Pb, con base en modificaciones de metodologías previamente estudiadas (Seolatto *et al.*, 2014) y la metodología 3111a del "Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater" (APHA, 2018). A matraces de

50 mL que contenían 25 mL de Cr (III) y Pb (II) a una concentración inicial de 50 mg/L, pH de 4,5, y 25 °C de temperatura, se adicionó 1,0 g de cada material lignocelulósico sometiendo la mezcla a 170 rpm en un agitador horizontal, en tiempos que variaron entre 2 y 30 horas, con el fin de determinar el menor tiempo en el cual se alcanza la mayor adsorción de cada uno de los metales (equilibrio). Después de alcanzar el tiempo de equilibrio, las muestras se filtraron y la concentración de los metales en la solución restante se analizó mediante un equipo de espectrofotometría de absorción atómica marca con ionización por llama (EAA-IL, Thermo® serie S4SN71203).

Se determinó la máxima capacidad de adsorción de Cr y Pb en las muestras de material vegetal, tomando como referencia las metodologías estudiadas por Vishan et~al.~(2019)~y el "Standard Methods" (APHA, 2018), donde 1,0 g de cada fibra vegetal se puso en contacto con 25 mL de cada metal en concentraciones de 20, 40, 50, 70 y 100 mg/L de cromo y plomo a 170 rpm por el tiempo de equilibrio predeterminado, posteriormente, las muestras fueron filtradas y se cuantificó la concentración remanente de los metales en la solución por EAA-IL. La cantidad estimada de cada metal adsorbido se estableció por la diferencia entre la concentración de metal suministrado y la concentración del metal que permanece en la solución una vez alcanzado el equilibrio, con los datos obtenidos se realizó un gráfico de la concentración adsorbida versus la concentración en equilibrio en la solución, para valorar la forma de la isoterma de biosorción y comparar con las gráficas de adsorción propuestas por Sing et~al., (1985) y comparar su forma para determinar el tipo de curva y deducir por semejanza el comportamiento del proceso de biosorción y de esta manera linealizarlas mediante el uso de las ecuaciones de isotermas de Langmuir (Ecuación 1) y Freundlich (Ecuación 2) (Beni and Esmaeili, 2020), donde $C_{\rm Ad}$ representa la concentración adsorbida y $C_{\rm e}$ la concentración en equilibrio en ambas ecuaciones, con las cuales se calculá la capacidad máxima de adsorción en mg/g ($q_{\rm m}$ y $K_{\rm e}$) y la fuerza de retención (b y n) en L/mg.

$$C_{Ad} = \frac{bq_mC_e}{1+bC_e}$$
 (Ec. 1)

$$C_{Ad} = K_F C_e^{\frac{1}{n}}$$
 (Ec. 2)

Finalmente, para determinar el porcentaje de desorción de los metales biosorbidos en las muestras vegetales, cada muestra después del proceso de adsorción se secó a 60 °C por 24 h, posteriormente se adicionaron soluciones de ácido cítrico entre 0,1 y 0,5 M, se agitaron durante el tiempo de equilibrio para la biosorción, con posterior filtración y cuantificación (Srivastava and Goyal, 2010). Todos los análisis anteriormente descritos se desarrollaron por triplicado y se realizó la estadística correspondiente utilizando el software estadístico SPSS 23 empleando las pruebas de Shapiro-Wilks, Duncan y Tukey.

RESULTADOS

Se estableció en 12 horas el tiempo mínimo necesario para el proceso de adsorción y desorción de los metales cromo y plomo en los materiales residuales lignocelulósicos de fique y maíz (Figura 1), garantizando el tiempo de contacto necesario entre el adsorbato y adsorbente para que produzca la máxima adsorción.

Los resultados de los procesos de adsorción de las dos fibras vegetales se determinaron en un rango de concentración de $19,53 \pm 0,20$ y $91,95 \pm 0,13$ mg/L para Cr y de $20,38 \pm 0,13$ y $110,21 \pm 0,35$ mg/L para Pb. En el cuadro 1 se observa que, para ambos metales, a bajas concentraciones se presenta la mayor capacidad de adsorción en la fibra de capacho de maíz; por otro lado, se evidencia que el residuo lignocelulósico del fique presenta los mejores porcentajes de adsorción (con un valor mínimo de 88 % para Cr y de 99 % para Pb) en el rango de concentraciones evaluado.

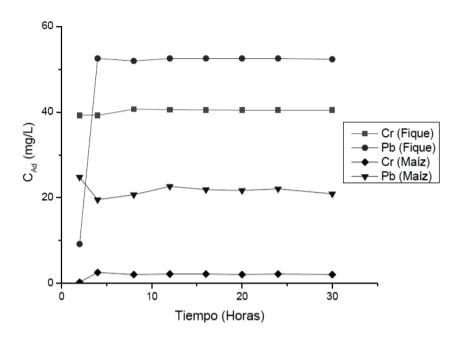


Figura 1. Tiempos de equilibrio de adsorción de Cr y Pb en material residual lignocelulósico de fique y maíz.

Cuadro 1. Resultados de la adsorción de plomo y cromo en las muestras de residuo vegetal.

Muestra	Metal	C _A (mg/L) ^a	C _e (μg/mL) ^b	C _{Ad} (μg/g) c	Adsorción %
	Cromo	19,53 ± 0,20	9,65 ± 0,46	9,88 ± 0,46	50,60 ± 2,37
		38,85 ± 0,23	16,32 ± 0,44	22,53 ± 0,44	58,00 ± 1,13
		47,68 ± 0,13	34,81 ± 0,59	12,87 ± 0,59	26,99 ± 1,25
		65,47 ± 0,13	49,61 ± 0,53	15,85 ± 0,53	24,22 ± 0,81
		91,95 ± 0,13	78,80 ± 0,14	13,15 ± 0,14	14,30 ± 0,15
Capacho de Maíz	Plomo	20,38 ± 0,13	3,35 ± 0,22	17,04 ± 0,22	83,59 ± 1,08
		41,33 ± 0,23	20,69 ± 0,42	20,64 ± 0,42	49,93 ± 1,03
		58,91 ± 0,13	39,65 ± 0,58	19,27 ± 0,58	32,70 ± 0,98
		81,77 ± 0,58	61,74 ± 0,23	20,03 ± 0,23	24,49 ± 0,28
		110,21 ± 0,35	95,84 ± 0,35	14,37 ± 0,35	13,04 ± 0,32
	Cromo	19,53 ± 0,20	2,33 ± 0,01	17,20 ± 0,01	88,07 ± 0,07
		38,85 ± 0,23	3,74 ± 0,05	35,11 ± 0,04	90,37 ± 0,12
		47,68 ± 0,13	3,88 ± 0,03	43,80 ± 0,03	91,87 ± 0,06
		65,47 ± 0,13	4,73 ± 0,13	60,74 ± 0,13	92,77 ± 0,20
A		91,95 ± 0,13	8,46 ± 0,20	83,49 ± 0,20	90,80 ± 0,22
Aserrín de Fique	Plomo	20,38 ± 0,13	0,03 ± 0,01	20,35 ± 0,01	99,82 ± 0,06
		41,33 ± 0,23	0,04 ± 0,01	41,29 ± 0,01	99,90 ± 0,03
		58,91 ± 0,13	0,11 ± 0,07	58,80 ± 0,07	99,81 ± 0,12
		81,77 ± 0,58	0,17 ± 0,07	81,60 ± 0,07	99,79 ± 0,09
		110,21 ± 0,35	0,59 ± 0,01	109,62 ± 0,01	99,46 ± 0,01

^a C_A: Concentración Adicionada

^bC_e: Concentración en Equilibrio

[°] C_{Ad}: Concentración Adsorbida

^d Porcentaje de Adsorción

Una vez elaboradas las isotermas de biosorción (Figura 2), se observa que los metales a bajas concentraciones presentan una rápida adsorción en las muestras de capacho de maíz, lo que permite considerar que este proceso de adsorción se puede describir mediante una isoterma es Tipo I o tipo Langmuir, la cual se caracteriza por tener una adsorción en Monocapa, donde la superficie del material se comporta de manera homogénea, los sitios de adsorción presenta la misma energía y donde los iones adsorbidos no tienen interacción entre ellos, en la cual generalmente se considera se originan interacciones químicas (Ramírez *et al.*, 2020), mientras que la interacción de los metales estudiados con el material lignocelulósico de fique muestra que la forma de las isoterma es de tendencia exponencial en el rango estudiado, lo que corresponde a una isoterma Tipo II o de tipo Freundlich, en la cual se considera que la superficie del material es heterogénea, con diferente energía en los diferentes sitios activos, lo que sugiere una adsorción en multicapa, donde además de la adsorción química inicial, los sitios activos pueden generar diferentes interacciones físicas como interacciones dipolo-dipolo, fuerzas de Van der Waals, entre otras (Farnane *et al.*, 2018).

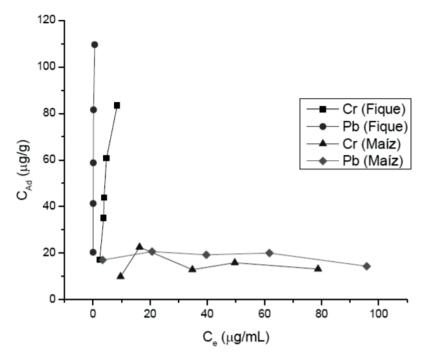


Figura 2. Isotermas de adsorción de Cr y Pb en los residuos lignocelulósicos de fique y maíz.

Linealizadas las curvas de adsorción (Figuras 3 y 4) y aplicando el método de mínimos cuadrados para la cuantificación, se determinó la capacidad máxima de adsorción y la fuerza de retención de Cr y Pb cada una de las muestras de material vegetal (Cuadro 2), donde se observa que la fibra de fique presenta los mejores valores de capacidad de adsorción para plomo y la fibra de maíz para cromo, teniendo en cuenta además que los valores de la fuerza de retención de la fibra de maíz son menores que los presentados por la fibra de fique para los metales estudiados.

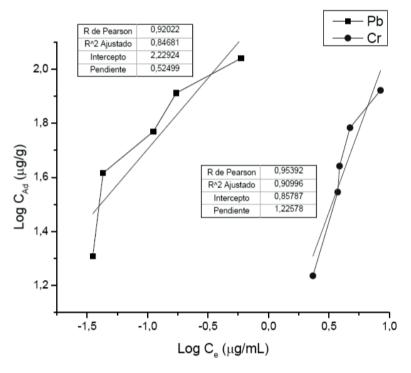


Figura 3. Linealización de las isotermas de adsorción de Cr y Pb en el material residual de fique.

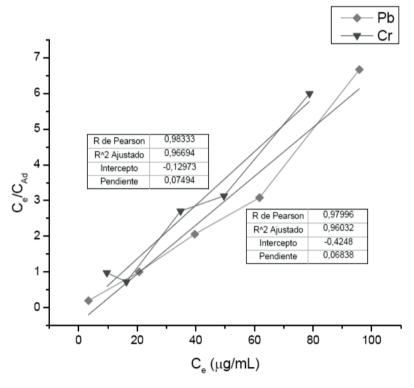


Figura 4. Linealización de las isotermas de adsorción de Cr y Pb en el material residual de maíz.

Fibra	Cromo		Plomo		
	Fuerza retención	Capacidad de Adsorción (mg/g Adsorbente)	Fuerza retención	Capacidad de Adsorción (mg/g Adsorbente)	
Capacho de Maíz	0,58 ± 0,02	13,35 ± 3,28	0,16 ± 0,02	15,01 ± 3,47	
Aserrín de Fique	1,23 ± 0,22	7,81 ± 1,40	0,52 ± 0,13	169,51 ± 1,37	

Cuadro 2. Resultados de la adsorción de Pb y Cr en las muestras vegetales.

Gran parte de la capacidad de adsorción de las fibras vegetales se debe al contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina, esta última considerada la de mayor importancia (Farnane *et al.*, 2018) por su variedad de grupos funcionales que dependen de la naturaleza del material y de los grupos derivados de los alcoholes coumarílico, coniferílico y sinapílico que están presentes en la molécula (Chávez and Domine, 2018).

Los ensayos de desorción de los metales a diferente concentración de ácido cítrico permitieron determinar que a medida que el pH de la solución es más acido se produce una mayor extracción del metal, debido a que las cargas metálicas adsorbidas logran solubilizarse con mayor facilidad y así mismo realizar un intercambio catiónico con las cargas H⁺, producto de la disociación del ácido utilizado, lo que genera una digestión muy suave del material permitiendo que la estructura vegetal no sufra variaciones o alteraciones en su superficie y que permita reutilizar la fibra para posteriores procesos de adsorción.

La máxima capacidad de desorción (C_{De}) de los metales Cr y Pb adsorbidos en las muestras vegetales se logró con una solución 0,5M (pH 1,49) de ácido cítrico (Figura 5), observando que en la fibra de fique hay menor desorción de Pb que Cr, mientras que en la fibra de maíz se observa un comportamiento similar de desorción para ambos metales, evidenciando que la fibra de fique presenta mejor retención de los metales al compararlo con la fibra de maíz, especialmente para Pb.

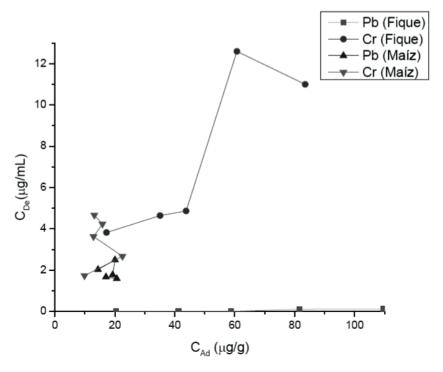


Figura 5. Desorción de Cr y Pb en las muestras vegetales utilizando Ácido Cítrico 0,5 M.

CONCLUSIONES

Los datos experimentales obtenidos en este estudio muestran que el aserrín de fique tiene un alto potencial para ser utilizado en la adsorción de los metales pesados Cr y Pb, lo cual puede ser una evidencia relevante en aspectos ambientales para el tratamiento de aguas residuales industriales, destacándose la alta capacidad de adsorción de 169,51 ± 1,37 mg de Pb/g de aserrín de fique. El capacho de maíz también se muestra como una alternativa para la remediación de aguas superficiales contaminadas con estos metales si estos están presentes en bajas concentraciones. Así mismo tenemos que los resultados del proceso de desorción son bajos en ambos materiales, especialmente para la fibra de fique, lo cual es ideal para evitar que estos metales vuelvan a liberarse al ambiente. Pese a los buenos resultados alcanzados se deben desarrollar más estudios con varios metales para determinar la selectividad de estos materiales a diferentes metales pesados. Los datos encontrados indican que la fibra de fique muestra un proceso de adsorción frente a Cr y Pb que puede ser descrita por el modelo de Freundlich o adsorción multicapa, mientras que la fibra de maíz sugiere un modelo de adsorción de Monocapa o de Langmuir.

REFERENCIAS

- BANKAR, ASHOK; NAGARAJA, GEETHA. Recent Trends in biosorption of heavy metals by Actinobacteria. En: PRATAP-SINGH, BHIM; KUMAR-GUPTA, VIJAI; KUMAR-PASSARI, AJIT; New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering. 1 ed. Oxford (Reino Unido): Elsevier B.V., 2018, p. 257–276. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63994-3.00018-7
- BENI, AGHABABAI-ALI; ESMAEILI, AKBAR. Biosorption, an efficient method for removing heavy metals from industrial effluents: A Review. Environmental Technology & Innovation, v. 17, 2020, p. 100503. https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100503
- BLÁZQUEZ, GABRIEL; MARTÍN-LARA, MARÍA-ÁNGELES; DIONISIO-RUIZ, ELENA; TENORIO, GERMÁN; CALERO, MÓNICA. Evaluation and comparison of the biosorption process of copper ions onto olive stone and pine bark. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, v. 17, n. 5–6, 2011, p. 824–833. https://doi.org/10.1016/j.jiec.2011.08.003
- CHÁVEZ-SIFONTES, MARVIN; DOMINE, MARCELO-EDUARDO. Lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. Avances en Ciencias e Ingeniería, v. 4 n. 4, 2018, p. 15–46.
- CRINI, GRÉGORIO; LICHTFOUSE, ERIC. Adsorbents for pollutant removal: fundamentals and design. 1 ed. Cham (Suiza): Springer Nature Switzerland, 2018, p. 35-86. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92111-2
- FARNANE, M.; MACHROUHI, AICHA; ELHALIL, ALAÂEDDINE; ABDENNOURI, M.; QOURZAL, S.; TOUNSADI, HANANE; BARKA, NOUREDDINE. New sustainable biosorbent based on recycled deoiled carob seeds: optimization of heavy metals remediation. Journal of Chemistry, v. 4, 2018, p. 1–16. https://doi.org/10.1155/2018/5748493
- GONZÁLEZ-PEÑARANDA, LAURA-VICTORIA; MONTENEGRO-GÓMEZ, SANDRA-PATRICIA; GIRALDO-ABAD, PAULA-ANDREA. Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, v. 8 n. 2, 2017, p. 141–150.
- KANAMARLAPUDI, SRI-LAKSHMI-RAMYA-KRISHNA; CHINTALPUDI, VINAY-KUMAR; MUDDADA, SUDHAMANI. Application of biosorption for removal of heavy metals from wastewater. En: DERCO, JAN; VRANA, BRANISLAV. Biosorption. 1 ed. Bratislava (República Eslovaca): IntechOpen, 2018, p. 69–116. https://doi.org/10.5772/intechopen.77315
- LANSA-FURLAN, FERNANDA; CONSOLIN-FILHO, NELSON; BARRIQUELLO-CONSOLIN, MARCILENE-FERRARI; SUZSEK-GONÇALVES, MORGANA; VALDERRAMA, PATRICIA; KAMAL-GENENA, AZIZA. Use

- of agricultural and agroindustrial residues as alternative adsorbents of manganese and iron in aqueous solution. Ambiente & Água, v. 13 n. 2, 2018, p. 1-12.
- https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2181
 MO, JIAHO; YANG, QI; ZHANG, NA; ZHANG, WENXIANG; ZHENG, YI; ZHANG, ZHIEN. A review on agroindustrial waste (AIW) derived adsorbents for water and wastewater treatment. Journal of Environmental Management, v. 227, 2018, p. 395–405.
 - https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.069
- NERIS, JORDAN-BRIZI; MARTINEZ-LUZARDO, FRANCISCO-HERIBERTO; PARANAHOS-DA SILVA, ERIK-GALVÃO; GARCIA-VELASCO, FERMIN. Evaluation of adsorption processes of metal ions in multi-element aqueous systems by lignocellulosic adsorbents applying different isotherms: A critical review. Chemical Engineering Journal, v. 357, 2019, p. 404–420. https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.09.125
- RAMÍREZ-CALDERÓN, OLGA A.; ABDELDAYEM, OMAR M.; PUGAZHENDHI, ARIVALAGAN; RENE, ELDON R. Current updates and perspectives of biosorption technology: an alternative for the removal of heavy metals from wastewater. Current Pollution Reports, v. 6, 2020, p. 8–27. https://doi.org/10.1007/s40726-020-00135-7
- ROCHA_DE FREITAS, GEOVANI; DA SILVA, MEURIS-GURGEL-CARLOS; ADEODATO-VIEIRA, MELISSA-GURGEL. Biosorption technology for removal of toxic metals: a review of commercial biosorbents and patents. Environmental Science and Pollution Research, v. 26, 2019, p. 19097–19118. https://doi.org/10.1007/s11356-019-05330-8
- SEOLATTO, ARACELI A.; MARTINS, TIAGO-DIAS; BERGAMASCO, ROSÂNGELA; TAVARES, CÉLIA-REGINA-GRANHEN; COSSICH, ENEIDA S.; DA SILVA, EDSON-ANTONIO. Biosorption study of Ni2+ and Cr3+ by *Sargassum filipendula*: kinetics and equilibrium. Brazilian Journal of Chemical Engineering, v. 31, n. 1, 2014, p. 211–227.
 - https://doi.org/10.1590/S0104-66322014000100020
- SHAMIM, SABA. Biosorption of Heavy Metals. En: DERCO, JAN; VRANA; BRANISLAV. Biosorption. 1 ed. Bratislava (República Eslovaca): IntechOpen, 2018, p. 21–49. https://doi.org/10.5772/intechopen.72099
- SING, KENNETH S.W.; EVERETT, DOUGLAS H.; HAUL, R.A.W.; MOSCOU, L.; PIEROTTI, ROBERT A.; ROUQUÉROL, JEAN; SIEMIENIEWSKA, TERESA. Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity. Pure and Applied Chemistry, v. 57 n. 4, 1985, p. 603–619.
 - https://doi.org/10.1351/pac198557040603
- SRIVASTAVA, SHALINI; GOYAL, PRITEE. Novel biomaterials decontamination of toxic metals from wastewater. 1 ed. Berlin (Alemania): Springer-Verlag, 2010, p. 146. https://doi.org/10.1007/978-3-642-11329-1
- THAKUR, VAISHALI; SHARMA, EKTA; GULERIA, ASHISH; SANGAR, SUGANDHA; SINGH, KULVINDER. Modification and management of lignocellulosic waste as an ecofriendly biosorbent for the application of heavy metal ions sorption. Materials Today: Proceedings, v. 2, n. 4, 2020, p. 608–619. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.756
- UNITED STATES OF AMERICA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). APHA method 3111: metals by flame atomic absorption spectrometry. Washington D.C. (United States Of America): APHA Press, 2018, 9 p.
- VISHAN, ISHA; SAHA, BISWANATH; SIVAPRAKASAM, SENTHILKUMAR; KALAMDHAD, AJAY. Evaluation of Cd (II) biosorption in aqueous solution by using lyophilized biomass of novel bacterial strain *Bacillus badius* AK: Biosorption kinetics, thermodynamics and mechanism. Environmental Technology and Innovation, n. 14, 2019, p. 100323.
 - https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100323

BIOTECNOLOGÍA EN EL SECTOR AGROPECUARIO Y AGROINDUSTRIAL



Vol. 21 No 1 · Enero-Junio 2023 · ISSN-1692-3561 · ISSN-e 1909-9959 · DOI: https://doi.org/10.18684

Bacterias endófitas aisladas de cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) con actividad promotora de crecimiento vegetal*

Endophytic bacteria isolated from rice culture (*Oryza sativa* L.) with plant growth promoting activity

BARBOZA-GARCÍA, ADRIÁN¹: PÉREZ-CORDERO, ALEXANDER²: CHAMORRO-ANAYA, LINA³

Historial del artículo

Recibido para evaluación: 2 de noviembre 2021 **Aprobado para publicación**: 7 de marzo 2022

- * Proyecto de investigación de origen: "Implementación de un programa para el desarrollo de productos biotecnológicos para el sector agrícola en el departamento de Sucre". Financiación: Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación-FCTel, del Sistema General de Regalías-SGR departamento de Sucre. Finalización: 25 de junio de 2021
- 1 Universidad de Sucre, Facultad de Educación y Ciencias, Departamento de Biología, Grupo de Investigación Bioprospección Agropecuaria. M.Sc. en Biología. Sincelejo, Colombia. https://orcid.org/0000-0001-6957-3075
- 2 Universidad de Sucre, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Zootecnia, Grupo de Investigación Bioprospección Agropecuaria. Ph.D. Microbiología Agrícola. Sincelejo, Colombia. https://orcid.org/0000-0003-3989-1747
- 3 Universidad de Sucre, Facultad de Educación y Ciencias, Departamento de Biología, Grupo de Investigación Bioprospección Agropecuaria. M.Sc en Biología. Sincelejo, Colombia. https://orcid.org/0000-0003-2931-5471

Correspondencia: adriangarcia1695@gmail.com

Cómo citar este artículo

BARBOZA-GARCÍA, ADRIÁN; PÉREZ-CORDERO, ALEXANDER; CHAMORRO-ANAYA, LINA. Bacterias endófitas aisladas de cultivo de arroz (Oryza sativa L.) con actividad promotora de crecimiento vegetal. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, v. 21, n. 1, 2023, p.28-39.Doi: https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n1.2023.1728.



RESUMEN

Las bacterias endófitas se han convertido en una alternativa para mejorar la producción de cultivos y sustituir agroquímicos los cuales ocasionan graves daños ambientales. En este trabajo se evaluó in vitro la actividad promotora de crecimiento vegetal de bacterias endófitas aisladas de diferentes tejidos de variedades de arroz del municipio Montería, departamento de Córdoba, Colombia. La población de bacterias endófitas se aisló en medio de cultivo agar R2A, se realizó conteo y se evaluó cualitativamente la capacidad de fijación de nitrógeno, solubilización de fosfato y producción de sideróforos. Las bacterias endófitas con actividades positivas fueron identificadas mediante secuenciamiento del gen 16S ARNr con 5 juegos de oligonucleótidos específicos para la clase firmicutes, beta-proteobacteria; gamma-proteobacteria; alfa-proteobacteria y actinobacteria. Se aislaron 107 morfotipos de bacterias endófitas con mayor presencia en la variedad 2000 y menor en la variedad 67; el tejido mayor colonizado correspondió a la raíz. De los 22 aislados, 11 mostraron capacidad de solubilizar fosfato, 6 de producir sideróforos, y 5 de fijar nitrógeno. Los resultados del secuenciamiento comprobaron la identidad de Bacillus cereus y B. thuringiensis, los cuales tienen la capacidad de promover el crecimiento en cultivo de arroz mediante la solubilización de fosfato, fijación de nitrógeno y producción de sideróforos.

PALABRAS CLAVE:

Bacterias endófitas; Bacillus cereus; Bacillus thuringiensis; Colonización; Fijación de nitrógeno; Producción de sideróforos; Promoción del crecimiento vegetal; Oryza sativa; Rendimiento; Solubilización de fosfato.

ABSTRACT

Endophytic bacteria have become an alternative to improve crop production and replace agrochemicals which cause serious environmental damage. In this work, the plant growth promoting activity of endophytic bacteria isolated from different tissues of rice varieties of the Montería municipality, department of Córdoba, Colombia, was evaluated in vitro. The population of endophytic bacteria was isolated in R2A agar culture medium, counted and qualitatively evaluated the capacity of nitrogen fixation, phosphate solubilization and siderophore production. Endophytic bacteria with positive activities were identified by sequencing the 16S rRNA gene with 5 sets of oligonucleotides specific to the firmicutes class, beta-proteobacteria; gamma-proteobacteria; alpha-proteobacteria and actinobacteria. We isolated 107 morphotypes of endophytic bacteria with a higher presence in variety 2000 and lower in variety 67; the colonized major tissue corresponded to the root. Of the 22 isolates, 11 showed the ability to solubilize phosphate, 6 to produce siderophores, and 5 to fix nitrogen. The sequencing results proved the identity of Bacillus cereus and B. thuringiensis, which have the ability to promote growth in rice cultivation through phosphate solubilization, nitrogen fixation and siderophore production.

KEYWORDS:

Endophytic bacteria; Bacillus cereus; Bacillus thuringiensis; Colonization; Fixation of nitrogen; Production of siderophores; Plant growth promotion; Oryza sativa; Performance; Phosphate solubilization.

INTRODUCCIÓN

El arroz es un cereal considerado como uno de los principales alimentos de la canasta familiar en áreas densamente pobladas aportando aproximadamente el 20% del suministro de energía alimentaria en el mundo (Baranoa, 2010; Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la Alimentación, FAO, 2013). Para mantener el rendimiento y la productividad del cultivo de arroz, se hace necesaria la aplicación de fertilizantes químicos, los cuales aportan a los suelos nutrientes que son requeridos para promover a la planta un desarrollo óptimo y un buen rendimiento en la producción de las cosechas (Hassan, 2017), sin embargo, muchos de estos fertilizantes químicos están ocasionando problemas ambientales (Izquierdo, 2017). Como alternativa para sustituir los fertilizantes químicos, actualmente se está haciendo énfasis en la aplicación de microorganismos que tienen la capacidad de proteger a la planta contra patógenos y promover el crecimiento vegetal, como por ejemplo las bacterias endófitas (Izquierdo, 2017).

Las bacterias endófitas son consideradas grupos de simbiontes que habitan en los tejidos vegetal sin causar síntomas de enfermedad a su hospedero (Kandel *et al.*, 2017). Contribuyen a la salud de la planta mediante la secreción de factores reguladores de crecimiento, producción de fitohormonas y metabolitos microbianos, lo que permite la disminución del estrés nutricional y patogénico en la planta (Porras and Bayman, 2011; Kandel *et al.*, 2017). Las bacterias endófitas son consideradas una gran herramienta biotecnológica debido a la capacidad que tienen para fijar nitrógeno, solubilizar fosfato y producir sideróforos lo que ha favorecido la producción y rendimiento de los cultivos (Sahoo *et al.*, 2017).

Estudios han demostrado que estos microorganismos endófitos asociados al arroz pertenecen a los géneros Agrobacterium, Bacillus, Chryseobacterium, Flavobacterium, y Pseudomonas (Moronta, 2015), los cuales presentan diferentes mecanismos para proteger la planta contra cualquier patógenos. La producción de bioinoculantes a partir de los géneros anteriormente mencionados se ha convertido en una alternativa para disminuir los costos de producción y sustituir los agroquímicos que afectan de manera significativa la microbiota del suelo (Ortiz et al., 2018; Valdez et al., 2020). Teniendo en cuenta los beneficios de las bacterias endófitas anteriormente mencionadas, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar in vitro la capacidad promotora de crecimiento vegetal de bacterias endófitas aisladas de diferentes tejidos de variedades de arroz.

MÉTODO

Área de estudio

La investigación se realizó en la granja experimental la Victoria del Fondo Nacional del Arroz, localizado en el municipio de Mocarí-Córdoba-Colombia con coordenadas 08°47′25″ de la Longitud Norte 75°51′38″ de longitud Oeste con respecto al Meridiano de Greenwich, con una temperatura promedia de 29 °C, humedad relativa de 80 %, precipitación anual promedia de 1200 mm y altura de 20 m s.n.m.

Muestreo del material vegetal

Se recolectaron de forma aleatoria, en forma de zig-zag, 10 plantas completas (raíz, tallo, hojas, inflorescencia) de las variedades de arroz identificadas como 2000, Tana, 473 y 67 en la granja experimental la Victoria del Fondo Nacional del Arroz. Las muestras fueron rotuladas con su respectiva variedad y fecha de recolecta, almacenadas y conservadas en cajas de icopor a 4 °C para su transporte al laboratorio de investigaciones microbiológicas de la Universidad de Sucre y procesada dentro de las 24 horas después de la recolecta.

Aislamiento de bacterias endófitas

El material vegetal fue separado en sus diferentes tejidos con el fin de realizar el proceso desinfección (Pérez et al., 2010), luego de lo cual se pesó 1 g de cada tejido y fue macerado en un mortero de porcelana con caldo peptona hasta obtener una mezcla homogénea. De cada homogenizado se realizaron diluciones seriadas las cuales fueron sembradas en superficie en medio de cultivo R2A y se incubaron a 28 °C por 72 horas. La densidad poblacional de bacterias endófitas por tejido, UFC/g de tejido, se estimó por conteo directo en placas en donde se seleccionaron las colonias que se distinguían en cuanto a forma, aspecto de la superficie, color y tamaño. Los aislados seleccionados se purificaron y fueron mantenidos en agar R2A (Singh and Dubey, 2018).

Actividad promotora de crecimiento vegetal de bacterias endófitas in vitro

Fijación biológica de nitrógeno. Las bacterias fueron colocadas con un asa bacteriana en el medio selectivo agar Burk carente de fuente de nitrógeno como evaluador de la actividad fijadora de nitrógeno, el cual utiliza una fuente combinada de carbono que permite recuperar una mayor cantidad de microorganismos con posible actividad fijadora seleccionando solo aquellos que presenten el sistema enzimático que les permite reducir el nitrógeno atmosférico y utilizarlo en su metabolismo. El medio de cultivo fue incubado durante 7 días a 30°C. Los resultados fueron observados según el crecimiento de la bacteria en el medio (Walitang *et al.*, 2017; Sarsaiya *et al.*, 2019).

Solubilización de fosfato.

La determinación de solubilización de fosfato fue mediante la inoculación de colonias en el medio de cultivo sólido NBRID incubado durante 7 días a 30°C. La aparición de halos claros alrededor de las colonias es considerada como indicador positivo para la solubilización fosfato (Walitang et al., 2017).

Producción de sideróforos.

La producción de sideróforos se determinó mediante el medio cromo azurol-S (CAS) (Schwyn and Neilands, 1987). La habilidad de la bacteria para producir sideróforos fue evidenciada por la formación de un halo transparente alrededor de las colonias.

Identificación molecular de bacterias endófitas con actividad promotora de crecimiento vegetal

La extracción de ADN de bacterias endófitas con actividad positiva para la fijación de nitrógeno, solubilización de fosfato y producción de sideróforos, se realizó mediante la amplificación del gen 16S RNAr, se utilizaron 5 juegos de oligonucleotidos específicos: FBLS342 y R1392, para la clase firmicutes; F948β y R1492 para la clase beta-proteobacteria; FD2 y RP1 para la clase gamma-proteobacteria; F243 y R1492 para la clase actinobacteria; F203 y R1492 para la clase alfa-proteobacteria (Oliveira *et al.*, 2013; Pandey *et al.*, 2018). Los productos amplificados se purificaron y fueron enviados a secuenciación a la empresa Macrogen. Las secuencias obtenidas, se compararon con las almacenadas en el Genbank. El alineamiento de las bases se realizó en el programa Clustal W, las inferencias filogenéticas fueron obtenidas por método Neighbor Joining basado en el modelo kimura-2-parámetro con prueba bootstrap 1.000 réplicas con el programa MEGA X.

Análisis estadístico

Se aplicó un diseño en bloque con arreglo factorial para las diferencias entre la densidad poblacional (UFC/g de tejido) de bacterias endófitas en función a variedad y tipo de tejido. Se utilizó la prueba de rango múltiple (Tukey) para establecer diferencias significativas (p<0,05), entre comunidades de bacterias endófitas (UFC/g de tejidos) con relación a variedad y tipo de tejido colonizado. Los datos fueron analizados en el programa InfoStat versión gratis.

RESULTADOS

Aislamiento de bacterias endófitas

Se aislaron 107 morfotipos de bacterias endófitas de cuatro variedades de arroz identificadas como Fedearroz 2000 (F2000), Fedearroz Tana (FTana), Fedearroz 437 (F437) y Fedearroz 67 (F67). El análisis de varianza entre densidad poblacional de bacterias endófitas por variedad y tipo de tejido mostró diferencias significativas (p<0,05), mientras que la prueba múltiple de rango Tukey para las poblaciones de bacterias endófitas mostró significancia en cuanto a cantidad de estas bacterias por variedades de arroz analizada. Las variedades con mayores densidades se presentaron para la variedad F2000 (1,37x10⁴ UFC/g de tejido) seguida de F473 (1,2x10⁴ UFC/g de tejido); la menor densidad de bacterias fue para la variedad FTana y F67, las cuales presentaron densidades de (1,0x10⁴ y 9,7x10³ UFC/g de tejido), respectivamente (figura 1).

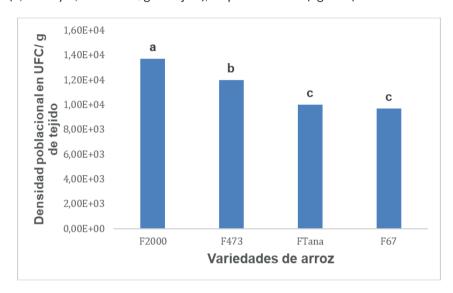


Figura 1. Densidad poblacional de bacterias endófitas asociadas de cuatro variedades de arroz.

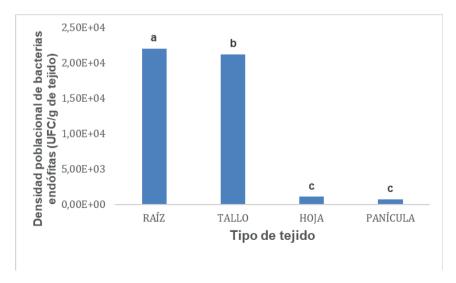


Figura 2. Densidad poblacional de bacterias endófitas por tejidos de arroz

Los valores encontrados en este estudio son mayores para la variedad Fedearroz 2000. Otros estudios han registrado valores menores de densidades de bacterias endófitas de 2,07x10¹⁰ UFC/g para la variedad Fedearroz 473 y de 1;56x10¹⁰ UFC/g de raíz para Fedearroz 2000. La densidad poblacional de bacterias endófitas asociadas a diferentes especies vegetales depende de la especie de bacteria y el genotipo de la planta hospedera, además del estado de desarrollo de la planta, la densidad del inóculo, las condiciones ambientales y la época del año (Singh and Dubey, 2018).

La prueba múltiple de rango Tukey para la densidad de bacterias endófitas en función del tipo de tejido mostró una mayor colonización en raíces 2,2x10⁴ UFC/g de tejido y tallo con 2,12x10⁴ UFC/g de tejido; mientras la menor cantidad de bacterias endófitas fueron aisladas en hojas y panículas con valores de 1,1x10³ y 7,2x10² UFC/g de tejido, respectivamente (figura 2).

El tejido mayor colonizado fue la raíz en cada una de las variedades en estudio. Además, la presencia de endófitos está descrita para todos los tejidos de la planta, existiendo un mayor número en la raíz, disminuyendo a medida que asciende por el tallo hasta llegar a las hojas y por último a frutos o inflorescencias (Porras and Bayman, 2011; Sahoo et al., 2017). La razón principal de que haya mayor colonización en la raíz que en otras partes de la planta, se debe a que esta zona está en contacto directo con el suelo. Así mismo, los exudados liberados por las raíces atraen a una gran diversidad de microorganismos que pueden colonizar los espacios radiculares (Sahoo et al., 2017).

Actividad promotora de crecimiento vegetal de bacterias endófitas in vitro

En la figura 3 se muestran los resultados del ensayo *in vitro* de actividad cualitativa de solubilización de fosfato en agar NBRID, fijación de nitrógeno en agar Burk y producción de sideróforos en medio cromo azurol-S (CAS). Los resultados del ensayo mostraron 22 asilados de bacterias endófitas con capacidad de promoción de crecimiento, en 11 de los cuales se observó cualitativamente tuvieron la capacidad de solubilizar fosfato; 6 de producir sideróforos y 5 de fijar nitrógeno.

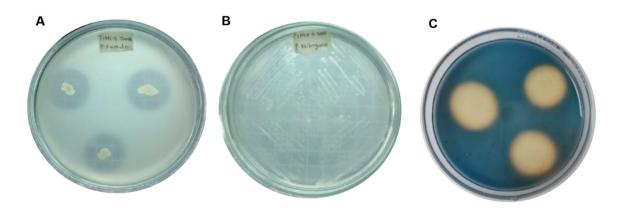


Figura 3. Promoción de crecimiento *in vitro* de bacterias endófitas aisladas de tejidos de variedades de arroz. (A) solubilización de fosfato, (B) fijación de nitrógeno y (C) producción de sideróforos.

El crecimiento de las bacterias endófitas en medio Burk sugiere que tienen la capacidad de producir la enzima nitrogenasa, complejo enzimático que cataliza la reducción de nitrógeno en amonio (Omomowo *et al.*, 2019; Fadiji *et al.*, 2020). La combinación de bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos formadores de micorrizas se ha convertido en una estrategia para sustituir el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados. Así mismo, la combinación de microorganismos diazotróficos y hongos del género *Trichoderma* pueden aumentar la longitud de las hojas, grosor del tallo y longitud de las raíces lo que favorece un mejor rendimiento y mayor producción en cultivos (Khalaf *et al.*, 2018; Montejo *et al.*, 2018).

Así mismo, las bacterias endófitas tienen la capacidad de solubilizar fosfato gracias a la producción de enzimas como las fosfatasas que cumplen la función de disponer el fósforo en el suelo y ser asimilable para la planta favoreciendo su crecimiento (Saeid et al., 2018). Las enzimas que tienen la capacidad de solubilizar fosfatos como las fosfatasas y lipasas se han convertido en herramientas biotecnológicas que permiten mejorar rendimiento, los cuales se han visto resultados significativos en cultivos de papa, maíz y arroz (Suleman et al., 2018).

La producción de sideróforos a partir de las bacterias endófitas cumple un papel importante en la protección de la planta, ya que el sideróforo captura los iones de hierro y no dejarlo a disposición a los organismos patógenos (Xiao et al., 2017). Hasta el momento, la mayor cantidad de estudios están basados en la aplicación de sideróforos para combatir enfermedades que afectan a cultivos de interés económico ha estado relacionado con productos obtenidos a partir de *Pseudomonas fluorescens*, debido a que la producción de sideróforos (pioverdinas o piocianinas) por parte de este microorganismo tiene un claro efecto inhibitorio en el crecimiento del micelio de *Colletotrichum lindemuthianum* y *Colletotrichum gloesporioides* (Priyanka et al., 2017). Diversos estudios referencian que los géneros *Bacillus*, *Pantoea*, *Pseudomonas* y *Burkholderia* tienen la capacidad de promover el crecimiento vegetal *in vitro* demostrando que pueden ser utilizados como inoculante para el cultivo de arándano (Ortiz et al., 2018).

Identificación molecular de bacterias endófitas con actividad promotora de crecimiento vegetal

El análisis filogenético del gen 16S ARNr para bacterias endófitas con actividad de promotora de crecimiento vegetal (figura 4), muestra que 11 especies de bacterias mostraron alta similitud con secuencias almacenadas en banco de datos de GenBank, corresponde a las especies de *Bacillus thuringiensis* y *B. cereus* pertenecientes a la clase Firmicutes. En este análisis, los morfotipos T4M6F2000LIM, P3M6F473LIM, aislado de tallo de la variedad Fedearroz 2000 y de panícula de la variedad Fedearroz 473, fue identificado como *B. thuringiensis*, mostrando *in vitro* capacidad de solubilizar fosfatos y producción de sideróforos. Los aislados correspondiente a P1M3F473LIM, R1M4F2000LIM, R5M5FTANALIM, T2M5F2000LIM, P2M4F473LIM, T1M5F2000LIM, T1M3FTANALIM, H1M3F2000LIM y R2M5F67LIM obtenidos de panícula, hoja, raíz y tallo, de la variedad Fedearroz 2000, F473, F67 y FTana fueron identificados como *B. cereus*, mostrando actividad de fijación de nitrógeno, solubilización de fosfatos y producción de sideróforos.

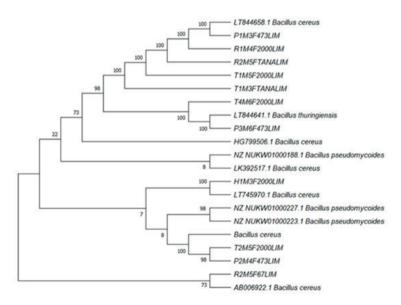


Figura 4. Dendograma de Neighbor-Joining a partir de las secuencias gen 16S ARNr de bacterias endófitas. H: hoja; P: panícula; T: tallo; R: raíz; M: morfotipo; F: variedad Fedearroz; LIM: Laboratorio de Investigaciones Microbiológicas Universidad de Sucre.

B. thuringiensis ha sido reportada como bacteria endófita con capacidad de solubilizar fosfato y producir sideróforos que puede mejorar la calidad de la producción de sectores agrícolas (Djenane et al., 2017). Además, esta bacteria produce una variedad de metabolitos, entre los cuales se encuentra las bacteriocinas, antibióticos y enzimas extracelulares (como proteasas y quitinasas), compuestos claves para la supresión de patógenos (Martínez et al., 2020). B. thuringiensis tienen la capacidad de proteger a la planta Brassica campestris L. (Brassicaceae) contra la enfermedad llamada esclerotinosis causada por Sclerotinia sclerotiorum. Los resultados obtenidos indicaron que la diversidad de cepas de B. thuringiensis son eficaces para el control biológico contra S. sclerotiorum y para controlar insectos y nematodos que ocasionan graves problemas en cultivos de interés económico (Crickmore et al., 2020; Wang et al., 2020).

B. cereus es reportada como bacteria endófita asociada a plantas de arroz como potencial agente promotor de crecimiento (Ortiz et al., 2019; Khaskheli et al., 2020). Es una bacteria endófita asociada a cultivo de papa la cual ha mostrado resultados positivos en los ensayos de fijación de nitrógeno y tiene la capacidad de biorremediación en cultivos de arroz que presenten contaminación por cadmio. A su vez, favorece el crecimiento de la planta mediante la producción de Ácido Indol Acético (IAA) (Walitang et al., 2017; Wang et al., 2019).

El género *Bacillus* se caracteriza por presentar actividad de fijar nitrógeno, y especies de este género han sido reportadas como endófitos resistentes a cadmio en *Solanum nigrum* L. (Solanaceae) y níquel en *Oryza sativa* L. (Poaceae) (Singh and Dubey, 2018). Generalmente, los miembros de este género han sido aislados de un gran número de especies silvestres de interés comercial como la papa (Wang *et al.*, 2019), trigo, arroz y caña de azúcar (Hassan, 2017). A su vez, se realizan aislamientos de estas bacterias a partir de suelo rizosféricos o no rizosféricos del mismo cultivo donde se va a evaluar su potencial como promotor de crecimiento. Su actividad promotora de crecimiento está asociada principalmente por la producción de AIA, solubilizar fosfatos y producir sideróforos generando incrementos en la porción radicular y aérea de las plantas (Bhat *et al.*, 2020).

CONCLUSIONES

La especie *Bacillus cereus* y *B. thuringiensis* tienen la capacidad de promover el crecimiento vegetal *in vitro* mediante la producción de sideróforos, solubilización de fosfato y fijación de nitrógeno. Estas dos especies pueden ser aplicadas en campo con el fin de aumentar la producción y rendimiento de los cultivos, lo que las convierte en una herramienta biotecnología para sustituir la aplicación de agroquímicos los cuales hasta la fecha están generando problemas en el ambiente y salud humana.

AGRADECIMIENTOS

Al Fondo de Ciencias, Tecnología e Innovación con recursos del Sistema General de Regalías para el departamento de Sucre año 2014-2021.

REFERENCIAS

BHAT, MUJTABA; KUMAR, VIJAY; BHAT, MUDASIR; WANI, ISHFAQ; DAR, LATIEF; FAROOQ, IQRA; BHATTI, FARHA; KOSER, RUBINA; RAHMAN, SAFIKUR; JAN, ARIF. Mechanistic Insights of the Interaction of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) With Plant Roots Toward Enhancing Plant Productivity by Alleviating Salinity Stress. Frontiers in microbiology, v. 11, n. 1, 2020, p. 19-52. https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01952

- PORRAS, ANDREA; BAYMAN, PAUL. Hidden fungi, emergent properties: endophytes and microbiomes. Annual Review of Phytopathology, v. 49, n. 1, 2011, p. 291-315. https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080508-081831
- BARANOA, EDUARDO. Importancia de la semilla de arroz en Colombia. Revista Arroz, v. 58, n. 1, 2010, p. 15-18. CRICKMORE, NEIL; BERRY, COLIN; PANNEER; SELVAM, SURESH; MISHRA, RUCHIR; CONNOR, THOMAS; BONNING, BRYONRY. Structure-based nomenclature for *Bacillus thuringiensis* and other bacteria-derived pesticidal proteins. Journal of Invertebrate Pathology, v. 10, n. 1, 2020, p. 74-38. https://doi.org/10.1016/j.jip.2020.107438
- DJENANE, ZAHIA; FARIDA, NATECHE; MERIAM, AMZIANE; GOMIS, JOAQUÍN; FAIROUZ, EL-AICHAR; HASSIBA, KHORF; FERRÉ, JUAN. Assessment of the Antimicrobial Activity and the Entomocidal Potential of *Bacillus thuringiensis* Isolates from Algeria. Toxins, v. 9, n. 4, 2017, p. 139-142. https://doi.org/10.3390/toxins9040139
- FADIJI, EMMANUEL; BABALOLA, OLUBUKOLA. Elucidating Mechanisms of Endophytes Used in Plant Protection and Other Bioactivities With Multifunctional Prospects. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, v. 8, n. 9, 2020, p. 467-469. https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00467
- HASSAN, SADD. Plant growth-promoting activities for bacterial and fungal endophytes isolated from medicinal plant of *Teucrium polium* L. Journal of advanced research, v. 8, n. 6, 2017, p. 687–695. https://doi.org/10.1016/j.jare.2017.09.001
- IZQUIERDO, JUAN JÓSE. Contaminación de los suelos agrícolas provocados por el uso de los agroquímicos en la parroquia San Joaquín [Tesis de pregrado. Ingeniería ambiental]. Cuenca (Ecuador): Universidad Politécnica Salesiana, Facultad de ingeniería Ecuador, 2017, p. 86.
 - https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14712/1/UPS-CT007228.pdf
- KANDEL, SHYAM; JOUBERT, PIERRE; DOTY, SHARON. Bacterial Endophyte Colonization and Distribution within Plants Microorganisms, v. 5, n. 4, 2017 p. 77-82. https://doi.org/10.3390/microorganisms5040077
- KHALAF, EMAN; RAIZADA, MANISH. Bacterial Seed Endophytes of Domesticated Cucurbits Antagonize Fungal and Oomycete Pathogens Including Powdery Mildew. Frontiers in microbiology, v. 9, n. 42, 2018, p. 42-44.
 - https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00042
- KHASKHELI, MAQSOOD; WU, LIJUAN; CHEN, GUOQING; CHEN, LONG; HUSSAIN, SAJID; SONG, DAWEI; LIU, SIHUI; FENG, GUOZHONG. Isolation and Characterization of Root-Associated Bacterial Endophytes and Their Biocontrol Potential against Major Fungal Phytopathogens of Rice (*Oryza sativa* L.). Pathogens, v. 9, n. 3, 2020, p. 172.
 - https://doi.org/10.3390/pathogens9030172
- MARTÍNEZ, SHEILA; BARBOZA, URIEL; HERNANDEZ, GUSTAVO; BIDESHI, DENNIS. Chitinases of Bacillus thuringiensis: Phylogeny, Modular Structure, and Applied Potentials. Frontiers in microbiology, v. 10, n. 1, 2020, p. 30-32.
 - https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.03032
- MONTEJO, DAVID; CASANOVA, FERNANDO; GARCÍA, MARTIN; OROS, IVAN; DÍAZ, VICTOR; MORALES, EMILIO. Respuesta foliar y radical del maíz a la fertilización biológica-química en un suelo Luvisol. Agronomía Mesoamericana, v. 29, n. 2, 2018, p. 325-341.
- MORONTA, FERNANDO. Aislamiento de bacterias endófitas de arroz con actividades promotoras del crecimiento vegetal. 2015. aislamiento%20de%20bacterias%20endofitas%20.pdf [consultado abril 18 de 2018].
- OLIVEIRA, MARCELO; SANTOS, THIAGO; HELSON, VALE; DELVAUX, JÚLIO; CORDERO, ALEXANDER; FERREIRA, ALESSANDRA; PAULO, MIGUEL; TÓTOLA, MARCOS; COSTA, MAURÍCIO; MORAES, CÉLIA; BORGES, ARNALDO. Endophytic microbial diversity in coffee cherries of Coffea arabica from southeastern Brazil. Canadian Journal of Microbiology, v. 59, n. 4, 2013, p. 221-230. https://doi.org/10.1139/cjm-2012-0674

- OMOMOWO, OLAWALE; BABALOLA, OLUBUKOLA. Bacterial and Fungal Endophytes: Tiny Giants with Immense Beneficial Potential for Plant Growth and Sustainable Agricultural Productivity. Microorganisms, v. 7, n. 11, 2019, p. 481-487.
 - https://doi.org/10.3390/microorganisms7110481
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO). Estadísticas mundiales sobre cultivos. 2013. http://faostat.org. [consultado mayo 26 de 2017].
- ORTIZ, JAVIER; SOTO, JAVIERA; FUENTES, ALEJANDRA; HERRERA, HECTOR; MENESES, CLAUDIO; ARRIAGADA, CESAR. The Endophytic Fungus Chaetomium cupreum Regulates Expression of Genes Involved in the Tolerance to Metals and Plant Growth Promotion in Eucalyptus globulus Roots. Microorganisms, v. 7, n. 11, 2019, p. 490.
 - https://doi.org/10.3390/microorganisms7110490
- ORTIZ, MAGDALENA; HERNÁNDEZ, JULIE; VALENZUELA, BLENDA; DE LOS SANTOS, SERGIO; ROCHA, MARIA DEL CARMEN; SANTOYO, GUSTAVO. Diversidad de bacterias endófitas cultivables asociadas a plantas de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Biloxi con actividades promotoras del crecimiento vegetal. Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences, v. 34, n. 2, 2018, p. 140-151. http://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902018005000403
- PANDEY, SHIV; SUCHETA, SINGH; HARSHITA, PANDEY; MADHUMITA, SRIVASTAVA; TANIA, RAY; SUMIT, SONI; ALOK, PANDEY; KARUNA, SHANKER; VIVEK, BABU; SUCHITRA, BANERJEE; GUPTA, MARIA; ALOK, KALRA. Endophytes of Withania somnifera modulate in planta content and the site of withanolide biosynthesis. Scientific reports, v. 8, n. 1, 2018, p. 54-50. https://doi.org/10.1038/s41598-018-23716-5
- PÉREZ, ALEXANDER; ROJAS, JOHANNA; FUENTES, JUSTO. Diversidad de bacterias endófitas asociadas a raíces del pasto colosuana (*Bothriochloa pertusa*) en tres localidades del departamento de Sucre, Colombia. Acta Biológica Colombiana, v. 15, n. 2, 2010, p. 219-228.
- PRIYANKA, TOSHY; AGRAWAL, ANIL; KOTASTHANE, ASHOK; KOSHARIA, RENU; KUSHWAH, NAJAM; WARIS, ZAIDI; SAM, SINGH. Crop specific plant growth promoting effects of ACCd enzyme and siderophore producing and cynogenic Pseudomonas fluorescens. Biotechology, v. 7, n. 1, 2017, p. 27-37. https://doi.org/10.1007/s13205-017-0602-3
- SAEID, AGNIESZKA; PROCHOWNIK, EWELINA; DOBROWOLSKA; IWANEK, JUSTYNA. Phosphorus Solubilization by Bacillus Species. Molecules, v. 23, n. 11, 2018, p. 28-97. https://doi.org/10.3390/molecules23112897
- SAHOO, SABUJ; SARANGI, SARMISTHA; KERRY, GEORGE. Bioprospecting of Endophytes for Agricultural and Environmental Sustainability. Microbial Biotechnology: Applications in Agriculture and Environment, v. 1, n. 1, 2017, p. 429–458.
 - https://doi.org/10.1007/978-981-10-6847-8_19
- SARSAIYA, SURENDRA; JINGSHAN, SHI; JISHUANG, CHEN. Comprehensive review on fungal endophytes and its dynamics on Orchidaceae plants: current research, challenges, and future possibilities. Bioengineered, v. 10, n. 1, 2019, p. 316-334.
 - https://doi.org/10.1080/21655979.2019.1644854
- SCHWYN, BERNHARD; NEILANDS, JORGE. Universal chemical assay for the detection and determination of siderophores. Analytical Biochemistry, v. 160, n. 1, 1987, p. 47-56. https://doi.org/10.1016/0003-2697(87)90612-9
- SINGH, RADHA; DUBEY, ASHOK. Diversity and Applications of Endophytic Actinobacteria of Plants in Special and Other Ecological Niches. Frontiers in microbiology, v. 9, n. 1, 2018, p. 17-67. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01767
- SULEMAN, MUHAMMAD; SUMERA, YASMIN; MARIA, RASUL; MAHREEN, YAHYA; BABAR, ATTA; MUHAMMAD, MIRZA. Phosphate solubilizing bacteria with glucose dehydrogenase gene for phosphorus uptake and beneficial effects on wheat. PloS one, v. 13, n. 9, 2018, p. 20-28. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204408

- VALDEZ, RENZO; RÍOS, WINSTON; ORMEÑO, ERNESTO; TORRES, EDSON; TORRES, JORGE. Caracterización genética de bacterias endófitas de arroz (*Oryza sativa* L.) con actividad antimicrobiana contra *Burkholderia glumae*. Revista Argentina de Microbiología, v. 119, n. 1, 2020, p. 19-32. https://doi.org/10.1016/j.ram.2019.12.002
- WALITANG, DENVER; KIYOON, KIM; MUNUSAMY, MADHAIYAN; YOUNG, KEE; YEONGYEONG, KANG; TONGMIN, SA. Characterizing endophytic competence and plant growth promotion of bacterial endophytes inhabiting the seed endosphere of Rice. BMC microbiology, v. 17, n. 1, 2017, p. 209. https://doi.org/10.1186/s12866-017-1117-0
- WANG, CHANG, RONG; LIU, ZHONGQI; HUANG, YONGCHUN; ZHANG, YENI; WANG, XIAOHAN; HU, ZHOUYUE. Cadmium-resistant rhizobacterium *Bacillus cereus* M4 promotes the growth and reduces cadmium accumulation in rice (*Oryza sativa* L.). Environmental Toxicology and Pharmacology, v. 7, n. 2, 2019, p. 103-111.
 - https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.103265
- WANG, MELING; GENG, LILI; XIAOXIAO, SUN; Changlong, Shu; Fuping, Song; Jie, Zhang. Screening of *Bacillus thuringiensis* strains to identify new potential biocontrol agents against *Sclerotinia sclerotiorum* and *Plutella xylostella* in *Brassica campestris* L. Biological Control, v. 279, n. 1, 2020, p. 104-262. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104262
- XIAO, XIAO; BENG, YEOH; PIU, SAHA; YUAN, TIAN; VISHAL, SINGH; ANDREW, PATTERSON; MATAM, KUMAR. Modulation of urinary siderophores by the diet, gut microbiota and inflammation in mice. The Journal of nutritional biochemistry, v. 4, n. 1, 2017, p. 25–33. https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2016.11.014

BIOTECNOLOGÍA EN EL SECTOR AGROPECUARIO Y AGROINDUSTRIAL

Vol. 21 No 1 · Enero-Junio 2023 · ISSN-1692-3561 · ISSN-e 1909-9959 · DOI: https://doi.org/10.18684

Efecto de suplementación con forrajes verdes sobre parámetros productivos y calidad de huevo en gallinas*

Effect of supplementation with green forages on productive parameters and egg quality in hens

RODRÍGUEZ-MOLANO, CARLOS EDUARDO 1: NIÑO-MONROY, LAURA ESTEFANÍA 2: GARCÍA-GÓMEZ, HUGO ARMANDO 3

Historial del artículo

Recibido para evaluación: 23 de Abril2021 Aprobado para publicación: 4 de Septiembre 2022

- * Proyecto de investigación de origen: "Determinación de parámetros productivos y calidad de huevo de gallinas ponedoras suplementadas con Morera, Botón de oro y Alfalfa". Financiación: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Culminación: diciembre del 2020.
- 1 Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Grupo de investigación en Bioquímica y Nutrición Animal (GIBNA). Ph.D©. en Ciencias Biológicas y Ambientales. Tunja, Colombia. https://orcid.org/0000-0002-0862-3478
- 2 Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Grupo de investigación en Bioquímica y Nutrición Animal (GIBNA). Médico Veterinario Zootecnista. Tunja, Colombia. https://orcid.org/0000-0002-4056-535
- 3 Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Grupo de investigación en Bioquímica y Nutrición Animal (GIBNA). Ms©. en Ciencias Veterinarias. Tunja, Colombia.

Correspondencia: carlos.rodriguez@uptc.edu.co

Cómo citar este artículo: RODRÍGUEZ-MOLANO, CARLOS EDUARDO; NIÑO-MONROY, LAURA ESTEFANÍA; GARCÍA-GÓMEZ, HUGO ARMANDO. Efecto de suplementación con forrajes verdes sobre parámetros productivos y calidad de huevo en gallinas. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, v. 21, n. 1, 2023, p.39-50 Doi: https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n1.2023.1915



RESUMEN

En Colombia, la producción avícola es una fuente importante de alimento aportando proteína de origen animal de buena calidad como huevos y carne, sin embargo, al presentarse altos costos en los concentrados se ha generado la necesidad de búsqueda de alternativas de alimentación. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del consumo de forrajes verdes de Alfalfa (Medicago sativa), Morera (Morus alba) y Botón de oro (Tithonia diversifolia) en parámetros productivos y calidad de huevo. Se establecieron cuatro tratamientos con una alimentación base de concentrado balanceado comercial y agua a voluntad: T1: suplementación con Alfalfa, T2: con Morera, T3: Botón de oro y T4: grupo control. Los parámetros evaluados fueron peso, porcentaje de postura, consumo de alimento, peso del huevo, pigmentación y peso de la yema, peso y densidad de la albumina, peso y espesor de la cascara y las unidades Haugh. Las aves del T2, mostraron diferencias estadísticamente significativas (p<0,05) en el peso corporal en el primer intervalo de estudio y en la pigmentación de la yema en los tres intervalos con valores levemente superiores. La suplementación con morera mejora significativamente la pigmentación de la yema sin afectar negativamente los parámetros productivos.

PALABRAS CLAVE:

Alternativa nutricional; Avicultura; Forraje; Gallinas de postura; Huevo; Nutrición animal; Producción; Sostenibilidad; Suplementación animal; Variables productivas.

ABSTRACT

In Colombia, poultry production is an important source of food, providing protein of good quality animal origin such as eggs and meat; however, due to the high costs of concentrates, the need to search for food alternatives has been generated. The objective of this work was to determine the effect of the consumption of green forages of Alfalfa (Medicago sativa), Mulberry (Morus alba) and Buttercup (Tithonia diversifolia) in productive parameters and egg quality. Four treatments were established with a base feed of commercial balanced concentrate and water ad libitum; T1: supplementation with Alfalfa, T2: with Mulberry, T3: Buttercup and T4: control group. The parameters evaluated were weight, percentage of laying, feed consumption, egg weight, pigmentation and weight of the yolk, weight and density of albumin, weight and thickness of the shell and Haugh units. The T2 birds showed statistically significant differences (p<0,05) in body weight in the first study interval and in yolk pigmentation in the three intervals with slightly higher values. Mulberry supplementation significantly improves bud pigmentation without negatively affecting productive parameters.

KEYWORDS:

Nutritional alternative; Poultry farming; Forage; Laying hens; Egg; Animal nutrition; Production; Sustainability; Animal supplementation; Productive variables.

INTRODUCCIÓN

En Colombia, la producción avícola ha presentado un crecimiento exponencial en los últimos años, proporcionando una fuente importante de alimento y sustento aportando proteína de origen animal de buena calidad con el fin de suplir las exigencias nutricionales del país. El sector avícola para el año 2016 creció en un 4,9 % indicando un consumo per

cápita de 252 huevos anuales, lo cual lo posiciona como uno de los sectores más dinámicos de la actividad agropecuaria (Federación Nacional de Avicultores, FENAVI, 2016). Por esta razón, la producción avícola es un renglón de la economía que tiende al aumento productivo a pequeña y gran escala observándose en este una gran oportunidad económica, no obstante, se debe competir en el mercado entregando un producto de alta calidad y con costos de producción menores.

El crecimiento en los costos de producción relacionados con el aumento en los precios de los concentrados, escasez de alimentos e inestabilidad de precios, han creado la necesidad de buscar fuentes alternativas de alimentación (Grela *et al.*, 2020) que mejoren las condiciones económicas del sector, por lo cual los recursos alimenticios no convencionales son una opción viable ya que son más económicos, están disponibles en todo el mundo y su uso disminuye el potencial de contaminación ambiental (Selim and Hussein, 2020). Al conocer que la alimentación es el factor más importante y limitante económicamente y productivamente hablando que puede ser el 70 % de los costos de producción a nivel mundial, muchos productores de huevo de gallina de manera informal han ajustado las dietas de sus aves de manera empírica con la implementación de materiales de la región con el fin de reducir costos (Berrío and Cardona, 2001).

La búsqueda de alternativas locales de alimentación ha generado gran interés en la utilización de forrajes verdes que se encuentren establecidos (Martín *et al.*, 2014), como es el caso de la alfalfa (*Medicago sativa* L) que es una planta reconocida por su capacidad de adaptación, alta producción de biomasa y por ser una fuente económica e importante de proteína de alta calidad y digestibilidad (Luna *et al.*, 2018). Por otra parte, se plantea la utilización de materias primas no convencionales como la morera (*Morus alba*) que, por su adaptación al medio tropical y el buen perfil nutricional, puede contrarrestar los costos de producción; otra especie ampliamente estudiada es *Tithonia diversifolia*, localizada en áreas tropicales y subtropicales, crece de forma rápida y bajo condiciones desfavorables y es implementada como fuente de alimento en silvopastoreo de ganado bovino o forraje de corte en la alimentación de aves y rumiantes, por sus altos niveles de proteína y nutrientes (Carranco-Jáuregui *et al.*, 2020); en la alimentación de aves se ha destacado por su potencial en la pigmentación de la yema, obteniendo mejores resultados. Es conocido que el color de la yema del huevo es importante para los consumidores, debido a que estos prefieren pigmentaciones entre medias y altas en el abanico colorimétrico (Juárez-Morales *et al.*, 2020) al considerarlos de mejor calidad.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del consumo de forrajes verdes de Alfalfa (*Medicago sativa*), Morera (*Morus alba*) y Botón de oro (*Tithonia diversifolia*) en parámetros productivos y calidad de huevo de gallinas ponedoras.

MÉTODO

Localización del estudio

El estudio se desarrolló en el departamento de Boyacá en el municipio de Cómbita, a una altitud de 2811 m.s.n.m, y se localizó a 5 °38 '8 " de latitud Norte, y a 73 °19 '26 " Oeste, con temperatura promedio de 13 °C, humedad relativa de 71 % y precipitación promedio de 1087,2 mm³.

Población y Muestra

Las aves utilizadas durante el estudio fueron pollas de la línea genética Babcock Brown (n=200), las cuales fueron adquiridas con 14 semanas de edad de una granja local. Las aves tuvieron un periodo de acostumbramiento de 4 semanas, consumiendo concentrado comercial según su etapa productiva, una vez culminada esta etapa fueron seleccionadas las aves que se encontraban dentro del peso promedio para la edad según el manual de la línea ,y distribuidas aleatoriamente en cuatro grupos cada uno con 50 individuos, estas fueron alimentadas

dos veces al día de manera manual con concentrado comercial y agua a voluntad y tres grupos fueron suplementados con forraje fresco: T1: suplementación con Alfalfa (*Medicago sativa*); T2: suplementación con Morera (*Morus alba*), T3: suplementación con Botón de oro (*Tithonia diversifolia*) y T4: grupo control. La iluminación se dio en forma natural de 15-17 horas diarias.

Material Vegetal

El material vegetal fue recolectado de cultivos establecidos previamente en el municipio de Cómbita. Se recolectó de forma manual tomando hojas tiernas de 70 días de rebrote aproximadamente de cada especie; el material cosechado se trasladó al invernadero para efectuar el proceso de secado por un tiempo de 5 días para realizar el análisis composicional.

Los análisis bromatológicos de las especies vegetales seleccionadas se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, mediante las siguientes técnicas analíticas: la materia seca (% MS) se determinó por medio de los métodos establecidos por la Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2000) en una estufa de secado marca Memmert®, en donde las muestras fueron dejadas a 60 °C durante 48 horas; el contenido de Humedad (% H) por diferencia de peso, la proteína cruda (% P) por el método de Kjeldahl (AOAC, 1984), las cenizas (Cen %) por el método de incineración a 550 °C en una mufla Thermolyne®; fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente acido (FDA) por el método de Van Soest *et al.*, (1991) y extracto etéreo (% E.E.) por el método Soxhlet.

Parámetros productivos

El consumo de alimento (g) se registró diariamente y calculó como gramos de desaparición de alimento dividido por el número de días de aves, ajustado por mortalidad (Alagawany et al., 2015); semanalmente se pesaron las aves (g) en horas de la mañana y en ayunas por medio de una balanza de precisión tipo Salter ® de 1 g (Gaviria et al., 2020), en tanto que el porcentaje de postura se determinó mediante la cantidad de huevos producidos por día y el % de mortalidad se evaluó diariamente.

Parámetros de calidad de huevo

En los parámetros de calidad de huevo se evaluaron el peso huevo (g), peso de la yema (g), peso de la albumina (g), densidad de la albúmina (mm), peso de la cáscara (g), espesor de la cáscara (mm) y las unidades Haugh.

Una vez por semana se seleccionaron siete huevos por tratamiento para realizar el examen de calidad que consistió en pesar el huevo individualmente (g) con una balanza electrónica de precisión marca Ohaus® (Estados unidos) de 0,001 g (Kaki et al., 2020), seguido de separar la yema y la albúmina con el fin de pesarlas por separado, de acuerdo a la metodología descrita por Vela et al. (2020); la pigmentación de la yema se midió directamente sobre esta por medio del abanico colorimétrico DSM® (DSM, YolkFan) (Cadillo et al., 2019); las cáscaras fueron marcadas según la información del tratamiento y fueron sometidas a un proceso de secado por 48 horas a temperatura ambiente (Suárez et al., 2016), al transcurrir este tiempo, se procedió a pesarlos; el espesor de la cáscara (mm) se midió por medio de un micrómetro digital Mitotuyo® con precisión de ± 0,01 mm, con la membrana intacta tomando dos medidas sobre el ecuador y una sobre la cámara de aire de cada huevo, siguiendo la metodología descrita por Jahanian and Rasouli (2014). Por último, se determinaron las Unidades Haugh (UH) con la siguiente expresión (ecuación 1) (Da Silva et al., 2018).:

$$UH = 100 x Log [H + 7.57 - (1.7 x P 0.37)]$$
 (Ec.1)

Donde:

H = altura del albumen, P = peso del huevo

Diseño experimental

Se empleó un diseño completamente aleatorizado. Los datos fueron sometidos a los supuestos de normalidad a través del estadístico de Shapiro-Wilk y homogeneidad por prueba de Levene. Se utilizó la prueba de comparación de promedios de Tukey con un nivel de significancia del 5 %. El paquete estadístico usado fue SPSS versión 23.

RESULTADOS

Calidad nutricional de los alimentos

La composición proximal de Morera (*Morus alba*), Botón de oro (*Tithonia diversifolia*), Alfalfa (*Medicago sativa* L.) y el concentrado balanceado comercial se reporta en el Cuadro 1.

Parámetro	Morera (Morus alba) (%)	Alfalfa (Medicago sativa L.) (%)	Botón de oro (Tithonia diversifolia) (%)	Concentrado comercial ® (%)
Materia Seca	18,35	20,3	21,1	87
Humedad	81,65	79,7	78,9	13,0
Proteína Cruda	16,56	22,4	23,3	18,0
Extracto Etéreo	2,8	2,3	2,26	-
FDN	33,9	38,1	35,3	-
FDA	23,9	26,5	24,4	-
Cenizas	9,6	9,2	11,8	15,0

Cuadro 1. Composición química de Morera, Botón de oro, Alfalfa y concentrado comercial.

Los valores de la proteína cruda obtenidos en la Morera fueron superiores a los reportados por otros autores, quienes obtuvieron valores promedio de 15,3 % (Yirga et al., 2017) y 14,62 % (Fonseca et al., 2019), sin embargo, estos resultados se encuentran dentro el rango común que oscila entre 15 y 29,8 % (Fonseca and Rodríguez, 2019; Zeng et al., 2019; Chundang et al., 2020;). El FDN y FDA fueron inferiores en relación a Yirga et al. (2019) y Fonseca et al. (2019) quienes obtuvieron valores de 36,7 y 28,9 % y 37,8 y 29,4 % respectivamente. El contenido levemente bajo de FDN y FDA y el elevado de PC sugiere que la morera puede ser utilizada como una fuente importante de proteína cruda en la alimentación animal (Wang et al., 2019).

Capacho *et al.* (2018), en su estudio donde evaluaron la calidad nutricional de cuatro variedades de alfalfa no evidenciaron diferencias estadísticas entre éstas, sin embargo, el promedio de proteína cruda fue de 20,08, que es inferior al de este estudio, con valores de FDN y FDA superiores con 49,5 % y 38,6 % respectivamente: no obstante, reportaron valores de proteína superiores de 23,8 % e inferiores de FDA con 19,3 % (Lerma-Lasso *et al.*, 2020).

Los resultados obtenidos para proteína cruda en el botón de oro (23,3 %), fueron superiores a los reportados por otros autores con 14,10 % y 15,2 %, sin embargo, para FDN y FDA fueron inferiores con 53,81 y 48,18 % (Gallego-Castro *et al.*, 2017; Sánchez *et al.*, 2018;). Conforme a Van Soest *et al.*, (1991) los forrajes con un contenido de FDN < 40 % pueden ser considerados de buena calidad, mientras que aquellos con FDN > 60 %, pueden interferir con la digestión y el consumo.

Esta variabilidad en el valor nutricional presentado en las plantas utilizadas en este estudio, puede estar relacionada con la fase de crecimiento, en el manejo, lugar de cosecha, fertilidad del suelo, fertilización de la planta y alteraciones climáticas (Mamani and Cotacallapa, 2018). Sin embargo, Noda and Martín (2008) afirman que la

interacción de la densidad de siembra y frecuencia de la poda también influyen directamente en la composición química de las hojas y tallos, siendo necesario aclarar que la composición nutricional va a depender de la parte de la planta a utilizar.

Parámetros productivos

En los pesos promedio iniciales se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas (p<0,05), en el T2 en relación con los demás tratamientos, mostrando un peso superior de 1855 g (Cuadro 2.). Por otra parte, no se registró muerte de individuos para ningún tratamiento durante el estudio.

Ítem	T1	T2	Т3	T4
Etapa	1*	1	1	1
Peso corporal (g)	1830 ± 0,20 a	1855 ± 0,35 b	1834,5 ± 0,49 ab	1827,5 ± 7,5 a
% de postura	69,2 ± 13,16 a	66,9 ± 13,58 a	65,05 ± 15,01 a	66,53 ± 14,33 a
Consumo de alimento (g)	104,7 ± 4,97 a	100,1 ± 8,48 a	99,1 ± 5,93 a	96,5 ± 7,88 a

Cuadro 2. Parámetros productivos en el primer intervalo de tiempo (18-23 semana).

Promedios con letras distintas en la fila, indican una diferencia estadística significativa según la prueba de Tukey (p<0,05); \pm error estándar (n=50).

La suplementación con morera muestra valores más elevados de peso, lo que difiere de lo reportado por Flórez and Arias (2018) quienes observaron que los animales alimentados con las dietas convencionales con inclusión de 20 y 30 % de harina de hojas de morera, obtuvieron menor ganancia de peso con respecto a los animales alimentados con concentrado comercial. Sin embargo, Perdomo *et al.* (2019) afirman que en codornices la inclusión del 10 y 20 % de harina de morera produjo un mejor desempeño obteniendo mayores pesos, lo que concuerda con lo encontrado en este estudio.

El estudio realizado por Czech *et al.* (2012) donde evaluaron un concentrado de alfalfa de proteína-xantofila en la alimentación de gallinas de pavo, se observó una mejora significativa en la conversión alimenticia con la inclusión de 1,5 % en las gallinas en el período de cría inicial en comparación con el grupo de control.

En el intervalo 2 y 3 no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas (p<0,05), entre tratamientos, sin embargo, el peso promedio y el porcentaje de postura del T2 mostraron valores levemente superiores en relación a los demás tratamientos (Cuadro 3 y 4).

Cuadro 3. Parámetros productivos en el segundo intervalo de tiempo (24-2
--

Ítem	T1	T2	Т3	T4
Etapa	2**	2	2	2
Peso corporal (g)	1851,3 ± 23,5 a	1875,8 ± 14,2 a	1866 ± 6,67 a	1856 ± 13,34 a
% de postura	92,3 ± 1,40 a	95,83 ± 1,39 a	95,2 ± 0,59 a	95,58 ± 1,19 a
Consumo de alimento (g)	113,3 ± 0,45 a	112,2 ± 0,60 a	112,1 ± 0,87 a	112,3 ± 0,64 a

^{**}Intervalo 2 (24-29 s)

Promedios con letras distintas en la fila, indican una diferencia estadística significativa según la prueba de Tukey (p<0,05); ± error estándar (n=50).

^{*} Intervalo 1 (18-23 s)

				•
Ítem	T1	T2	Т3	T4
Etapa	3***	3	3	3
Peso corporal (g)	1976,5 ± 19,3 a	1991 ± 18,4 a	1958,3 ± 26,5 a	1948 ± 27,6 a
% de postura	96,00 ± 1,42 a	96,95 ± 0,74 a	93,63 ± 0,35 a	89,00 ± 1,59 a
Consumo de alimento (g)	113.8 ± 0.20 a	113.8 ± 0.44 a	112.9 ± 0.95 a	112.8 ± 0.47 a

Cuadro 4. Parámetros productivos en el tercer intervalo de tiempo (30-35 semana).

Promedios con letras distintas en la fila, indican una diferencia estadística significativa según la prueba de Tukey (p<0,05); ± error estándar (n=50).

El porcentaje de postura no mostró variación en el estudio, sin embargo, en otros estudios reportan que con la inclusión de 5 % de harina de Tithonia diversifolia se observó una mejora en el porcentaje de consumo de alimento y masa de huevo, no obstante, con la inclusión de 15 % disminuyó el porcentaje de postura alcanzando valores de 89,8 % y 5 g el consumo de alimento (Carranco-Jáuregui et al., 2020): resultados similares a los reportados por Fuente-Martínez et al., (2019), quienes informaron un descenso en el porcentaje de postura conforme al aumento de inclusión de harina de Tithonia diversifolia en razón de 5 % (94,69 %), 10 % (93,18 %) y 15 % (89,76 %). Por otro lado, con la inclusión del 20 % se evidenció una reducción de la cantidad de huevos por ave, lo que determinó una menor intensidad de puesta y repercutió negativamente en la conversión alimenticia (Rodriguez et al., 2018).

El suministro de forraies verdes de Alfalfa (Medicago sativa). Morera (Morus alba) y Botón de oro (Tithonia diversifolia) no influyó negativamente en el consumo de alimento (g) recomendada por el manual de la estirpe. Kwiatkowska et al. (2017) indican un leve aumento en el peso corporal de pollos suplementados con concentrado de proteína de alfalfa, independientemente de la dosis utilizada, sin embargo, múltiples autores reportaron que la inclusión de alfalfa en diferentes presentaciones y concentraciones, disminuyó levemente el consumo de alimento en codornices (Güçlü et al., 2014) y en gallinas ponedoras (Wüstholz et al., 2017).

Calidad de Huevo

En el intervalo 1 se observaron diferencias estadísticamente significativas (p<0,05) en la pigmentación de la yema, siendo T2 el que muestra valores superiores. En relación con el peso del huevo, peso de la yema y albumina, peso y espesor de la cáscara, los valores fueron estadísticamente similares (p<0,05) en todos los tratamientos, sin embargo, aunque no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas (p>0,05) en las unidades Haugh, el T1 mostró una leve mejora obteniendo 96,9 % en comparación con los demás tratamientos (Cuadro 5.)

Ítem	T1	T2	Т3	T4
Etapa	1*	1	1	1
Peso huevo (g)	56,63±0,91 a	55,77±0,72 a	55,76±0,33 a	55,62±0,70 a
Pigmentación de la yema	12,27±0,07 a	12,86±0,28 b	12,69±0,12 ab	12,4±0,16 a
Peso de la yema (g)	17,57±0,88 a	17,06±0,51 a	17,58±0,76 a	17,18±1,1 a
Peso de la albumina (g)	30±0,27 a	29,33±0,60 a	29,03±0,43 a	29,09±1,31 a
Densidad de la albumina (mm)	10,93±0,40 a	10,18±0,39 a	10,32±0,20 a	9,96±0,23 a
Peso de la cascara (g)	5,2±0,21 a	5,06±0,26 a	5,27±0,17 a	5,1±0,14 a
Espesor de la cascara (mm)	0,38±0,01 a	0,36±0,02 a	0,38±0,03 a	0,37±0,01 a
Unidades Haugh	96,9±1,47 a	93,98±1,85 a	94,62±0,91 a	93,11±0,96 a

Cuadro 5. Parámetros de calidad de huevo en el primer intervalo de tiempo (18-23 semana).

Promedios con letras distintas en la fila, indican una diferencia estadística significativa según la prueba de Tukey (p<0,05); ± error estándar (n=50).

^{***} Intervalo 3 (30-35)

^{*} Intervalo 1 (18-23 s)

El T2 presentó valores superiores en la pigmentación de la yema en comparación con el T1, T3 y T4, lo que difiere por lo reportado por Panja (2013), quien afirma que las hojas de morera no afectan la pigmentación de la yema, debido a que las dietas poseen suficiente gluten de maíz. Sin embargo, Carranco-Jáuregui *et al.* (2020) reportan que con la inclusión de harina de *Tithonia diversifolia* en diferentes proporciones 1,77, 5, 10 y 15 % y sin adición de pigmento rojo, la pigmentación fue superior en las inclusiones 10 y 15 %.

Como se evidenció en el intervalo 1, en el intervalo 2 (cuadro 6) el T2 lograron valores superiores en la pigmentación de la yema, evidenciándose diferencias estadísticamente significativas (p<0,05) y promedios similares en las variables evaluadas.

Ítem	T1	T2	Т3	T4
Etapa	2**	2	2	2
Peso huevo (g)	60,33±0,61 a	59,68±1,1 a	59,75±1,5 a	58,95±0,29 a
Pigmentación de la yema	12,06±0,11 a	12,9±0,28 b	12,02±0,27 ab	11,88±0,26 a
Peso de la yema (g)	18,01±0,48 a	18,47±1,2 a	18,26±0,53 a	18,35±0,75 a
Peso de la albumina (g)	31,55±1,7 a	32,17±1,0 a	32,46±2,2 a	31,98±0,61 a
Densidad de la albumina (mm)	10,3±0,47 a	10,43±0,49 a	9,84±0,58 a	9,98±0,45 a
Peso de la cascara (g)	5,53±0,14 a	5,31±0,39 a	5,17±0,19 a	5,2±0,17 a
Espesor de la cascara (mm)	0,39±0,005 a	0,37±0,04 a	0,37±0,02 a	0,4±0,3 a
Unidades Haugh	93.48+2.08.3	94 23+1 95 2	91 6+2 6 2	92 43+2 06 2

Cuadro 6. Parámetros de calidad de huevo en el segundo intervalo de tiempo (24-29 semana).

Promedios con letras distintas en la fila, indican una diferencia estadística significativa según la prueba de Tukey (p<0,05); ± error estándar (n=50).

Sengül et al. (2021), afirman que la suplementación con Morus alba en las dietas de codornices presentó diferencias significativas en el índice de albúmina, el índice de yema y los valores de Unidad Haugh y el peso de yema (p<0,05) lo que difiere con los resultados de este estudio. No obstante, con la inclusión del 12 % evidenciaron disminución en los pesos del huevo.

A diferencia de los resultados obtenidos en este estudio, Grela et al. (2020) al evaluar el efecto de la adición de concentrado de proteína de alfalfa en gallinas ponedoras, observaron que las cáscaras del huevo de las gallinas suplementadas presentaban una coloración más oscura y una tonalidad significativamente superior en la yema.

				1
Ítem	T1	T2	Т3	T4
Etapa	3***	3	3	3
Peso huevo (g)	60,52±0,70 a	61,25±0,54 a	59,93±1,3 a	59,73±0,74 a
Pigmentación de la yema	11,51±0,12 a	12,35±0,22 b	11,48±0,21 ab	11,45±0,78 a
Peso de la yema (g)	18,7±0,96 a	18,57±0,92 a	18,3±0,80 a	18,92±0,34 a
Peso de la albúmina (g)	32,21±0,96 a	32,45±1,4 a	32,4±0,54 a	31,43±0,7 a
Densidad de la albúmina (mm)	9,61±0,42 a	9,88±0,27 a	9,7±0,39 a	9,38±0,54 a
Peso de la cáscara (g)	5,68±0,12 a	5,47±0,17 a	5,17±0,33 a	5,4±0,16 a
Espesor de la cáscara (mm)	0,41±0,01 a	0,39±0,03 a	0,4±0,02 a	0,39±0,01 a
Unidades Haugh	90,26±2,08 a	91,59±1,29 a	91,15±1,7 a	89,42±2,5 a

Cuadro 7. Parámetros de calidad de huevo en el tercer intervalo de tiempo (30-35 semana)

Promedios con letras distintas en la fila, indican una diferencia estadística significativa según la prueba de Tukey (p<0,05); ± error estándar (n=50).

^{**} Intervalo 2 (24-29 s)

^{***} Intervalo 3 (30-35 semana)

CONCLUSIONES

La búsqueda de alternativas de suplementación y el aprovechamiento de fuentes alimenticias de recursos biodisponibles en las diferentes regiones del país ha tomado gran relevancia al observarse altos costos en los concentrados comerciales, por lo cual se reportó que el uso de forrajes verdes como la Alfalfa (*Medicago sativa*), Morera (*Morus alba*) y Botón de oro (*Tithonia diversifolia*) pueden ser incluidos en la dieta de gallinas ponedoras sin afectar negativamente los parámetros productivos, sin embargo, la morera mostró mejores resultados en comparación con los demás tratamientos, mejorando la pigmentación de la yema. Adicionalmente, se logra ver que se requiere mayor investigación con el fin de explorar la respuesta de la suplementación de estas especies vegetales con diferentes concentraciones y presentaciones como harina o la inclusión de metodologías innovadoras como procesos fermentativos, además es importante realizar la evaluación de la concentración de ácidos grasos en huevo y su respectiva calidad.

AGRADECIMIENTOS

Los Autores agradecen la colaboración al Grupo de Investigación en Bioquímica y Nutrición Animal (GIBNA), a la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y a la Dirección de Investigaciones (DIN)

REFERENCIAS

- ALAGAWANY, M.; ABDEL-HACK, M.E.; EL-KHOLY, M.S. Productive performance, egg quality, blood constituents, immune functions, and antioxidant parameters in laying hens fed diets with different levels of *Yucca schidigera* extract. Environmental Science and Pollution Research, v. 23, n. 7, 2015, p. 6774–6782. http://dx.doi.org/10.1007/s11356-015-5919-z
- BERRÍO, ANA; CARDONA-LÓPEZ, MANUEL. Evaluación productiva de una dieta alternativa como reemplazo parcial de concentrado comercial en aves de postura. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, v. 14, n. 2, 2001, p. 155-163.
- CADILLO, J..; CUMPA, M; GALARZA, J. Rendimiento productivo y calidad de huevo en gallinas ponedoras alimentadas con torta de palmiste (*Elaeis guineensis*) y enzimas β-glucanasa y xilanasa. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, v. 30 n. 2, 2019, p. 682-690. http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v30i2.16079
- CAPACHO-MOGOLLÓN, ALFONSO; FLÓREZ-DELGADO, DIXÓN; HOYOS-PATIÑO, JOHAN. Biomasa y calidad nutricional de cuatro variedades de alfalfa para introducir en Pamplona, Colombia. Ciencia y Agricultura, v. 15, n. 1, 2018, p. 61-67. http://doi.org/10.19053/01228420.v15.n1.2018.7757
- CARRANCO-JÁUREGUI, MARÍA; BARRITA-RAMÍREZ, VILMA; ÁVILA-GONZÁLEZ, ERNESTO; SANGINÉS-GARCÍA, LEONOR. Inclusión de harina de *Tithonia diversifolia* en raciones para gallinas ponedoras de primer ciclo y su efecto sobre la pigmentación de yema de huevo. Revista mexicana de ciencias pecuarias, v. 11, n. 2, 2020, p. 355-368.
 - https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i2.5090
- CHUNDANG, PIPATPONG; THONGPRAJUKAEW, KARUN; KOVITVADHI, UTHAIWAN; CHOTIMANOTHUM, BANTHARI; KOVITVADHI, ATTAWIT; PAKKONG, PANNEE. Improving the nutritive value of mulberry leaves, *Morus spp.* (*Rosales: Moraceae*) for silkworm larvae, Bombyx mor i (Lepidoptera: Bombycidae) using gamma irradiation. Journal of Radiation Research and Applied Sciences, v. 13, n. 1, 2020, p. 629-641. https://doi.org/10.1080/16878507.2020.1820268

- CZECH, ANNA; OGNIK, KATARZYNA; GRELA, EUGENIUSZ. Efficacy of a mixture of synthetic antioxidant and protein-xanthophyll alfalfa concentrate in turkey hens feeding. Archiv für Geflügelkunde, v. 76, n. 2, 2012, p. 105-112.
- DA SILVA, JULIANA; DOS SANTOS, GRACIENE; NETO-LIMA, RAUL. Uso da geoprópolis da espécie *Melipona melanoventer* na manutenção da qualidade do ovo. Revista Agroecossistemas, v. 10, n. 2, 2018, p. 337-352. https://doi.org/10.18542 / ragros.v10i2.5163
- FEDERACIÓN NACIONAL DE AVICULTORES (FENAVI). Estadísticas. 2016. https://fenavi.org/estadisticas/ [consultado enero 20 de 2021]
- FLÓREZ-DELGADO, DIXON; ARIAS-ROMERO, YENNY. Evaluación de dos niveles de inclusión de harina de morera (*Morus alba*) sobre los parámetros productivos de pollo de engorde. Mundo FESC, v. 8, n. 16, 2018, p. 55-62.
- FONSECA-LÓPEZ, DANIA; RODRIGUEZ-MOLANO, CARLOS; NIÑO-MONROY, LAURA; SALAMANCA-LÓPEZ, ANYELA; CONCHA, J.; RAMÍREZ, O.; LAGOS, N.R. Caracterización nutricional y de producción de biomasa de *Sambucus peruviana*, *Sambucus nigra y Morus alba* en un banco forrajero. Ciencia en Desarrollo, v. 10, n. 2, 2019, p. 23-32.
- FONSECA-LÓPEZ, DANIA; RODRÍGUEZ-MOLANO, CARLOS. Efecto de un inoculante microbiano sobre la calidad microbiológica y nutricional de ensilaje de *Morus alba L. y Sambucus nigra* L. Revista Logos Ciencia & Tecnología, v. 11, n. 2, 2019, p. 93-101. https://doi.org/10.22335/rlct.v11i2.825
- FUENTE-MARTÍNEZ, BENJAMÍN; CARRANCO-JÁUREGUI, MARÍA; BARRITA-RAMÍREZ, VILMA; ÁVILA-GONZÁLEZ, ERNESTO; SANGINÉS-GARCÍA, LEONOR. Efecto de la harina de *Tithonia diversifolia* sobre las variables productivas en gallinas ponedoras. Abanico Veterinario, 9, 2019. https://doi.org/10.21929/abavet2019.911
- GALLEGO-CASTRO, LUIS; MAHECHA-LEDESMA, LILIANA; ANGULO-ARIZALA, JOAQUÍN. Calidad nutricional de *Tithonia diversifolia Hemsl*. A Gray bajo tres sistemas de siembra en el trópico alto. Agronomía Mesoamericana, v. 28, n. 1, 2017, p. 213-222. http://dx.doi.org/10.15517/am.v28i1.21671
- GAVIRIA, G.Y.; LONDOÑO, F.L.; ZAPATA, M.J. Effects of chemical silage of red tilapia viscera (*Oreochromis spp.*) as a source of protein on the productive and hematological parameters in isa-brown laying hens (*Gallus gallus domesticus*). Heliyon, v. 6, n. 12, 2020, p. e05831 https://doi.org/10.1016/i.heliyon.2020.e05831
- GRELA, E.R.; KNAGA, S.; WINIARSKA-MIECZAN, A.; ZIĘBA, G. Effects of dietary alfalfa protein concentrate supplementation on performance, egg quality, and fatty acid composition of raw, freeze-dried, and hard-boiled eggs from Polbar laying hens. Poultry science, v. 99, n. 4, 2020, p. 2256-2265. https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.11.030
- GÜÇLÜ-KOCAOĞLU, BERRIN; İŞCAN, K.M.; UYANIK, FATMA; EREN, MERYEM; CAN-AĞCA, A. Effect of alfalfa meal in diets of laying quails on performance, egg quality and some serum parameters. Archives of Animal Nutrition, v. 58, n. 3, 2004, p. 255-263. https://doi.org/10.1080/00039420410001701350
- JAHANIAN, R.; RASOULI, E. Effects of dietary supplementation of palm fatty acid powders on performance, internal egg quality and yolk oxidation stability in laying hens during early egg production. Indian Journal of Animal Sciences, v. 84, n. 2, 2014, p. 191-197.
- JUÁREZ-MORALES, P.; CORTES-CUEVAS, A.; ARCE-MENOCAL, J.; RÍO-GARCÍA, J.C.D.; GÓMEZ-VERDUZCO, G.; AVILA-GONZÁLEZ, E. Efecto de un complejo multienzimático y un probiótico en gallinas de postura alimentadas con dietas sorgo-soya-canola. Revista mexicana de ciencias pecuarias, v. 11, n. 2, 2020, p. 369-379. https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i2.4843
- KAKI, AIT; DEINEKO, T.; MOULA, N. Effect of feeding two-grain legumes, peas and faba beans, on egg quality and laying performances. Archivos de zootecnia, v. 69, n. 268, 2020, p. 461-469.

- KWIATKOWSKA, KATARZYNA; KWIECIEŃ, MALGORZATA; WINIARSKA-MIECZAN, ANNA. Fast-growing chickens fed with lucerne protein-xanthophyll concentrate: growth performance, slaughter yield and bone quality. Journal of Animal and Feed Sciences, v. 26, n. 2, 2017, p. 131-140. https://doi.org/10.22358/iafs/70194/2017
- LERMA-LASSO, JOSE; ZAPATA-MOLINA, JENNY; CHAÑAG-MIRAMAG, HAROLD; MENESES-BUITRAGO, DIEGO; RUIZ-ERASO, HUGO; OJEDA-JURADO, HERNÁN; CASTRO-RINCÓN, EDWIN. Efecto de enmiendas calcáreas en la productividad y la calidad de *Medicago sativa* (L.) en Colombia. Pastos y Forrajes, v. 43, n. 3, 2020, p. 190-200.
- LUNA-GUERRERO, MILTON; LÓPEZ-CASTAÑEDA, CÁNDIDO; HERNÁNDEZ-GARAY, ALFONSO; MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, PEDRO; ORTEGA-CERRILLA, MARÍA. Evaluación del rendimiento de materia seca y sus componentes en germoplasma de alfalfa (*Medicago sativa* L.). Revista mexicana de ciencias pecuarias, v. 9, n. 3, 2018, p. 486-505. https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i3.4440
- MAMANI-PAREDES, JAVIER; COTACALLAPA-GUTIÉRREZ, FÉLIX. Rendimiento y calidad nutricional de avena forrajera en la región de Puno. Revista de Investigaciones Altoandinas, v. 20, n. 4, 2018, p. 385-400. http://dx.doi.org/10.18271/ria.2018.415
- MARTÍN, G.J.; PENTÓN, GERTRUDIS; NODA, YOLAI; CONTINO, YUVÁN; DÍAZ, MAYKELIS; OJEDA, F.; LÓPEZ, O.; AGRAMONTE, D.; MILERA, MILAGROS; PRIETO, MARLENE. Comportamiento de la morera (*Morus alba L.*) y su impacto en la producción animal y la crianza de gusanos de seda en Cuba. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, v. 48, n. 1, 2014, p. 73-78.
- NODA-LEYVA, YOLAI; MARTÍN-MARTÍN, GIRALDO. Effect of the sowing density on the establishment of mulberry aiming to its inclusion in livestock production systems. Zootecnia Tropical, v. 26, n. 3, 2008, p. 339-341.
- PANJA, PAICHOK. The effects of dietary mulberry leaves (*Morus alba L.*) on chicken performance, carcass, egg quality and cholesterol content of meat and egg. Walailak Journal of Science and Technology (WJST), v. 10, n. 2, 2013, p. 121-129. http://dx.doi.org/10.2004/wjst.v10i2.306
- PERDOMO, DANIEL; BRICEÑO, ANA; DÍAZ, DORAIDA; GONZÁLEZ, DIOMARY; GONZÁLEZ, LÍBER; MORATINOS, PEDRO; PEREA, FERNANDO. Efecto de la suplementación dietética con harina de morera (*Morus alba*) sobre el desempeño productivo de codornices (*Coturnix coturnix japonica*) en crecimiento. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, v. 30, n. 2, 2019, p. 634-644. http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v30i2.15088
- RODRÍGUEZ, BÁRBARA; SAVÓN, LOURDES; VÁZQUEZ, YSNAGMY; RUÍZ, TE; HERRERA, MAGALI. Evaluación de la harina de forraje de *Tithonia diversifolia* para la alimentación de gallinas ponedoras. Livestock Research for Rural Development, v. 30, n. 3, 2018.
- SÁNCHEZ-LAIÑO, ADOLFO; TORRES-NAVARRETE, EMMA; BUSTE-CASTRO, FRANKLIN; BARRERA-ÁLVAREZ, ALEXANDRA; SÁNCHEZ-TORRES, JENIFFER. Tropical forages as a dietary alternative in fattening rabbits (*Oryctolagus cuniculus* L.). Acta Agronómica, v. 67, n. 2, 2018, p. 333-338. https://doi.org/10.15446/acag.v67n2.59220
- SELIM, SHAIMAA; HUSSEIN, EMAN. Production performance, egg quality, blood biochemical constituents, egg yolk lipid profile and lipid peroxidation of laying hens fed sugar beet pulp. Food chemistry, 2020, v. 310, p. 125864. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125864
- SENGÜL, AHMET; SENGÜL, TURGAY; CELÍK, SENOL; SENGÜL, GULUZAR; DAS, AYDIN; ÍNCÍ, HAKAN; BENGÜ, AYDIN. El efecto de suplemento de pulpa de mora blanca seca (*Morus alba*) en la dieta de codorniz ponedora. Revista MVZ (Medicina Veterinaria y Zootecnia), v. 26, n. 1, 2021, p. 1b-1b. https://doi.org/10.21897/rmvz.1940
- SUÁREZ-CARDOSO, D.T.; RÍOS-CRUZ, K.L.; PEÑUELA-SIERRA, L.M.; CASTAÑEDA-SERRANO, R.D. Utilización de humus de lombriz roja Californiana (*Eisenia foetida saligny*, 1826) en la alimentación de Gallinas Ponedoras. Boletín Científico. Centro de Museos, Museo de Historia Natural, v. 20, n. 1, 2016, p. 43-51. https://doi.org/10.17151/bccm.2016.20.1.4

- Vol. 21 No 1 · Enero-Junio 2023
- VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. Journal of Dairy Science, v. 74, n. 10, 1991, p. 3583-3597.
 - https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2
- VELA-GARCÍA, C.C.; DÍAZ-PABLÓ, M.E.; VALERIO-GERON, J.; CELIS-PINEDO, W.; AGUILAR-VÁSQUEZ, J.V.; IBERICO-VELA, O. Suplementación de vitamina C en codornices japonesas en postura y su efecto en el desempeño y calidad de huevo. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, v. 31, n.3, 2020. http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v31i3.16920
- WANG, YI; CHEN, XIAOYANG; WANG, CHENG; HE, LIWEN; ZHOU, WEI; YANG, FUYU; ZHANG, QING. The bacterial community and fermentation quality of mulberry (*Morus alba*) leaf silage with or without *Lactobacillus casei* and sucrose. Bioresource technology, v. 293, 2019, p. 122059. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122059
- WÜSTHOLZ, J.; CARRASCO, S.; BERGER, U.; SUNDRUM, A.; BELLOF, G. Silage of young harvested alfalfa (*Medicago sativa*) as home-grown protein feed in the organic feeding of laying hens. Organic Agriculture, v. 7, n. 2, 2017, p. 153-163.
 - https://doi.org/10.1007/s13165-016-0151-9
- YIRGA, MEKONNEN; ABREHA, SALOMÓN; DERIBE, BELAYE. The Effect of Mulberry Leaf Meal Supplementation on Feed Intake and Body Weight Change of Indigenous Ethiopian Highland Sheep. Abyssinia Journal of Science and Technology, v. 2, n. 1, 2017, p. 1-7.
- ZENG, ZHU; JIANG, JUN-JIE; YU, JIE; MAO, XIANG; YU, BING; CHEN, DAI-WEN. Effect of dietary supplementation with mulberry (*Morus alba* L.) leaves on the growth performance, meat quality and antioxidative capacity of finishing pigs. Journal of integrative agriculture, v. 18, n. 1, 2019, p. 143-151. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62072-6

BIOTECNOLOGÍA EN EL SECTOR AGROPECUARIO Y AGROINDUSTRIAL

Vol. 21 No 1 · Enero-Junio 2023 · ISSN-1692-3561 · ISSN-e 1909-9959 · DOI: https://doi.org/10.18684

Suplementación con ensilaje de frutas en vacas doble propósito: digestibilidad y producción láctea*

Supplementation with fruits silage on dual-purpose cow: digestibility and performance

CASTAÑEDA-SERRANO, ROMÁN-DAVID¹; GONZÁLEZ-BERMEO, JOSÉ-FLAMINIO²; VELEZ-GIRALDO, ALEJANDRA-MARIA³

Historial del artículo

Recibido para evaluación: 28 de Abril 2021 Aprobado para publicación: 8 de Mayo 2022

- * Título del proyecto de origen: "Suplementación con ensilados de Spondia purpuera, Artocarpus altilis, BDdellucia grossularioidea en vacas lecheras del trópico bajo Colombiano" Código 650214. Financiación: Comité central de investigaciones de la Universidad del Tolima. Culminación: diciembre de 2018.
 - Universidad del Tolima, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Grupo de Investigación en Sistemas Agroforestales Pecuarios. Doctor en Zootecnia. Ibagué, Colombia. https://orcid.org/0000-0002-6935-3918
- Universidad del Tolima, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Grupo de Investigación en Sistemas Agroforestales Pecuarios. Médico Veterinario y Zootecnista. Magister en Ciencias Pecuarias. Ibagué, Colombia. https://orcid.org/0000-0002-9333-9040
- 3 Universidad del Tolima, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Grupo de Investigación en Sistemas Agroforestales Pecuarios. Médica Veterinaria y Zootecnista. Magister en Ciencias Pecuarias. Ibagué, Colombia. https://orcid.org/0000-0001-6066-0834

Correspondencia: rcastaneda@ut.edu.co

Cómo citar este artículo

CASTAÑEDA-SERRANO, ROMÁN-DAVID; GONZÁLEZ-BERMEO, JOSÉ-FLAMINIO; VELEZ-GIRALDO, ALEJANDRA-MARIA. Suplementación con ensilaje de frutas en vacas doble propósito: digestibilidad y producción láctea. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, v. 21, n. 1, 2023, p.51-61.Doi: https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n1.2023.1917



RESUMEN

En condiciones del trópico colombiano es necesario establecer estrategias de alimentación que permitan aumentar la productividad a bajo costo. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la suplementación con ensilados de totumo, mango, guayabo de monte sobre la digestibilidad in vitro, degradabilidad y parámetros productivos en vacas doble propósito. El estudio fue realizado en la finca La Florida, ubicada, en el municipio de Puerto Boyacá, se usaron 32 vacas (Gyr x Holstein) con peso promedio de 460 ±35 kg en primer tercio de lactación, distribuidas en cuatro (4) grupos de ocho (8) cada uno, conformados de la siguiente manera; T1; grupo control; sin ensilaies; T2; ensilaje de Guayabo de monte; T3: ensilaje de Totumo y T4: ensilaje de Mango común. Todas las vacas permanecieron en pastoreo rotacional con Brachiaria decumbens, agua a voluntad y sal mineralizada. Se analizó el efecto del tratamiento, el tiempo y su interacción, para ello se usó el comando PROC MIXED del software SAS 9.2 (2002), la diferencias entre promedios se realizó mediante prueba de Tukey-Kramer, con nivel de significancia del 5 %. No hubo diferencias (p<0,05) en la producción diaria de leche entre los tratamientos evaluados, sin embargo, el porcentaje de proteína en leche fue mayor (p<0,05) en los tratamientos T2 y T4. EL NUL fue mayor en el T2 y menor en el T4. El consumo de ensilajes fue mayor (p<0,05) en el T4 y la condición corporal mostró ser mejor para los tratamientos T2 y T4, finalmente para los parámetros de degradabilidad y digestibilidad in vitro, los tratamientos T2, T3 y T4 obtuvieron los mayores valores respectivamente. La suplementación de vacas doble propósito con ensilajes de frutos del bosque húmedo tropical mejora la proteína de la leche y la condición corporal de las vacas. Los ensilados estudiados, poseen alta tasa de degradación y digestibilidad In vitro, representando una alternativa de alimentación en los rumiantes.

PALABRAS CLAVES:

Ensilaje; Fuentes alternativas; Ganado de leche; Grasa; Guayabo de monte; Mango; Proteína; Suplementación; Totumo; Trópico.

ABSTRACT

In the Colombian tropic, it is necessary to establish feeding strategies that increase productivity and reduce costs. This research aimed to evaluate the effect of totumo, mango, and wild guava silage on in vitro digestibility, degradability, and productive parameters in dual-purpose cows. This study was carried out on a farm located in the municipality of Puerto Boyacá. Thirty-two Gyr x Holstein cows (Body weight = 460 ± 35 kg) in early lactation were enrolled and distributed in four groups of eight individuals: T1: control group: no silage; T2: Wild guava silage; T3: Totumo silage and T4: Mango silage. All the cows remained in a rotational grazing system with Brachiaria decumbens, water, and a salt-based mineral supplement ad libitum. There were no differences (p>0,05) in the daily milk production. However, protein levels in milk were higher (p<0,05) in the T2 and T4 treatments. NUL was more elevated in T2 and lower in T4. Silage consumption was higher (p<0,05) in T4, and the body condition score was higher for T2 and T4. For the degradability and digestibility parameters in vitro, treatments T2, T3, and T4 obtained the highest values. Fruits silage supplementation on dual-purpose cows with silage fruits can increase milk protein levels and body condition score. Those silages have a high rate of degradation and in vitro digestibility, representing a feeding alternative for ruminants.

KEYWORDS:

Alternative sources; Dairy cattle; Fat; Mango; Protein; Silage; Supplementation; Totumo; Tropic; Wild Guava.

INTRODUCCIÓN

La alimentación en los sistemas de producción de ganadera juega un papel esencial en el rendimiento y productividad, puesto que tiene como objetivos satisfacer la demanda nutricional de los animales, asegurando la función e integridad ruminal, disminuir el costo de las raciones y hacer un uso correcto de los recursos (Mulliniks et al., 2020). Sin embargo, lograr esos objetivos bajo las condiciones del trópico colombiano ha sido un gran desafío debido principalmente a las condiciones de seguía donde escasea la producción y calidad del forraje, por otro lado, el alto costo de las materias primas o concentrados para la suplementación que hace inviable su utilización (Mendonza and Acosta, 2019). Entre tanto, la conservación de alimentos mediante la técnica de ensilaje puede ser una opción viable y económica para la alimentación durante la época de seguía (Kaewpila et al., 2020; Colin-Navarro et al., 2021). En el trópico colombiano existen varios árboles que proporcionan frutos ricos en carbohidratos, los cuales empíricamente han sido utilizados por algunos productores para la alimentación de los animales (Botero and De la Ossa, 2011), por ejemplo, el mango es una fruta jugosa, fuente de micronutrientes, vitaminas y otros fitoquímicos (Parvez, 2016), el totumo como lo indica Suleiman (2019) puede llegar a ser una fuente económica de proteica para rumiantes, finalmente el guayabo de monte se ha considerado una fruta con una buena composición nutricional tanto para humanos como para animales (Martins et al., 2016). No obstante, es necesario estudiar el potencial de esos frutos a través de estudios que determinen la calidad nutricional y el efecto de la suplementación con estos sobre el desempeño de los animales, ya que los trabajos alrededor de este tema son escasos.

Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la suplementación con ensilados guayabo de monte (*Bellucia grossularioides*) de totumo (*Crescentia cujete*) y mango (*Mangifera indica*), sobre la degradabilidad y digestibilidad *in vitro*, parámetros productivos y calidad de la leche en vacas doble propósito en condiciones de bosque húmedo tropical.

MÉTODO

Consideraciones éticas

El experimento se desarrolló teniendo en cuenta la normativa bioética para experimentación animal contemplada por la Universidad del Tolima (acuerdo del consejo académico número 0171 del 29 de octubre de 2008.

Localización

El trabajo se realizó en la finca la Florida del municipio de Puerto Boyacá, cuenta con una temperatura promedio de 32 °C, humedad relativa del 70 %, altitud de 188 msnm y precipitaciones superiores a 1.800 mm (Holdridge,1967).

Animales y tratamientos

Se utilizaron 32 vacas multíparas doble propósito en primer tercio de lactación, cruces F1 Gyr x Holstein), con peso promedio de 460±35 kg distribuidas en cuatro (4) tratamientos, cada uno con ocho (8) repeticiones; para la clasificación por grupos se tuvieron en cuenta factores como días en lactancia (DEL), condición corporal y número de partos. Todas las vacas permanecieron en un sistema de pastoreo rotacional con *Brachiaria decumbens*, agua a voluntad y sal mineralizada. Teniendo en cuenta el manejo tradicional de la finca se propuso suministrar los tratamientos a la hora del ordeño.

Las vacas tuvieron un periodo de adaptación de 21 días, periodo en el cual lograron el consumo propuesto en el experimento, donde se ofreció la dieta ad libitum permitiendo de esta forma determinar la cantidad de alimento rechazado. En el periodo de recolección de datos, las vacas fueron ordeñadas mediante ordeño mecánico en el horario habitual de la finca a las 4:00 a.m. en un solo ordeño, utilizando el sistema de amamantamiento restringido. Las vacas recibieron el tratamiento correspondiente en un comedero individual provisto en el puesto de ordeño y posteriormente todas eran llevadas al potrero en un solo grupo, en tanqo que el experimento tuvo una duración de 90 días incluyendo el período de adaptación. A continuación, se describe los tratamientos:

Tratamiento 1 (T1) Control: dieta basal de Brachiaria decumbens sin suplementación de ensilaje

Tratamiento 2 (T2): Dieta Basal + suplementación con 5 kg/d de ensilaje de Guayabo de monte (Bellucia grossularioides)

Tratamiento 3 (T3): Dieta basal + suplementación con 5 kg/d de ensilaje de Totumo (Crescentia cujete)

Tratamiento 4 (T4): Dieta Basal + suplementación con 5 kg/d de ensilado de Mango común (Mangifera indica).

Elaboración de ensilajes

Los frutos fueron colectados en la finca para obtener el ensilaje sólido, luego de ser picados y almacenados en canecas de 55 galones selladas herméticamente. Este material fue preservado por 4 semanas (Botero y De La Ossa 2011). Se tomaron muestras de 1 kg (en base húmeda) de las materias primas antes de ensilar y después del proceso de ensilado para la evaluación bromatológica. Los análisis de materia seca, materia orgánica, cenizas, proteína cruda y extracto etéreo fueron determinados según los métodos establecidos por la AOAC (2019); la fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) se obtuvo por medio del protocolo propuesto por Van Soest *et al.* (1991) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Composición bromatológica de la dieta basal y de los ensilajes de fruta	Cuadro 1. Comp	osición broma	tológica de la	a dieta basal v	v de los ensila	aies de frutas
---	----------------	---------------	----------------	-----------------	-----------------	----------------

Tratamientos	MS%	PC%	FDN %	FDA%	MM%	EE%	CNF%
T1	34,3	6,5	78,6	49,93	6,6	2,2	6,0
Т3	18,1	4,4	27,6	22,24	4,5	1,8	61,7
T4	21,5	5,2	13,7	11,12	8,1	1,4	71,6
T2	14,3	4,4	10,9	10,84	7,8	2,1	74,8

MS: Materia seca; PC: Proteína cruda; FDN: Fibra detergente neutro; FDA: Fibra detergente ácida; EE: extracto etéreo; CNF: carbohidratos no fibrosos.

T1: Control sin suplementación (Dieta basal: Ensilaje *Brachiaria decumbens*; T2: Ensilaje *Bellucia grossularioides*; T3: Ensilaje *Crescentia cujete*; T4: Ensilaje *Mangifera indica*

Variables evaluadas

A continuación, se describe la metodología aplicada para cada variable del estudio.

Consumo de los ensilajes. Debido a la imposibilidad de evaluar el consumo de materia seca en pastoreo y a que todas las vacas permanecían en el mismo potrero, solo se evaluó el consumo de materia seca de cada uno de los ensilajes diariamente, teniendo en cuenta la cantidad de ensilaje ofrecido y la cantidad de rechazo al final del día.

Producción y composición de la leche. La producción de leche se evaluó diariamente. Cada 7 días se colectaron muestras de 50 mL de leche, las cuales fueron mezcladas con bronopol-B-14 como preservante. Las muestras fueron refrigeradas y enviadas al laboratorio de microbiología pecuaria y salud animal del C.I Tibaitatá de Agrosavia para el análisis de Solidos totales (Método secado con aire forzado a 100 °C), grasa total (Método de Gerber) y proteína (método de kjeldah).

Perfil bioquímico en leche (beta-hidroxibutirato (βHB), Nitrógeno ureico en leche (NUL)). Cada 7 días se colectaron muestras de 50 mL de leche, que fueron centrifugadas a 2.500 rpm por 12 minutos. Se separó y almacenó el suero a -20 °C, posteriormente fueron enviadas al Laboratorio de Diagnóstico veterinario de la Universidad del Tolima para el análisis de beta-hidroxibutirato (βHB) y NUL de acuerdo con Plata-Reyes *et al.* (2018)

Condición corporal. Se realizó la evaluación de la condición corporal (CC) cada siete días utilizando la escala de 1 a 5 con intervalos de 0,25 puntos de acuerdo con la metodología establecida por Ferguson *et al.* (1994).

Cinética de degradación y digestibilidad *In vitro*. La determinación de la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de los diferentes tratamientos, se realizó a partir de la técnica descrita por Tilley and Terry (1963) adaptada al rumen artificial (DAISY II®). El líquido ruminal se obtuvo de un novillo de raza Girolando previamente canulado mantenido en pastoreo. La cinética de degradación se determinó de forma paralela a la DIVMS usando DAISY II®, teniendo como tiempos de incubación para cada una de las dietas las horas 3, 6, 12, 24, 36, 48, 72, 84 y 96 horas. Los parámetros de la degradación ruminal de la materia seca (MS) in vitro se calcularon utilizando la ecuación descrita por Orskov and McDonald (1979) dónde: p= velocidad de degradación en el tiempo t; α = fracción soluble en agua; b= fracción de agua insoluble, potencialmente degradable; c= velocidad de degradación de la fracción b; t= tiempo de incubación.

$$P = a + b(e^{-ct}) (Ec. 1)$$

La degradabilidad efectiva (DE) de la MS se calculó usando la siguiente ecuación (Ecuación 2) donde α = fracción soluble en agua; b= fracción de agua insoluble, potencialmente degradable; c= velocidad de degradación de la fracción b; t= tiempo de incubación; k= la tasa de pasaje ruminal.

$$DE = a + (b \times c / c + k)$$
 (Ec. 2)

Diseño experimental y análisis estadístico

El efecto de los diferentes tratamientos experimentales sobre cada una de las variables evaluadas fue evaluado utilizando un diseño completamente al azar. El análisis examino el efecto del tratamiento, el tiempo y su interacción, para ello se usó el comando PROC MIXED del software SAS 9.2 (2002). La diferencia entre promedios se analizó mediante prueba de Tukey-Kramer, con nivel de significancia del 5 %.

El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Yij = \mu i + \rho ij$$

Donde Yij es la observación de la j-ésima u.e. del i-ésimo tratamiento, µi es la media del i-ésimo tratamiento, qui es el error experimental de la unidad ij.

RESULTADOS

Producción y composición de la leche

La producción (L/vaca/día), sólidos totales, porcentaje de grasa y β-hidroxibutirato no presentaron diferencias (p>0,05) entre los diferentes tratamientos, sin embargo, se observaron diferencias (p<0,05) con relación a los contenidos de proteína y NUL. Se evidenciaron mayores porcentajes de proteína en los tratamientos T2 y T3 y para el NUL el T2 mostró la más alta concentración (Cuadro 2). El consumo de materia seca de los ensilajes el tratamiento T4 fue mayor, seguido del T3 y finalmente del T2 respectivamente (Cuadro 3), estos resultados pueden estar relacionados al contenido de FDN de cada uno de los tratamientos, pues como se ha indicado, el consumo va a depender del volumen estructural de la dieta y por tanto del contenido de fibra detergente

neutro (FDN) (Haisan and Oba, 2020). Los resultados de producción de leche, sólidos totales y porcentaje de grasa en la leche se pueden atribuir al bajo aporte de materia seca (MS) de cada uno de los ensilajes (Cuadro 1); en términos de materia seca, la suplementación diaria de ensilado fue de 0,73 kg/d para el T2 (*Bellucia grossularioides*), 0,89 kg/d para el T3 (*Crescentia cujete*) y 0,63 kg/d para el T4 (*Mangifera indica*), lo cual, en promedio, equivale a una suplementación del 0,15 % del peso vivo en materia seca, por lo tanto, se puede inferir que la producción diaria de leche, sólidos totales y porcentaje de grasa en la leche no fueron alteradas debido a la baja suplementación. Estos datos son similares a los obtenidos por Mojica *et al.* (2009) que alimentaron vacas Holstein con pasto kikuyo y ensilaje de avena y no evidenciaron diferencias en la producción cuando se suplementaron con el ensilaje. El parámetro de grasa en la leche ha sido relacionado a las concentraciones de fibra en la ración, ya que la fibra constituye la mayor fuente de energía siendo los precursores de los tres componentes más importantes de la leche: lactosa, grasa y proteína y a la digestibilidad de esta (Zschiesche *et al.*, 2020). Es de resaltar que en este estudio el aporte de fibra fue dado, en su mayor parte, por el pastoreo de los animales en los potreros con *Brachiaria decumbens*, no obstante, al suplementar las vacas con tratamientos experimentales, se detectó una tendencia (p=0,053) en el aumento en la grasa de la leche especialmente en tratamiento T3.

Cuadro 2. Efecto de los ensilajes de frutas sobre la producción y composición de la leche

Variables		Tratan	nientos		EEM	P-Valor
variables	T1	T2	Т3	T4	EEIVI	P-valor
Producción (L/día)	5,62	5,64	5,22	6,00	0,44	0,664
Sólidos totales (%)	12,47	13,01	12,58	13,20	0,38	0,489
Proteína (%)	2, 92a	3,47b	3,33ab	3,51b	0,12	<0,05
Grasa (%)	3,17	3,93	3,65	4,15	0,25	0,054
NUL (mg/dl)	12,06a	15,70b	12,03a	10,53c	1,25	<0,05
βHB (mm/L)	0,5	0,3	0,4	0,3	0,1	0,709

 $^{^{}a,b,c}$ Comparaciones dentro de una misma columna, medias con diferente letra son estadísticamente diferentes (P < 0;05). EEM: Error estándar de la media.

La principal fuente para la formación de proteína láctea es la proteína ingerida por el animal (Castillo-Umaña et al., 2020), sin embargo, un aumento en el consumo de energía, paralelamente se incrementa la proteína láctea debido a los cambios ligados a la fermentación ruminal, a un mayor flujo de proteína bacteriana desde el rumen al intestino o a un aumento en los nutrientes digestibles de absorción intestinal (Pereira et al., 2021); aunque en este trabajo no se determinó la energía aportada por los ensilados, los resultados de la DIVMS y la composición de CNF en los ensilajes permiten inferir que estos ensilajes poseen un alto valor energético. No obstante, se ha citado, por ejemplo, que los subproductos de mango pueden ser utilizados como suplementación en la ganadería por su alto valor energético y podrían reemplazar parcialmente las concentraciones de energía en dietas para rumiantes (Marcos et al., 2020), por otra parte, a las semillas de totumo se les atribuye el 64,6 % del ácido oleico, un ácido graso insaturado, que es una buena fuente de energía (Alarcon, 2017). Un comportamiento similar ocurrió al suministrar ensilaje de pulpa de manzana en vacas de raza Frisón Negro donde el aumento de la proteína láctea fue atribuido a una mayor disponibilidad de energía en la dieta, así mismo Karlsson et al. (2019) reemplazaron glicerol por salvado de trigo y observaron un aumento de proteína en la leche debido a un mayor aporte energético en la dieta.

En relación con el NUL, se evidenciaron diferencias entre los tratamientos, aunque por debajo de los estándares obtenidos por (Barragán-Hernández et al., 2020) donde trabajaron con residuos de palma africana lo que explica que la dieta podría estar excediendo su proteína soluble o degradable en relación con la disponibilidad de carbohidratos fermentables. Por el contrario, donde los valores son menores como en el estudio realizado con los ensilados (T2, T3, T4) indicaría una mejor relación del balance y sincronización entre la energía y proteína que ingresan al rumen (Zhang et al., 2020). En este sentido, los animales que recibieron una dieta energética proveniente del tratamiento a base de ensilaje *Mangifera indica*, mostraron un menor nivel de nitrógeno ureico

T1: Control sin suplementación (Dieta basal: Brachiaria decumbens; T2: Bellucia grossularioides;

T3: Crescentia cujete; T4: Mangifera indica.

en leche, indicando un mayor aporte de energía (Haisan and Oba., 2020). Respecto a los niveles de betahidroxibutirato (BHB), no se encontraron diferencias, arrojando parámetros normales para cada uno de los tratamientos evaluados, considerándose aceptables de 0,1 a 0,6 mmol /L (Guevara et al., 2016).

Consumo y condición corporal

El consumo de materia seca fue mayor (p<0,05) en el T3 seguido por T2 y T4. Por otro lado, las vacas que tuvieron una condición corporal más alta (p<0,05) cuando fueron suplementadas con T4 y el T3 (Cuadro 3). Las vacas suplementadas con el ensilado del tratamiento T4 fueron las que obtuvieron una mejor condición corporal, esto podría estar relacionado con el consumo que tuvieron con respecto a los otros tratamientos evaluados, comportamiento similar al estudio realizado por Guevara et al. (2016) al evaluar el efecto de la suplementación de ensilaje de maíz y sorgo como complemento a una pastura en vacas lactantes F1 Holstein x Gyr, observaron ganancias de peso en los animales alimentados con los respectivos ensilajes frente al tratamiento control que solo fueron alimentadas con la pastura, que presentaban una menor condición corporal, atribuyendo este resultado al menor consumo de alimento debido a la baja calidad composicional de la dieta y el exceso de fibra. Adicionalmente, se podría explicar que las vacas que no fueron suplementadas tuvieron un reclutamiento de las reservas corporales con el fin de sustituir las deficiencias nutricionales.

Cuadro 3. Consumo de ensilaje de frutas y efecto en la condición corporal

Mariahla a	Tratamientos				EEN4	D. \/-l
Variables	T1	T2	Т3	T4	EEM	P- Valor
Consumo de materia seca (kg/día)	0	0,73b	0,89a	0,63c	0,02	<0,05
Condición corporal (1-5)	3,44c	3,74bc	3,82ab	4,13a	0,09	<0,05

 $^{^{}a,b,c}$ Comparaciones dentro de una misma columna, medias con diferente letra son estadísticamente diferentes (P < 0;05). EEM: Error estándar de la media.

CMS: (Consumo de materia seca); CC

Cinética de degradación y Digestibilidad in vitro

La degradabilidad *in vitro* de la materia seca del ensilaje de *Crescentia cujete* (T3) fue superior en comparación del ensilaje de *Mangifera indica* (T4) y *Bellucia grossularioides* (T2) a medida que pasaron las horas, presentándose únicamente diferencias (p<0,05) en las 36, 48 y 96 horas de incubación. En cuanto a la digestibilidad (DIVMS), no se observaron diferencias entre los tratamientos T3 y T4, sin embargo, T2 obtuvo una DIVMS entre 23 y 20 % inferior (p<0,05) cuando comprados con T3 y T4 respectivamente (Cuadro 4). Uno de los valores relacionados con el parámetro de digestibilidad es la fibra detergente ácida (FDA) en los alimentos, un mayor porcentaje de FDA está asociado a baja digestibilidad en el alimento (Supratman *et al.*, 2020). No obstante, el ensilado de *Bellucia grossularioides* mostról mayor porcentaje de FDA que se relacionó con el menor porcentaje de digestibilidad *in vitro* (DIVMS %) comparado con los demás ensilados evaluados. El ensilaje de *Crescentia cujete* y *Mangifera indica* fueron los que tuvieron una mayor digestibilidad *in vitro* (Cuadro 4) y menor porcentaje de FDA. Asimismo, (Supratman *et al.*, 2020) reportaron ensilaje de piña con una digestibilidad *In vitro* (DIVMS %) de 73,10 % y un FDA de 32,10 % que al incluirle pulpa de cítricos deshidratada en forma de aditivo el porcentaje de FDA disminuyó, provocando un aumento en la digestibilidad *in vitro*, mientras que Sanchez-Santillan *et al.* (2020) estudiando el ensilaje de *Mangifera indica*, obtuvieron una mejor digestibilidad *in vitro* superior al 70 % utilizando melaza, urea y heno de pasto pangola.

T1: Control sin suplementación (Dieta basal: *Brachiaria decumbens*; T2: *Bellucia grossularioides*; T3: *Crescentia cujete*; T4: *Mangifera indica*.

Cuadro 4. Degradabilidad de la materia seca y digestibilidad in vitro de la materia seca de los frutos ensilados

Tiempo de	% Degradación			EEM	P-Valor	
incubación (h)	T2	T3	T4	EEIVI	r-valor	
3	69,21	71,08	70,35	3,98	0,946	
6	70,40	77,27	71,92	3,98	0,456	
12	73,75	78,40	76,25	4,35	0,754	
24	76,94	80,29	82,76	3,52	0,517	
36	77,06a	86,44b	89,69b	1,51	<0,05	
48	80,81a	90,75b	89,21ª	2,14	<0,05	
72	84,50	93,29	90,71	3,15	0,163	
84	85,87	94,49	91,91	3,89	0,303	
96	85,84a	88,49ab	92,67b	1,52	<0,05	
DIVMS %	64,41a	87,06b	84,31b	0,60	<0,05	

^{a,b,c} Comparaciones dentro de una misma columna, medias con diferente letra son estadísticamente diferentes (P < 0;05). EEM:

Las fracciones a (%), b (%) y c (%/h) no mostraron diferencias (p>0,05) entre tratamientos (Cuadro 5). Sin embargo, para los cuatro tratamientos, la fracción soluble en agua (a) fue alta, siendo la del T2 la más soluble en agua y lo mismo ocurrió con la fracción insoluble en agua (b) que se relacionan con los resultados de la fracción a. La degradación potencial fue el único parámetro que presentó diferencias significativas (p>0,05), donde el T2 tuvo mayor degradación.

Cuadro 5. Parámetros de degradación ruminal de los ensilajes de frutas

Parámetros	Tratamiento			EEM	P- valor
Parametros	T2	Т3	T4	EEIVI	r- valui
a (%)	72,80	60,26	69,41	4,39	0,169
b (%)	17,58	23,59	18,67	4,55	0,626
c (%/h)	0,170	0,084	0,077	0,05	0,203
DP	90,38a	83,86b	88,09ab	1,08	0,006
DE (K=0,02)	86,83	78,23	78,77	5,51	0,068
DE (K=0,05)	84,60	73,84	74,85	3,25	0,082
DE (K=0,08)	83,27	71,31	73,26	3,54	0,085

a.b.c Comparaciones dentro de una misma columna, medias con diferente letra son estadísticamente diferentes (P < 0;05). EEM: Error estándar de la media.

La degradabilidad *In vitro* de los tres ensilajes evaluados fue aumentando a medida que pasaban las horas de incubación, sin embargo, al comparar los tres tratamientos, T3 fue el que tuvo una mayor degradación durante las horas de incubación, seguido de T4, resultados que pueden ser atribuidos al contenido de carbohidratos solubles que ha reportado tener los frutos del *Mangifera indica y Crescentia cujete*, ya que, a mayor cantidad de carbohidratos solubles en la dieta, mayor disponibilidad para los microorganismos ruminales (Yuste *et al.*, 2020). La degradación potencial de todos los ensilajes evaluados fue alta (83,8–90,4 %) asociado a la alta digestibilidad que presentaron los tres tratamientos experimentales (Cuadro 4) demuestra el potencial de los ensilajes del estudio como alimento alternativo para los rumiantes. Resultados, similares fueron reportados por Araiza *et al.* (2013) con ensilaje de maíz – manzana con una degradación potencial del 85,6 %.

Error estándar de la media.

T2: Bellucia grossularioides. T3: Crescentia cujete. T4: Mangifera indica

T2: Bellucia grossularioides. T3: Crescentia cujete.

T4: Mangifera indica

a (%) = fracción soluble en agua; b (%) = fracción insoluble en agua, pero potencialmente degradable; c (%/h) = tasa de degradación da fracción a; DP = degradación potencial; DE= degradación efectiva

CONCLUSIONES

La suplementación con ensilajes de *Bellucia grossularioides*, *Crescentia cujete* y *Mangifera indica* en vacas de doble propósito, mejora el porcentaje de proteína y tiende a mejorar la grasa en la leche. Por otro lado, el ensilaje de *Crescentia cujete* mejora el consumo de materia seca. Por otro lado, la suplementación con los ensilajes evaluados mejora la condición corporal de las vacas. Entretanto, la degradabilidad y digestibilidad *in vitro*, de los tres ensilajes estudiados mostraron ser altamente digestibles y degradables a medida que pasaban las horas evaluadas. Los resultados de este estudio permiten inferir que la utilización de ensilajes de frutos de *Bellucia grossularioides*, *Crescentia cujete* y *Mangifera indica* en la alimentación de vacas doble propósito en el bosque húmedo tropical es una alternativa viable y recomendable. Futuros estudios deben ser realizados con inclusiones más altas de los ensilajes del estudio y en combinación con otros alimentos o aditivos para ensilajes.

REFERENCIAS

- ARAIZA-ROSALES, ELIA; DELGADO-LICON, EFREN; CARRETE-CARREÓN, FRANCISCO O.; MEDRANO-ROLDÁN, HIRAM; SOLÍS-SOTO, AQUILES; MURILLO-ORTIZ, MANUEL; HAUBI-SEGURA, CARLOS. Degradabilidad ruminal in situ y digestibilidad in vitro de diferentes formulaciones de ensilados de maízmanzana adicionados con melaza in situ. Avances en Investigación Agropecuaria, v. 17, n. 2, 2013, p. 79-96. https://www.redalyc.org/pdf/837/83726339007.pdf
- BARRAGÁN-HERNÁNDEZ, WILSON-ANDRÉS; MESTRA-VARGAS, LORENA-INÉS; PORTILLA-PINZON, DANILO; MEJÍA-LUQUEZ, JORGE-ARMANDO; HENRIQUEZ-CRESPO, RICARDO-JOSÉ. Effect of African palm byproducts on cow milk production and quality in the south of the Department of Atlántico, Colombia. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, v. 21, no. 2, 2020, p. 1-15. https://doi.org/10.21930/rcta.vol21 num2 art:1132
- BOTERO, LUZ M.; DE LA OSSA-VELAZQUEZ, JAIME. Consumo suplementario de ensilaje salino de frutos maduros de Totumo (*Crescentia cujete*) en ganado vacuno de doble propósito. Zootecnia Tropical, v. 29, no. 3, 2011, p. 293-300.
 - http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692011000300005
- BOTERO, L.M.; DE LA OSSA, V. Consumo suplementario de ensilaje salino de frutos maduros de Totumo (*Crescentia cujete*) en ganado vacuno de doble propósito. Zootecnia Tropical, v. 29, no. 3, 2011, p. 293-300. http://ve.scielo.org/pdf/zt/v29n3/art05.pdf
- CASTILLO-UMAÑA, MIGUEL; BALOCCHI, OSCAR; PULIDO, RUBÉN-GUILLERMO; SEPÚLVEDA-VARAS, PILAR; PACHECO, DAVID; MUETZEL, STEFAN; BERTHIAUME, ROBERT; KEIM, JUAN-PABLO. Milk production responses and rumen fermentation of dairy cows supplemented with summer brassicas. Animal, v. 14, no. 8, 2020, p. 1684-1692. https://doi.org/10.1017/S175173112000021X
- COLÍN-NAVARRO, VIANEY; LÓPEZ-GONZÁLEZ, FELIPE; MORALES-ALMARÁZ, ERNESTO; GONZÁLEZ-ALCÁNTARA, FELIPE-DE JESÚS; ESTRADA-FLORES, JULIETA-GERTRUDIS; ARRIAGA-JORDÁN, CARLOS-MANUEL. Fatty acid profile in milk of cows fed triticale silage in small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. Journal of Applied Animal Research, v. 49, n. 1, 2021, p. 75-82. https://doi.org/10.1080/09712119.2021.1884082
- FERGUSON, JAMES D.; GALLIGAN, DAVID T.; THOMSEN, NEAL. Principal descriptors of body condition score in holstein cows. Journal of Dairy Science, v. 77, n. 9, 1994, p. 2695-2703. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77212-X
- GUEVARA S., CARMEN; PATIÑO, P., RENE; MEJÍA M., CARLOS. Respuesta productiva de vacas lactantes F1 Holstein x Gyr recibiendo ensilajes de maíz o sorgo como suplemento alimenticio en época seca. Revista Colombiana de Ciencias Animales-RECIA, v. 8, n. 1, 2016, p. 319-324. https://doi.org/10.24188/recia.v8.n0.2016.387

- HAISAN, JEIFER; OBA, MASAHITO. The effects of feeding a high-fiber or high-starch pellet at two daily allocations on feed intake patterns, rumen fermentation, and milk production of mid-lactation dairy cows. Journal of dairy science, v. 103, no. 7, 2020, p. 6135-6144. https://doi.org/10.3168/ids.2019-17698
- HOLDRIDGE. Sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge. Ecología basada en zonas de vidas. San José, (Costa Rica): 1967.a https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=m3Vm2TCjM_MC&oi=fn-d&pg=PR9&dq=HOLDRIDGE,+L.+Sistema+de+classification+de+zonas+de+vida+de+Holdridge.+Ecolog%C3%ADa+basada+en+zonas+de+vidas.+1967,+San+Jos%C3%A9,+CR.&ots=oOcEWzYIFM&sig=Szi-WX 9ppx66EtpsHP5IHEsfVHs#v=onepage&q&f=false
- KAEWPILA, CHATCHAI; KHOTA, WAROON; GUNUN, PONGSATORN; KESORN, PIYAWIT; CHERDTHONG, ANUSORN. Strategic Addition of Different Additives to Improve Silage Fermentation, Aerobic Stability and In Vitro Digestibility of Napier Grasses at Late Maturity Stage. Agriculture, v. 10, no. 7, 2020, p. 1-13. https://doi.org/10.3390/agriculture10070262
- KARLSSON, JOHANNA; RAMIN, MOHAMMAD; KASS, MARKO; LINDBERG, MIKAELA; HOLTENIUS, KJELL. Effects of replacing wheat starch with glycerol on methane emissions, milk production, and feed efficiency in dairy cows fed grass silage-based diets. Journal of dairy science, v. 102, n. 9, 2019, p. 7927-7935. https://doi.org/10.3168/jds.2018-15629
- MARCOS, CARLOS-NAVARRO; CARRO, MARÍA-DOLORES; FERNÁNDEZ-YEPES, JULIA E.; ARBESU, LESLY; MOLINA-ALCAIDE, EDUARDA. Utilization of Avocado and Mango Fruit Wastes in Multi-Nutrient Blocks for Goats Feeding: In Vitro Evaluation. Animals, v. 10, n. 12, 2020, p. 2279. https://doi.org/10.3390/ani10122279
- MENDOZA, ALEJANDRO; ACOSTA, YAMANDU. Suplementación de vacas a pastoreo con ensilado de grano húmedo de maíz o concentrado comercial. Veterinaria, v. 56, no. 214, 2020, p. 1-6. http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1688-48092020000201301&Ing=es&nr m=iso&tlng=es
- MOJICA R., JOSE-EDWIN; CASTRO R., EDWIN; LEÓN C., JOSE-MAURICIO; CÁRDENAS R., EDGAR-ALBERTO; PABON R., MARTHA-LUCIA; CARULLA F., JUAN-EVANGELISTA. Efecto de la oferta de pasto kikuyo y ensilaje de avena sobre la producción y calidad composicional de la leche bovina. Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, v. 10, n.1, 2009, p. 81-90. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=449945026008
- MULLINIKS, JOHN-TRAVIS; BEARD, JOSLYN K.; KING, TASHA M. Invited review: effects of selection for milk production on cow-calf productivity and profitability in beef production systems. Applied Animal Science, v. 36, n. 1, 2020, p. 70-77.
 - https://doi.org/10.15232/aas.2019-01883
- MARTINS, BORGES; ARMIATO, PIMENTA. Antimicrobial and phytotoxicity activities of aqueous crude extract from the Amazonian ethnomedicinal plant *Bellucia grossularioides* (L.) Triana. Journal of Medicinal Plants Research, v.10, n. 10, 2016, p. 130-138. https://doi.org/10.5897/JMPR2015.6007
- ØRSKOV, EGIL-ROBERT; MCDONALD, IAN W. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage". The Journal of Agricultural Science, v. 92, n. 2, 1979, p. 499–503. https://doi.org/10.1017/S0021859600063048
- PEREIRA-NEVES, MARCOS; MORAIS-JÚNIOR, NILSON-NUNES; CAPUTO-OLIVEIRA, RAFAEL; SALVATI-DE SOUZA, GUSTAVO-GONÇALVES; NOGUEIRA-PEREIRA; RENATA-APOCALYPSE. Methionine precursor effects on lactation performance of dairy cows fed raw or heated soybeans. Journal of Dairy Science, v. 104, n. 3, 2021, p. 2996-3007.
 - https://doi.org/10.3168/jds.2020-18696
- PLATA-REYES, DALIA-ANDREA; MORALES-ALMARAZ, ERNESTO; MARTÍNEZ-GARCÍA, CARLOS-GALDINO; FLORES-CALVETE, GONZALO; LÓPEZ-GONZÁLEZ, FELIPE; PROSPERO-BERNAL, FERNANDO; VALDEZ-RUIZ, CLAUDIA-LETICIA; ZAMORA-JUÁREZ, YESSICA; ARRIAGA-JORDÁN, CARLOS-

MANUEL. Milk production and fatty acid profile of dairy cows grazing four grass species pastures during the rainy season in small-scale dairy systems in the highlands of Mexico. Tropical animal health and production, v. 50, n. 8, 2018, p. 1797-1805.

https://doi.org/10.1007/s11250-018-1621-8.

- PARVEZ. Pharmacological activities of mango (*Mangifera Indica*): A review. Journal of Pharmacognosy and phytochemistry, v. 5, n. 3, 2016, p. 1.
 - https://www.phytojournal.com/archives/2016/vol5issue3/PartA/5-2-21-518.pdf
- SANCHEZ-SANTILLAN, PAULINO; HERRERA-PEREZ, JERONIMO; TORRES-SALADO, NICOLAS; ALMARAZ-BUENDIA, ISAAC; REYES-VÁZQUEZ, IVÁN; ROJAS-GARCIA, ADELAIDO-RAFAEL; GÓMEZ-TRINIDAD, MARCELINO; CONTRERAS-RAMÍREZ, EDGAR-OCTAVIO; MALDONADO-PERALTA, MARÍA-DE LOS ÁNGELES; MAGADAN-OLMEDO, FILIBERTO. Chemical composition, and in vitro fermentation of ripe mango silage with molasses. Agroforestry Systems, v. 94, 2019, 1511–1519. https://doi.org/10.1007/s10457-019-00442-z
- SUPRATMAN, HERY; RIFQI-ISMIRAJ, MUHAMMAD; MAYASARI, NOVI. Effects of probiotic supplementation to diets on apparent fibre digestibility in Indonesian thin-tailed rams. Acta Agriculturae Scandinavica, Section A—Animal Science, v. 69, n. 4, 2020, p. 233-238. https://doi.org/10.1080/09064702.2020.1807594
- SULEIMAN, BOLANIE. Effects of fermentation on the nutritional status of Crescentia cujete L. seed and its potentiality as aqua feedstuff. Animal Research International, v. 16, n.1, 2019, p. 3207-3212. https://www.ajol.info/index.php/ari/article/view/186608
- TILLEY, J.M.A.; TERRY, R.A. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. Grass and Forage Science, v, 18, n. 2, 1963, p. 104–11. https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1963.tb00335.x.
- UNITED STATES OF AMERICA. ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS (AOAC). Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL. 21a ed. Gaithersburg (USA): 2019.
- VAN SOEST, PETER J.; ROBERTSON, JAMES B.; LEWIS, BETTY A. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. Journal of Dairy Science, v. 74, n. 10, 1991, p 3583–3597.
 - https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2
- YUSTE, SUSANA; ZOUGARENE, ZAHIA; DE LA FUENTE, GABRIEL; FONDEVILA, MANUEL; DE LA VEGA, ANTONIO. Effects of partial substitution of barley with maize and sugar beet pulp on growth performance, rumen fermentation and microbial diversity shift of beef calves during transition from a milk and pasture regimen to a high-concentrate diet. Livestock Science, v. 238, 2020, p.104071. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104071
- ZHANG, JUN; ZHENG, NAN; SHEN, WEIJUN; ZHAO, SHENGGUO; WANG, JIAQI. Synchrony degree of dietary energy and nitrogen release influences microbial community, fermentation, and protein synthesis in a rumen simulation system. Microorganisms, v. 8, n. 2, 2020, p. 231. https://doi.org/10.3390/microorganisms8020231
- ZSCHIESCHE, MARLEEN; MENSCHING, ANDRÉ; REZA, SHARIFI; HUMMEL, JÜRGEN. The Milk Fat-to-Protein Ratio as Indicator for Ruminal pH Parameters in Dairy Cows: A Meta-Analysis. Dairy, v. 1, n, 3, 2020, p. 259-268.
 - https://doi.org/10.3390/dairy1030017

BIOTECNOLOGÍA EN EL SECTOR AGROPECUARIO Y AGROINDUSTRIAL



Vol. 21 No 1 · Enero-Junio 2023 · ISSN-1692-3561 · ISSN-e 1909-9959 · DOI: https://doi.org/10.18684

Efecto del ácido 1-naftalenacético sobre algunos componentes de rendimiento en yuca (*Manihot esculenta* Crantz) variedad MCol 2066*

Effect of 1-naftalenacetic acid on some yield components in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) variety MCol 2066

PARDO-PLAZA, YURI-JANIO¹; CANTERO-GUEVARA, MIRIAM-ELENA²; MIRANDA- CARDONA, CRISTIAN-ANTONIO³

Historial del artículo

Recibido para evaluación: 27 de mayo 2021 Aprobado para publicación: 15 de junio 2022

- * Proyecto de investigación de origen: "Efecto de bacterias nativas solubilizadoras de fósforo y fijadoras de nitrógeno sobre el desarrollo de cultivos de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) variedad MCol 2066 (chirosa) en condiciones de invernadero". Financiación: Universidad de Córdoba. Convocatoria interna.
- 1 Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Básicas, Grupo de Biotecnología del Departamento de Química y de Biología. Dr. Ciencias Agrícolas. Montería, Colombia. https://orcid.org/0000-0002-5264-1606
- 2 Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Básicas, Grupo de investigaciones Microbiológicas y Biomédicas de Córdoba. Ph.D. Ciencias Básicas Biomédicas, Montería, Colombia. https://orcid.org/0000-0001-8941-1276
- 3 Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Básicas, Grupo de Biotecnología del Departamento de Química y de Biología. Químico. Montería, Colombia. https:://orcid.org/0000-0002-1110-3094

Correspondencia: miriam can tero @correo.uni cordoba.edu. co

Cómo citar este artículo

PARDO-PLAZA, YURI-JANIO; CANTERO-GUEVARA, MIRIAM-ELENA; MIRANDA- CARDONA, CRISTIAN-ANTONIO. Efecto del ácido 1-naftalenacético sobre algunos componentes de rendimiento en yuca (Manihot esculenta Crantz) variedad MCol 2066. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, v. 21, n. 1, 2023, p.62-72 Doi:https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21. n1.2023.1935



RESUMEN

La yuca (Manihot esculenta Crantz) es uno de los principales alimentos utilizado como fuente de energía, proporciona el alimento básico para alimentar a más de 800 millones de personas en todo el mundo. En algunos países y zonas colombianas productoras de yuca el aumento en la producción ha disminuido, debido a que no se cuenta con la tecnología y conocimiento suficiente para contribuir a la demanda actual de yuca. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del ácido 1-naftalenacético sobre algunas variables de rendimiento de yuca variedad MCol 2066 (chirosa). Se estableció un cultivo homogéneo de vuca v se obtuvieron esqueies de 15 cm de longitud, los cuales se sometieron a tres tiempos de inmersión (5, 10 y 20 min) en cuatro concentraciones de ácido 1-naftalenacético (0, 100, 200 y 300 ppm). Los datos se colectaron a los 240 días después de la siembra. Las variables evaluadas porcentaje de almidón, materia seca, y masa fresca de raíces, presentaron diferencias significativas entre tratamientos. Los valores más altos se observaron en el tratamiento a 20 min de inmersión en 200 ppm de ácido 1-naftalenacético para las variables, almidón (45,56 %), materia seca (51,6 %), y masa fresca (73,270 kg/ha). A las condiciones del estudio, este tratamiento fue el mejor inductor para aumentar el rendimiento del cultivo, debido a que influyó positivamente, mostrando mejores resultados en las variables porcentaje de almidón, materia seca y masa fresca de la raíz, lo cual podría ser favorable para mejorar el rendimiento del cultivo de yuca variedad MCol 2066 (chirosa) en la región.

PALABRAS CLAVE:

Raíz; Materia seca; Almidón; Auxina; Rendimiento; Yuca; Ácido 1-naftalenacético; *Manihot esculenta*; Masa fresca; Esquejes.

ABSTRACT

Cassava (Manihot esculenta Crantz) is one of the main foods used as an energy source that is also as one of the staples feeding more than 800 million people worldwide. In some countries as well as some Colombian areas known for their cassava production, there has been a decrease in their production growth due to the fact that there is neither enough technology nor knowledge to contribute to the current demand for cassava. The objective of this study was to evaluate the effect of 1-naphthaleneacetic acid on some yield-related variables on variety MCol 2066 of cassava (chirosa). A homogeneous crop of cassava was established and cuttings of 15 cm in length were obtained, which in turn were subjected to three immersion times (5, 10 and 20 min) in four concentrations of 1-naphthaleneacetic acid (0, 100, 200 and 300 ppm). Data were collected 240 days after planting. The evaluated variables which were percentage of starch, dry matter, and fresh root mass, showed significant differences between treatments. The highest values were observed in the treatment at 20 min immersion in 200 ppm of 1-naphthaleneacetic acid for the variables, starch (45,56 %), dry matter (51,6 %), and fresh mass (73.270 kg/ha). Under the conditions of the study, this treatment was the best inducer to increase the yield of the crop, because it influenced positively on such results, showing better results in the variables percentage of starch, dry matter and fresh mass of the root, which could be favorable to improve the yield of the crop of variety MCol 2066 cassava (chirosa) in the region.

KEYWORDS:

Root; Dry matter; Starch; Auxin; Yield; Cassava; 1-naphthalene acetic acid; *Manihot esculenta*; Fresh mass; Cutting.

INTRODUCCIÓN

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es uno de los principales alimentos utilizado como fuente de energía en el mundo, debido a que proporciona una cantidad importante de hidratos de carbono, proteínas, minerales y representa el futuro de la seguridad alimentaria en algunos países en desarrollo (Kondhare *et al.*, 2021). Sin embargo, actualmente son necesarios estudios que permitan mejorar su manejo y producción (Delgado *et al.*, 2020). La yuca o mandioca es una dicotiledónea que pertenece a la familia Euphorbiaceae, probablemente originaria de Suramérica (Anikwe and Ikenganyia, 2018). A nivel mundial se producen aproximadamente 280 millones de toneladas de yuca; el 61 % de este total se cosecha en África, el 29 % en Asia y el 9,8 % en América (Corozo *et al.*, 2020; Faostat, 2020).

La yuca es un cultivo robusto que se adapta bien a condiciones climáticas extremas excepto a la lluvia excesiva y las consiguientes inundaciones, es probable que aumente su importancia donde las áreas aptas para cultivos actualmente disponibles, disminuyen debido al cambio climático (Cock, 2021). La yuca se produce como un cultivo de subsistencia por pequeños productores y se integra rápidamente dentro de los sistemas agrícolas tradicionales, es fácil de cultivar y procesar, está disponible durante todo el año, actuando como un amortiguador ante la falta de otros cultivos (Anikwe and Ikenganyia, 2018; Waisundara, 2018) suministrando alimento a millones de personas en el mundo (Howeler *et al.*, 2013; Carvalho *et al.*, 2018). Los esfuerzos de investigación están dirigidos al mejoramiento genético de la planta y del cultivo con el fin de optimizar la producción de raíces de almacenamiento, los valores nutricionales y la utilización industrial (Carvalho *et al.*, 2018).

En Colombia, el área promedio cultivada con yuca en el 2019 fue de 259.931 ha, se cultiva en los 32 departamentos, sin embargo, es preponderante en la costa atlántica, los llanos y el Cauca. Los departamentos con mayores áreas sembradas son Bolívar (19 %), Córdoba (10 %), Magdalena (10 %), Sucre (8 %) y Cauca (4 %), mientras los que aportan mayores volúmenes de producción en concordancia con los niveles de siembras, son Bolívar (17 %), Córdoba (11 %) y Sucre (8 %) (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019). La región del Sinú medio posee las condiciones requeridas para diferentes sistemas productivos, sin embargo, no se logra contribuir al incremento competitivo en los rendimientos del cultivo de la yuca, por falta de conocimientos y tecnologías adecuadas. En esta zona se ha evidenciado que pequeños productores no cuentan con los conocimientos técnicos ni con los recursos económicos que les permita mejorar la producción y rendimiento de sus cultivos, razón por la cual es importante implementar nuevas alternativas como son sistemas de siembra tecnificados, uso eficiente de productos agroquímicos, semillas mejoradas y certificadas, que permitan potencializar las condiciones del cultivo. Las raíces de yuca son una excelente fuente de materia prima para la producción de almidón, bioetanol, plásticos biodegradables y muchos otros usos (Dissanayake *et al.*, 2020). Dentro de las raíces y tubérculos (yuca, papa, camote y ñame) la yuca presentó la mayor tasa de crecimiento de consumo anual hasta el 2020, con 1,9 % y el segundo lugar en términos de producción de forraje con 0,95 % (Santos *et al.*, 2019).

La yuca se propaga tradicionalmente por estacas o esquejes de tallos y su ciclo de crecimiento es superior a 10 meses (Prosper *et al.*, 2018), por esta razón, la calidad de los tallos y la capacidad de enraizamiento contribuye al establecimiento del cultivo (Burgos *et al.*, 2009). La proliferación y elongación de raíces son reguladas por las auxinas, en general, los reguladores de crecimiento vegetal modifican las características del crecimiento de las plantas y causan diversas respuestas fisiológicas (Lopez *et al.*, 2019). Una de las auxinas más usadas en la investigación de cultivos de tejidos vegetales para manipular las respuestas de crecimiento es el ácido 1-naftalenacético (ANA) (Kondhare *et al.*, 2021), cuya aplicación tanto en viveros como en la producción a campo, ha mostrado la capacidad de inducir el proceso de enraizamiento en diferentes cultivos, particularmente en yuca (Burgos *et al.*, 2009; Elmongy *et al.*, 2018). Estudios han demostrado que la aplicación de ANA sobre estacas de yuca del cultivar amarilla incrementó los parámetros de calidad, porcentaje de materia seca, diámetro y longitud de raíces de reserva, concluyendo además que las variaciones encontradas en cuanto a las variables de rendimiento y calidad están más influenciadas por el cultivar que por el regulador analizado (Burgos *et al.*, 2009). El mejoramiento actual de la yuca se centra principalmente en la resistencia y en rasgos de rendimiento complejos, como el contenido de materia seca y el rendimiento de las raíces (Rüscher *et al.*, 2021).

Bajo este contexto es posible que la aplicación de diferentes concentraciones de ANA sobre los esquejes de yuca plantada a campo induzca mejor rendimiento, lo cual se reflejará en un mayor porcentaje de almidón y masa fresca de raíces de yuca. De acuerdo con lo anterior, se llevó a cabo la aplicación de cuatro concentraciones de ANA sobre esquejes de yuca de la variedad MCol 2066 (chirosa) con diferentes tiempos de inmersión en presiembra, con el objetivo de determinar la concentración de ANA y el tiempo de inmersión que permita incrementar los parámetros de rendimiento de raíces (número, diámetro, longitud, contenido de materia seca y masa fresca) y su impacto en el porcentaje de almidón.

MÉTODO

El estudio se realizó en la vereda el salado del Municipio de Ciénaga de Oro en el departamento de Córdoba, situado a 8°52′ 59.962518′′ N. y 75° 36′ 24.840215′′ W, durante los meses de mayo a diciembre del 2019. El clima de la zona es subtropical, con precipitación anual promedio de 1,350 mm y temperatura media anual de 27,8 °C (Combatt *et al.*, 2017). Los suelos son planos, franco-arenosos, bien drenados, con pH de 5,6.

La investigación fue de tipo cuantitativa. El diseño experimental utilizado fue factorial con un arreglo completamente al azar, utilizando unidades experimentales con dimensiones de 7 por 8 m, separadas entre sí 2 m, ocupando un área total de 120 m por 45 m. En cada parcela se plantaron manualmente 72 estacas en posición vertical, con una distancia de 1 m entre plantas y de 1 m entre surcos, lo cual equivale a una densidad de siembra de 10.000 plantas por hectárea.

Descripción de los tratamientos

En la zona de estudio se estableció un cultivo homogéneo de yuca de la variedad MCol 2066 (chirosa) y a los diez meses después de la siembra, se cortaron y almacenaron los tallos en posición vertical bajo sombra. Posteriormente, a partir de los tallos se obtuvieron esquejes o estacas de 15 cm de longitud, el corte se hizo en forma redonda para facilitar el enraizamiento, seleccionando los esquejes de mejor calidad y homogeneidad en longitud y diámetro. Seguidamente, se realizó la inmersión de los esquejes en ANA, formulado comercialmente como concentrado soluble (Hormonagro A.N.A. 17,2 g/L Colinagro), a cuatro concentraciones (0, 100, 200 y 300 ppm) durante tres tiempos de inmersión 5, 10 y 20 min, dando como resultado 12 tratamientos con 3 repeticiones cada ensayo, para un total de 36 unidades experimentales, como se observa en el cuadro 1. Para el tratamiento con 0 ppm, a los esquejes se les hizo una inmersión en agua destilada. Las concentraciones de ANA y tiempos de inmersión utilizados, resultaron de ensayos preliminares realizados a nivel de invernadero, con el fin de establecer las concentraciones y tiempos de mejor respuesta para el genotipo de yuca MCol 2066

Siembra del material vegetal

Para la siembra de los esquejes se preparó el terreno con dos pases de labranza convencional utilizando rastra de disco la cual rompe la capa superficial a 30 cm de profundidad aproximadamente. Los esquejes se sembraron manualmente según el diseño experimental. A este cultivo se le realizó un manejo integrado de malezas, plagas y enfermedades. El plan de fertilización se realizó con base en el análisis de suelos, el cual fue igual para todos los tratamientos realizados. Las variables de respuesta que se evaluaron en este estudio a los 240 días después de la siembra (DDS) fueron porcentaje de almidón, número, diámetro, longitud, contenido de materia seca y masa fresca de raíces. La longitud de las raíces se midió con ayuda de un flexómetro. Para determinar el contenido de materia seca y de almidón de yuca, se utilizó el método de gravedad específica, descrito por Toro.

C . I . 4	D/ I	 1	realizá nor triplicado

Tratamiento (T)	Concentración ácido 1-naftale- nacético (ANA) partes por millón (ppm)	Tiempo de inmersión (minutos	
T1	0	5	
T2	0	10	
Т3	0	20	
T4	100	5	
T5	100	10	
T6	100	20	
T7	200	5	
Т8	200	10	
Т9	200	20	
T10	300	5	
T11	300	10	
T12	300	20	

(1983), aplicando la ecuación 1.

$$GE = \frac{PFRAI}{(PFRAI - PFRAG)}$$
 (Ec. 1)

Donde:

GE es la gravedad específica, PFRAI es el peso fresco de raíces en el aire y PFRAG es el peso fresco de raíces en el agua.

Se han publicado tablas de conversión que permiten hallar el porcentaje de materia seca y de almidón para variedades de yuca cosechadas entre 10 y 12 meses de edad bajo las condiciones normales de producción en Colombia y valores de gravedad específica entre 1,02 y 1,19. A partir de los datos suministrados en dichas tablas se obtiene la ecuación 2 para estimar el contenido de materia seca (Toro, 1983).

$$%MS = (GE \times 158,26) - 142,05$$
 (Ec. 2)

Donde MS es la materia seca y GE es la gravedad específica.

El porcentaje de almidón en raíces frescas de yuca se determinó teniendo en cuenta que éste constituye alrededor del 85-90 % del contenido de materia seca, entonces el contenido de almidón puede ser estimado tomando un promedio de ese rango (0,875) por medio de la ecuación 3, (Aristizábal *et al.*, 2007).

$$\%$$
 Almidón = $\%$ materia seca $\times 0.875$ (Ec.3)

El rendimiento de raíces frescas se obtuvo a los 240 DDS, para lo cual se tomaron cinco plantas por repetición a las que se le pesó el total de raíces frescas, se promedió el peso por repetición y se expresó en kilogramos por hectárea (kg/ha).

Análisis estadístico

Para el estudio de los datos obtenidos en campo a los 240 DDS, se les realizó un análisis de normalidad, para su posterior análisis de varianza y prueba de medias de Tukey al 5 %. Los análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico MINITAB, versión 18.1.0.

RESULTADOS

Los resultados indican diferencias significativas para las variables porcentaje de almidón, materia seca y masa fresca de raíces. No se encontró diferencias estadísticas para diámetro, longitud y número de raíces por planta.

Contenido de materia seca de raíz

Al realizar la prueba de medias de Tukey (p<0,05) se encontraron diferencias significativas entre T9 (51,6 % de materia seca) y los demás tratamientos evaluados. El porcentaje de materia seca de raíz más alto se obtuvo al sumergir los esquejes en una solución de 200 ppm de ANA durante 20 minutos (T9). Los tratamientos T12, T8, T5, T3 y T2, presentaron 45,08 % en promedio y los tratamientos T11, T10, T7, T6, T4, T1 mostraron, en promedio, el contenido más bajo en materia seca con 37,56 % (Figura 1). El Porcentaje más alto de materia seca de raíces hallado en este trabajo (51,6 %), fue superior a los valores de referencia registrados para esta variable en diferentes estudios de Aristizábal *et al.* (2007) con 20-45 %, Fakir *et al.* (2012) con 30-40 %, Mubanga *et al.* (2019) con 40,04-47,25 % y Howeler *et al.* (2013) con 250 a 300 kg por tonelada de raíz fresca. Contenidos de materia seca superiores al 30 % se consideran elevados (Mubanga *et al.*, 2019). Los resultados obtenidos pueden deberse a que el regulador ANA para las condiciones de T9, favoreció la definición de los componentes del rendimiento de manera significativa, lo cual podría indicar que las raíces reservantes presentaron la mayor capacidad de acumulación de materia seca, bajo dichas condiciones de concentración y tiempo de inmersión en ANA.

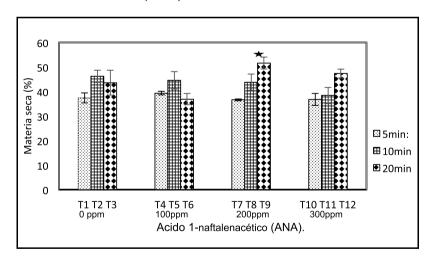


Figura 1: Materia seca de raíz por tratamientos (T): ANA en partes por millón (ppm) con respecto al tiempo de inmersión en minutos. Los valores representan la media ± Desviación estándar. Diferencias significativas p < 0.05.

Masa fresca de raíz

La producción total de raíces frescas presentó diferencias significativas, el T9 mostró el mayor rendimiento con respecto a los demás tratamientos (73.270 kg/ha). Los tratamientos T12, T11, T10, T8, T7, T5, T4, T3 y T2 presentaron un promedio de producción de 58.246 kg/ha y con los tratamientos T6 y T1 se obtuvo en promedio la

producción más baja, de 50.265 kg/ha (Figura 2). Estos valores, en general, son más elevados que los valores de referencia publicados por Howeler *et al.* (2013), quienes en Colombia encontraron producciones desde 12.000 kg/ha para monocultivo de yuca sin fertilizar y 37.000 kg/ha en cultivos fertilizados, en tanto que Fuenmayor *et al.* (2012) evaluaron varios clones de yuca en Venezuela y encontraron valores entre 21.667 y 50.033 kg/ha.

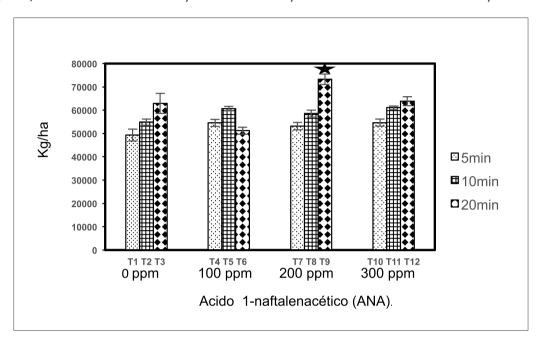


Figura 2: Masa fresca de raíz por tratamientos (T): ANA en partes por millón (ppm) con respecto al tiempo de inmersión en minutos. Valores representan la media ± Desviación estándar. Diferencias significativas p < 0,5.

Porcentaje de almidón

El mayor porcentaje de almidón (45,15 %) se obtuvo en T9 y se demostró que éste es diferente estadísticamente (p<0,05) de los otros tratamientos (Figura 3). T2, T3, T4, T5, T8 y T12 mostraron un promedio de 39,45 %, mientras que los tratamientos de menor porcentaje promedio de almidón (32 %) fueron T11, T1, T6, T10, T7. Estos resultados muestran una relación directa entre el contenido de materia seca y el contenido de almidón, lo cual concuerda con lo discutido por Mubanga *et al.* (2019). El contenido de almidón y materia seca en la yuca son algunas de las características más importantes para el procesamiento industrial, en la mayoría de los procesos, contenidos altos de almidón son sinónimo de alto rendimiento y junto con el contenido de agua, cianógenos y taninos en las raíces, varían según el genotipo, la ubicación y las condiciones ambientales (Aristizábal *et al.*, 2007; Carvalho *et al.*, 2018; Oghenechavwuko *et al.*, 2020). En el presente estudio se obtuvo un porcentaje de almidón que varió entre 32,0 y 45,15 %, superior al rango publicado por Fakir *et al.* (2012) de 25-30 %. El almidón es el segundo componente más abundante en la yuca y representa la mayor parte de los carbohidratos (96 %) que es el principal componente de la materia seca de la raíz. La industria se centra en cultivares con alto rendimiento de almidón y por lo tanto, el contenido de materia seca es la base para seleccionar la yuca por variedad (Mubanga *et al.*, 2019).

En el cuadro 2 se observan los resultados de las variables número, diámetro y longitud promedio de raíces. En los tratamientos T9 y T5 se observó tendencia a un mayor número de raíces, con valores promedio de 14,53 y 14,4 raíces/planta respectivamente. El número total de raíces promedio por planta para los diferentes tratamientos se encontró en un rango entre 11,47 y 14,53 raíces. Resultados obtenidos por Burgos *et al.* (2009) tuvieron una tendencia similar, demostrando que el tratamiento hormonal, favoreció el número de raíces reser-

vantes respecto al testigo en el cultivar de yuca palomita. Por otra parte, estudios sugieren que el número de raíces es un objetivo de mejoramiento para optimizar la producción de yuca Kengkanna et al., (2019).

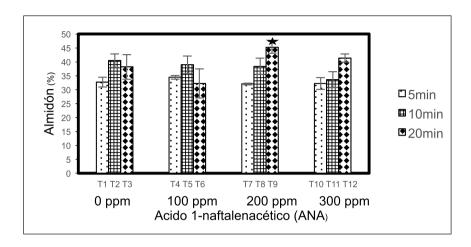


Figura 3: Porcentaje de almidón por tratamientos (T): ANA en partes por millón (ppm) con respecto al tiempo de inmersión en minutos. Valores representan el porcentaje ± Desviación estándar. Diferencias significativas p < 0,5.

Cuadro 2. Número, longitud y diámetro de las raíces.

Tratamiento	Número de Raíces	Longitud Promedio de la Raíz. (cm)	Diámetro Promedio. (cm)	
1	13,40 a	26,20 a	4,73 a	
2	13,53 a	26,21 a	4,99 a	
3	13,47 a	27,74 a	5,22 a	
4	12,13 a	29,34 a	4,88 a	
5	14,53 a	27,53 a	5,06 a	
6	13,00 a	27,61 a	4,81 a	
7	12,93 a	28,35 a	4,83 a	
8	14,00 a	28,78 a	4,89 a	
9	14,40 a	32,15 a	5,00 a	
10	13,47 a	29,44 a	4,88 a	
11	14,33 a	29,43 a	4,72 a	
12	11,47 a	32,51 a	4,98 a	
Coeficiente de Variación : CV	12,06	9,33	5,24	
Letras iguales no hay diferencias significativas al 0,05% de acuerdo al test de Tukey				

Con respecto a la longitud de la raíz, se observaron tendencias con mayor longitud promedio en los tratamientos T12 (32,51 cm) y T9 (32,15 cm), es decir, los tratamientos con mayor concentración de ANA mostraron una tendencia de mejores resultados para longitud promedio en comparación con los tratamientos de menor concentración (0 y 100 ppm de ANA). Al aplicar la prueba del coeficiente de correlación de Pearson (r= 0,54 y p= 0,05), se observó una correlación lineal directa entre la concentración de ANA y la longitud promedio de las raíces, resultados que difieren de los hallados por Burgos $et\ al.$ (2009) para el cultivar de yuca palomita.

Con relación al diámetro promedio de las raíces, se puede notar que, aunque no hubo diferencias significativas, los tratamientos que presentaron tendencias de mayor valor fueron T3 (5,22 cm), T5 (5,05 cm) y T9 (5,00 cm). Los resultados observados en este estudio respecto a longitud y diámetro de raíces mostraron tendencias similares a los resultados publicados por Burgos *et al.* (2009) para el cultivar de yuca amarilla.

Los tratamientos con mayor concentración de ANA favorecen mayor longitud de las raíces, lo cual se puede ver reflejado en un buen vigor y crecimiento de las plantas. Se ha demostrado que el efecto de las auxinas depende de varios factores como son el genotipo de la planta, la concentración y el tipo de auxina (Guo *et al.*, 2009). El valor de la yuca deriva de una combinación del rendimiento de raíces frescas y el porcentaje de materia seca que se puede extraer de las raíces frescas, lo que se conoce como rendimiento seco (Okeke *et al.*, 2018). Investigaciones recientes como la de Adiele *et al.* (2020) han evaluado la respuesta de materia seca y fresca de raíz en sistemas agroecológicos del cultivo de yuca en África occidental, aplicando en todos los tratamientos altas tasas de fertilizantes con nitrógeno, fosforo y potasio (NPK), y obtuvieron resultados muy similares a los registrados en el presente estudio, donde se fertilizó con base en un análisis de suelos y se aplicó ANA a diferentes concentraciones y tiempos de inmersión.

CONCLUSIONES

Para los 12 tratamientos evaluados el tratamiento nueve (20 min de inmersión en 200 ppm de ANA) fue el mejor inductor debido a que influyó positivamente, mostrando mejores resultados para las variables porcentaje de almidón, materia seca y masa fresca de la raíz, lo cual podría ser favorable para mejorar el rendimiento del cultivo de yuca variedad MCol 2066 (chirosa). El número, diámetro promedio y la longitud promedio de las raíces no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos realizados con ANA a concentraciones de 0, 100, 200 y 300 ppm y tiempo de inmersión de 0, 10 y 20 min, sin embargo, el tratamiento T9 tiende a mostrar los valores más altos para las variables mencionadas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Lic. +Alonso Segura Delgado, por su valiosa colaboración y apoyo en el análisis estadístico y la asistencia técnica.

REFERENCIAS

- ADIELE, J.G.; SCHUT, A.G.T.; VAN DEN BEUKEN, R.P.M.; EZUI, K.S.; PYPERS, P.; ANO A.O.; EGESI, C.N.; GILLER, K.E. Towards closing cassava yield gap in West Africa: Agronomic efficiency and storage root yield responses to NPK fertilizers. Field Crops Research, v. 253, 2020, p.107820. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107820
- ANIKWE, MARTIN A.N.; IKENGANYIA, EJIKE E. Ecophysiology and production principles of cassava (*Manihot* species) in Southeastern Nigeria. En: Waisundara, Viduranga Y; Cassava. London (United Kingdom): Intech Open, 2018, p. 3-304.
 - https://doi.org/10.5772/intechopen.70828
- ARISTIZÁBAL, JOHANA; SÁNCHEZ, TERESA; MEJÍA-LORÍO, DANILLO. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Boletín de Servicios Agricolas de la FAO (FAO), v.163, 2007, p. 134.

- BURGOS, ÁNGELA-MARÍA; CENÓZ, PEDRO-JORGE; PRAUSE, JUAN. Efecto de la aplicación de auxinas sobre el proceso de enraizamiento de estacas de dos cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Revista Científica UDO Agrícola, v. 9, n. 3, 2009, p. 539-546.
- CARVALHO, LUIZ J.C.B.; FILHO, JOSEFINO F.; ANDERSON, JAMES V.; FIGUEIREDO, PRICILA W.; CHEN, SONGBI. Storage root of cassava: morphological types, anatomy, formation, growth, development and harvest time. En: Waisundara, Viduranga Y. Cassava. London (United Kingdom): Intech Open, 2018, p.3-304. https://doi.org/10.5772/intechopen.71347
- COCK, JAMES H.; CONNOR, DAVID J. Cassava. In Crop Physiology Case Histories for Major Crops, 2021, p. 588-633. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819194-1.00019-0
- COLOMBIA, MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Subsector Productivo de la Yuca. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Marzo 2019. https://sioc.minagricultura.gov.co/Yuca/Documentos/2019-03-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf [Consultado febrero 5 de 2021].
- COMBATT-CABELLERO, ENRIQUE-MIGUEL; POLO-SANTOS, JANER-MIGUEL; JARMA-OROSCO, ALFREDO-DE JESÚS. Rendimiento del cultivo de yuca con abonos orgánicos y químicos en un suelo ácido. Ciencia y agricultura, v. 14, n. 1, 2017, p. 57-64. https://doi.org/10.19053/01228420.v14.n1.2017.6088.
- COROZO, LILIANA; HÉCTOR, EDUARDO; MACÍAS, FATIMA; VÁSQUEZ, BORIS; PINARGOTE, BRYAN; COBEÑA, GLORIA; MENDOZA, ALMA; ARTEAGA, FRANCISCO. Micropropagation of two ecuadorian varieties of yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences (ex Agro-Ciencia), v.36, n. 3, 2020, p. 224-232. https://doi.org/10.29393/CHJAAS36-21MDLC80022
- DELGADO-MONSANTO, LUISA; VILLA, PEDRO-MANUEL; MOTA, NORMAN; GÓMEZ, XIOMARA. La producción de semillas y raíces del cultivo de yuca se mantiene bajo diferentes densidades de siembra: un enfoque agroecológico. Tropical and Subtropical Agroecosystems, v. 23, n. 95, 2020, p. 1-7.
- DISSANAYAKE, LAKMALI; PERERA, PRASANTHI; ATTANAYAKA, THILAK; HEBERLE, ERWIN; JAYAWARDHANA, MANOSHA. Early Development of Direct Embryos in the Cultured Anthers of *Manihot esculenta* Crantz. Plants, v. 9, n. 10, 2020, p. 1315. https://doi.org/10.3390/plants9101315
- ELMONGY, MOHAMED S.; CAO, YAN; ZHOU, HONG; XIA, YIPING. Root Development Enhanced by Using Indole-3-butyric Acid and Naphthalene Acetic Acid and Associated Biochemical Changes of In Vitro Azalea Microshoots. Journal of Plant Growth Regulation, v. 37, n. 3, 2018, p. 813-825. https://doi.org/10.1007/s00344-017-9776-5
- FAKIR, M.S.A.; JANNAT, M.; MOSTAFA, M.G.; SEAL, H. Starch and flour extraction and nutrient composition of tuber in seven cassava accessions. Journal of the Bangladesh Agricultural University, v. 10, n. 2, 2012, p. 217-222. https://doi.org/10.3329/jbau.v10i2.1469
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization. Corporate Statistical Database. 2018. http://www.fao.org/faostat/en/#home [consultado 23 March 2020]
- FUENMAYOR-CAMPOS, FRANCIA C.; MONTILLA, JOAN; ALBARRÁN, JOSÉ-GERARDO; PÉREZ, MARÍA; VACCARINO-ARAY, LUIS-COROMOTO; SEGOVIA-SEGOVIA, VICTOR. Evaluación y selección de clones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) del Plan Nacional de Semilla del INIA-Venezuelaresultados preliminares. Revista Científica UDO Agrícola, v, 12, n. 1, 2012, p. 17-24.
- GUO, XIANFENG; FU, XILING; ZANG, DEKUI; MA, YAN. Effect of auxin treatments, cuttings' collection date and initial characteristics on Paeonia 'Yang Fei Chu Yu'cutting propagation. Scientia Horticulturae, v. 119, n. 2, 2009, p.177-181.
 - https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.07.022
- HOWELER, REINHARDT-LUTALADIO; NEBAMBI-THOMAS, GRAEME. Save and grow: cassava. A guide to sustainable production intensification. Roma (Italia): Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacuón, FAO, 2013, p. 1-129.

Vol. 21 No 1 · Enero-Junio 2023

- KENGKANNA, JITRANA; JAKAEW, PHISSINEE; AMAWAN, SUWALUK; BUSENER, NATALIE; BUCKSCH, ALEXANDER; SAENGWILAI, PATOMPONG. Phenotypic variation of cassava root traits and their responses to drought. Applications in plant sciences, v. 7, n. 4, 2019, p. e01238. https://doi.org/10.1002/aps3.1238
- KONDHARE, KIRTIKUMAR R.; PATIL, ARUNA B.; GIRI, ASHOK P. Auxin: An emerging regulator of tuber and storage root development. Plant Science, v. 306, 2021, p.110854. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2021.110854
- LOPEZ-CORONA, BETZABE-EBENHEZER; MONDACA-FERNANDEZ, IRAM; GORTARES-MOROYOQUI, PABLO; PEÑA, JAIME-HOLGUÍN; MEZA-MONTENEGRO, MARÍA-MERCEDES; BALDERAS-CORTES, JOSE; VARGAS-LOPEZ, JUAN-MANUEL; RUEDA-PUENTE, EDGAR-OMAR. Technique of cutting in agriculture: an alternative at the vanguard. Tropical and Subtropical Agroecosystems, v, 22, n.2, 2019, p. 505-517.
- MUBANGA-CHISENGA, SHADRACK; SEYOUM-WORKNEH, TILAHUN; BULTOSA, GEREMEW; LAING, MARK. Proximate composition, cyanide contents, and particle size distribution of cassava flour from cassava varieties in Zambia. AIMS Agriculture and Food, v. 4, n. 4, 2019, p. 869-891. https://doi.org/10.3934/agrfood.2019.4.869
- OGHENECHAVWUKO-UDORO, ELOHOR; ASHIM-ANYASI, TONNA; OBIEFUNA-JIDEANI, AFAM-ISRAEL. Characterization of the root and flour of South African *Manihot esculenta* Crantz landraces and their potential end-use properties. International Journal of Food Properties, v. 23, n. 1, 2020, p. 820-838. https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1759625
- OKEKE, UCHE-GODFREY; AKDEMIR, DENIZ; RABBI, ISMAIL; KULAKOW, PETER; JANNINK, JEAN-LUC. Regional heritability mapping provides insights into dry matter content in african white and yellow cassava populations. The plant genome, v. 11, n. 1, 2018, p. 170050. https://doi.org/10.3835/plantgenome2017.06.0050
- PROSPER-YANDIA, SIMPLICE; BERNARD-GANDONOU, CHRISTOPHE; SILLA, SEMBALLA; ZINGA, INNOCENT; TOUKOUROU, FATIOU. Response of four cultivars of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) plantlets free of cassava mosaic virus to micropropagation in different media. African Journal of Biotechnology, v. 17, n. 1, 2018, p. 9-16. https://doi.org/10.5897/AJB2016.16235
- RÜSCHER, DAVID; CORRAL, JOSÉ-MARÍA; CARLUCCIO, ANNA-VITTORIA; KLEMENS, PATRICK A.W; GISEL, ANDREAS; STAVOLONE, LIVIA; NEUHAUS, H-EKKEHARD; LUDEWIG, FRANK; SONNEWALD, UWE; ZIERER, WOLFGANG. Auxin signaling and vascular cambium formation enable storage metabolism in cassava tuberous roots. journal of Experimental Botany, v. 72, n. 10, 2021, p. 3688-3703. https://doi.org/10.1093/jxb/erab106
- SANTOS, JOSETH A.; NARVÁEZ, LAINER; SALCEDO, SAULA M.; ACEVEDO, ALBA N.; MERCADO, LUIS C.; SALCEDO, JAIRO G. Fisiología del cultivo de yuca en el bosque seco tropical de Sucre-Colombia. Temas Agrarios, v. 24, n. 1, 2019, p. 17-26 https://doi.org/10.21897/rta.v24i1.1774
- TORO, JULIO-CÉSAR; CAÑAS, ALFONSO. Determinación del contenido de materia seca y almidón en yuca por el sistema de gravedad específica. International Center for Tropical Agriculture, 1983, p. 567-575.
- WAISUNDARA, VIDURANGA Y. Introductory Chapter: Cassava as a Staple Food. En Waisundara, Viduranga Y; Cassava. London (United Kingdom): Intech Open, 2018, p. 3-304. https://doi.org/10.5772/intechopen.70324

BIOTECNOLOGÍA EN EL SECTOR AGROPECUARIO Y AGROINDUSTRIAL

Vol. 21 No 1 · Enero-Junio 2023 · ISSN-1692-3561 · ISSN-e 1909-9959 · DOI: https://doi.org/10.18684

Adaptabilidad y estabilidad fenotípica para el rendimiento en vaina verde de 20 líneas de arveja voluble (*Pisum sativum* L.) con gen afila*

Adaptability and phenotypic stability for the yield in green pod of 20 lines of voluble peas (*Pisum sativum* L.) with afila gene^{1*}

HERRERA-PORTILLA, DIANA-MILENA²; CHECA-CORAL, OSCAR-EDUARDO³; RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, DANIEL-MARINO⁴

Historial del artículo

Recibido para evaluación: 2 de Agosto 2021 Aprobado para publicación: 25 de Mayo 2022

- Título del proyecto de origen: "Investigación para el mejoramiento de la tecnología de la producción de arveja (*Pisum sativum L.*) en el departamento de Nariño". Financiación: Sistema General de Regalías. Culminación: 20 de diciembre de 2020.
- 1 Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo de Investigación Cultivos Andinos (GRICAND). Magíster en Ciencias Agrícolas. Pasto, Colombia. https://orcid.org/0000-0001-7992-7500
- 2 Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo de Investigación Cultivos Andinos (GRICAND). Doctor en Fitomejoramiento. Pasto, Colombia. https://orcid.org/0000-0002-6929-7717
- 3 Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo de Investigación Cultivos Andinos (GRICAND). Magíster en Suelos. Pasto, Colombia. https://orcid.org/0000-0001-9152-5897

Correspondencia: ocheca@udenar.edu.co

Cómo citar este artículo

HERRERA-PORTILLA, DIANA-MILENA; CHECA-CORAL, OSCAR-EDUARDO; RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, DANIEL-MARINO. Adaptabilidad y estabilidad fenotípica para el rendimiento en vaina verde de 20 líneas de arveja voluble (Pisum sativum L.) con gen afila. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, v. 21, n. 1, 2023, p.73-84. Doi:https://doi.org/10.18684/rbsaa. v21.n1.2023.1977



RESUMEN

En Nariño, las variedades de arveja voluble, debido a su alta capacidad productiva, no logran mantenerse erguidas a pesar del uso de sistemas de tutorado, lo que genera acame y pérdidas en el rendimiento y la calidad del producto. Una opción viable para mitigar el problema es el uso de genotipos volubles con el gen afila que reemplaza hojas por zarcillos, favoreciendo el agarre de las plantas sobre las cuerdas que sirven de tutores. En busca de una solución a este problema, se evaluó la adaptabilidad y estabilidad fenotípica para el rendimiento en vaina verde de 20 líneas de arveja voluble con el gen afila y los testigos de hoja normal Obonuco Andina y Sindamanoy en cinco municipios del sur del departamento de Nariño. En cada localidad se aplicó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los datos obtenidos se analizaron utilizando los modelos de Eberhart y Russell y AMMI. En el modelo de Eberhart y Russell, los ambientes más favorables fueron Puerres y Gualmatán y el ambiente más desfavorable fue Potosí. Las líneas GR15, GR10 y la variedad Sindamanoy fueron seleccionadas como de alto rendimiento, adaptables y predecibles. El análisis de varianza para el modelo AMMI indicó un alto efecto ambiental resultante de ambientes contrastantes y baja diversidad entre las líneas con el gen afila evaluadas. El índice de selección (GSIi) obtenido a partir del valor de estabilidad (ASV) y la clasificación por rendimiento, permitió la identificación y selección por orden de mérito de los genotipos Obonuco Andina, GR15, GR14, GR28, GR10, GR2, GR23, Sindamanoy y GR3 como los de mayor estabilidad y rendimiento. La coincidencia en la selección entre los modelos Eberhart y Russell y AMMI fue del 33,3%.

PALABRAS CLAVE:

Zarcillos; Interacción genotipo ambiente; Guisante; Variedades; Selección; Diversidad; Productividad; Mejoramiento; Leguminosa; Biplot.

ABSTRACT

In Nariño, the climbing pea varieties, due to their high production capacity, are unable to stand upright despite the use of trellising systems, resulting in lodging and losses in yield and product quality. A viable option to mitigate the problem is the use of climbing genotypes with the afila gene that replaces leaves with tendrils, favoring the grip of the plants on the strings that serve as tutors. In search of a solution to this problem, the adaptability and phenotypic stability for green pod yield of 20 climbing pea lines with the afila gene and the normal-leaf controls Obonuco Andina and Sindamanoy were evaluated in five municipalities in the southern part of the department of Nariño. A randomized complete block design with four replications was used at each location. The data obtained were analyzed using the Eberhart and Russell and AMMI models. In the Eberhart and Russell model, the most favorable environments were Puerres and Gualmatán and the most unfavorable environment was Potosí. Lines GR15, GR10 and the Sindamanoy variety were selected as high yielding, adaptable and predictable. The analysis of variance for the AMMI model indicated a high environmental effect, resulting from contrasting environments and low diversity between the lines with the afila gene evaluated. The selection index (GSIi) obtained from the stability value (ASV) and the classification by yield, allowed the identification and selection in order of merit of the genotypes Obonuco Andina, GR15, GR14, GR28, GR10, GR2, GR23, Sindamanoy and GR3 as those with the highest stability and yield. The coincidence in selection between the Eberhart and Russell and AMMI models was 33.3%.

KEYWORDS:

Tendril; Genotype environment interaction; Pea; Varieties; Selectión; Diversity; Productivity; Improvement; Legume; Biplot.

INTRODUCCIÓN

En Colombia el cultivo de arveja es de gran importancia en las zonas con alturas entre los 2.400 y 2.900 msnm. El departamento de Nariño es el principal productor de arveja del país, con un promedio de 48.264 ton anuales, equivalentes al 55,2 % de la producción nacional (Checa et al., 2017), siendo las variedades más comúnmente utilizadas Obonuco Andina, Obonuco San Isidro, Sureña y Sindamanoy, de hábito voluble y crecimiento indeterminado con alturas que superan los 2,5 m, por lo que requieren sistemas de tutorado fortalecidos para evitar el volcamiento o acame de las plantas.

La productividad general de la arveja se aborda principalmente mediante el mejoramiento de la arquitectura de la planta, seleccionando tipos de plantas que combinan la resistencia al acame, la altura de la planta y la resistencia a factores bióticos y abióticos (Parihar *et al.*, 2020), siendo el gen afila (*af*) y el gen de la altura de planta (*Le*) los que explican la mayor parte de la variación en el acame de las plantas de arveja (Smitchger and Weeden, 2019)

En arveja, el gen afila (af) en condición homocigota recesiva es el responsable del remplazo de las hojas normales por zarcillos (Checa et al., 2020). La característica conferida por el gen afila (af), se ha introducido en variedades arbustivas para evitar el acame o volcamiento, al permitir que a través de los innumerables zarcillos las plantas se entrelacen y logren mantenerse erectas hasta la cosecha, cuanto mayor es el desarrollo del zarcillo, mayor es la resistencia al volcamiento además, la presencia del gen afila favorece la circulación de aire reduciendo la presión de enfermedades foliares (Rosero and Checa, 2021). En diferentes regiones del mundo se han reportado variedades mejoradas de arveja de hábito arbustivo y con gen afila, entre ellas, Solara, Alex, Choque, Amadeus, Brisca, Charleston, Astucen y Golijat (Checa et al., 2021)

Diferentes métodos han sido usados para analizar la interacción genotipo ambiente (GE) y la estabilidad fenotípica para rendimiento (Rana et al., 2021; Reckling et al., 2021). Aunque los métodos multivariados proporcionan información valiosa sobre la interacción genotipo ambiente (GE), los métodos univariados son también alternativas útiles para complementar la eficiencia en el mejoramiento por selección (Mohammadi et al., 2021): entre los principales métodos para evaluar la interacción genotipo ambiente se encuentran Eberhart and Russell (1966), AMMI (Zobel et al., 1988) y el modelo mixto (Hendersson, 1975).

La estabilidad del rendimiento es especialmente importante en el cultivo de leguminosas como la arveja, por ser cultivos menos estables que otras especies vegetales (Watson *et al.*, 2017; Reckling *et al.*, 2020). En los últimos años la mayor variabilidad del clima se asocia a una menor estabilidad de los rendimientos en diferentes cultivos (Müller *et al.*, 2018; Najafi *et al.*, 2018), en consecuencia, la estabilidad del rendimiento ha ganado especial importancia en la investigación sobre los impactos del cambio climático (Tigchelaar *et al.*, 2018; Webber *et al.*, 2020).

El Grupo de Investigación en Cultivos Andinos (GRICAND), realizó la introgresión del gen afila desde variedades arbustivas a genotipos volubles, con el fin de obtener plantas de arveja con gen afila para mejorar la capacidad de agarre sobre los hilos que sirven de tutor, reduciendo el acame o volcamiento (Riascos and Checa, 2018). En el proceso se obtuvo un grupo de líneas de arveja volubles con gen afila y con componentes de rendimientos similares a las variedades comerciales de hojas normales. Para que estas líneas se constituyan en una nueva opción productiva es necesario establecer su capacidad de rendimiento y adaptación en las zonas productoras de Nariño. El objetivo de la presente investigación fue determinar la adaptabilidad y estabilidad fenotípica de 20 líneas de arveja voluble con gen afila en diferentes ambientes del sur del departamento de Nariño y comparar la selección realizada a través de los métodos de Eberhart y Russell y AMMI.

MÉTODO

Localización

Las actividades de campo se llevaron a cabo en cinco municipios del sur del departamento de Nariño, que corresponden a Gualmatán (N00.91001°-W077.56337°), Ipiales (N00.86249°- W077.57143°), Potosí (N00.82494°- W077.56630°), Puerres (N00.86422°- W077.49900°) y Pupiales (N00.86792°- W077.64050°) con alturas de 2961, 2706, 2875, 2616 y 2754 msnm respectivamente. La precipitación registrada durante el cultivo en cada localidad se observa en el cuadro 1, de acuerdo con los datos consolidados y reportados para la época del presente estudio (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, 2019).

Cuadro 1. Datos de precipitación (mm) durante los meses del ciclo de cultivo de 22 genotipos de arveja (*Pisum sativum* L) evaluados en cinco localidades del departamento de Nariño.

Meses del cultivo											
Localidad	Localidad Marzo Abril Mayo Junio Julio Total										
Potosí	170,2	49,9	88,6	116,5	28,8	454					
Pupiales	179,9	82,8	107,9	104,2	43,2	518					
Ipiales	137,8	43,4	57,2	70,9	18,8	328,1					
Puerres	68,3	176,6	88,2	141,8	85,5	560,4					
Gualmatán	162,8	111,6	118,3	70,5	49,6	512,8					

Fuente: IDEAM (2019)

Material Genético

Se trabajó con 20 líneas (cuadro 2) de arveja voluble (*Pisum sativum* L.) con gen afila, pertenecientes al programa de mejoramiento de arveja del Grupo de investigación de Cultivos Andinos GRICAND, de la Universidad de Nariño. Estas líneas fueron obtenidas por cruzamientos y usando el método de retrocruzamiento abreviado (Checa *et al.*, 2020), en donde los padres recurrentes fueron las variedades Sindamanoy, Obonuco San Isidro y Obonuco Andina y los padres donantes del gen afila fueron las accesiones Dove, ILS3568 e ILS3575.

Cuadro 2. Identificación de las 20 líneas con gen afila y dos testigos comerciales de arveja voluble (*Pisum sativum* L.) evaluadas en este estudio.

Identificación genotipos	Genealogía	Identificación genotipos	Genealogía
GR 1	SX3575RC1F5L18	GR 17	SIXDRC1F5L29
GR 2	SX3575F51	GR 18	SIXDRC1F5L83
GR 3	SX3575F3RC1F5L3	GR 20	AXDF5L11
GR 4	SX3575RC1F5L11	GR 21	OBONUCO ANDINA
GR 7	AXDRC2F5L5	GR 22	SINDAMANOY
GR 9	SIXDRC1F5L48	GR 23	SIXDRC1F5L83 SIP1
GR 10	SX3575RC1F5L1	GR 24	SX3575RC1F5L18SIP1
GR 11	SX3568RC2F5L21	GR 25	SX3575RC1F5L3SIP3
GR 14	SX3568RC2F5L31	GR 27	AXDRC2F5L5SIP2
GR 15	SX3575F5L6	GR 28	SX3568RC2F5L31SIP1
GR 16	SIXDRC1F5L51	GR 29	SxDRC1F5L45SIP1

Diseño experimental

En cada localidad se estableció un ensayo con un diseño de bloques completo al azar con 22 tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos correspondieron a las 20 líneas de arveja voluble con gen afila y a dos testigos comerciales de hojas no afila identificados como Andina y Sindamanoy. La unidad experimental estuvo constituida por dos surcos de cuatro m de largo, con distancias entre surcos de 1,2 m y distancia entre sitios de 0,10 m depositando una semilla por sitio. La parcela útil correspondió a un área de 4,56 m² resultantes de descartar las plantas extremas de los surcos de cada unidad experimental. El periodo de evaluación fue durante el primer semestre de los años 2016 y 2017. La variable evaluada fue el rendimiento en vaina verde llevado a tha

Análisis estadístico

La adaptabilidad y estabilidad se analizó usando el modelo univariado de Eberhart & Russell (1966) (ecuación 1) y el modelo multivariado AMMI (Crossa *et al.*, 1990) (ecuación 2) utilizando el programa GENES (Cruz, 2001).

El modelo de Eberhart y Russell:

$$Yij = Ui + BiIj + \alpha ij + \sum ij$$
 (Ec. 1)

Dónde: Yi = promedio del genotipo i en el ambiente j; Ui = Promedio del genotipo i en todos los ambientes; Bi = Coeficiente de regresión, mide la respuesta del genotipo i al variar los ambientes; Ij = Índice ambiental del ambiente j-ésimo que se calcula como desviación del promedio de los genotipos en un ambiente dado a partir del promedio general; αij = Desviación de la regresión; $\sum ij$ = Error experimental promedio. De acuerdo con este modelo, un genotipo es estable si el coeficiente de regresión es igual a uno (y predecible cuando las desviaciones de la regresión son iguales a cero.

Modelo AMMI

$$Yge = \mu + \alpha g + \beta e + \sum_{k=1}^{n} \lambda n \, \delta gn \, \delta en + \rho ge$$
 (Ec. 2)

donde Yge es el rendimiento del genotipo g en el ambiente e; μ es la media general; αg es la desviación del genotipo de la media; βe es la desviación del entorno; αe el valor singular del componente principal (PC)n y en consecuencia, αe es su valor propio; αe es el valor del vector propio para el genotipo αe y el componente αe ; αe es el valor del vector propio para el entorno αe y el componente αe , con ambos vectores propios escalados como vectores unitarios y αe es el residual. El valor de estabilidad AMMI (ASV) se utilizó para comparar la estabilidad de los genotipos (Bocianowski αe αe); Purchase αe αe 0.

$$ASV = \sqrt{[(SSIPCA1/SSIPCA2) IPCA_1]^2 + IPCA_2^2}$$
(Ec. 3)

Donde SSIPCA1 y SSIPCA2 son las sumas de cuadrados del primer y segundo eje del componente principal de la interacción respectivamente; IPCA₁ e IPCA₂ es el valor genotípico de cada genotipo en el modelo AMMI; ASV es la distancia desde cero en dos dimensiones en el diagrama de dispersión de los valores de IPCA₁ frente a las puntuaciones de IPCA₂.

El índice de selección de genotipos (GSI) se calculó para cada genotipo con la ecuación 4:

$$GSIi = RYi + RASVi$$
 (Ec. 4)

Donde GSIi es el índice de selección para el i-ésimo genotipo; RYi es el orden de clasificación de rendimiento medio para el i-ésimo genotipo; RASVi es el orden de clasificación del valor de estabilidad AMMI para el i-ésimo genotipo, entendiendo que el valor que más se aproxima cero es más estable.

RESULTADOS

Adaptabilidad y Estabilidad

En el presente estudio la evaluación de la interacción genotipo por ambiente de 20 líneas y dos testigos comerciales permitió determinar que existe una interacción significativa localidad por genotipo (Cuadro 3) sugiere un comportamiento diferencial en el rendimiento de los genotipos a través de las cinco localidades. Lo anterior está relacionado con la naturaleza de la variable rendimiento que es de herencia cuantitativa. De acuerdo con Bocianowski et al. (2019), el rendimiento en arveja (*Pisum sativum* L.) está determinado por múltiples genes que causan cambios en la expresión de los genotipos en función de la oferta ambiental de cada zona.

Cuadro 3. Parámetros de adaptabilidad y estabilidad de Eberhart y Russell, en la evaluación de rendimiento en vaina verde de 20 líneas de arveja con gen afila (*P. sativum L.*) y dos testigos en cinco municipios del sur de Nariño Colombia.

Localidad	Gualmatán	Ipiales	Potosí	Puerres	Pupiales	
Media (t ha ⁻¹)	15,38	12,09	4,49	16,08	12,78	
Índice Ambiental	3,21	-0,79	-7,67	3,92	0,61	
Genotipo	Rendim t ha		ß= 1		S²d	
GR15	12,96 a	bcde	1,00	O ns	0,09 ns	
GR10	12,38 a	bcde	1,12	2 ns	-0,50 ns	
Sindamanoy	12,34 a	bcde	1,00	O ns	1,18 ns	
GR2	13,68 a	bc	1,34	4**	-0,72 ns	
GR28	13,87 a	ab	0,83	1*	-0,45 ns	
GR23	12,26 a	bcde	0,74	4**	0,01 ns	
Andina	14,22 a	1	1,14	1,62*		
GR3	12,66 a	bcde	1,00) ns	3,44**	
GR14	13,13 a	bcd	1,22	2 *	1,84*	
GR29	12,28 a	bcde	0,83	1*	1,32*	
GR7	12,06 k	ocde	0,98	2,73**		
GR27	11,97 k	ocde	1,13	0,98 ns		
GR1	11,72 c	de	1,07	6,94**		
GR11	11,52 c	de	0,80	5 ns	-0,39 ns	
GR4	11,45 c	de	1,14	4 ns	0,61 ns	
GR25	11,43 c	de	0,70	5 *	5,02**	
GR18	11,36 c	de	0,73	1**	0,08 ns	
GR9	11,35 c	de	0,87	7 ns	1,75*	
GR17	11,35 c	de	1,09	9 ns	2,60**	
GR20	11,31 (le	1,07	2,30**		
GR24	11,23 (le	1,08	4,36**		
GR16	11,1 e		1,0	-0,64 ns		
Media	12	2,16				

^{* =} Diferencias significativas (p<0,05); ** = diferencias altamente significativas p<0,01); ns= diferencias no significa Comparador Tukey para rendimiento (0,05) = 2,0165

En el análisis de adaptabilidad y estabilidad usando el modelo de Eberhart y Russell (1966), los ambientes favorables fueron Puerres y Gualmatán con promedios de rendimiento de 15,38 y 16, 09 t ha⁻¹ alcanzando los índices ambientales más altos, mientras que Potosí con 4,49 t ha⁻¹ fue el ambiente menos favorable (Cuadro 3), atribuido a las bajas precipitaciones presentadas en las épocas de floración y llenado de vaina, con un total acumulado de 454 mm (Cuadro 1) que está por debajo de los requerimientos reales del cultivo de arveja que son de 489,1 mm (Saha, 2011), siendo esta una condición aleatoria inesperada. Adicionalmente, en Potosí la condición característica de suelos con textura franco-arenosa, limitaron la capacidad de retención de humedad, afectando aún más la disponibilidad de agua para el cultivo. Las localidades de Ipiales y Pupiales (12,09 y 12,78 t ha⁻¹) obtuvieron índices ambientales intermedios. Es importante resaltar que en Ipiales la precipitación fue muy baja (328 mm) sin embargo, su deficiencia fue compensada con la aplicación de riego por aspersión.

Los genotipos GR15, GR10, GR2, GR28, GR23, GR3, GR14, GR29 y los testigos Sindamanoy y Andina con promedios de rendimiento en vaina verde comprendidos entre 12,26 y 14,22 t ha⁻¹ superaron la media general (12,16 t ha⁻¹) sin presentar diferencias significativas entre ellos (Cuadro 3). Dentro de este grupo, los parámetros de adaptabilidad y estabilidad muestran que las líneas GR15, GR10 y la variedad Sindamanoy, presentaron un β = 1 y una S²d=0 que, de acuerdo con Vencovsky y Barriga (1992), corresponden a genotipos adaptables y con un comportamiento predecible, convirtiéndose así en la mejor opción para los ambientes estudiados (Cuadro 3).

Dentro del mismo grupo de alto rendimiento, la línea GR2 (13,68 t ha⁻¹) presentó un β >1 y S²d=0, que sugiere mejor adaptación a los ambientes favorables como Puerres y Gualmatán con un comportamiento predecible, mientras que GR28 y GR23 (13,87 y 12,26 t ha⁻¹) obtuvieron un β <1 y S²d=0 que indica mejor desempeño en ambientes desfavorables como Potosí y comportamiento predecible. Los genotipos Andina, GR3, GR14 y GR29 a pesar de su alto rendimiento fueron no predecibles, por lo cual limitan sus posibilidades de recomendación para las localidades estudiadas.

Análisis de estabilidad AMMI

En el análisis de varianza la suma de cuadrados para el efecto ambiental tuvo el más alto efecto sobre el rendimiento obtenido en las líneas evaluadas, representando un 70,80 % de la suma de cuadrados total. La variación entre genotipos explicó un 3,36 % de la variación total y la interacción genotipo ambiente (GE) un 7,66 % (Cuadro 4). La alta proporción en la variación explicada por el ambiente sugiere que existieron ambientes altamente contrastantes, lo cual se relaciona con las variaciones en la oferta ambiental de las cinco localidades en donde se hizo la evaluación, entre ellas las diferencias en la precipitación pluvial.

Es común que cuando hay ambientes que marcan grandes diferencias, la suma de cuadrados explicada por el ambiente sea alta. Resultados similares fueron reportados por Bocianowsky *et al.* (2019), en la evaluación de genotipos de arveja en Polonia, con 89,19, 1,65 y 8,33 % para los efectos ambientales, genotipo e interacción GE, respectivamente. En promedio, el 40 % de las líneas con gen afila igualaron al testigo Andina y el 100 % no mostró diferencias con Sindamanoy (Cuadro 5). En la presente investigación, la baja variación observada para genotipos sugiere poca diversidad, lo cual es de esperar si se tiene en cuenta que hay un alto grado de parentesco entre varias de las líneas con el gen afila evaluadas, que fueron obtenidas por retrocruzamientos buscando recuperar las características de Obonuco Andina y Sindamanoy. La genealogía (Cuadro 2) muestra que siete líneas tienen un retrocruzamiento hacia la variedad Sindamanoy y tres líneas dos retrocruzamientos hacia la misma variedad: de igual forma cinco líneas tienen un retrocruzamiento hacia Obonuco San Isidro y dos líneas presentan dos retrocruzamientos hacia Obonuco Andina.

El modelo AMMI mostró que el primer componente principal (IPCA1) explicó el 39,8 % de la variación y el segundo (IPC2) el 25,21 % de la misma, de tal manera que el IPCA1 y el IPCA2 explicaron en conjunto el 65,01 % de la variación presente en la interacción GXA (Cuadro 4). Entre los ambientes probados, la menor contribución a la interacción en el primer componente principal fue la de Gualmatán (IPCAe1= -1,275) y el mayor aporte

lo hizo el ambiente de Puerres (IPCAe1= 2,255), mientras que en el segundo componente principal el menor aporte lo hizo Gualmatán (IPCAe2= -1,067) y el mayor la localidad de Potosí (IPCAe2= 1,816) (Cuadro 5).

Cuadro 4. Análisis de varianza AMMI para rendimiento en vaina verde en la evaluación de 20 líneas de arveja voluble con gen afila y dos testigos comerciales en 5 municipios del departamento de Nariño.

Fuente de variación	GI	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Variación explicada %
Modelo	112	9112,85	81,36**	86,31
Repeticiones	3	473,75	157,92**	4,49
Ambientes	4	7475,47	1868,87**	70,80
Genotipos	21	354,92	16,90*	3,36
GE	84	808,72	9,63**	7,66
Error	327	1445,91	4,42	13,69
Total	439	10558,76		100
Términos AMMI				
Amb*Gen	84	808,72	9,63**	100
IPCA1	24	321,82	13,41**	39,80
IPCA2	22	203,86	9,27**	25,21
IPCA3	20	172,26	8,61**	21,30
Residual	18	110,75	6,15	13,70
Error	327	1445,91	4,42	13,69
R ² =0,86	С	.V.%= 17,29 Rend	imiento promedio= 1	2,16 t ha ⁻¹

GI= Grados de libertad; GE= interacción genotipo ambiente; IPCA1= Componente principal1; IPCA2= Componente principal 2; IPCA3= Componente principal 3; R²= Coeficiente de determinación; CV %=Coeficiente de variación; *=Diferencias significativas (P<0.05); *=Diferencias altamente significativas (P<0.01).

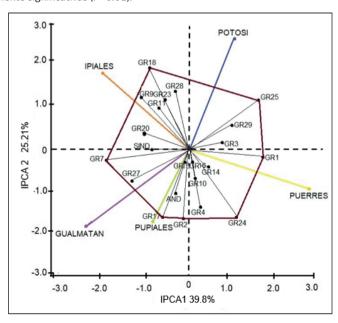


Figura 1. Gráfica AMMI Biplot para rendimiento en vaina verde (t ha $^{-1}$) de 20 líneas de arveja voluble (*Pisum sativum L.*) y dos testigos evaluados en cinco ambientes del sur del Departamento de Nariño.

La gráfica de Biplot del modelo AMMI muestra la distribución de los genotipos y los ambientes evaluados en los componentes principales de interacción 1 y 2 (Figura 1). Es importante tener presente que los vectores ambientales con la misma dirección de los vectores de los genotipos corresponden a los ambientes más favorables para dichos genotipos.

Cuadro 5. Promedios de rendimiento en verde (t ha-1) para genotipos y ambientes, valores genotípicos del análisis de componentes principales, valores de estabilidad AMMI (ASV) e índice de selección de genotipos (GSI), para las líneas de arveja con gen afila evaluadas.

Línea	Gualmatán	Ipiales	Potosí	Puerres	Pupiales	Media	IPCA ₁	IPCA ₂	Estabilidad (ASV)	GSI
Andina	19,97	12,89	6	18,12	14,1	14,22 a	-0,19802	-0,59122	0,669	6
GR15	17,41	12,1	5,63	16,59	13,09	12,96 abcde	-0,08879	-0,10958	0,178	7
GR14	16,7	14,2	4,03	19,07	11,66	13,13 abcd	0,28103	-0,17112	0,476	8
GR28	17,07	14,04	7,72	16,84	13,66	13,87 ab	-0.11426	0,64599	0,671	8
GR10	15,38	12,24	3,69	16,87	13,73	12,38 abcde	0,06856	-0,40215	0,416	10
GR2	17,9	13,91	3,36	18,9	14,31	13,68 abc	-0,06781	-0,92201	0,928	14
GR23	14,62	12,22	6,23	14,3	13,93	12,26 abcde	-0,2787	0,603	0,746	18
Sind	17,32	12,74	4,67	15,09	11,9	12,34 abcde	-0,56343	0,08485	0,893	18
GR3	12,95	13,45	4,57	18,1	14,21	12,66 abcde	0,59917	0,16131	0,960	19
GR11	14;.91	11,85	4,83	14,16	11,84	11,52 de	-0,31387	0,46265	0,678	21
GR16	14,08	11,42	2,79	15,42	11,8	11,1 e	0,02364	-0,1242	0,130	23
GR4	14,74	10,15	2,7	15,89	13,75	11,45 de	0,12881	-0,76024	0,787	24
GR27	15,85	13,18	2,59	14,82	13,39	11,97 bcde	-0,71644	-0,34339	1,182	27
GR29	13,66	10,98	6,5	17,19	13,06	12,28 abcde	0,82149	0,44736	1,372	28
GR17	16,06	9,29	3,07	14,45	13,86	11,35 de	-0,2779	-0,84636	0,953	30
GR7	16,06	13,06	3,74	13,43	14,03	12,06 bcde	-1,02037	-0,04002	1,611	31
GR18	14,35	12,26	5,64	13,23	11,31	11,36 de	-0,43826	0,99099	1,209	33
GR20	15,03	13,74	2,57	14,41	10,82	11,31 de	-0,66445	0,26389	1,082	34
GR1	13,87	9,98	4,75	19,57	10,42	11,72 cde	1,51692	-0,05637	2,395	35
GR9	14,13	13,57	3,96	13,44	11,64	11,35 de	-0,68577	0,71565	1,298	36
GR25	12,28	10,31	6,45	17,69	10,4	11,43 de	1,35698	0,86493	2,310	37
GR24	13,93	8,29	3,32	16,31	14,31	11,23 de	0,63147	-0,87396	1,326	39
IPCAe1	-1,275	-1,262	0,700	2,255	-0,418					
IPCAe2	-1,067	1,034	1,816	-0,774	-1,013					
Media	15,38	12,09	4,49	16,08	12,78	12,16				

De acuerdo con la gráfica de biplot obtenida, los genotipos con mayor respuesta a los estímulos ambientales fueron: GR25, GR1, GR24, GR17, GR7 y GR18. La proyección ortogonal de los genotipos sobre los vectores de las localidades, indica que la línea GR25 presentó interacción favorable en las condiciones de baja precipitación presentadas en Potosí; GR1 y GR24 en la localidad de Puerres; GR7 en Gualmatán y GR18 en Ipiales (Figura 1, Cuadro 4); estas líneas lograron superar el promedio en la respectiva localidad donde se tuvo la interacción favorable.

Por otra parte, valores de estabilidad de AMMI (ASV) cercanos a cero indica mayor estabilidad del genotipo a través de las localidades. La línea GR16 mostró la mayor estabilidad (ASV = 0,130), sin embargo, su rendimiento estuvo por debajo de la media general. Nueve genotipos correspondientes a siete líneas con gen afila y los testigos Andina y Sindamanoy alcanzaron rendimientos superiores a la media general y mayor estabilidad al presentar los valores ASV más bajos (entre 0,178 y 0,96) (Cuadro 5). Luego de aplicar el índice de selección GSI, se determinó el siguiente orden de mérito para los nueve genotipos mencionados: Andina, GR15, GR14, GR28, GR10, GR2, GR23, Sindamanoy y GR3 (Cuadro 5). En la gráfica biplot estos genotipos se encuentran cercanos al punto de origen confirmando su estabilidad, condición que unida al rendimiento, les da la posibilidad de ser seleccionados para los ambientes estudiados. Es probable que el resultado obtenido con el modelo AMMI sea

más confiable teniendo en cuenta que el mismo separa los efectos principales y captura una gran proporción de la suma de cuadrados de la interacción. La mayor confiabilidad del modelo AMMI, ha permitido su amplio uso en el mejoramiento genético en cultivos de importancia económica como maíz (Bocianowski et al., 2018), cebada (Maniruzzaman et al., 2019) algodón (Riaz et al., 2019), trigo (Sardouei et al., 2019), papa (Tirado et al., 2020), arroz (Huang et al., 2021), arveja (CHianowski et al., 2019).

Al comparar la identidad de los genotipos seleccionados en el modelo AMMI, por su rendimiento y mayor estabilidad (Andina, GR15, GR14, GR28, GR10, GR2, GR23, Sindamanoy y GR3) respecto a los seleccionados en el modelo Eberhart y Russell (GR3, GR15, GR10 Andina y Sindamanoy), por rendimiento y adaptabilidad, se observa una coincidencia del 65,5 %. Cuando en el método de Eberhart y Russell se tienen en cuenta además del parámetro de adaptabilidad (β =1), las desviaciones de la regresión (S^2 d =0) para definir la predecibilidad, entonces los genotipos seleccionados por cumplir las dos condiciones y superar la media general son las líneas con gen afila GR10 y GR15 y la variedad Sindamanoy. En este caso la coincidencia con la selección que se realiza en el método AMMI se reduce al 33.3 %.

CONCLUSIONES

Se obtuvo un alto efecto ambiental resultante de ambientes contrastantes entre las localidades estudiadas, sin embargo, el aporte de los genotipos a la variación observada reveló baja diversidad entre las líneas afila evaluadas. El índice de selección aplicado en el modelo AMMI permitió identificar a las líneas de arveja con gen afila, GR15, GR14, GR28, GR10, GR2, GR23 y GR3 y a las variedades Andina y Sindamanoy como genotipos estables y de alto rendimiento, El modelo Eberhart y Russell identificó a las líneas GR10 y GR15 y a la variedad Sindamanoy como de alto rendimiento, adaptables y predecibles, con una coincidencia respecto al modelo AMMI del 33;33 %.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Grupo Cultivos Andinos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño, por su apoyo en el establecimiento de los ensayos de campo; al Centro Internacional de Producción Limpia, Sena Lope Seccional Nariño, por permitir el desarrollo de esta investigación en sus instalaciones.

REFERENCIAS

- BOCIANOWSKI, JAN; SZULC, PIORT; NOWOSAD, KAMILA. Soil tillage methods by years interaction for dry matter of plant yield of maize (*Zea mays* L.) using additive main effects and multiplicative interaction model. Journal of Integrative Agriculture, v. 17, n. 12, 2018. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62085-4
- BOCIANOWSKI, JAN; KSIĘŻAK, JERZY; NOWOSAD, KAMILA. Genotype by environment interaction for seeds yield in pea (*Pisum sativum* L.) using additive main effects and multiplicative interaction model. Euphytica, v. 191, 2019.
 - https://doi.org/10.1007/s10681-019-2515-1
- CHECA-CORAL, OSCAR-EDUARDO; BASTIDAS-ACOSTA, JHULIANA-ESTEFANY; NARVÁEZ-TAIMAL, OLGA-CRISTINA. Evaluación agronómica y económica de arveja arbustiva (*Pisum sativum L.*) en diferentes épocas de siembra y sistemas de tutorado. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, v. 20, n. 2, 2017 https://doi.org/10.31910/rudca.v20.n2.2017.380

- CHECA-CORAL, OSCAR-EDUARDO; RODRIGUEZ, MARINO; WU, XINGBO; BLAIR, MATTHEW-WOHLGEMUTH. Introgression of the *Afila* Gene into Climbing Garden Pea (*Pisum sativum* L.). *Agronomy*, v. 10, n. 10, 2020, e1537.
 - https://doi.org/10.3390/agronomy10101537
- CHECA-CORAL, OSCAR-EDUARDO; RODRIGUEZ-RODRIGUEZ, DANIEL-MARINO; RUÍZ-ERASO, MARCO-HUGO; MURIEL-FIGUEROA, JESUS-EDUARDO. La arveja Investigación y tecnología en el sur de Colombia. 1 ed. San Juan de Pasto (Colombia): Editorial Universidad de Nariño, 2021, 217 p, ISBN 978-628-7509-07-8
- CROSSA, J.; GAUCH, H.; ZOBEL, R. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international cultivar trials. Crop Science, v. 30, n. 3, 1990. https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000330003x
- CRUZ, C,D, Programa Genes: Versao Windows, aplicativo computacional en genética y estadística. Vicosa (Brasil), v.1, 2001, 648 p.
- EBERHART, S.; RUSSELL, W. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science, v. 6, n. 1, 1966. https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x
- HUANG, XING; JANG, SU; KIM, BACKKI; PIAO, ZHONGZE; REDONA, EDILBERTO; KOH, HEE-JONG. Evaluating Genotype × Environment Interactions of Yield Traits and Adaptability in Rice Cultivars Grown under Temperate, Subtropical and Tropical Environments *Agriculture*, v.11, n. 6, 2021. https://doi.org/10.3390/agriculture11060558
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA (IDEAM). Departamento Administrativo de Estadística. 2019. www.ideam.gov.co [consultado enero 1 de 2019].
- MANIRUZZAMAN, M.Z.; ISLAM, M.; BEGUM, F.; KHAN, MAA; AMIRUZZAMAN, M.; HOSSAIN, AKBAR. "Evaluation of yield stability of seven barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes in multiple environments using GGE biplot and AMMI model". Open Agriculture, v. 4, n. 1, 2019. https://doi.org/10.1515/opag-2019-0027
- MOHAMMADI, REZA; SADEGHZADEH, BEHZAD; POURSIAHBIDI, MOHAMMAD-MEHDI; AHMADI, MALAK-MASOUD. Integrating univariate and multivariate statistical models to investigate genotype × environment interaction in durum wheat. Annals of Applied Biology, v. 178, n. 3, 2021, p. 450–465. https://doi.org/10.1111/aab.12648
- NAJAFI, EHSAN; DEVINENI, NARESH; KHANBILVARDI, REZAM.; KOGAN, FELIX. Understanding the changes in global crop yields through changes in climate and technology. Earth's Future, v. 6, n. 3, 2018. https://doi.org/10.1002/2017EF000690
- PARIHAR, A.K.; DIXIT, G.; BOHRA, A.; GUPTA, D. SEN; SINGH-ANIL, K.; KUMAR, NITIN-KUMAR; SINGH, D.; SINGH, N. Genetic Advancement in Dry Pea (*Pisum sativum L.*): Retrospect and Prospect. In Accelerated Plant Breeding; Gosal, S.S., Wani, S.H., Eds.; Springer Nature: Cham, Switzerland, v.3, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-47306-8_10
- PURCHASE, J.; HATTING, HESTA; VAN-DEVENTER, CS. Genotype environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum L.*) in South África. Stability analysis of yield performance. South African Journal of Plant and Soil, v. 17, n. 3, 2013.https://doi.org/10.1080/02571862.2000.10634878
- RANA, CHANCHAL; SHARMA, AKHILESH; SHARMA, K.; MITTAL, PANKAJ; SINHA, BHRIGU; SHARMA, VINOD; CHANDEL, ANAMIKA; THAKUR, HAMENT; KAILA, VINEETA; SHARMA, PRAVEEN; RANA, VIJAY. Stability analysis of garden pea (*Pisum sativum* L.) genotypes under North Western Himalayas using joint regression analysis and GGE biplots. Genetic Resources and Crop Evolution, v. 68, 2021. https://doi.org/10.1007/s10722-020-01040-0
- RECKLING, MORITZ; BERGKVIST, GÖRAN; WATSON, CHRISTINE; STODDARD, FREDERICK; BACHINGER, JOHANN. Re-designing organic grain legume cropping systems using systems agronomy. European Journal of Agronomy, v. 112, 2020, e125951. https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.125951

- RECKLING, MORITZ; AHRENDS, HELLA; CHEN, TSU-WEI; EUGSTER, WERNER; HADASCH, STEFFEN; KNAPP, SAMUEL; LAIDIG, FRIEDRICH; LINSTÄDTER, ANJA; MACHOLDT, JANNA; PIEPHO, HANS-PETER; SCHIFFERS, KATJA; DÖRING, THOMAS. Methods of yield stability analysis in long-term field experiments. A review. Agronomy for Sustainable Development, v. 41, n. 27, 2021. https://doi.org/10.1007/s13593-021-00681-4
- RIASCOS-DELGADO, MARCELA; CHECA-CORAL, OSCAR E. Evaluación y selección de líneas de arveja con gen afila bajo dos densidades de población. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, v. 21, n. 2, 2018. https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.984
- RIAZ, MUHAMMAD; FAROOQ, JEHANZEB; AHMED, SAGHIR; AMIN, MUHAMMAD; CHATTHA, WAQAS; AYOUB, MARIA; KAINTH, RIAZ-AHMEN. Stability analysis of different cotton genotypes under normal and water-deficit conditions. Journal of Integrative Agriculture, v. 18, n. 6, 2019. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62041-6
- ROSERO-LOMBANA, V.; CHECA-CORAL, O. Morphological characterization and hierarchical classification of 40 bush pea genotypes (*Pisum sativum L.*). Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, v. 15, n. 2, 2021, e12078. https://doi.org/10.17584/rcch.2021v15i2.12078
- SARDOUEI-NASAB, SOMAYEH; MOHAMMADI-NEJAD, GHASEM; NAKHODA, BABAK. Yield stability in bread wheat germplasm across drought stress and non stress conditions. Agronomy Journal, v. 111, n. 1, 2019. https://doi.org/10.2134/agronj2018.06.0381
- SAHA, R. Prediction of water requirement of garden pea (*Pisum sativum*) under hilly agro-ecosystem of Meghalaya. Indian Journal of Agricultural Sciences. v. 81, n.7, 2011, p. 633–636.
- SMITCHGER, JAMIN; WEEDEN, NORMAN. Quantitative Trait Loci controlling Lodging Resistance and other Important Agronomic Traits in Dry Field. Peas. Crop Science, v. 59, n.4, 2019. https://doi.org/10.2135/cropsci2018.04.0260
- TIGCHELAAR, MICHELLE; BATTISTI, DAVID; NAYLOR, ROSAMOND; RAY, DEEPAK. Future warming increases probability of globally synchronized maize production shocks. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 115, n.26, 2018. https://doi.org/10.1073/pnas.1718031115
- TIRADO-LARA, ROBERTO; TIRADO-MALAVER, ROBERTO; MAYTA-HUATUCO, EGMA; AMOROS-BRIONES, WALTER. Identificación de clones de papa con pulpa pigmentada de alto rendimiento comercial y mejor calidad de fritura. Estabilidad y análisis multivariado de la interacción genotipo-ambiente. Scientia Agropecuaria, v. 11, n. 3, 2020.https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.04 http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172020000300323&script=sci_arttext
- VENCOVSKY, ROLAND; BARRIGA, PATRICIO. Genética biométrica no fitomejoramiento. Sao Paulo (Brasil): Sociedade Brasileira de Genética, 1992, p. 496.
- WATSON, CHRISTINE; RECKLING, MORTIZ; PREISSEL, SARA; BACHINGER, JOHANN; BERGKVIST, GORAN; KUHLMAN, TOM; LINDSTRÖM, KRISTINA; NEMECEK, THOMAS; TOPP, CAIRISTIONA; VANHATALO, AILA; ZANDER, PETER; MURPHY-BOKERN, DONAL; STODDARD, FRED. Grain legume production and use in European agricultural systems. Advances in Agronomy v. 144, n. 1, 2017. https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.03.003
- WEBBER, HEIDI; LISCHEID, GUNNAR; SOMMER, MICHAEL; FINGER, ROBERT; NENDEL, CLAAS; GAISER, THOMAS; EWERT, FRANK. No perfect storm for crop yield failure in Germany. Environmental Research Letters, v. 15, n. 10, 2020, e104012. https://doi.org/10.1088/1748-9326/aba2a4
- ZOBEL, RICHARD W.; WRIGHT, MADISON J.; GAUCH, HUGH. Statistical analysis of yield trial. Agronomy Journal. v. 80, n. 3, 1988.
 - https://doi.org/10.2134/agronj1988.00021962008000030002x

BIOTECNOLOGÍA EN EL SECTOR AGROPECUARIO Y AGROINDUSTRIAL

Vol. 21 No 1 · Enero-Junio 2023 · ISSN-1692-3561 · ISSN-e 1909-9959 · DOI: https://doi.org/10.18684

Resistencia de genotipos de ñame Dioscorea spp a la antracnosis Colletotrichum gloeosporioides Penz*

Resistance of yam genotypes Dioscorea spp to anthracnose Colletotrichum gloeosporioides Penz

CAMPO-ARANA, RODRIGO-ORLANDO¹; OBANDO-ECHEVARRÍA, MARTÍN²; PÉREZ-POLO, DAIRO³

Historial del artículo

Recibido para evaluación: 17 de Agosto2021 Aprobado para publicación: 18 de Julio 2022

- * Proyecto de investigación origen: "Estrategias ecosostenibles para el manejo de enfermedades en cultivos tropicales de la región Caribe, colombiana". Financiación: Universidad de Córdoba. Finalización: diciembre de 2018.
- 1 Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo de Investigación Agricultura Sostenible. M.Sc. Ph.D. Monteria, Colombia. https://orcid.org/0000-0001-7649-7509
- Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo de Investigación Agricultura Sostenible. Ingeniero Agrónomo. Monteria, Colombia. https://orcid.org/0000-0002-9029-561X
- 3 Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo de Investigación Agricultura Sostenible. M.Sc. Monteria, Colombia. https://orcid.org/0000-0001-9041-5856

Correspondencia: rocampoarana@correo.unicordoba.edu.co

Cómo citar este artículo

CAMPO-ARANA, RODRIGO-ORLANDO; OBANDO-ECHEVARRÍA, MARTÍN; PÉREZ-POLO, DAIRO. Resistencia de genotipos de ñame Dioscorea spp a la antracnosis Colletotrichum gloeosporioides Penz. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, v. 21, n. 1, 2023, p.85-96. Doi: https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n1.2023.1985



RESUMEN

El ñame Dioscorea spp., es un cultivo de importancia económica en el Caribe colombiano, hace parte de la dieta alimenticia y del sustento para los productores. La antracnosis Colletotrichum gloeosporioides es una de las enfermedades más limitantes de la producción del ñame, reportándose en Colombia pérdidas entre el 50 y 100 %. Se evaluó la resistencia a la antracnosis en 84 accesiones de D. alata y 28 de D. rotundata, pertenecientes a la colección de ñame de la Universidad de Córdoba, a los 120, 150 y 180 días después de la siembra (DDS), empleando una escala de severidad de 0-6. Las accesiones fueron clasificadas por su resistencia, empleando el método de la suma de rangos del área bajo la curva de progreso ABCPE y el método de la severidad a los 120, 150 y 180 DDS. Se ajustó La severidad a los 180 DDS tuvo fuerte relación lineal r = 0,99 con la variable integral área bajo la curva de progreso de la enfermedad ABCPE y la tasa de progreso de la enfermedad TPE. La clasificación de la resistencia por el método de la suma de rangos fue la más eficiente identificando en D. alata 18 accesiones resistentes R, 24 moderadamente resistente MR, 26 moderadamente susceptible MS y 16 susceptibles S. En la especie D. rotundata se identificaron 5 accesiones R, 8 MR, 8 MS, 6 S. La colección de ñame de la Universidad de Córdoba tiene accesiones con resistencia a la antracnosis, siendo importante iniciar con estas accesiones trabajos de mejoramiento, para identificar sus características agronómicas.

PALABRAS CLAVE:

Área bajo la curva de progreso; Banco de germoplasma; Dioscorea alata; Dioscorea rotundata; Enfermedades fungosas; Epidemiología; Fitopatología; Método de sumas de rangos; Resistencia genética; Ñame.

ABSTRACT

The yam Dioscorea spp., Is a crop of economic importance in the Colombian Caribbean, it is part of the food and sustenance diet for the producers. Anthracnose Colletotrichum gloeosporioides is one of the most limiting diseases in the production of yam, with losses between 50 and 100 % being reported in Colombia. The resistance to anthracnose was evaluated in 84 accessions of D. alata and 28 of D. rotundata, belonging to the collection of yam from the University of Córdoba, at 120, 150 and 180 days after sowing DDS, using a severity scale of 0-6. The accessions were classified according to their resistance, using the method of the sum of ranges of the area under the ABCPE progress curve and the method of severity at 120, 150 and 180 DDS. The severity at 180 DDS had a strong linear relationship r = 0.99 with the integral variable area under the ABCPE disease progression curve and the TPE disease progression rate. The classification of resistance by the rank sum method was the most efficient, identifying in D. alata 18 resistant R accessions, 24 moderately resistant MR, 26 moderately susceptible MS and 16 susceptible S. In the species D. rotundata were identified 5 accessions R, 8 MR, 8 MS, 6 S. The yam collection at the University of Córdoba has accessions with resistance to anthracnose, and it is important to start improvement work with these accessions to identify their agronomic characteristics.

KEY WORDS:

Area under the curve of progress; *Dioscorea alata*; *Dioscorea rotundata*; Epidemiology; Fungal diseases; Genetic resistance; Germoplasm Bank; Plant pathology; Range sums method; Yam.

INTRODUCCIÓN

El ñame, *Dioscorea* spp. es un cultivo básico de la dieta de millones de personas habitantes en regiones tropicales y subtropicales del mundo, su valor nutricional respalda su importancia en la seguridad alimentaria (Kiba *et al.*, 2020; Morse, 2021). En el Caribe colombiano es el tubérculo más cultivado, es básico de la dieta de sus pobladores y los excedentes son una fuente de ingresos (Pérez y Campo, 2016). El ñame, además de su consumo fresco ha ganado importancia en la industria farmacéutica Wumbei *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2021), igualmente, la presencia de polisacáridos con capacidad antioxidante, ha estimulado su consumo en la dieta humana (Zhou *et al.*, 2021; Shao *et al.*, 2022).

La producción mundial de ñame es de 74.321.794 t, de las cuales el 90 % son producidas en Nigeria con 50.052.977 t, seguido por Ghana 8.288.198 t, Costa de Marfil 7.148.000 t y Benín con 3.088.498 t; Colombia se ubica en el noveno lugar con 409.165 t, según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2019). En Colombia, la producción en el 2019 fue de 302.893,82 t; donde el 77 % se produjo en la región Caribe, en los departamentos de Bolívar y Córdoba y Sucre con 111.064, 85.288 y 37.269 t, respectivamente, de acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR, 2019), es un cultivo de economía familiar (MADR, 2020) que tiene como limitantes de la producción, la baja tecnología y bajos rendimientos (Kiba *et al.*, 2020).

Las especies más cultivadas son *Dioscorea alata* L. y *Dioscorea rotundata* Poir (Campo y Royet, 2020), donde *D. alata* es la más susceptible a la antracnosis *Colletotrichum gloeosporioides* Penz (Campo *et al.*, 2009). La antracnosis es considerada como la enfermedad más devastadora del cultivo en el mundo (Kwodaga *et al.*, 2019; Ntui *et al.*, 2021) cuyos síntomas se presentan inicialmente en las hojas, con la aparición de puntos rojos, que con el tiempo se necrosan, los tallos se ennegrecen y en los genotipos susceptibles se presenta necrosis apical y muerte descendente (Campo y Royet, 2020).

Los síntomas de la antracnosis en los genotipos de *D. alata* y *D. rotundata*, se manifiestan entre ellos con diferentes niveles de daño debido a la variabilidad genética entre los cultivares y a la diversidad patogénica de los aislados de *C. gloesporioides* (Onyeca *et al.*, 2006; Jiménez *et al.*, 2009). Los cultivares de *D. alata* más sembrados en la región Caribe colombiana se identifican con los nombres regionales de Diamante 22, Concha de coco y Osito, siendo los dos últimos los de mayor susceptibilidad, pero los más preferidos por el consumidor local (Campo y Royet, 2020).

La estrategia más recomendada para el manejo de la enfermedad es el manejo integrado (Campo y Royet, 2020), destacándose el uso de la resistencia genética, ya que el control químico presenta limitantes al detectarse la resistencia de aislados de *Colletotrichum* spp. a varias moléculas fungicidas empleadas en el manejo (Han *et al.*, 2018; Arce *et al.*, 2019); se reporta resistencia a carbendazim (Hant *et al.*, 2018) y a tebuconazol (*Kim et al.*, 2020); además, el control químico no ha sido adoptado por los pequeños, los cuales no disponen de la tecnología ni del presupuesto para invertir en estrategias que involucren el empleo de agrotóxicos (Nwadili *et al.*, 2017). Otra estrategia que se viene investigando a nivel *In vitro* es el uso de aceites esenciales y de extractos vegetales, con resultados promisorios (Pérez *et al.*, 2017; Kwodaga *et al.*, 2019). En el manejo de la enfermedad no se puede descuidar el manejo de las malezas, ya que 15 familias de arvenses se han reportado hospedantes de *C. gloeosporioides* y *C. truncatum* (Dentika *et al.*, 2021).

La resistencia genética es la estrategia en la que más se ha investigado, obteniéndose resultados promisorios con cruzamientos inter específicos, sin embargo, aún no se ha logrado una buena calidad de tubérculos (Lebot et al., 2019). El mejoramiento clásico se dificulta por la baja tasa de compactibilidad de la biología floral de la especie y entre especies, siendo importante abordar otras estrategias de mejoramiento (Mondo et al., 2020). La identificación de genotipos con resistencia a la antracnosis en los bancos de germoplasma de ñame se ha realizado en diferentes ambientes, mediante experimentos en campo, casa de malla o laboratorio, bien sea con

inoculaciones artificiales o evaluación en áreas epidémicas (Nwadili et al. 2017; Ayisah et al., 2019; Arya et al., 2019). La clasificación de la resistencia se realiza con escalas de severidad (Simons y Green, 1994), a los 120, 150, o 180 días después de la siembra (Onyeca et al., 2006). Correspondiendo para el Caribe húmedo colombiano con las fases fenológicas de máximo crecimiento vegetativo, tuberización media y máximo llenado del tubérculo respectivamente (Campo y Pérez, 2015). Otras investigaciones reportan exitosamente la evaluación de la resistencia de germoplasma a enfermedades, empleando herramientas estadísticas como la determinación del área bajo la curva de progreso de la enfermedad (Onyeca et al., 2006; Ariyo et al., 2014), sin embargo, la aparición de nuevas cepas de Colletotrichum spp. en los cultivos de ñame mucho más virulentas, hacen que el desarrollo de nuevas variedades con resistencia a la enfermedad sea cada vez más crítico (Ntui et al., 2021)

En Colombia, son pocos los estudios que se han realizado para identificar la resistencia de las diferentes colecciones de ñame a la antracnosis, lo cual es importante realizarlo periódicamente debido a la dinámica de poblaciones de *Colletotrichum* spp., causantes de la antracnosis, reportándose aislados con diferentes grados de virulencia; por lo tanto se plantea este estudio para evaluar la resistencia de las accesiones de *D. alata* y *D.* rotundata, pertenecientes a la colección de ñame de la Universidad de Córdoba, Colombia, a la enfermedad.

MÉTODO

Localización

La investigación se realizó en el banco de germoplasma de *Dioscorea* spp. del campus de la Universidad de Córdoba, ubicado en el municipio de Montería a 14 m.s.n.m. 8° 44' latitud norte y 75° 53' de longitud oeste con precipitación anual de 1.346,1 mm humedad relativa del 84 %, temperatura promedio de 27,4 °C y brillo solar de 2.108,2 horas, según el Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales (IDEAM, 2020).

Establecimiento del experimento. En junio de 2015, se establecieron 84 accesiones de *D. alata* (Cuadro 1) y 28 accesiones de *D. rotundata* (Cuadro 2) en el campus de la Universidad de Córdoba, área endémica de la enfermedad (Pérez y Campo, 2016). Cada accesión fue sembrada en parcelas de dos surcos de 5 m de largo a 1 m entre plantas y entre surcos. La severidad de cada accesión se determinó evaluando tres plantas por surco, en los tercios inferior, medio y superior del dosel a los 120, 150 y 180 días después de la siembra DDS, empleando la escala de Simons y Green (1994).

Clasificación de los genotipos por su resistencia a la antracnosis. El agrupamiento se realizó con los datos obtenidos con la escala de severidad empleando dos métodos: el primero se hizo siguiendo la metodología Simons y Green (1994) con modificaciones, agrupando como resistentes las accesiones con un daño foliar entre 0 y 12 % (clases 0, 1, 2 y 3), moderadamente resistentes, clase 4=entre 12 y 25 %; mediana susceptibilidad clase 5= entre 25 y 50 %; susceptible clase 6= > 50 %, a los 120, 150 y 180 días después de la siembra.

El segundo método fue el de agrupar las accesiones de acuerdo con la desviación estándar (DE) con la gran media; para esto se determinó el área bajo la curva de progreso de la enfermedad ABCPE, la cual se hizo con la integral de la severidad a los 120, 150 y 180 días después de la siembra (Campbel y Madden, 1990). Empleando Excel se asignó un rango para cada accesión, se estimó la gran media del rango y se clasificó la resistencia de cada genotipo basándose en la desviación estándar con la gran media, donde, de -2 a -1,1 desviaciones estándar DE se clasificaron como resistentes; de -1,0 a -0,1 DE como moderadamente resistentes; de 0,0 a 1,0 DE como moderadamente susceptibles y de 1,1 a 2,0 DE como susceptibles (Onyeka *et al.*, 2006).

Finalmente, se determinó la relación lineal entre los parámetros de la enfermedad, escala de severidad, ABCPE y la tasa de progreso de la enfermedad. Este análisis fue realizado con el programa estadístico SAS (Statical Analysis Software) versión 9.4.

Cuadro 1. Accesiones establecidas de Dioscorea alata en el banco de germoplasma de la Universidad de Córdoba durante el año 2015.

Accesión	Nombre vulgar	Accesión	Nombre vulgar	Accesión	Nombre vulgar
002	Pepita	056	Seda	122	Criollo largo
003	Osito	059	Criollo	123	Cenizo
004	Seda	056	Seda	124	Oso red ondo
005	Osito	059	Criollo	126	Mestizo
006	Peludo	061	Mampujan	127	Mestizo (B)
007	Colonero	063	Manteco	128	Criollo peludo
008	Peludo	064	Osito	130	Te encontré
009	Mampujan	065	Diamante 22	131	Plateño
012	Seda	066	Osito	132	Mestizo redondo
013	Osito M.	067	Osito	133	Mestizo largo
016	Colonero	068	Bolañero	134	Seda
019	Osito	069	Bolañero	135	Lomo de caimán
020	Osito	070	Diamante 22	136	Palanca
021	Osito	071	Seda	137	Concha de coco largo
022	Pico de botella	072	Osito	138	Palomero
024	Peludo	073	Pico de botella	140	Coco
025	Bolañero	093	Osito	141	Oso largo
027	Diamante 22	094	Mampujan	143	Pico de botella
028	Osito	098	Mampujan	145	Manito criolla
029	Bolañero	099	Mampujan	146	Criollo
034	Pico de botella	100	Ecuatoriano	147	Seda
035	Pico de botella	101	Peludo	148	Mestizo (morado)
036	Osito	103	Morado	149	Concha de coco redondo
037	Mampujan	106	Mampujan (totuma)	150	Criollo pelado
038	Pico de botella	108	CB-1138	159	TDA 297
040	Canilla de muerto	109	CB-1280	160	TDA 98/011/83
042	Pico de botella	110	CB-1104	161	Osito higuerón
043	Osito	111	CB-1172	162	Mestizo
044	Canilla de muerto	112	Peludo	163	Criollo
045	Seda	113	Pico de botella	164	Medio pelo
046	Osito	114	Pico de botella	165	Criollo
047	Seda	116	Pico de botella	166	Mestizo
048	Seda	117	Manteco	171	TDR 98/01174
049	Pepita	118	Cola de caimán		
052	Osito	119	Mestizo		
053	Seda	121	Pelado redondo		

Cuadro 2. Accesiones establecidas de Dioscorea rotundata en el banco de germoplasma de la Universidad de Córdoba durante el año 2015.

Accesión	Nombre vulgar	Accesión	Nombre vulgar	Accesión	Nombre vulgar
010	Espino	085	Espino	153	Espino tradicional
041	Espino	086	Espino	154	Ñame sahino
051	Espino	087	Espino	157	TDC 95-293
057	Espino	088	Espino	158	TDC 95-294
060	Espino	089	Espino	167	TDR 98/01619
074	Espino	090	Espino	168	TDR 96/02456
075	Espino	091	Espino	169	TDR 98/00933
076	Espino	092	Espino	170	TDR 98/00515
077	Espino	095	Espino	172	TDR 96/02528
078	Espino	096	Espino	173	TDR 96/02312
079	Espino	097	Espino	174	TDR 98/00686
080	Espino	115	Espino	175	TDR 98/01267
081	Espino	125	Espino brasilero	176	TDR 98/01750
082	Espino	129	Espino venezolano	178	Espino brasilero
083	Espino	142	Espino tallo morado		
084	Espino	144	Ñame tachuela		

RESULTADOS

Las accesiones de ñame de *D. alata* y *D. rotundata* fueron afectadas por la antracnosis en diferentes grados de severidad, presentándose los primeros síntomas a partir de los 120 días después de la siembra DDS, en tanto que la epidemia se estableció aproximadamente desde los 160 DDS. La clasificación de la resistencia en los puntos críticos 120 y 150 DDS, no pudo realizarse por presentar baja severidad.

Con relación a las especies, las accesiones de *D. alata* fueron más susceptibles, presentándose a los 180 DDS una severidad media de 32,6 %, observándose presencia de la enfermedad en las 84 accesiones siendo la accesión 164 la menos afectada con 0,27 % y la más afectada fue la accesión 027 con 83,3 %. La media de la severidad de las accesiones de *D. rotundata* fue de 15,5 %, siendo la menos afectada la accesión 293 con 0,86 % y la más afectada la 086 con 55,2 %.

La distribución de la antracnosis en el dosel de la planta, independiente de la especie, se desarrolló de forma ascendente, manifestándose inicialmente en el tercio inferior. La severidad a los 180 DDS en promedio para *D. alata* en el tercio inferior fue del 40 %, mientras que en *D. rotundata* fue del 31 %. Las clasificaciones de la resistencia de las accesiones se presentan en las Cuadros 3 y 4, observándose variabilidad en la resistencia, siendo mayor en las accesiones de *D. rotundata* con un coeficiente de variación de 100 %, mientras que para *D. alata* fue de 62,75 %. El 38 % de las accesiones *D. alata* se agruparon con resistencia y mediana resistencia, mientras que para *D. rotundata* el 50 % se ubicaron entre resistentes y medianamente resistentes (Cuadro 5).

Cuadro 3. Clasificación de la resistencia de las accesiones D. alata a la antracnosis C. gloeosporioides, mediante los métodos de escala de notas (EN) y la suma de rangos.

			Sur	na de rango)				9	Suma de ran	igo
ACC	EN	ABCPE	Rango	DGMR	Gru- po	ACC	EN	ABCPE	Rango	DGMR	Grupo
164	R	27,45	1	-1,70	R	059	MR	373,95	30	-0,51	MR
1174	R	46,95	2	-1,66	R	072	MR	396,45	31	-0,47	MR
009	R	66,15	3	-1,62	R	020	MR	404,85	32	-0,43	MR
021	R	81,75	4	-1,58	R	022	MR	414,60	33	-0,39	MR
047	R	106,65	5	-1,54	R	042	MS	452,55	34	-0,35	MR
149	R	109,95	6	-1,50	R	800	MS	457,05	35	-0,31	MR
071	R	113,70	7	-1,46	R	036	MS	462,90	36	-0,27	MR
004	R	116,25	8	-1,41	R	048	MS	470,55	37	-0,23	MR
1183	R	124,05	9	-1,37	R	108	MS	482,10	38	-0,18	MR
112	R	154,20	10	-1,33	R	043	MS	483,90	39	-0,14	MR
099	R	154,80	11	-1,29	R	055	MS	487,05	40	-0,10	MR
147	R	159,60	12	-1,25	R	035	MS	520,65	41	-0,06	MR
166	R	166,20	13	-1,21	R	138	MS	523,80	42	-0,02	MR
127	R	204,60	14	-1,17	R	056	MS	531,60	43	0,02	MS
146	R	207,45	15	-1,13	R	068	MS	534,90	44,5	0,08	MS
119	R	207,60	16	-1,09	R	150	MS	534,90	44,5	0,08	MS
069	R	214,50	17	-1,05	R	113	MS	556,20	46	0,14	MS
103	MR	226,20	18	-1,00	R	106	MS	562,95	47	0,18	MS
134	MR	231,00	19	-0,96	MR	040	MS	564,00	48	0,23	MS
064	MR	232,35	20	-0,92	MR	140	MS	568,95	49	0,27	MS
109	MR	252,30	21	-0,88	MR	131	MS	573,75	50	0,31	MS
054	MR	280,35	22	-0,84	MR	136	MS	577,05	51	0,35	MS
038	MR	292,50	23	-0,80	MR	114	MS	584,55	52	0,39	MS
098	MR	295,50	24	-0,76	MR	135	MS	603,00	53	0,43	MS
029	MR	312,30	25	-0,72	MR	116	MS	630,60	54	0,47	MS
066	MR	314,10	26	-0,68	MR	005	MS	637,65	55	0,51	MS
122	MR	341,25	27	-0;64	MR	037	MS	643,65	56	0,55	MS
002	MR	350,25	28	-0,59	MR	162	MS	667,65	57	0,59	MS
135	MR	354,45	29	-0,55	MR	052	MS	700,80	58	0,64	MS
143	MS	706,20	59	0,68	MS	019	S	808,95	72	1,21	S
065	MS	711,15	60	0,72	MS	006	S	861,15	73,5	1,27	S
063	MS	714,30	61	0,76	MS	013	S	861,15	73,5	1,27	S
003	MS	724,95	62	0,80	MS	093	S	932,85	75	1,33	S
100	MS	726,45	63	0,84	MS	161	S	943,80	76	1,37	S
061	MS	747,45	64	0,88	MS	034	S	977,40	77	1,41	S
120	MS	766,20	65,5	0,94	MS	163	S	1071,30	78	1,46	S
025	MS	766,20	65,5	0,94	MS	016	S	1099,80	79	1,50	S
126	MS	786,60	67	1,00	MS	145	S	1106,10	80	1,54	S
094	MS	795,00	68	1,05	MS	150	S	1188,75	81	1,58	S
073	MS	802,50	69	1,09	S	040	S	1273,80	82	1,62	S
045	MS	805,05	70	1,13	S	121	S	1273,80	83	1,66	S
053	MS	806,40	70	1,17	S	027	S	1290,00	84	1,70	S
033	1713	555,40	, 1	1,1/		027		12/1,00		=42,50	, ,

ACC: Accesión; EN: Escala de notas con severidad de la enfermedad a los 180 DDS; GMR: Gran media del rango; ABCPE: Área bajo la curva de progreso de la enfermedad a los 120, 150 y 180 DDS; DGMR: Desviación del rango de la gran media de rango [DGMR=(Rango-GMR)/D. Estándar del rango]; R: Resistente; MR: Medianamente resistente; MS: Medianamente susceptible; S: Susceptible.

Cuadro 4. Resistencia de accesiones de D. rotundata a la antracnosis C. gloeosporioides mediante
los métodos de escala de notas y el de suma de rangos del área bajo la curva del progreso de la enfermedad.

ACC	EN	ABCPE	Suma de Rango		ACC	EN	ABCPE	Sı	ıma de Rang	go	
ACC	EIN	ABCPE	Rango	DGMR	Grupo	ACC	EIN	ABCPE	Rango	DGMR	Grupo
293	R	11,25	1,5	-1,58	R	528	MR	225,9	15	0,06	MS
076	R	11,25	1,5	-1,58	R	084	MR	265,35	16	0,18	MS
088	R	15	3	-1,40	R	041	MR	269,1	17	0,30	MS
154	R	21	4	-1,28	R	081	MR	307,5	18	0,43	MS
619	R	22,5	5	-1,16	R	129	MR	340,65	19	0,55	MS
312	R	33,75	6,5	-0,97	MR	089	MR	365,4	20	0,67	MS
091	R	33,75	6,5	-0,97	MR	087	MS	408,9	21	0,79	MS
125	R	41,25	8	-0,79	MR	144	MS	412,65	22	0,91	MS
010	R	45,75	9	-0,67	MR	267	MS	461,25	23	1,03	S
153	R	52,5	10	-0,55	MR	456	MS	480,9	24	1,16	S
082	R	52,65	11	-0,43	MR	097	MS	521,25	25	1,28	S
686	R	58,8	12	-0,30	MR	095	MS	583,8	26	1,40	S
750	R	113,7	13	-0,18	MR	092	MS	702,45	27	1,52	S
933	R	218,55	14	-0,06	MR	086	S	875,25	28	1,64	S
										GMR=14,5	

ACC: accesión; EN: Escala de notas con severidad de la enfermedad a los 180 DDS; GMR: Gran media del rango; ABCPE: Área bajo la curva de progreso de la enfermedad a los 120; 150 y 180 DDS; DGMR: Desviación del rango de la gran media de rango [DGMR=(Rango-GMR)/D. Estándar del rango]; R: Resistente; MR: Medianamente resistente; MS: Medianamente susceptible; S: Susceptible.

Cuadro 5. Agrupamiento por resistencia a la antracnosis, accesiones de D. alata y D. rotundata, mediante escala de notas (EN) y suma de rangos del área bajo la curva de progreso.

Grupos		D. alata	D. rotundata			
de resistencia	EN	Suma de rangos	EN	Suma de rangos		
1	17	18	14	5		
2	16	24	6	8		
3	38	26	7	8		
4	13	16	1	6		
Total	84	84	28	28		

Grupos de resistencia: 1=Resistente; 2= Moderadamente resistente; 3= Moderadamente susceptible; 4=Susceptible. EN: escala de notas a los 180 días después de siembra DDS. Suma de rangos a los 120, 150, 180 DDS

La clasificación realizada con la escala de severidad a los 180 DDS y, mediante la suma de rangos del ABCPE, permitió identificar diferencias en cuanto a la resistencia de los genotipos, teniendo fuerte relación en las accesiones de *D. alata*, con el número de accesiones resistentes, coincidiendo en el 94 % de las accesiones y susceptibles el 81,25 % con los dos métodos de clasificación, mientras que las accesiones de *D. rotundata* no presentaron una buena relación entre los dos métodos.

El método de suma de rangos del área bajo la curva permitió clasificar con mayor claridad las accesiones de las dos especies en los cuatro grupos de resistencia, identificándose en la especie *D. alata* 18 accesiones resistentes, 24 moderadamente resistentes, 26 moderadamente susceptibles y 16 susceptible. En las 28 accesiones de *D. rotundata*, seis fueron resistentes, ocho moderadamente resistentes, ocho moderadamente susceptibles y seis susceptibles.

Relación entre los parámetros de la enfermedad. Las evaluaciones de severidad realizadas con la escala de severidad a los 120 y 150 DDS no mostraron relación con el área bajo la curva de progreso ni con la tasa aparente de infección, presentando una alta dispersión de los datos y un bajo coeficiente de determinación (datos

no mostrados), por presentarse en esas épocas baja severidad en las accesiones de las dos especies oscilando entre 0 y 5 % de severidad. La severidad medida a los 180 DDS en las accesiones de *D. alata* y *D. rotundata* tuvo una fuerte relación lineal con el ABCPE y con la tasa aparente de infección con r= 0,99 para las dos especies (Figura 1); igualmente, la tasa de progreso de la enfermedad de las accesiones de *D. alata* y *D. rotundata* presentó correlación fuerte positiva con los niveles de severidad r= 0,98 y 0,99 respectivamente, sin embargo, el cultivar 059 de *D. alata* tuvo una mediana desviación de la línea de tendencia (Figuras 1A y 1C).

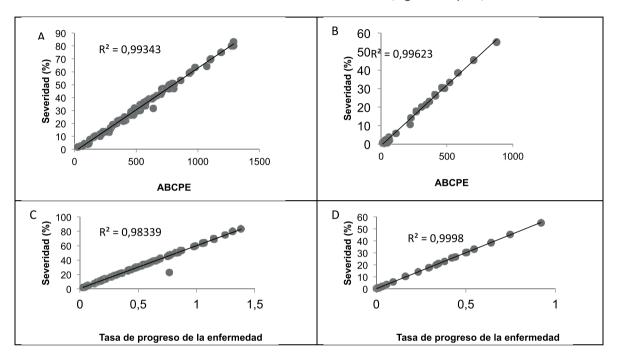


Figura 1. Relaciones entre la severidad de la antracnosis, en accesiones de ñame, a los 180 días, con el área bajo la curva de progreso ABCPE y la tasa de progreso de la enfermedad. A y C= *D. alata*; B y D= *D. rotundata*; (p=0,01)

La identificación de genotipos de ñame con resistencia a la antracnosis es una estrategia que se sigue implementando en los países productores gracias a la alta variabilidad que existe entre las diferentes colecciones de *Dioscorea* spp procedentes del INRA, IITA y otras que se encuentran en países caribeños, Sur América, países africanos, logrando identificar accesiones promisorias y estables en diferentes ambientes (Onyeca *et al.* 2006; Adefoyeke *et al.*, 2008; Nwadili *et al.*, 2017).

Durante el periodo de estudio, la antracnosis se estableció tardíamente en el banco de germoplasma de la Universidad de Córdoba, lo que impidió hacer la identificación de la resistencia a los 120 y 150 DDS, como lo proponen otros investigadores (Nwadili *et al.*, 2017); luego, esas fechas críticas de evaluación y selección no siempre son las apropiadas para experimentos de campo cuando la epidemia se establece tardíamente (Onyeca *et al.*, 2006), teniendo ventaja el uso del ABCPE por ser una medida integral, requiriendo mínimo dos evaluaciones, una al inicio de la epidemia y la otra al final (Ariyo *et al.*, 2014).

El momento adecuado para identificar la resistencia de las accesiones con la escala de severidad fue a los 180 DDS cuando se obtuvo una buena distribución de la enfermedad en toda la colección. Comparando los métodos de agrupamiento de la resistencia a los 180 DDS, no hubo marcadas diferencias entre ellos, coincidiendo en las accesiones de *D. alata*, en la categoría resistente el 20,20 % y susceptibilidad del 15,40 %, mientras que con las accesiones de *D. rotundata* solo hubo relación para la categoría mediana resistencia de 21,40 % y mediana susceptibilidad del 25 % (Cuadro 5).

Independiente al método de selección, se afirma que la colección de *Dioscorea* spp de la Universidad de Córdoba tiene alta variabilidad de genes de resistencia a la antracnosis, agrupándose en las cuatro categorías, coincidiendo con la diversidad molecular de las accesiones de esta colección reportado por Rivera *et al.* (2012). La presencia de la enfermedad en diferentes fases fenológicas y su distribución espacial no uniforme, justifica la clasificación de la resistencia empleando el ABCPE para evitar escapes en la evaluación bajo condiciones de campo (Onyeka *et al.* 2006 y Nwadili *et al.*, 2017).

CONCLUSIONES

El método más apropiado para clasificar la resistencia de las especies de *Dioscorea* spp., fue el de la suma de rangos del área bajo la curva de progreso de la enfermedad, permitiendo agrupar las accesiones de las dos especies en cuatro grupos de resistencia. Las accesiones identificadas como resistentes y moderada resistencia, pueden considerarse como genotipos promisorios, para futuros trabajos de mejoramiento genético o de liberación de clones con resistencia a la antracnosis.

Las accesiones de *D. alata* identificadas como resistentes fueron: 164, 1174, 009, 021, 047, 149, 071, 004, 1183, 112, 099, 147, 166, 127, 146, 119, 069, 103. En *D. rotundata* se identificaron como resistentes las accesiones: 293, 076, 088, 154, 619

REFERENCIAS

- ADEFOYEKE. O.; ADURAMIGBA-MODUPE. A.O.; ASIEDU. R.; ODEBODE. A.C. Reaction of *Dioscorea alata* (water yam) to anthracnose disease in Nigeria. Journal of Food and Agriculture & Environment, v. 6, n. 3, 2008, p. 248-252.
- ARCE, C.; VARELA, I.; TORRES, S. Inhibición del crecimiento micelial de hongos asociados a antracnosis en ñame (*Dioscorea alata*). Agronomía Mesoamericana, v. 30, n. 2, 2019, p. 381-393. 10.15517/AM.V30I2.32653
- ARYA, R.; SHEELA, M.; JEEVA, M.; ABHILASH, P. Identification of Host Plant Resistance to Anthracnose in Greater Yam (*Dioscorea alata* L.). International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, v. 8, n. 8, 2019, p. 1690-1696.
 - https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.808.199
- AYISAH, K.; BANITO, A.; OUPRESSAWA, M. Screening of *D. alata* varieties grown in Togo for resistance to yam anthracnose caused by *Colletotrichum gloeosporioides*. Journal of Applied Biosciences, v.138, 2019, p. 14082-14091. 10.4314/jab.v138i1.8
- CAMPO-ARANA, RODRIGO-ORLANDO; PEREZ-POLO, DAIRO-JAVIER. Efecto de la densidad de siembra y la fenología del ñame *Dioscorea* spp. sobre la antracnosis *Colletotrichum gloeosporioides*. Fitopatología Colombiana, v. 39, n. 2, 2015, p. 37-40.
- CAMPO-ARANA, RODRIGO-ORLANDO; ROYET-BARROSO, JHOANDYS. La antracnosis del ñame y estrategias de manejo: una revisión. Temas Agrarios, v. 25, n. 2, 2020, p. 190-201. https://doi.org/10.21897/rta.v25i2.2458
- DENTIKA, P.; OZIER-LAFONTAINE, H.; PENET, L. Weeds as pathogen hosts and disease risk for crops in the wake of a reduced use of herbicides: Evidence from yam (*Dioscorea alata*) fields and colletotrichum pathogens in the tropics. Journal of Fungi, v. 7, n. 4, 2021. https://doi.org/10.3390/jof7040283
- ITALY. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). 2019. Datos sobre alimentación y agricultura. http://www.fao.org/faostat/es/#data [consultado agosto 3 de 2021]

- HAN, YONG-CHAO; ZENG, XIANG-GUO; XIANG FA-YUN; ZHANG, QING-HUA; GUO, CONG; CHEN, FENG-YING; GU, YU-CHEN. Carbendazim sensitivity in populations of colletotrichum gloeosporioides complex infecting strawberry and yams in hubei province of china. Journal of Integrative Agriculture, v. 17, n. 6, 2018, p. 1391-1400.
 - https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61854-9
- COLOMBIA. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos. 2020. http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/ [consultado agosto 3 de 2021]
- KIBA, D.I.; HGAZA, V.K.; AIGHEWI, B. A transdisciplinary approach for the development of sustainable yam (*Dioscorea sp.*) production in west Africa. Sustainability, v. 12, n. 10, 2020. https://doi.org/10.3390/su12104016
- KIM, C.H.; HASSAN, O.; CHANG, T. Diversity, pathogenicity, and fungicide sensitivity of colletotrichum species associated with apple anthracnose in south korea. Plant Disease, v. 104, n. 11, 2020, p. 2866-2874 https://doi.org/10.1094/PDIS-01-20-0050-RE
- KWODAGA, J.K.; SOWLEY, E.N.K.; BADII, B.K. Antifungal activity of plant extracts against *Colletotrichum gloeosporioides* (penz.) the causative agent of yam anthracnose disease. Archives of Phytopathology and Plant Protection, v. 52, n. 1-2, 2019, p. 218-233. https://doi.org/10.1080/03235408.2019.16043.3
- LEBOT, V.; ABRAHAM, K.; KAOH, J. Development of anthracnose resistant hybrids of the Greater Yam (*Dioscorea alata* L.) and interspecific hybrids with *D. nummularia* Lam. Genetic Resources and Crop Evolution, v. 66, 2019, p. 871–883. https://doi.org/10.1007/s10722-019-00756-y
- COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESAROLLO RURAL (MADR). Estadísticas: área. producción. rendimiento y participación de ñame. 2019. https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1 [consultado agosto 3 de 2021]
- MONDO, J.M.; AGRE, P.A.; EDEMODU, A.; ADEBOLA, P.; ASIEDU, R.; AKORODA, M.O. Floral biology and pollination efficiency in yam (*Dioscorea spp.*). Agriculture (Switzerland), v. 10, n. 11, 2020, p. 1-21.

https://doi.org/10.3390/agriculture10110560

- MORSE, S. The role of plant health in the sustainable production of seed yams in nigeria: A challenging nexus between plant health, human food security, and culture. Plant Pathology, v. 71, 2021, p. 43-54 https://doi.org/10.1111/ppa.13409
- NTUI, V.O.; UYOH, E.A.; ITA, E.E. Strategies to combat the problem of yam anthracnose disease: Status and prospects. Molecular Plant Pathology, v. 00, 2021, p. 1-13. https://doi.org/10.1111/mpp.13107
- NWADILI, C.; RANJANA, J.; ATENHNKENG, J.; LOPEZ-MONTES, ANTONIO. Comparative realiability of screening parameters for antracnose resistance in water yam (*Dioscorea alata*). Plant Disease, v. 101, n. 1, 2017, p. 209-216.
 - http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-06-16-0924-RE
- ONYEKA, T.J.; PETRO, D.; ANO, G.; ETIENNE, S.; RUBENS, S. Resistance in water yam (*Dioscorea alata*) cultivars in the French West Indies to anthracnose disease based on tissue culture-derived whole-plant assay. Plant Pathology, v. 55, n. 5, 2006, p. 671-678. https://10.1111/j.1365-3059.2006.01436.x
- PEREZ-CORDERO, A; CHAMORRO-ANAYA, L.; VITOLA-ROMERO, D.; HERNANDEZ-GOMEZ, J. Actividad antifungica de *Cymbopogon citratus* contra *Colletotrichum gloeosporioides*. Agronomía Mesoamericana, v. 28, n. 2, 2017, p. 465-474.
 - https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.23647
- PÉREZ-POLO, DAIRO-JAVIER; CAMPO-ARANA, RODRIGO-ORLANDO. Efecto de la densidad poblacional sobre el rendimiento de ñame espino (*Dioscorea rotundata* Poir) tipo exportación. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, v. 10, n. 1, 2016, p. 89-98.
 - http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2016v10i1.5072

- RIVERA-JIMENEZ, HERNANDO; ALVAREZ, ANDRES; PALACIO-MEJIA, JUAN; OCHOA, ALBA. Caracterización molecular de accesiones de ñame (*Dioscorea alata* L.) de la región Caribe colombiana. Rev.U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica, v. 15, n. 2, 2012, p. 323-330. https://doi.org/10.31910/rudca.v15.n2.2012.830
- SIMONS. S.A.; GREEN. K.R. Quantitative methods for assessing the severity of antracnose on yam (*Dioscorea alata*). Tropical Sciece, v. 34, 1994, p.216-224.
- SILVA-DO NASCIMENTO, EDILZA; ANAYA, KATYA; CAJU-DE OLIVEIRA, JULIA-MARIANO; GOMES-DE LACERDA, JOSÉ-THALLES-JOCELINO; MILLER, MICHAEL-EDWAR; DIAS, MERIELLEN; MENDES, MARIA-ANITA; LIMA-PALLONE, JULIANA-DE EZEVEDO; WEIS-ARNS, CLARICE; JULIANO, MARIA-APARECIDA; SANTI-GADELHA, TATIANE; BERTOLDO-PACHECO, MARÍA-TERESA; DE ALMEIDA-GADELHA, CARLOS-ALBERTO. Identification of bioactive peptides released from in vitro gastrointestinal digestion of yam proteins (dioscorea cayennensis). Food Research International, v. 143, 2021, 110286. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110286
- SHAO, Y.; KANG, Q.; ZHU, J.; ZHAO, C.; HAO, L.; HUANG, J. Antioxidant properties and digestion behaviors of polysaccharides from chinese yam fermented by saccharomyces boulardii. LWT Food Science and Technology, v.154, 2022, 112752. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112752
- WUMBEI, A.; BAWA, J.; AKUDUGU, M; SPANOGHE, P. Absence of Effects of Herbicides Use on Yam Rots: A Case Study in Wulensi, Ghana. Agriculture, v. 9, n. 5, 2019, p 95. https://doi.org/10.3390/agriculture9050095
- ZHOU, S.; HUANG, G.; CHEN, G. Extraction structural analysis, derivation and antioxidant activity of polysaccharide from *Chinese yam*. Food Chemistry, v. 361, 2021, 130089 https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130089

BIOTECNOLOGÍA EN EL SECTOR AGROPECUARIO Y AGROINDUSTRIAL

Vol. 21 No 1 · Enero-Junio 2023 · ISSN-1692-3561 · ISSN-e 1909-9959 · DOI: https://doi.org/10.18684

Crecimiento del bagre dorado Brachyplatystoma rousseauxii en la región del Orinoco Medio usando modelos múltiples *

Growth of the golden catfish Brachyplatystoma rousseauxii in the Middle Orinoco region using multiple models

GONZÁLFZ-SUÁRFZ, ÁNGFL-RAFAFL¹

Historial del artículo

Recibido para evaluación: 13 de octubre 2021 Aprobado para publicación: 25 de abril 2022

Correspondencia: angelgonzalez78@hotmail.com

Cómo citar este artículo

GONZÁLEZ-SUÁREZ, ÁNGEL-RAFAEL. Crecimiento del bagre dorado Brachyplatystoma rousseauxii en la región del Orinoco Medio usando modelos múltiples. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, v. 21, n. 1, 2023, p.97-107. Doi:https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n1.2023.2030



^{*} Proyecto de investigación de origen: "Dinámica Poblacional del bagre dorado Brachyplatystoma rousseauxii en la región del Orinoco Medio". Financiación: Comisión de Investigación, UDO, Núcleo de Bolívar. Culminación: 23-01-2007.

Instituto Limnológico, Núcleo de Bolívar, Universidad de Oriente (UDO), MSc Ciencia Marinas, Biología Pesquera. Caicara del Orinoxo, Venezuela. https://orcid.org/0000-0002-3476-9307

RESÚMEN

Tradicionalmente se ha utilizado el modelo de von Bertalanffy como patrón único en el estudio del crecimiento de los peces, considerándolo a priori como el único modelo que se ajusta a los datos de longitud-edad de las especies; una consideración que genera incertidumbres en los valores de los parámetros de crecimientos que son estimados, por cuanto se sabe que existen otros modelos de crecimiento que podrían ajustarse igualmente a los datos de longitud-edad. En este sentido, en la región del Orinoco Medio se hizo anteriormente un estudio del crecimiento de Brachyplatystoma rousseauxii utilizando el modelo tradicional de von Bertalanffv. y los resultados fueron usados posteriormente para evaluar la población; de ahí que el objetivo del presente trabajo fue validar los resultados del trabajo anterior, ajustando los mismos datos de longitud-edad a los modelos de crecimiento de la familia U Richards, y seleccionando el de mejor ajuste usando el Criterio de la Información de Akaike (AIC). Tal como se demostró en el primer trabajo, el modelo tradicional de von Bertalanffy se ajustó a los datos longitud-edad retro calculados, pero solo en un 35,4 %; mientras que la mayoría (64,6 %) se adaptó a los modelos U von Bertalanffy, U Logístico y U Gompertz, sin superioridad alguna de ninguno de ellos en el ajuste. Los parámetros de crecimiento estimados a partir de un modelo promedio fueron algo diferente a los obtenidos en el trabajo anterior, y por lo tanto se hace necesario reevaluar el recurso, para conocer realmente su nivel de explotación en el Orinoco Medio.

PALABRAS CLAVES:

Pesquería; Evaluación de poblaciones; Dinámica poblacional; Administración de recursos pesqueros; Peces de agua dulce; Rio Orinoco; Grandes bagres; Brachyplatystoma rousseauxii; Edad y Crecimiento; Parámetros de crecimiento.

ABSTRACT

Traditionally, the von Bertalanffy model has been used as the only standard in the study of fish growth, considering it a priori as the only model that fits the length-age data of the species; a consideration that generates uncertainties in the values of the growth parameters that are estimated, since it is known that other growth models could also fit the length-age data. In this sense, in the Middle Orinoco region, a study of Brachyplatystoma rousseauxii growth was previously done using the traditional von Bertalanffy model, and the results were subsequently used to evaluate the population; hence the objective of the present work was to validate the results of the previous work, fitting the same length-age data to the growth models of the U Richards family, and selecting the best fit using the Akaike Information Criterion (AIC). As demonstrated in the first paper, the traditional von Bertalanffy model fitted the back-calculated length-age data, but only 35;4 %; while the majority (64,6 %) fitted the U von Bertalanffy, U Logistic, and U Gompertz models, with no superiority of any of them in the fit. The growth parameters estimated from na average model were somewhat from those obtained in the previous work, and therefore necessary to re-evaluate the resource to know its level of exploitation in the Middle Orinoco.

KEY WORDS:

Fishery; Stock assessment; Population dynamics; Fishery resource management; Freshwater fish; Orinoco River; Large catfish; Brachyplatystoma rousseauxii; Age and growth; Growth parameters.

INTRODUCCIÓN

El bagre dorado Brachyplatystoma rousseauxii es un pez de agua dulce incluido entre los grandes bagres de la Familia Pimelodidae del Órden Siluriformes, ampliamente distribuido en la cuencas de los ríos Amazonas y Orinoco (Agudelo-Córdoba et al., 2013; Barthem et al., 2017; Días et al., 2018), y particularmente en el Orinoco venezolano se encuentra difundido desde Puerto Ayacucho hasta el Delta, y en el río Apure (Brito et al., 2011). En el Orinoco representa la especie más importante en los desembarcos de los grandes bagres, después de Pseudoplatystoma spp, principalmente cuando el rio alcanza su nivel máximo; observándose una disminución en la producción nacional a partir del año 1995, cuando alcanzó un máximo de 1450 ton, hasta unas 700 ton en años recientes, la cual fue independiente del pulso de inundación del Orinoco (González et al., 2017).

La disminución de la producción de *B. rousseauxii* durante los últimos años motivó la evaluación de la situación actual de la población, a través de un estudio sobre el Rendimiento y la Biomasa por Recluta de la especie en el Orinoco Medio (González *et al.*, 2017); un estudio que demostró la existencia de un recurso en el límite de su explotación, debido principalmente a la captura de peces de tamaños relativamente pequeños. Sin embargo, este resultado siempre dejó incertidumbre por cuanto la evaluación se hizo basándose en parámetros de crecimiento estimados a partir de un modelo seleccionado a priori, el cual fue el modelo tradicional de von Bertalanffy (González *et al.*, 2015); cuando actualmente se sabe que la evaluación de poblaciones requiere del uso de modelos que reflejen con precisión los patrones de crecimiento biológico de las especies, y en estos estudios el uso de un solo modelo de crecimiento no lo garantiza (Vincenzi *et al.*, 2020; Bolser *et al.*, 2021).

La incertidumbre sobre qué tan bien los diferentes modelos predicen el crecimiento de los peces, ha conducido a la introducción de nuevos métodos, modelos y procedimientos de selección de modelos, siendo común actualmente la adaptación de múltiples modelos de crecimiento a los datos longitud-edad de los peces y el uso de procedimientos de la teoría de la información para seleccionar el modelo que mejor se ajuste. La selección de modelos mediante la teoría de la información de Akaike (AIC) es una práctica relativamente nueva en las ciencias biológicas, surgida como una forma de explicar la incertidumbre que rodea al uso a priori de modelos de crecimiento, como generalmente se ha hecho con el modelo tradicional de von Bertalanffy (Tjørve and Tjørve, 2017). De allí que en este trabajo se partió de la hipótesis que no solo el modelo tradicional de von Bertalanffy puede producir un buen ajuste de los datos longitud-edad de B. rousseauxii, como lo hicieron González *et al.* (2015), sino que muy bien podrían ajustarse a otros modelos; siendo el objetivo del trabajo verificar los resultados anteriores usando los mismos datos de longitud-edad, pero utilizando varios modelos que incluyeron los de la Familia U Richards, por la factibilidad que proporcionan al promediar los parámetros de crecimiento cuando son más de uno los modelos que se ajustan a los datos.

Los modelos de la familia U-Richards usados en el trabajo fueron el U von Bertalanffy, el U Logístico y el U Gompertz, mientras que la selección del modelo de mejor ajuste se hizo utilizando el Criterio de la Información de Akaike (AIC) (Tjorve and Tjorve, 2010; Tjorve and Tjorve, 2017; Yusel and Baki, 2018; Gurkan and Demirelli, 2019); un estudio que permitiría la estimación de parámetros de crecimiento más preciso, para una más efectiva evaluación de la población, y una toma de decisiones precisas para la ordenación del recurso (Flinn and Midway, 2021; Liu *et al.*, 2021).

MÉTODO

El trabajo se realizó con base en los datos de longitud-edad empleados por González et al. (2015) para el estudio del crecimiento de B. rousseauxii en la región del Orinoco medio, colectados durante el año 2008 en el puerto pesquero de Cabruta, ubicado en el estado Gúarico en Venezuela (7°39'32" N, y 66°15' 25" W), región con una altitud de 42 m, una media anual de la humedad relativa entre 67 y 79 %, una temperatura promedio entre 26 y 28 °C, y una precipitación anual de más de 1200 mm (Ferrer et al., 2014).

En el trabajo se usaron los datos de longitud-edad retro-calculados a partir de los anillos de crecimiento de la espina pectoral, así como los de longitud-edad observados, utilizados por González *et al.* (2015); solo que ahora, en lugar del modelo tradicional de von Bertalanffy, los datos fueron ajustados a los modelos U-von Bertalanffy, U-Logístico y U-Gompertz, pertenecientes a la familia U-Richards. El modelo global U-Richards estuvo representado por las siguientes ecuaciones:

$$L(t) = L_{\infty} \left(1 + (d-1) \right) * exp \left(\frac{-K(t-T_i)}{\frac{d}{d^{(1-d)}}} \right)^{\frac{1}{(1-d)}}$$
(Ec.1)

$$L(t) = L_{\infty} \left(1 + \left(\left(\frac{W_o}{L_{\infty}} \right)^{(1-d)} - 1 \right) * exp \left(\frac{-Kt}{d^{(1-d)}} \right) \right)^{\frac{1}{(1-d)}}$$
(Ec.2)

A partir de las ecuaciones 1 y 2 se derivó el modelo U-von Bertalanffy dándole a d un valor de 2/3 (d = 2/3), así como el modelo U-Logístico otorgándole a d un valor de dos (d= 2) (Tjørve and Tjørve, 2010; Renner-Martin, 2019; González and Márquez, 2020).

El modelo U-Gompertz también se derivó del modelo global U-Richards, pero calculando a d como un límite, sin darle valor alguno (Tjørve and Tjørve, 2017; González and Márquez, 2020); utilizando las siguientes ecuaciones:

$$L(t) = L_{-} * exp(-exp(-e * K(t - T_{i})))$$
 (Ec.3)

$$L(t) = L_{\infty} \left(\frac{L_{\infty}}{W_o}\right)^{exp(-e*Kt)}$$
(Ec.4)

En las ecuaciones 1, 2, 3 y 4, L(t) = longitud teórica, L_{∞} = longitud asintótica, t = edad, K = tasa máxima de crecimiento relativo en la inflexión de la curva, T_{i} = edad en la inflexión de la curva, d = exponente que controla el valor en la inflexión; W_{0} = valor inicial de la curva (t = 0), e = número neperiano.

La selección del modelo de mejor ajuste a los datos se hizo utilizando el Criterio de la Información de Akaike (AIC), según las siguientes ecuaciones:

$$AICc = n * log(\sigma)^{2} + 2k + \frac{2k + (k+a)}{n - k - 1}$$
(Ec.5)

$$\Delta AICc = AICc - AICmínimo$$
 (Ec.6)

donde: AICc es el AIC de cada modelo, RSS fue la suma de cuadrado residual de cada modelo, n el tamaño de la muestra, y k el número total de parámetros estimados en cada modelo. AICminimo fue el AICc más pequeño entre los modelos y ΔAICc, el grado de separación de cada AICc con relación al AICmínimo.

El modelo con el AlCmínimo se consideró como el más preciso en el ajuste de los datos, de tal manera que mientras mayor fue el \triangle AlCc de cada modelo, menos probabilidad tuvo de producir un buen ajuste; considerándose en este sentido que los modelos donde el \triangle AlCc es menor que dos (\triangle AlCc < 2) producen un buen ajuste de los datos, cuando tiene valores entre cuatro y siete ($4 \le \triangle$ AlCc ≤ 7) los ajusta medianamente y, cuando es mayor que diez (\triangle AlCc > 10), esencialmente no producen un buen ajuste (González and Márquez, 2020).

La verificación de la selección del mejor modelo se hizo mediante la ecuación de ponderación de Akaike (Wi), así:

$$W_i = \frac{e^{\left(-\frac{1}{2} + \Delta i\right)}}{\sum e^{\left(-\frac{1}{2} + \Delta i\right)}}$$
(Ec.7)

donde: Δi fue el $\Delta AICc$ de cada modelo.

Según el valor de Wi, se consideró como el modelo de mejor ajuste aquel cuyo valor fue mayor que 0,9 (Wi > 90 %), mientras que cuando los valores de Wi fueron menor que 0,9 (Wi < 90 %), se supuso que ningún modelo fue superior a otro y por lo tanto hubo que determinar un modelo promedio, cuyos parámetros se estimaron por las siguientes ecuaciones:

$$Xpromedio = \Sigma W_i * X_i$$
 (Ec.8)

$$ES = \Sigma Wi * (VarXi + (Xi - Xprom)^2)^{1/2}$$
(Ec.9)

donde: Xpromedio fue el valor promedio de los parámetros X estimado por cada modelo i (Xi), y ES el error estándar; siendo VarXi la varianza de los datos, según cada modelo (González and Márquez, 2020).

RESULTADOS

Los valores de los parámetros de crecimiento L_{∞} , K, T_i y W_o , así como los estadísticos RSS y R^2 estimados a partir del ajuste no lineal de los datos longitud-edad retro-calculados, según los métodos de von Bertalanffy tradicional (González *et al.*, 2015), U von Bertalanffy, U Logístico y U Gompertz, se encuentran en el Cuadro 1.

Según los valores del R², puede concluirse que todos los modelos usados produjeron un buen ajuste de los datos longitud-edad de *B. rousseauxii*, como se ha hecho generalmente con el modelo tradicional de von Bertalanffy utilizado como modelo único, como en el caso de los trabajos de González *et al.* (2015) en el Orinoco medio en Venezuela, Agudelo Córdoba *et al.* (2013) en el río Caquetá en Colombia y Hauser *et al.* (2018) en la cuenca del río Madeira en Brasil, Bolivia y Perú. Sin embargo, en realidad, estos valores del R² solo indicaron que los modelos utilizados estadísticamente explicaron convenientemente la variación de la longitud con la edad de la especie y que dichos valores no pueden considerarse como indicadores de un buen ajuste de los datos a los modelos utilizados (González *et al.*, 2020). En este sentido, durante los últimos años se ha utilizado el AIC para seleccionar el modelo de mejor ajuste, en lugar del R² (Yusel and Baki, 2018; Bolser *et al.*, 2018, Flinn and Midway, 2021; Liu *et al.*, 2021) el cual demostró que, igualmente, todos los modelos produjeron un buen ajuste de los datos longitud-edad retro-calculados, puesto que los valores del ΔAIC fueron menores que dos

(ΔAIC< 2); no obstante, ninguno de los modelos fue superior a otro en el ajuste, por cuanto los valores del Wi estuvieron por debajo del 90 % (Cuadro 2). Tal como lo señalaron González *et al.* (2015), el modelo tradicional de von Bertalanffy produjo un buen ajuste de los datos longitud-edad retro-calculados de *B. rousseauxii*, pero, según el valor de Wi del AIC, con solo un ajuste del 35,4 % de los datos, ajustándose la mayoría de ellos (64,6 %) a los modelos U von Bertalanffy (27,6 %), U Logístico (13,3 %) y U Gompertz (23,7 %) (Cuadro 2). No solo el modelo tradicional de von Bertalanffy produjo un buen ajuste de los datos longitud-edad usados por González et al. (2015), sino que otros modelos, como los de la familia U Richards, también producen un buen ajuste.

Cuadro 1. Parámetros de crecimiento y estadísticos de Brachyplatystoma rousseauxii, según el ajuste no lineal de los modelos de crecimiento a los datos de longitud-edad retro-calculados.

Modelos	L _∞	К	T,	W _o	RSS	R ²
von Bertalanffy ¹	130,1 ± 22,4	0,233 ± 0,109			5094,38	92,6
U von Bertalanffy	119,9 ± 3,5	0,154 ± 0,012	-0,5 ± 0,04	45,2 ± 0,3	5109,27	92,6
U Logístico	112,1 ± 2,2	0,135 ± 0,007	0,6 ± 0,06	46,6 ± 0,2	5153,2	92,6
U Gompertz	117,4 ± 3,0	0,145 ± 0,010	-0,1 ± 0,04	41,5 ± 0,0	5118,49	92,6

¹Datos de González et al., (2015)

 L_{∞} = Longitud asintótica; K = Tasa máxima de crecimiento relativo; T_i = Edad en el punto de inflexión; RSS = Suma de cuadrado residual: R^2 = Coeficiente de determinación

Cuadro 2. Criterio de la Información de Akaike (AIC) para la selección del modelo de mejor ajuste a los datos longitudedad retro-calculados de Brachyplatystoma rousseauxii.

Modelos	AIC	ΔΑΙC	Wi	Wi (%)
von Bertalanffy	439,6 ¹	0,00	0,354	35,4
U von Bertalanffy	440,1	0,50	0,276	27,6
U Logístico	441,6	1,95	0,133	13,3
U Gompertz	440,5	0,80	0,237	23,7

¹AIC mínimo

AIC = Criterio de Información de Akaike, ΔAIC = Separación del AIC con relación al AIC mínimo; WI = Ponderación de Akaike; WI (%) = Ponderación de Akaike en %

Como ninguno de los modelos usados fue superior a otro en cuanto al ajuste de los datos, hubo que promediar los parámetros de crecimiento estimados por cada modelo, incluyendo al von Bertalanffy tradicional; sin embargo, el único parámetro que se pudo promediar fue el L_{∞} , por tener una misma interpretación en todos los modelos. El valor de K no se pudo promediar a partir de todos los modelos usados, por cuanto tiene una interpretación diferente en el modelo von Bertalanffy tradicional con relación a los de la familia U Richards (Tjørve & Tjørve, 2017) procediéndose a promediar este parámetro K, junto con los parámetros T_i y W_o , solo a partir de los modelos U von Bertalanffy, U Logístico y U Gompertz.

El promedio del L_o fue de 121,9 cm de longitud total, con un intervalo de confianza entre 32,9 y 210,8 cm de longitud total (Cuadro 3); un promedio menor que el estimado por González *et al.* (2015) en 130,1 cm de longitud total, aunque la diferencia de 8,2 cm puede considerarse de poca importancia, para peces que alcanzan relativamente un gran tamaño. En este sentido, un ejemplar de B. rousseauxii capturado recientemente en el rio Orinoco midió aproximadamente 200,0 cm de longitud total (Agencia Carabobeña de Noticia ACN, 2021), similar a la longitud máxima del intervalo de confianza estimado en el trabajo. La longitud máxima de B. rousseauxii en el Orinoco Medio es similar a la reportada para el río Caquetá en Colombia, de 143,0 cm de longitud total para las hembras y 129,0 cm de longitud total para los machos (Agudelo-Córdoba *et al.*, 2013) e igualmente similar a la señalada para

el rio Madeira de Brasil, donde la longitud máxima de *B. rousseauxii* es de 102,8 cm de longitud estándar (Hauser *et al.*, 2020).

Cuadro 3. Promedio del L_{__} de Brachyplatystoma rousseauxii, calculado a partir de los estimados por los diferentes modelos de crecimiento. Datos retro-calculados

Modelos	w _i	L _∞	L Estim.	Error Estim.	Valor Inf.	Valor Sup.
von Bertalanffy	0,354	130,1	46,1	30,7	15,3	76,8
U von Bertalanffy	0,276	119,9	33,1	24,0	9,1	57,1
U Logístico	0,133	112,1	14,9	12,9	2,0	27,9
U Gompertz	0,237	117,4	27,8	21,2	6,5	49,0
Promedio			121,9	88,8	32,9	210,8

De la misma forma como se obtuvo el promedio del L_{∞} estimado por los modelos usados en el estudio, incluyendo el modelo tradicional de von Bertalanffy (Cuadro 4), igualmente se hizo con los valores de K, T_i y W_o , estimados a partir de los modelos U von Bertalanffy, U Logístico y U Gompertz (Cuadro 4); estimándose un promedio para K = 0,147 (0,051-0,242) año⁻¹, T_i = -0,13 (-0,38 – 0,12) años, y W_o = 43,9 (15,7-72,1) cm.

Cuadro 4. Promedio de la tasa de crecimiento máxima relativa (K), tiempo de inflexión (T_i) y longitud a la edad cero (W_o) de Brachyplatystoma rousseauxii, según los métodos U von Bertalanffy y U Gompertz. Datos retro-calculados

Modelos	К			T _i			W _o		
	VE	VI	VS	VE	VI	VS	VE	VI	VS
U von Bertalanffy	0,066	0,027	0,105	-0,21	0,34	-0,09	19,3	8,2	30,4
U Logístico	0,028	0,006	0,050	0,12	0,03	0,22	9,6	2,0	17,2
U Gompertz	0,053	0,019	0,087	0,03	-0,06	-0,01	15,0	5,5	24,5
Promedio	0,147	0,051	0,242	-0,13	-0,38	0,12	43,9	15,7	72,1

VE = Valor Estimado; VI = Valor Inferior; VS = Valor Superior

La mayoría de las curvas de crecimiento son sigmoideas y asintóticas y representan una variable que se incrementa primero lentamente para luego acelerarse y finalmente disminuir; es decir, con un crecimiento inicial lento cerca de la eclosión y el nacimiento, que luego aumenta en velocidad y finalmente tiende a estabilizarse hacia los valores adultos. Sin embargo, cuando se ha estudiado el crecimiento en peces frecuentemente solo se habla de una constante de crecimiento K, y la longitud máxima que puede alcanzar un pez (L_{∞}) , olvidándose otras características de la curva como el punto de inflexión (T_i) y el valor de nacimiento o eclosión (W_o) , los cuales también son útiles para caracterizar el crecimiento de los peces y que son rasgos fáciles de controlar y discutir usando las ecuaciones 1 y 2 de U Richards, como una poderosa herramienta para la interpretación y caracterización de los patrones de crecimiento de los peces (Tjørve) and Tjørve, 2017).

El crecimiento de *B. rousseauxii*, según el promedio de los parámetros estimados por los modelos U von Bertalanffy, U Logístico y U Gompertz, estaría representado por una curva de crecimiento con la forma sigmoidea característica de los modelos U Richards (Figura 1), la cual corta al eje de las y en un valor de W_o = 43,9, que vendría a ser la asíntota inferior de la curva, mientras que el L_∞ sería la asíntota superior. El valor negativo del promedio del parámetro T_i (-0,13 años) indicó que dicho valor estaría ubicado a la izquierda del eje de las y, y correspondería al punto de la proyección de la curva que coincide aproximadamente con el valor de L_i = 38,2 cm, el cual correspondió al 29,6 % del L_∞ , que es lo que se espera para el modelo U von Bertalanffy, como el modelo de mejor ajuste en comparación con el U Logístico y el U Gompertz (Tjørve and Tjørve, 2017).

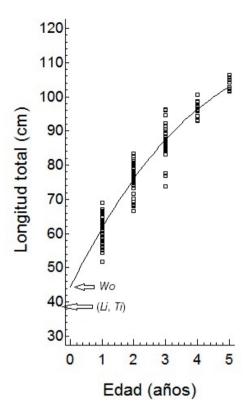


Figura 1. Curva de crecimiento de Brachyplatystoma rousseauxii según el promedio de los parámetros de crecimiento estimados de los modelos U von Bertalanffy y U Gompertz. Datos retro-calculados

Realmente, este es el primer estudio sobre el crecimiento de B. rousseauxii con base en modelos múltiples, y por lo tanto no se pueden establecer comparaciones con otros trabajos que han utilizado el modelo tradicional de von Bertalanffy como modelo único en el cual, excepto el L_{∞} , los parámetros de crecimiento tienen interpretaciones diferentes a los modelos U Richards (Tjørve and Tjørve, 2017).

En el Cuadro 5 están representados los valores de los parámetros de crecimiento L_{∞} , K, T_{i} y W_{o} , así como el coeficiente de determinación R^{2} y el Δ AIC, de los datos longitud-edad observados según los diferentes modelos de crecimiento aplicados en esta investigación. Igualmente, según el R^{2} todos los modelos usados explican de forma adecuada la variación de la longitud con la edad de B. rousseauxii, incluyendo el modelo tradicional de von Bertalanffy, sin embargo, tal como lo demostraron González et al. (2015), no produjo un buen ajuste de los datos, según los valores del Δ AIC y del W_{i} (Cuadro 5).

Cuadro 5. Parámetros de crecimiento y estadísticos de Brachyplatystoma rousseauxii, según el ajuste no lineal de los modelos de crecimiento a los datos de longitud-edad Observados.

Modelos	L _∞	К	T,	W _o	R ²	ΔΑΙC	wi
von Bertalanffy1	111,4 ± 1,5	0,633 ± 0,024			78,7	70,9	0,00
U von Bertalanffy	194,3 ± 78,2	0,059 ± 0,038	-0,03 ± 1,7	32,2 ± 0,1	85,3	5,7	0,22
U Logístico	258,8 ± 200,7	0,043 ± 0,020	6,50 ± 8,70	46,6 ± 0,2	85,7	0	0,54
U Gompertz	188,3 ± 67,1	0,058± 0,031	0,89 ± 0,25	41,7 ± 2,8	78,2	1,0	0,24

¹Datos de González et al., (2015)

 L_{ω} = Longitud asintótica; K = Tasa máxima de crecimiento relativo; T_{ij} = Edad en el punto de inflexión; Wo = Asíntota inferior de la curval; R^{2} = Coeficiente de determinación; Δ AIC = Separación del AIC con relación al AIC mínimo; wi = Ponderación de Akaike.

Según los valores del Δ AIC y el W_i , los modelos que produjeron un mejor ajuste a los datos observados fueron los modelos U Logístico, U Gompertz y U von Bertalanffy; no obstante, los valores del L_{∞} y del T_i estimados por el Modelo U Logístico resultaron ser biológica y estadísticamente irreales (Vincenzi et~al.,~2020), mientras que los modelos U Gompertz y U von Bertalanffy apenas ajustaron el 24,0 y el 22 % respectivamente de los datos. De allí que se podría concluir que ninguno de los modelos usados produjo un buen ajuste a los datos observados, posiblemente debido al uso de una muestra sesgada en cuanto a la escasez de peces de mayor tamaño (Bolser et~al.,~2018). Cuando se utilizan datos de longitud-edad que incluyen todas las clases de edades, como los retro-calculados, pueden ser varios los modelos de crecimiento que se ajustan a los datos (Harry, 2017; Bolser et~al.,~2018), mientras que cuando se usan muestras que carecen de algunos grupos de edades, como los observados, los datos se ajustan específicamente a otros modelos como el U Logístico y el U Gompertz, siempre y cuando el número de peces correspondientes a las diferentes edades sean representativos (González et~al.,~2020).

Al modelar la relación entre la longitud y la edad de los peces con fines de evaluación de poblaciones, usando datos observados, cada clase de longitud-edad debe estar suficientemente representada para generar estimaciones de parámetros que reflejen el crecimiento biológico de las especies evitando, en lo posible, sesgos en las muestras debido a la relativa escasez de individuos de mayor tamaño y edad (Bolser *et al.*, 2018). La muestra que se obtuvo en el Orinoco Medio para el estudio de la edad y el crecimiento de *B. rousseauxii*, fue producto de muestreos realizados durante la migración en la época de desove, cuando la población se hace más accesible para la captura en la región del Orinoco Medio, por ser la zona de desove de la especie en el Orinoco (González *et al.*, 2015) estando constituida la muestra principalmente por peces que estaban madurando por primera vez, con escasez de peces de mayor edad.

La estimación del crecimiento de los peces es fundamental para comprender su historia vital y realizar evaluaciones pesqueras (Bolzer et al., 2018), pudiendo influir la selección de los modelos que se ajusten a los datos de longitud-edad, en la precisión de la evaluación de las poblaciones y en la posterior toma de decisiones de gestión pesquera (Liu et al., 2021). En este sentido, se debería revisar el trabajo de González et al. (2017), el cual demostró una moderada explotación de B. rousseauxii en el Orinoco Medio, por cuanto la evaluación de la población se hizo usando parámetros de crecimiento estimados a partir del modelo único de von Bertalanffy, considerándolo a priori como el de mejor ajuste de los datos (Gonzalez et al., 2015), sin percatarse de la existencia de otros modelos que también producen un buen ajuste, como se demostró en el presente trabajo. En este sentido, también se deberían revisar algunos resultados de trabajos realizados sobre el crecimiento de B. rousseauxii en otras regiones como en el río Caquetá en Colombia (Agudelo-Córdoba et al., 2013) y en la cuenca del río Madeira en Brasil, Bolivia y Perú (Hauser et al., 2018), donde se usó el modelo tradicional de von Bertalanffy como modelo único.

CONCLUSIONES

Los datos de longitud-edad retro-calculados para el estudio del crecimiento del bagre dorado B. rousseauxii no solo se ajustan al modelo de crecimiento tradicional de von Bertalanffy, sino que igualmente pueden ajustarse a otros modelos como el U von Bertalanffy, el U Logístico y el U Gompertz, de la familia U Richards; por lo que se debería reconsiderar los resultados del estudio realizado por González *et al.*, (2015), quienes realizaron un estudio del crecimiento de la especie seleccionando a priori el modelo tradicional de von Bertalanffy como modelo único. Igualmente, analizar los resultados de la evaluación de la población realizada por González *et al.*, (2017), donde se demostró la existencia de una moderada explotación de B. rousseauxii en la región del Orinoco Medio.

AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos a la Comisión de Investigación del Núcleo de Bolívar de la Universidad de Oriente, por el financiamiento del proyecto que dio origen a la realización del presente trabajo, así como a la Dirección del Instituto Limnológico de la misma Universidad, por la logística prestada.

REFERENCIAS

- AGENCIA CARABOBEÑA DE NOTICIAS (ACN). Bagre dorado de casi dos metros es pescado en el río Orinoco. Abril, 2021.
 - https://www.acn.com.ve/bagredorado-casi-dos-metros-es-pescado-rio-orinoco/ [consultado mayo 15 de 2021].
- AGUDELO-CÓRDOBA, EDWIN; JOVEN-LEÓN, ÁNGELA-VIVIANA; BONILLA-CASTILLO, CESAR-AUGUSTO; PETRERE-JUNIOR, MIGUEL; PELÁEZ, MARLON; DUPONCHELLE, FABRICE. Breeding, growth and exploitation of Brachyplatystoma rousseauxii Castelnau, 1855, in the Caqueta River, Colombia. Neotropical Ichthyology, v. 10, n. 3, 2013, p. 637-647.
- BARTHEM, RONALDO; GOULDING, MICHAEL; LEITE, ROSSEVAL; CAÑAS, CARLOS; FORSBERG, BRUCE; VENTICINQUE, EDUARDO; PETRY, PAULO; RIBEIRO, MAURO; CHUCTAYA, JUNIOR; MERCADO, ARMANDO. Goliath catfish spawning in the far western Amazon confirmed by the distribution of mature adults, drifting larvae and migrating juveniles. Scientific Reports, v. 7, n. 41784, 2017, p.1-13.
- BOLSER, DEREK; GRUSS, ARNAUD; LOPEZ, MARCK; REED, ERIN; MASCAREÑAS-OSORIO, ISMAEL; ERISMAN, BRAD. The influence of sample distribution on growth model output for a highly-exploited marine fish, the Gulf Corvina (*Cynoscion othonopterus*). PeerJ, v. 6, 2018, e5582. https://doi.org/10.7717/peerj.5582
- BRITO, ANNABELLY; LASSO-ALCALÁ, CARLOS; SÁNCHEZ-DUARTE, PAULA. Bagre dorado Brachyplatystoma rousseauxii. En: LASSO-ALCALÁ, CARLOS; SÁNCHEZ-DUARTE, PAULA. Los peces del delta del Orinoco. Diversidad, Bioecología, Uso y Conservación. Caracas (Venezuela): Fundación La Salle de Ciencias Naturales y Chevron C.A., 2011, 500 p.
- DÍAS, ROSA-MARÍA; DE OLIVEIRA, ANIELLY-GALEGO; GIACOMEL-RAUBERT, RAFAELA; ANGULO-VALENCIA, MIRTHA-AMANDA; AGOSTINO, ANGELO-ANTONIO; BARTHEM, RONALDO. Ecology of the Goliath catfish *Brachyplatystoma rousseauxii* (Castelnau 1855). En: BRINK, KERRY; GOUGH, PETER; ROYTE, JOSHUA; SCHOLLEMA, PÉTER-PAUL; WANNINGEN, HERMAN. From Sea to Source 2.0. Protection and restoration of fish migration in rivers worldwide. The Netherlands: World Fish Migration Foundation, 2018, 353 p.
- FERRER, JAIRO; HERNÁNDEZ, RAFAEL; VALERA, ÁNGEL-RAFAEL. Caracterización agroclimática de los llanos centrales del estado Guárico. Revista Científica Observador del Conocimiento, Oficina Nacional de Ciencia y Tecnología (ONCTI), v. 2, n. 3, 2014, p. 173-186.
- FLINN, SHANE; MIDWAY, STEPHEN. Trends in Growth Modeling in Fisheries Science. Fishes, v, 6, n. 1, 2021, e6010001.
 - https://doi.org/10.3390/fishes6010001
- GONZÁLEZ-SUÁREZ, ANGEL-RAFAEL; MENDOZA, JEREMY; AROCHA, FREDDY; MÁRQUEZ, ARISTIDE. Edad y crecimiento del bagre dorado Brachyplatystoma rousseauxii del Orinoco medio según anillos de la espina pectoral. Zootecnia Tropical, v. 33, n. 2, 2015, p. 153-161.
- GONZÁLEZ-SUÁREZ, ANGEL-RAFAEL; MENDOZA, JEREMY; AROCHA, FREDDY; MÁRQUEZ, ARISTIDE. Estado de explotación del bagre dorado Brachyplatystoma rousseauxii en el Orinoco medio (Caicara-Cabruta), Venezuela. Zootecnia Tropical, v. 35, n. 3-4, 2017, p. 101-110.
- GONZÁLEZ-SUÁREZ, ANGEL-RAFAEL; MÁRQUEZ, ARISTIDE. Crecimiento del pez Plagioscion squamosissimus (Perciformes: Sciaenidae) según la inferencia de modelos múltiples en la cuenca del Orinoco medio, Venezuela. Revista de Biología Tropical, v. 68, n. 3, 2020, p. 892-897.

- GÜRCAN, MEHMET; DEMIRELLI, ARZU. Some important details on Richard growth model. Thermal Science, v. 23, n. 00, 2019, p. 350-360.
- HARRY, ALASTAIR. Evidence for systemic age underestimation in shark and ray ageing studies. Fish and Fisheries, v. 19, n, 2, 2017, p. 1–16.
- HAUSER, MARILIA; DORIA, CAROLINA; MELO, LARISSA; SANTOS, ARIEL; AYALA, DAIANA; NOGUEIRA, LORENA; AMADIO SIDNÉIDIA; FABRÉ, NIDIA-NOEMÍ; TORRENTE-VILARA, GISLENE; GARCÍA-VÁSQUEZ, AUREA; RENO, JEAN- FRANCOIS; CARVAJAL-VALLEJOS, FERNANDO; ALONSO, JUAN; NÚÑEZ-RODRIGUEZ, JESÚS; DUPONCHELLE, FABRICE. Age and growth of the Amazonian migratory catfish *Brachyplatystoma rousseauxii* in the Madeira River basin before the construction of dams. Neotropical Ichthyology, v. 16, n. 1, 2018, e170130. https://doi.org/110.1590/1982-0224-20170130
- LIU, KWANG-MING; WU, CHIAO-BIN; JOUNG, SHOOU-JENG; TSAI, WEN-PEI; SU, KUAN-YU. Multi-Model Approach on Growth Estimation and Association With Life History Trait for Elasmobranchs. Frontiers in Marine Science, v. 23, n. 1, 2021, e591692. https://doi.org/10.3389/fmars.2021.591692
- RENNER-MARTIN, KATHARINE; BRUNNER, NORBERT; KUHLEITNER, MANFRED; NOWAK, WERNER-GEORG; SCHEICHER, KLAUS. A Model for the Mass-Growth of Wild-Caught Fish. Open Journal of Modelling and Simulation, v. 7, n. 1, 2019, p. 19-40. http://www.scirp.org/journal/ojmsi
- VINCENZI, SIMONE; JESENSEK, DUSAN; CRIVELLI, ALAIN. Biological and statistical interpretation of size-at-age, mixed-effects models of growth. Royal Society Open Science, v. 7, n. 1, 2020, e192146. http://dx.doi.org/10.1098/rsos.192146
- TJØRVE, EVEN; TJØRVE, KATHLEEN. A unified approach to the Richards-model family for use in growth analyses: Why we need only two model forms. Journal Theoretical Biology, v. 267, n. 3, 2010, p. 417-425.
- TJØRVE, KATHLEEN; TJØRVE, EVEN. The use of Gompertz models in growth analyses, and new Gompertz-model approach: An addition to the Unified-Richards. Plos One, v. 12, n. 6, 2017, e0178691. https://doi.org/10.1371/journal.pone.017869
- YUCEL, SENNAN; BAKI, BIROL. Growth models comparison in seabass (Dicentrarchus labrax I.1738) culture. International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES), v. 8, n. 1, 2018, p. 165-170.

BIOTECNOLOGÍA EN EL SECTOR AGROPECUARIO Y AGROINDUSTRIAL



Vol. 21 No 1 · Enero-Junio 2023 · ISSN-1692-3561 · ISSN-e 1909-9959 · DOI: https://doi.org/10.18684

ÍNDICE TEMÁTICO

Volumen 21, No 1 (Enero - Junio de 2023)

AGRICOLA

- Bacterias endófitas aisladas de cultivo de arroz (Oryza sativa L.) con actividad promotora de crecimiento vegetal / BARBOZA-GARCÍA, ADRIÁN, PÉREZ-CORDERO, ALEXANDER, CHAMO-RRO-ANAYA, LINA// En Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 21 No 1, p.28-38.
- Adaptabilidad y estabilidad fenotípica para el rendimiento en vaina verde de 20 líneas de arveja voluble (*Pisum sativum* L.) con gen afila / HERRE-RA-PORTILLA, DIANA-MILENA; CHECA-CO-RAL, OSCAR-EDUARDO; RODRÍGUEZ-RODRÍ-GUEZ, DANIEL-MARINO // En Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol 21 No 1, p.73-84

AGROINDUSTRIA

- Resistencia de genotipos de ñame Dioscorea spp a la antracnosis Colletotrichum gloeosporioides Penz / CAMPO-ARANA, RODRIGO-ORLANDO; OBAN-DO-ECHEVARRÍA, MARTÍN; PÉREZ-POLO, DAI-RO // En Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol 21 No 1, p.85-96.
- Efecto del ácido 1-naftalenacético sobre algunos componentes de rendimiento en yuca (*Manihot* esculenta Crantz) variedad MCol 2066/ PAR-DO-PLAZA, YURI-JANIO; CANTERO-GUEVA-RA, MIRIAM-ELENA; MIRANDA- CARDONA,

CRISTIAN-ANTONIO // En Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol 21 No 1, p.62-72.

PECUARIO

- Crecimiento del bagre dorado Brachyplatystoma rousseauxii en la región del Orinoco Medio usando modelos múltiples / GONZÁLEZ-SUÁREZ, ÁN-GEL-RAFAEL // En Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 21 No 1, p.97-107.
- Estimación de materiales lignocelulósicos residuales como adsorbentes de cromo y plomo / PARRA-REYES, JAIME-ANDRÉS, OLGA LUCIA BENAVIDEZ CALVACHE// En Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 21 No 1, p.18-27
- Suplementación con ensilaje de frutas en vacas doble propósito: digestibilidad y producción láctea / CASTAÑEDA-SERRANO, ROMÁN-DAVID; GONZÁLEZ-BERMEO, JOSÉ-FLAMINIO; VE-LEZ-GIRALDO, ALEJANDRA-MARIA // En Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol 21 No 1, p.51-61.
- Efecto de suplementación con forrajes verdes sobre parámetros productivos y calidad de huevo en gallinas / RODRÍGUEZ-MOLANO, CARLOS EDUARDO; CHAMORRO-ANAYA, LINA; GAR-



CÍA-GÓMEZ, HUGO ARMANDO // En Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol 21 No 1, p.39-50.