

e-ISSN 2477-8982
p-ISSN 1390-6895

 **LA TÉCNICA**
Revista de las Agrociencias



UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE
MANABÍ
Fundada en 1952

14
VOLUMEN
Núm. 1



ENERO - JUNIO 2024

ECUADOR

Autoridades

 Luis Santiago Quiroz Fernández, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Rector

 Mara Jacqueline Molina de Lozano, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Vicerrectora Académica

 Alex Alberto Dueñas Rivadeneira, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Director del Instituto de Investigación

Equipo editorial

 Joan Manuel Rodríguez Díaz, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Director de la revista

 Adriana Beatriz Sánchez Urdaneta, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Editora General

Editores de sección

 Ana María Santana Piñeros, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Acuicultura y pesca

 Liudmila Shkiliova, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Agricultura y silvicultura

 Juan Carlos Vélez Chica, MSc.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Agroeconomía

 Wagner Antonio Gorozabel Muñoz, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Agroindustria

 Mirna Cecilia Oviedo, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Ciencias de la vida

 Yulien Fernández Romay, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Producción y salud animal

 Henry Pacheco, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Protección del ambiente



Cuerpo editorial

- iD** Juan Manuel Vera, Blgo.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Acuicultura y pesca
- iD** Jesús Díez Dapeña, PhD.
Universidad de Córdoba, España
Acuicultura y pesca
- iD** Francisco López Lozano, PhD.
Universidad de Córdoba, España
Acuicultura y pesca
- iD** Osvaldo Alberto Fosado Téllez, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Agricultura y silvicultura
- iD** Carlos Alfredo Salas Macías, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Agricultura y silvicultura
- iD** Rolando León Aguilar, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Agricultura y silvicultura
- iD** Freddy Zambrano Gavilanes, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Agricultura y silvicultura
- iD** Lenin Oswaldo Vera Montenegro, PhD.
Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Calceta, Ecuador
Agroeconomía
- iD** Frank Intriago Flor, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Agroeconomía
- iD** Ulbio Eduardo Alcívar Cedeño, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Agroindustria
- iD** Yordanis Gerardo Puerta de Armas, PhD.
Universidad Centro Panamericano de Estudios Superiores, México
Protección del ambiente
- iD** Mario Javier Bonilla Loor, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Agroindustria
- iD** José Guerrero Casado, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Ciencias de la vida
- iD** Gerardo José Cuenca Nevárez, Mg.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Ciencias de la vida
- iD** Edis Macías Rodríguez, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Producción y salud animal
- iD** Marina Dalila Zambrano Aguayo, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Producción y salud animal
- iD** Sixto Leonardo Reyna Gallegos, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Ciencias de la vida
- iD** William Méndez Mata, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Protección del ambiente
- iD** Juan Luis Cedeño Pozo, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Producción y salud animal

Consejo editorial

- iD** Rouverson Pereira da Silva, PhD.
Universidad Estatal Paulista de Brasil, Brasil
- iD** Wilson Orlando Pozo Guerrero, PhD.
Universidad de Guayaquil, Ecuador
- iD** Débora Simón Baile, PhD.
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador
- iD** Wilmer Sepúlveda, PhD.
Grupo de Investigación IPER, Facultad de Ciencias Económicas, Administrativas y Contables, Colombia
- iD** Jorge Simón Pérez de Corcho Fuentes, PhD.
Universidad Central del Ecuador, Ecuador
- iD** Ángel Guzmán Cedeño, PhD.
Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López", Ecuador
- iD** Mayra Beatriz Gómez Patiño, PhD.
Instituto Politécnico Nacional, Ecuador
- iD** Manuel Dagoberto Acevedo Pérez, PhD.
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba
- iD** Luis Ramón Bravo Sánchez, PhD.
Universidad Estatal Amazónica, Ecuador
- iD** Alexander Díaz Arias, PhD.
Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia
- iD** Ciolys Beatriz Colmenares de Ortega, PhD.
Departamento de Estadística, Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia, Venezuela
- iD** Tomás Díaz Valdés, PhD.
Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Sinaloa, México

- iD** María Herminia Cornejo, PhD.
Universidad Estatal de la Península de Santa Elena, Ecuador
- iD** Pedro Antonio Valdés Hernández, PhD.
Universidad Agraria de La Habana, Cuba
- iD** Eunice Pérez Sánchez, PhD.
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México
- iD** Matteo Radice, PhD.
Universidad Estatal Amazónica, Ecuador
- iD** Juan Antonio Reyes Agüero, PhD.
Instituto de Investigación de Zonas Desérticas (IIZD), Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México
- iD** Ely Fernando Sacón Vera, PhD.
Escuela Politécnica Agropecuaria de Manabí, Ecuador
- iD** Ángel Villegas Monter, PhD.
Profesor-Investigador Titular, Programa de Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados, Estado de México, México
- iD** Cecilia Beatriz Peña Valdivia, PhD.
Profesora-Investigadora Emérita, Programa de Posgrado en Botánica, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados, Estado de México, México
- iD** Gretty Rosario Ettiene Rojas, PhD.
Departamento de Química, Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia, Venezuela
- iD** Yaillet Alberbas, PhD.
Docente-Investigadora, Universidad Central de las Villas, Cuba
- iD** María Andrade Rodríguez, PhD.
Profesora-Investigadora, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México
- iD** Lourdes Casas Cardoso, PhD.
Docente-Investigadora, Universidad de Cádiz, Andalucía, España
- iD** Darisol Lisbeth Pacheco Rivera, PhD.
Docente-Investigadora, Departamento de Botánica, Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia
- iD** Maria da Conceição Branco da Silva, PhD.
LAQV-REQUIMTE/Departamento de Ciências Químicas, Faculdade de Farmácia, Universidade Do Porto, R. Jorge Viterbo Ferreira, 228, 4050-313, Porto, Portugal
- iD** Célia Amorim, PhD.
LAQV-REQUIMTE/Departamento de Ciências Químicas, Faculdade de Farmácia, Universidade Do Porto, R. Jorge Viterbo Ferreira, 228, 4050-313, Porto, Portugal
- iD** María Dolores Saquete, PhD.
Instituto Universitario de Ingeniería de los Procesos Químicos, Universidad de Alicante, Alicante, E-03080, Spain
- iD** Nuria Boluda-Botella, PhD.
Instituto Universitario de Ingeniería de los Procesos Químicos, Universidad de Alicante, Alicante, E-03080, Spain
- iD** Rafael Luque, PhD.
Department of Chemistry, College of Science, King Saud University, P.O. Box 2455, Riyadh, Saudi Arabia
- iD** Alina M. Balu, PhD.
Departamento de Química Orgánica, Universidad de Córdoba, Edificio Marie Curie (C-3), Campus de Rabanales, Ctra. Nnal. IV-A, Km 396, E14014, Córdoba, Spain
- iD** Luis Ernesto Arteaga, PhD.
Laboratory of Thermal and Catalytic Processes (LPTC), Wood Engineering Department, Faculty of Engineering, Universidad del Bio-Bio, Concepción 4030000, Chile
- iD** Daniella Carla Napoleão, PhD.
Chemical Engineering Department, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brazil
- iD** Jesús Rafael Salazar Miquilena, MSc.
Universidad Central de Venezuela
- iD** Santiago Miguel Ulloa Cortázar, PhD.
Universidad de las fuerzas armadas, ESPE, Ecuador
- iD** Adán Guillermo Ramírez García, PhD.
Universidad Autónoma Chapingo, Mexico
- iD** Jose Atilio Aranguren Mendez, PhD.
Universidad del Zulia, Venezuela
- iD** Jorge Guillermo Morales Ramos, PhD.
Universidad de San Martín de Porres, Universidad Señor de Sipán, Chiclayo, Lambayeque, Perú
- iD** Jorge Ortega Alcalá, PhD.
Universidad del Zulia, Venezuela

iD Manuel de Jesús Jumbo Romero, MSc.
Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador

iD Marta Maria Menezes Bezerra Duarte, PhD.
Chemical Engineering Department, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brazil

Equipo Técnico

iD Adriana Beatriz Sánchez Urdaneta, PhD.
Instituto de Investigación, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Editor Técnico

iD Víctor Andrés López Tuarez, Ing.
Departamento de TICs, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Editor Técnico/Web Master OJS

iD Orly Bermello Zamora, Ing.
Dirección de Comunicaciones, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Diseño/Diagramación

ÍNDICE

PRODUCCIÓN Y SALUD ANIMAL

Pérdida de la preñez en la hembra bovina y estrategias para mejorar la eficiencia en los programas de reproducción asistida

Pregnancy loss in the female bovine and strategies to improve efficiency in assisted reproductive programs

Raúl Alexander Toala Soledispa, Rodolfo Pedroso Sosa, Daniel Isaías Burgos Macías Felicia Roller Gutiérrez

1-11

AGROECONOMÍA

Análisis de una cadena agroalimentaria de limón

Analysis of a lemon agri-food chain

Javier Gregorio García Arteaga, Neyfe Sablón Cossío, Sebastiana Monserrate Ruiz Cedeño

12-19

AGROINDUSTRIA

Efecto de la temperatura de secado sobre los compuestos polifenólicos y actividad antioxidante de las hojas de *Piper aduncum* L.

Effect of drying temperature on polyphenolic compounds and antioxidant activity of *Piper aduncum* L. leaves

Sting Brayan Luna-Fox, Katherine Estefanía González-Linares, Jhomaira Astrid Ortega Torres Nancy Narcisa Rodríguez-Almeida, Ruth Dayra Dahua-Gualinga Nelly Jazmín Peñafiel-Bonilla Luis Ramón Bravo-Sánchez

20-28

PRODUCCIÓN Y SALUD ANIMAL

***Daucus carota* L. como fuente de pigmento natural y su efecto sobre los parámetros zootécnicos en pollos de engorde Cobb 500**

Daucus carota L. as a source of natural pigment and its effect on zootechnical parameters in Cobb 500 broiler chickens

aneth Rocío Jácome-Gómez, Ximena Patricia Valencia-Enríquez Edison Javier Salcán-Sánchez María Cristina Martínez Sotelo, Diana Leticia de La Cruz Chicaiza

29-36

PROTECCIÓN DEL AMBIENTE

Evaluación de atributos e índices de calidad en plantas de vivero para la reforestación exitosa en Pinar del Río, Cuba: Revisión sistemática

Evaluation of attributes and quality indices in nursery plants for successful reforestation in Pinar del Río, Cuba: Systematic review

Samantha García-Decoro, Sting Brayan Luna-Fox, Sonia Vega-Rosete, Gretel Geada-López, Yudel García-Quintana

37-44

ACUICULTURA Y PESCA

Biología pesquera de la gallineta, *Prionotus stephanophrys* Lockington, 1880, procedentes de la flota polivalente durante el 2017 y 2018 en Ecuador

Fishing biology of lumptail searobin, *Prionotus stephanophrys* Lockington, 1880 from the multi-purpose fishing fleet during 2017 and 2018 in Ecuador

Sara España-Mindiolaza, Willan Revelo-Ramírez, Gabriela Vergaa

45-52

AGROINDUSTRIA

***Tectona grandis* Linn. Retos y perspectivas del potencial uso de la especie**

Tectona grandis Linn. challenges and perspectives of the potential use of the species

Yamila Lazo-Pérez, Arliet Morales-Moreno, Nancy Narcisa Rodríguez-Almeida

53-59

PRODUCCIÓN Y SALUD ANIMAL

Tecnología IoT para el monitoreo de la salud animal en el sector ganadero

IoT technology for animal health monitoring in the livestock sector

Grace Katiuska Viteri Guzmán, Ignacio Hugo Monserrate Sánchez, Alfredo Enrique Arrese Vilche

60-68





Pérdida de la preñez en la hembra bovina y estrategias para mejorar la eficiencia en los programas de reproducción asistida

Pregnancy loss in the female bovine and strategies to improve efficiency in assisted reproductive programs

Autores

✉ ¹*Raúl Alexander Toala Soledispa

✉ ²Rodolfo Pedroso Sosa

✉ ²Daniel Isaías Burgos Macías

✉ ²Felicia Roller Gutiérrez

¹Programa de Maestría en Medicina Veterinaria. Facultad de Posgrado Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.

²Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.

Citacion sugerida: Toala Soledispa, R. A., Pedroso Sosa, R., Burgos Macías, D. I. y Roller Gutiérrez, F. (2024). Pérdida de la preñez en la hembra bovina y estrategias para mejorar la eficiencia en los programas de reproducción asistida. *La Técnica*, 14(1), 1-11. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v14i1.5472>

Recibido: Enero 15, 2023

Aceptado: Octubre 10, 2023

Publicado: Diciembre 31, 2023

Resumen

En los programas de inseminación artificial (IA), las repeticiones del celo y las pérdidas embrionarias (ME) y fetales son causas importantes de la baja eficiencia reproductiva en los climas cálidos. Esta revisión bibliográfica tiene como objetivo mostrar las causas y estrategias para disminuir las pérdidas de la preñez en la vaca. En el ganado bovino, la tasa de fertilización es alta y ocurre aproximadamente entre el 75 al 90% de las hembras inseminadas. Las mermas embrionarias se producen en más del 25% de los servicios y de ellas la mayor proporción se produce, entre 15 a 17 días del servicio y las seis semanas de inicio de la preñez. Los procedimientos biotécnicos utilizados para prevenir las repeticiones del celo y la mortalidad embrionaria y fetal tales como: el uso de hormonas exógenas que incluyen la progesterona, los estrógenos, la hormona del crecimiento, la gonadotropina coriónica humana, los factores de liberación hormonal y el alfa interferón recombinante con el fin de potenciar las funciones del cuerpo lúteo e inhibir el mecanismo de la luteólisis. Otros procedimientos incluyen la aplicación de diversos procedimientos biotécnicos de sincronización y resincronización del celo para mejorar la eficiencia de los servicios de IA y corregir la baja eficiencia en la detección del celo. La suplementación alimentaria con grasa no saturada y sustancias antioxidantes y medidas de manejo para reducir el impacto del estrés del calor. Estos procedimientos pueden contribuir a mejorar la fertilidad del ganado bovino en climas cálidos.

Palabras clave: repetición del servicio; pérdidas de la preñez; mortalidad embrionaria.

Abstract

In artificial insemination (AI) programs, repeated estrus and embryonic (EM) and fetal losses are important causes of low reproductive efficiency in hot climates. This literature review aims to show the causes and strategies to decrease pregnancy losses in cows. In cattle, the fertilization rate is high and occurs in approximately 75 to 90% of the inseminated females. Embryonic losses occur in more than 25% of the services and the highest proportion of them occurs between 15 to 17 days after service and six weeks after the beginning of pregnancy. Biotechnical procedures used to prevent repeat estrus and embryonic and fetal mortality include the use of exogenous hormones including progesterone, estrogens, growth hormone, human chorionic gonadotropin, hormone releasing factors and recombinant alpha interferon to enhance corpus luteum functions and inhibit the mechanism of luteolysis. Other procedures include the application of various biotechnical estrus synchronization and resynchronization procedures to improve the efficiency of AI services and correct low estrus detection efficiency. Feeding supplementation with unsaturated fat and antioxidants and management measures to reduce the impact of heat stress. These procedures can contribute to improve fertility of cattle in hot climates.

Keywords: repeat service; pregnancy losses; embryonic mortality.



Introducción

La infertilidad en el ganado bovino es un problema multifactorial que puede estar asociado a la falta de competencia del ovocito para la maduración, fertilización y desarrollo del embrión, los trastornos en el transporte del espermatozoide, los problemas de fertilización y a los cambios en la composición del ambiente uterino y los trastornos de la implantación y el desarrollo del embrión (Rizos et al., 2010).

Uno de los problemas de infertilidad más estudiado en la especie bovina, es la pérdida de la preñez por ser considerada una causa del alargamiento de los intervalos entre partos, lo cual constituye una fuente importante de las mermas económicas de esta industria. En la práctica las manifestaciones de este problema se reflejan en: repeticiones del celo (no fertilización) y la muerte embrionaria o fetal (Diskin et al., 2016; Wiltbank et al., 2016).

Desde el punto de vista conceptual, las pérdidas embrionarias se extienden desde el período posterior a la concepción hasta el estado de diferenciación. Mientras, las fetales son las que ocurren desde el día 42 de la gestación al término de la preñez (Zhang y Smith, 2015).

En las dos últimas décadas, se han producido notables avances en el conocimiento de las causas y mecanismos fisiopatológicos que dan origen a las repeticiones de los servicios de inseminación artificial y las pérdidas embrionarias y fetales (Hansen y Barron, 2011). Este hecho ha permitido el desarrollado e introducido diversas estrategias de manejo y métodos biotécnicos (Walhs et al., 2011), cuyos objetivos fueron mejorar la fertilidad del ganado en los programas de inseminación artificial (IA) y la transferencia de embriones (TE) (Syid, 2021).

En este contexto, se desarrolló esta revisión bibliográfica que tuvo como fin exponer los aspectos más sobresalientes de las causas de repeticiones del celo y las pérdidas embrionarias o fetales en la hembra bovina bajo programas de inseminación artificial y transferencia de embriones con énfasis en el ganado criado en pastoreo bajo las condiciones climáticas del trópico. Mostrar los nuevos conocimientos respecto del mecanismo de la implantación y el sostenimiento de la preñez; los métodos de diagnóstico de la viabilidad embrionaria y las diversas estrategias de manejo y procedimientos biotécnicos utilizados para su prevención y mejorar la tasa de concepción, y la supervivencia embrionaria y fetal en la hembra bovina en los programas de reproducción asistida.

Metodología

Para el análisis de la información, se emplearon las bases de datos Electrónicas PubMed, Scopus, Web of Science y

Web Animal Science, como fuentes principales para obtener los artículos relacionados con impacto económico de las pérdidas de la gestación, los mecanismos de la luteólisis, reconocimiento, implantación y sostenimiento de la gestación. Causas de la mortalidad embrionaria y fetal, diagnóstico de preñez y predicción de la viabilidad del embrión tratamiento para mejorar la fertilidad en los programas de inseminación artificial y transferencia de embriones. En este contexto, fueron revisados 215 artículos científicos relacionado con el tema objeto de estudio. Las palabras claves utilizadas en la búsqueda fueron: gestación, pérdidas, diagnóstico, tratamiento bovino.

Desarrollo

Impacto económico e incidencia de las pérdidas de la preñez después de la inseminación artificial o la transferencia embrionaria en la hembra bovina

La cadena de producción de leche y carne en la especie bovina depende de su eficiencia reproductiva. Por consiguiente, las fallas en la fertilización y las pérdidas de la preñez son inconvenientes que producen grandes pérdidas económicas en los diferentes sistemas de producción y los programas de reproducción asistida. Este fenómeno, se refleja en tres reacciones individuales: la no fecundación, la mortalidad embrionaria y el aborto y son la fuente del alargamiento de los períodos entre partos, la disminución de la producción de leche y el número de nacimientos, provoca la reducción de la vida útil de las vacas y ejerce un impacto negativo en la implementación de los programas de mejora genética mediante la inseminación artificial o la transferencia de embriones.

De acuerdo con múltiples estudios las pérdidas económicas por cada día vacío después de los 100 días posparto son equivalentes entre USD 3 a 5. Así, en Estados Unidos, se reportan que los costos ocasionados por las pérdidas anuales de la gestación en las vacas equivalen a 1,4 billones. Mientras, en Inglaterra, esta cifra alcanza el valor de 250 millones de libras esterlinas y se sitúa la tasa de mermas individuales anuales en un valor entre USD 600 a 1000.

Es evidente, que los valores globales o individuales de la pérdida de la gestación son muy variables y ello depende fundamentalmente de: el sistema de manejo a que este sometido el rebaño, el número de lactaciones, el estado de la lactación y período de la gestación en que ocurre la pérdida de la preñez y del precio del programa de inseminación artificial o transferencia de embriones. No obstante, aunque estos datos, no se pueden extrapolar al resto del mundo, el costo global asciende a USD 280.000.000.000. Estos hallazgos son la génesis y la justifican de las múltiples investigaciones que se realizan en esta dirección

desde hace varias décadas. En este sentido, Sartori et al. (2010) plantearon que posterior a los servicios de IA, en más del 80% de las ocasiones ocurrió la fertilización del ovocito en la ganadería bovina. Pero, esta cifra es ligeramente inferior en los climas cálidos por el impacto del estrés calórico y en países donde la calidad y eficiencia de los servicios de IA son deficientes. En ambas situaciones esta cifra puede alcanzar un valor inferior al 70%.

Con respecto a la viabilidad de los embriones, los estudios más recientes destacan, que existe una gran variabilidad y se estima un rango entre el 20 al 91% (Yusuf et al., 2010). Referente a esto último, la mortalidad embrionaria precoz antes de los 25 días posterior a la inseminación artificial (IA), varió entre 4,5 a 43,7%. Mientras, la mortalidad embrionaria tardía entre los 25 a 42 días después del servicio y las fetales después de los 50 días de gestación alcanzó un valor de 8,3 a 24,0% en vacas lactantes y de 1 al 10,2% en novillas inseminadas por primera vez. Estos resultados fueron más bajos en las hembras provenientes de razas especializadas en la producción de carne. En estas vacas, el promedio de las pérdidas de la preñez varió entre 4 al 10,8%.

Breve recuento del mecanismo de la luteólisis y reconocimiento, implantación y el sostenimiento de la preñez en la hembra bovina

Los mecanismos de la luteólisis y el de sostenimiento de la preñez son dos eventos fisiológicos antagónicos. En este sentido, las células del endometrio juegan un papel importante como un tejido endocrino complejo altamente especializado, compuesto por dos tipos de células: las células endometriales epiteliales (CEEP) y estromales (CEES), ambas contribuyen a la regulación del ciclo estral bovino mediante diferentes mecanismos de señalización de estímulo y modulación de la síntesis de prostaglandinas. Las CEEP y las CEES responden a diversas señales moleculares, fisiológicas y patológicas modulando la producción de PGF2 α y PGE2 (Olivera, 2010).

Estas señales deben activar rutas moleculares de una manera coordinada para definir el tipo de prostaglandina a sintetizar. Así, en las CEEP la producción basal de PGF2 α respecto a PGE2 es 105 y 53 pg·mL⁻¹, respectivamente, lo cual correspondió aproximadamente a dos veces más PGF2 α e indicó, que las células del epitelio del endometrio poseen una mayor capacidad luteolítica. Mientras, las CEES produjeron ambas prostaglandinas. Pero, la proporción de producción de PGE2 fue ocho veces mayor que la de PGF2 α (2,6 ng· μ g⁻¹ vs 0,34 ng· μ g⁻¹) y sugiere, que estas células poseen una mayor capacidad autotrófica (Olivera, 2010).

Otros eventos asociados al proceso de la luteólisis son la cascada de sucesos fisiológicos que acompañan a la luteólisis en condiciones de un proceso inflamatorio modulado por las hormonas producidas por el CL y el folículo ovárico no ovulatorio. En su primera fase, la acción previa de la progesterona y los estrógenos (E2) segregados por el cuerpo lúteo (CL) y los folículos no ovulatorios. Esta última hormona (E2), es la encargada de estimular la síntesis de los receptores de oxitocina

en el endometrio. Posteriormente, la oxitocina proveniente del lóbulo posterior de la hipófisis y la segregada por el cuerpo lúteo, activa el sistema enzimático Protein-quinasa (PKC) y sucesivamente ocurre la síntesis y secreción de PGF2 α por el endometrio.

A continuación, la acción de la PGF2 α , causa la inhibición en la formación de receptores de (LHR) en la membrana de las células del CL y la expresión génica del sistema P450scc encargado de convertir el colesterol en progesterona. Seguidamente, se produce un aumento del flujo sanguíneo local y la expresión del sistema inmune innato caracterizado por el incremento del número de los macrófagos, los linfocitos y la secreción de citoquinas (Schütz et al., 2014), dentro de las cuales se destacaron el interleukin-1 β , el gamma interferón (IFN- γ), el Factor de la Necrosis Tumoral (TNF α), el factor transformador del crecimiento (TGF). La acción conjunta de estos componentes del sistema inmune conduce a la degeneración de las células de la granulosa y de la teca e inducen la consiguiente disminución de la síntesis y secreción de progesterona y la apoptosis de las células del CL. Esto conduce al retorno del celo o la pérdida de la preñez temprana en la vaca gestante (Pedroso y Roller, 2021).

Mecanismo de sostenimiento de la preñez en la hembra bovina

En las vacas gestantes el crecimiento y desarrollo folicular se caracteriza por el aumento de la presencia de folículos pequeños y disminuyen de los grandes folículos estrógenos activos. Además, se requiere la existencia de un cuerpo lúteo activo, glándula endocrina que se desarrolla a partir de las células ováricas de la granulosa y de la teca que es la encargada de sintetizar y segregar la progesterona, la oxitocina (OXT) y los E2 que son hormonas esenciales que regulan la duración del ciclo estral y el mantenimiento de la preñez en el ganado bovino.

Papel del ovario

Para el sostenimiento de la preñez, se requiere de la existencia de un cuerpo lúteo activo. El cuerpo lúteo (CL) es la glándula endocrina que se desarrolla a partir de las células ováricas de la granulosa y de la teca. Estas células, segregan la progesterona, la oxitocina (OXT) y los esteroides más importantes que regulan la duración del ciclo estral y es esencial para el mantenimiento de la preñez en el ganado bovino. Después de la fertilización, el desarrollo del cuerpo lúteo, el crecimiento folicular y la concentración de progesterona (> 3,18 nMol·L⁻¹), el estradiol y la oxitocina, influyen en la supervivencia embrionaria. Los niveles de la progesterona, por una parte, regulan la respuesta inmune mediante la inhibición de la proliferación y actividad miogénica de los linfocitos. Además, reduce el número de los receptores de la OXT y bloquea la liberación de PGF2 α por el endometrio y favorece el desarrollo del embrión, la producción por este de Interferón- γ . Estos eventos fisiológicos inducidos por la progesterona producida por el cuerpo lúteo en su conjunto provocan la inhibición de los eventos fisiológicos, que acompañan la luteólisis (Pedroso y Roller, 2021).

Papel del conceptus

En la hembra bovina preñada, la presencia del embrión en el útero modifica la manifestación de la luteólisis. Este fenómeno se relaciona con la capacidad que tiene el conceptus de segregar una citoquina denominada proteína trofoblástica (bTP-1) o (IFN- γ), que se origina en el trofoectodermo y es producida durante el período de reimplantación y elongación del embrión entre los días 11 y 24 posterior a la fecundación. Esta citoquina tiene como función deprimir la expresión del sistema inmune materno y degradar las enzimas prostaglandina-sintetasa (PGHS), que catalizan la conversión de ácido araquidónico a prostaglandina (Khatib et al., 2010).

Papel del endometrio

El papel del endometrio materno en el desarrollo de la luteólisis está representado por la presencia en el endometrio de un inhibidor intracelular de la síntesis de PGF 2α (EPSI). Este compuesto está presente durante casi todo el transcurso de la gestación. Esto indica, que en el endometrio de las hembras gestantes ocurre una depresión de la expresión del sistema inmune (Fair, 2016) y en la preñez temprana existe un predominio de los fenómenos antiluteolíticos, los cuales reducen la secreción de PGF 2α , favoreciendo el sostenimiento de la preñez (Wiltbank et al., 2018).

Factores asociados a las pérdidas de la preñez después de la inseminación artificial y la transferencia de embriones en la hembra bovina

La no fertilización y las pérdidas de la preñez en el ganado bovino están condicionadas por múltiples factores (Ali, 2021) dentro de los que se destacan: los factores genéticos (Molina-Coto, 2017), la edad, (Duica et al., 2007; Osorio y Pedroso, 2021), el clima (Hansen y Barron, 2011), la nutrición (De Bie, 2017; Caton et al., 2020; Moriel et al., 2020), el balance endocrino (Wathes y Lamming, 1995; Pankratova et al., 2019), la composición del ambiente uterino (Rizos et al., 2010), la calidad del ovocito (Morales et al., 2016), los asociados a la aplicación de las tecnologías de reproducción asistida y las condiciones epidemiológicas del rebaño (Warnick y Hansen, 2010). Sin embargo, no puede olvidarse, que la reacción sexual es individual y en un caso un solo factor puede provocar múltiples reacciones; mientras, en otros casos, varios factores pueden ser la causa de un mismo fenómeno de infertilidad.

Factores asociados a la calidad y eficiencia de los servicios de inseminación artificial

La inseminación artificial es la tecnología de mayor uso por los pequeños medianos y grandes productores de ganado vacuno

para la implementación de los programas de cruzamiento y mejora genética. Pero, existen un gran número de factores biológicos, gerenciales y socio-económicos que afectan la calidad y la eficiencia de la técnica y este problema en alguna forma limita la participación de nuevos usuarios. En este contexto, durante cuatro años fue desarrollado un proyecto Coordinado de Investigación FAO/OIEA titulado “Uso del RIA y técnicas afines para identificar formas de mejorar los programas de inseminación artificial en ganado bovino criado bajo condiciones de trópico y subtropico”, el cual fue implementado en 14 países en desarrollo. Los resultados más notables de esta investigación en la cual fueron evaluados las siguientes variables relacionadas con aspectos fisiológicos de la vaca, la calidad del semen, la habilidad del técnico para implementar la tecnología arrojó los siguientes resultados (tabla 1).

Tabla 1. Factores que influyen en la eficiencia y calidad de los servicios de inseminación artificial (García et al., 2001).

Problema principal	Deficiencia específica en servicio al IA	Población afectada (%)
IA inapropiada probablemente debido a detección incorrecta de celo		17,3
Producción propia	*IA en vacas con cuerpo lútero activo	6,09
	*IA en vacas que no están ciclando	10,4
Detección del celo y manejo de rebaño deficientes	*Vacas que fallan en concebir, el celo subsiguiente no es detectado y se encuentran vacías al diagnóstico de preñez	27,40
	*Vacas que conciben, pero pierden el embrión y se les encuentra vacías en el diagnóstico de preñez	10,1

De acuerdo con estos datos, fue evidente que el uso de la metodología estandarizada entre países y la estrategia de combinar información de campo con valores de progesterona (leche y/o sangre), la información de campo y la base de datos,

permitió la generación de información única en su género sobre los sistemas de IA en países en desarrollo. Esta investigación permitió la identificación de los principales factores que limitan la eficiencia de la IA en las localidades estudiadas.

En este sentido, el estudio mostró que cerca de la mitad de las fallas de los servicios estuvieron relacionados con errores humanos. En esta dirección, los esfuerzos futuros deben estar abocados en aliviar la intensidad de los problemas encontrados, con énfasis en los siguientes: educar a los ganaderos en detección de celo, y en prácticas de manejo y nutrición animal; mejorar el conocimiento y habilidades del técnico inseminador, ampliar la investigación en mortalidad embrionaria, los métodos de inducción o sincronización de celo; mejorar el manejo, almacenamiento y control de calidad del semen, la mejora del sistema de registro, la evaluación y seguimiento de las inseminaciones.

Factores que influyen en la tasa de preñez en los programas de transferencia de embriones convencional o embriones producidos in vitro

Los programas de transferencia de embriones convencional (MOET) o mediante el uso de embriones producidos in vitro (PIE), recibe en la actualidad una gran implementación por los beneficios aportados a la mejora genética, multiplicación, conservación de genes y la biodiversidad. En los informes de la literatura se enfatiza, que la tasa de preñez durante la implementación de estas tecnologías puede variar entre el 20 al 50%. Esta eficiencia depende de la competencia del ovocito de las donantes, los procedimientos de tratamiento super ovulatorios, el estado de la condición corporal, la época, el genotipo. Similares aspectos fueron encontrados en las donantes destinadas a la tecnología de (PIE), en la cual también se ha mostrado el efecto del semen utilizado (sexado o no sexado) y los métodos de criopreservación. En las receptoras se destacan, la calidad del cuerpo lúteo y su estado de la condición corporal (Osorio y Pedroso, 2021). En ambas categorías (donantes y receptoras), la prevalencia de procesos inflamatorios dentro y fuera del aparato genital y estados de carencia de micronutrientes juegan un rol transcendental dado que los efectos que estos generan se reflejan en la sangre, el licor folicular y el contenido de las secreciones del útero (Leroy et al., 2016; De Bie, 2017; Figueredo et al., 2017). Algunos de estos resultados son expuestos en la figura 1, donde se presentan los hallazgos recientes de la implementación de esta tecnología en las condiciones del trópico seco en Ecuador.

Estos resultados sugieren, que tanto la implementación de los programas de inseminación artificial como de transferencia embrionaria requieren el control sistemático de la implementación de las tecnologías. Además, que dentro del marco científico se requiere continuar con las investigaciones sobre las causas de la competencia de los ovocitos para la maduración, fertilización y el crecimiento del desarrollo embrionario. Así como el efecto de los factores ambientales, nutricionales y del estado epidemiológico que pueden influir negativamente, en los procesos de implantación y sostenimiento de la preñez. Estos estudios deben poner especial énfasis en la ganadería criada a pastoreo en condiciones

del trópico y subtrópico. En este sentido, las investigaciones de los mecanismos, celulares y moleculares implicados en el desarrollo de estos fenómenos biológicos pueden contribuir a la aplicación de adecuadas estrategias biotecnológicas que mejoren la eficiencia de la inseminación artificial y la transferencia de embriones.

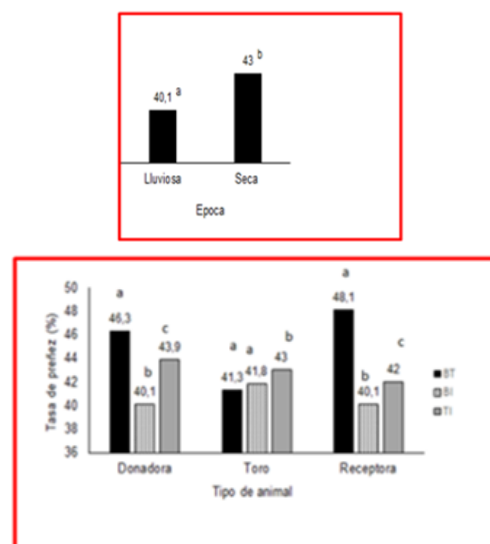


Figura 1. Factores que influyen en la tasa de preñez de hembras bovinas receptoras de embriones *in vitro* en una región tropical baja del Ecuador (Osorio y Pedroso, 2021).

Impacto del estado epidemiológico del rebaño

El estado epidemiológico de los rebaños constituye una causa importante de las fallas en la fertilización y pérdidas de la preñez en la ganadería vacuna. Los conocimientos expuestos en la actualidad, sobre la fisiopatología de diversas enfermedades infecciosas y parasitarias donde se explican los mecanismos moleculares, celulares, y endocrinos) y aplicar las medidas terapéuticas adecuadas de estas entidades en las producciones pecuarias. En este contexto se destacan entidades muy difundidas en la ganadería vacuna en climas cálidos tales como las mastitis (Dahl et al., 2017), la pododermatitis, las endometritis, la infestación por fasciola hepática y la diarrea viral bovina (Santos y Ribeiro, 2014; Bradford et al., 2015).

Existen otras entidades infecto-contagiosas y parasitarias, que afectan la reproducción. Dentro de ellas se destacan: la trichomoniasis, campilobacteriosis, brucelosis, rinotraqueitis infecciosa bovina, ureaplasmosis, neosporosis, micoplasmosis y tuberculosis. Estas entidades son muy comunes y de amplio conocimiento en los rebaños de ganado bovino en los climas cálidos. En consecuencia, existen programas específicos de control y tratamiento de estas enfermedades (Salasel et al., 2010). Otros procesos inflamatorios no específicos localizados en el tracto, aunque no influyen en el crecimiento de los embriones pre implantados, si aumentan el número de células

en estado de apoptosis (Fabian et al., 2010). Sin embargo, aún no se han realizado estudios que muestren su asociación con las pérdidas embrionarias. Por consiguiente, sería apropiado realizar investigaciones en este sentido con énfasis en la ganadería vacuna criada en pastoreo (Pedroso, 2011).

Procedimientos para el diagnóstico de preñez y la predicción de las pérdidas embrionarias en la hembra bovina

La mortalidad embrionaria y fetal constituyen una de las fallas del proceso reproductivo que genera mayores pérdidas económicas en la producción ganadera contemporánea. Esta ineficiencia tiene un costo anual de un billón de dólares en el mundo. En este sentido, los estudios y conocimientos de este problema van en aumento en las últimas décadas. En este contexto, las investigaciones han sido orientadas a determinar el momento en que ocurre la pérdida de la viabilidad y mortalidad embrionaria o fetal *in vivo*.

Al respecto, recientes investigaciones han dejado claras evidencias de los periodos críticos de las pérdidas de la preñez. Esto ha sido posible mediante las tecnologías disponibles de diagnóstico para determinar la mortalidad embrionaria o fetal en la hembra bovina (Wiltbank et al., 2016; Ealy y Seekford, 2018; Reese et al., 2020). Además, fue verificado que el período de ocurrencia de la mortalidad embrionaria o fetal muestra una gran variación y está determinado principalmente por factores genéticos, estado productivo, el ambiente y las condiciones de manejo. Métodos disponibles para el diagnóstico de la preñez la mortalidad embrionaria o fetal en la hembra bovina. La palpación y la ultrasonografía transrectal son procedimientos que tienen como base el acumulo de contenido de los fluidos del útero, la presencia y tamaño del embrión o el feto y las estructuras ováricas (CL/FO) y el desarrollo de la placenta.

Estas técnicas son utilizadas para el diagnóstico de la preñez. El primero permite conocer con exactitud el estado de gestación a partir de los 40 a 60 días y la ecografía desde los 25 a 30 días posteriores al servicio IA o TE, aunque es difícil predecir las pérdidas de la preñez. Al respecto, un avance reciente en esta dirección lo constituye la utilización de la ultrasonografía doppler. Esta herramienta permite visualizar la circulación de la sangre por los vasos sanguíneos, y determinar el flujo sanguíneo del útero, la placenta, la actividad del cuerpo lúteo y el estado de preñez temprana cuando se conoce con precisión el momento de presentación del celo y la ovulación (Herzog et al., 2010).

Además, valorar la perfusión sanguínea o tisular, es decir, el paso de un fluido, a través del sistema circulatorio o el sistema linfático, a un órgano o un tejido. Pero no es un eficiente para monitorear la viabilidad del feto o predecir la pérdida de la

preñez dado que la reducción de los niveles de progesterona puede ocurrir simultáneamente o después de la muerte del embrión (Scully et al., 2015; Pohler et al., 2016). Por tal razón se utiliza este procedimiento asociado a otros medios tales como la determinación de la ISG o PAG (Melo et al., 2020).

La determinación de progesterona (P4) en sangre o leche es un método diagnóstico no específico de la preñez más utilizado en la ganadería contemporánea. La diferencia en los niveles de P4 entre las hembras preñadas y no preñadas puede ser utilizado como marcador de la gestación temprana. Así, niveles inferiores a ($< 1 \text{ ng}\cdot\text{mL}^{-1}$) 18 a 24 días después de la IA y/o TE pueden ser clasificadas como no preñadas y las vacas con niveles de P4 levels ($\geq 1 \text{ ng}\cdot\text{mL}^{-1}$) durante este período pueden considerarse no preñadas con una precisión del 80 al 100% para determinar el estado de no preñez. En este caso los falsos positivos pueden ser atribuidas a CL de larga duración, persistentes o quísticos y mortalidad embrionaria temprana (Pohler et al., 2016). El hecho de la existencia de una alta prevalencia de falsos positivo limita el uso de este medio diagnóstico como marcador de la viabilidad embrionaria.

El descubrimiento de la glicoproteína específica asociada a la gestación en la hembra bovina a proyectado su uso como medio de diagnóstico de la gestación viabilidad y mortalidad embrionaria y fetal. Así, en recientes estudios se ha planteado que la glicoproteína asociada a la gestación (PAG), puede servir como marcador biológico de existencia de gestación y predecir con una exactitud del 95% de confiabilidad de la mortalidad embrionaria tardía o fetal, posteriores al servicio de inseminación artificial o la transferencia embrionaria. Las glicoproteínas asociadas al embarazo (PAG) son miembros de la familia de genes de proteinasa aspártica. Muchos de los PAG bovinos son producidos por células binucleadas gigantes en el epitelio trofoectodérmico. Al respecto, en un estudio reciente cuyo objetivo fue identificar las fallas de la gestación entre los días 30 a 60 posteriores al servicio IA o la transferencia embrionaria. Además, se comprobó que, la proporción de vacas que experimentaron pérdidas de la preñez fue del 23% (IATF) y 16% (FTET), respectivamente (Greco et al., 2015).

Pero no parece ser práctico para algunos profesionales por los requerimientos de laboratorio que demanda (Middleton y Purley, 2018). Sin embargo, se recomienda para hacer estudios de incidencia de mortalidad embrionaria para lo cual se sugiere, realizar una toma de muestra sanguínea, el día 22-24 para determinar la preñez y 28,30 con el fin de comprobar la viabilidad y mortalidad embrionaria (Oliveira et al., 2020). El concepto para el reconocimiento de la preñez, la implantación en el útero materno durante la fase de elongación segrega el

interferón Tau o proteína trofoblástica (IFNT) esta se origina en el trofoectodermo y es el encargado de estimular unos conjuntos de genes (ISG), que se unen a los receptores en la superficie de una célula (endometrio), iniciando vías de señalización y a la expresión de un subconjunto de genes implicados en la respuesta del sistema inmunitario innato (madre).

Por lo general, este gen, se expresan comúnmente en respuesta a una infección viral, pero también durante una infección bacteriana y en presencia de parásitos. En este caso, su papel es modular la acción de rechazo del sistema inmune materno a la presencia del embrión en el útero. De esta forma inhibe la secreción de prostaglandina por el endometrio, contribuye al mantenimiento de las funciones del CL y promueven el reconocimiento y sostenimiento de la preñez. En general, se ha encontrado diferencias significativas entre hembras preñadas o no preñadas en los días 18 a 22 posteriores de la IA o TE con una exactitud de diagnóstico positivo muy variable del 70 al 90% (Ealy y Seekford, 2019; Melo et al., 2020). Pero, como puede observarse, la gran variabilidad de estos resultados experimentales ha hecho que su uso en la producción sea limitado. Estas variaciones pueden tener su origen a que los genes ISG pueden también responder a otros tipos de interferones tales como aquellos asociados a ciertas infecciones de origen viral (Shaw et al., 2017).

De acuerdo con diversos estudios, uno de los candidatos más prometedores en la búsqueda de un biomarcador de fácil acceso para el diagnóstico de la preñez son los microARN circulantes. Pero, actualmente se limita su uso solo en actividades de investigación debido a las técnicas de laboratorio necesarias para aislarlos y medirlos. Según los hallazgos experimentales, entre los días 18 al 22 del servicio de IA o TE, estos nucleótidos juegan un importante papel en la regulación de la expresión de genes encontrados en el fluido del útero, el líquido amniótico y el suero sanguíneo (Pohler et al., 2016). En esta dirección, se han realizado varias investigaciones que han permitido considerar a los miRNA asociados a la preñez como candidatos para identificar el estado de la preñez o la viabilidad y la mortalidad del embrión. Las vacas que experimentan un aumento de los miRNA los días 17 a 24 posteriores al servicio IA y/o TE, tienen una mayor tasa de preñez comparados con aquellas no preñadas (Pohler et al., 2017). Sin embargo, aún se requieren realizar nuevos estudios con el fin de lograr una adecuada repetibilidad y exactitud de este procedimiento diagnóstico. Uso integrado del manejo reproductivo y los procedimientos farmacológicos.

En investigaciones realizadas en vacas lecheras y doble propósito criadas en pastoreo bajo las condiciones climáticas del trópico y climas templados, se ha implementado varios sistemas de manejo para identificar e inducir el retorno al servicio de las hembras no gestante en estado de gestación conocido o desconocido. Estos métodos de manejo combinado con las determinaciones de progesterona o PAG, pueden ser utilizados de forma práctica para realizar estudios que permitan definir el estado de preñez, viabilidad y mortalidad embrionaria.

Métodos biotécnicos y estrategias de manejo reproductivo para mejorar la fertilidad de la hembra bovina en los programas de inseminación artificial y transferencia de embriones

Los conocimientos adquiridos sobre los mecanismos del sostenimiento de la preñez y el desarrollo embrionario han permitido, la introducción de métodos modernos para mejorar la eficiencia reproductiva (Besbaci et al., 2020). En este sentido, se han señalado, la suplementación de energía en la dieta; vitaminas, minerales y grasa de sobre paso (Ninabanda, 2018), el uso potencial del alfa interferón recombinante (Lenis et al., 2010), la manipulación farmacológica del desarrollo y crecimiento folicular (Pedroso, 2011), las funciones del cuerpo lúteo; el uso de la hormona de crecimiento recombinante (Hernández-Cerón y Gutiérrez-Aguilar, 2013). El desarrollo y optimización de los métodos de sincronización del estro, la ovulación e IA en tiempo fijo (Lamb et al., 2010); la suplementación de progesterona (Mann, 2008) y la aplicación de diversos métodos de atenuación del estrés calórico y los sistemas de control del estado nutricional (Schütz et al., 2014; Molina-Coto, 2017), la selección genómica (Straden et al., 2019); suplementación y tratamiento con sustancias anti oxidantes (Greco et al., 2015; Pedroso y Roller, 2021).

Conclusión

La pérdida de la preñez es la principal causa del alargamiento de los intervalos entre parto. Sus tres manifestaciones prácticas: la no fertilización, la mortalidad embrionaria o fetal son los indicadores de mayor impacto negativo en la productividad en la crianza del bovino. Es un problema multifactorial por lo que requiere de un conocimiento profundo de la fisiopatología del reconocimiento, implantación y el sostenimiento de la preñez.

La implementación de técnicas para la manipulación del crecimiento, desarrollo y atresia del folículo ovárico; la suplementación de progesterona o la inducción de cuerpo lúteos accesorios en la fase media del diestro con el fin de inhibir el mecanismo de la luteólisis y potenciar las funciones del CL, son procedimientos adecuados para mejorar la fertilidad de vacas inseminadas o posterior a la transferencia embrionaria.

Las principales medidas preventivas van dirigidas al control de la eficiencia y calidad de los servicios de inseminación artificial y la predicción de la viabilidad del embrión posterior a la transferencia. La aplicación de estas medidas permitirá mejorar de forma sostenida la eficacia de las tecnologías de reproducción asistida.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.



Referencias bibliográficas

- Ali, S. (2021). Fertilization failure and early embryonic mortality as a major cause of reproductive failure in cattle: A review. *World Scientific News*, 158, 59-71.
- Besbaci, M., Abdelli, A., Minviel, J. J., Belabdi, I., Kaidi, R. and Raboisson, D. (2020). Association of pregnancy per artificial insemination with gonadotropin-releasing hormone and human chorionic gonadotropin administered during the luteal phase after artificial insemination in dairy cows: A meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, 103(2), 2006-2018. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16439>
- Bradford, B. J., Yuan, K., Farney, J. K., Mamedova, L. K. and Carpenter, A. J. (2015). Invited review: Inflammation during the transition to lactation: New adventures with an old flame. *Journal of Dairy Science*, 98(10), 6631-6650. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9683>
- Caton, J., Crouse, M., McLean, K., Dahlen, C., Ward, A., Cushman, R., Grazul-Bilska, A., Neville, B., Borowicz, P. and Reynolds, L. (2020). Maternal periconceptual nutrition, early pregnancy, and developmental outcomes in beef cattle, *Journal of Animal Science*, 98(12), skaa358, <https://doi.org/10.1093/jas/skaa358>
- Dahl, M. O., Maunsell, F. P., De Vries, A., Galvao, K. N., Risco, C. A. and Hernández, J. A. (2017). Evidence that mastitis can cause pregnancy loss in dairy cows: A systematic review of observational studies. *Journal of Dairy Science*, 100(10), 8322-8329. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12711>
- De Bie, J. (2017). The follicular micro-environment of the oocyte in metabolically compromised dairy cows: impact assessment as a basic for oocyte rescue. Thesis, PhD. Universiteit. Antwerpen. Antwerp.
- Diskin, M. G., Waters, S. M., Parr, M. H. and Kenny, D. A. (2016). Pregnancy losses in cattle: potential for improvement. *Reproduction, Fertility, and Development*, 28(1-2), 83-93. <https://doi.org/10.1071/RD15366>
- Duica, A., Tovio, N. and Grajales, H. (2007). Factors that affect the reproductive efficiency of the recipient within a bovine embryo transfer program. *Revista de Medicina Veterinaria*. 14, 107-124.
- Ealy, A. D. and Seekford, Z. K. (2019). Symposium review: Predicting pregnancy loss in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 102(12), 11798-11804. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17176>
- Fabian, D., Bystriansky, J., Cikoš, S., Bukovská, A., Burkuš, J. and Koppel, J. (2010). The effect on preimplantation embryo development of non-specific inflammation localized outside the reproductive tract. *Theriogenology*, 74(9), 1652-1660. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2010.06.038>
- Fair, T. (2016). Embryo maternal immune interactions in cattle. *Animal Reproduction*, 13(3), 346-354. <https://doi.org/10.21451/1984-3143-ar877>
- Figueredo Rodríguez, Y., Gonzáles Cabrera, N., Martínez Lemane, J., Mollineda Pérez, Á., García Gómez, I., García, J. R., Roller Gutiérrez, F. y Pedroso Sosa, R. (2017). Nivel de inmunoglobulinas, incidencia de mastitis y fertilidad de vacas lecheras hipocuprémicas suplementadas con cobre. *La técnica*, 18, 43-48. https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i18.808
- Greco, L. F., Neves Neto, J. T., Pedrico, A., Ferrazza, R. A., Lima, F. S., Bisinotto, R. S., Martinez, N., Garcia, M., Ribeiro, E. S., Gomes, G. C., Shin, J. H., Ballou, M. A., Thatcher, W. W., Staples, C. R. and Santos, J. E. (2015). Effects of altering the ratio of dietary n-6 to n-3 fatty acids on performance and inflammatory responses to a lipopolysaccharide challenge in lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 98(1), 602-617. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8805>
- Hansen, P. J. and Barron, D. H. (2011). Challenges to fertility in dairy cattle: from ovulation to the fetal stage of pregnancy desafios na fertilidade de gado leiteiro: da ovulação ao estágio fetal da gestação. *Rev. Bras. Reprod. Anim.*, 35, 229-238.
- Hernández-Cerón, J. y Gutiérrez-Aguilar, C. G. (2013). La somatotropina bovina recombinante y la reproducción en bovinos, ovinos y caprinos. *Agrociencia*, 47(1), 35-45. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952013000100004&lng=es&tln=es.
- Herzog, K., Brockhan-Ludemann, M., Kaske, N., Beindorff, V., Niemann, P. H. and Bollwein, (2010). Luteal blood flow is a more appropriate indicator for luteal function during the bovine estrous cycle than luteal size. *Theriogenology*, 73, 691-697. <http://dx.doi.org/10.1016/j.theriogenology.2010.04.037>. PMID:27238438
- Khatib, H., Monson, R. L., Huang, W., Khatib, R., Schutzkus, V., Khateeb, H. and Parrish, J. J. (2010). Short

- communication: Validation of in vitro fertility genes in a Holstein bull population. *J. Dairy Sci.* 93, 2244-2249.
- Lamb, G. C., Dahlen, C. R., Larson, J. E., Marquezini, G. and Stevenson, J. S. (2010). Control of the estrous cycle to improve fertility for fixed-time artificial insemination in beef cattle: a review. *Journal of Animal Science*, 88(Suppl 13), E181-E192. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2349>
- Lenis, Y., Ramón, N., Restrepo, J., Olivera, M. y Tarazona, A. (2010). Interferón tau en la ventana de reconocimiento materno embrionario bovino. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 13(1), 17-28. <https://doi.org/10.31910/rudca.v13.n1.2010.705>
- Leroy, J. L., Valckx, S. D., Jordaens, L., De Bie, J., Desmet, K. L., Van Hoeck, V., Britt, J. H., Marei, W. F. and Bols, P. E. (2015). Nutrition and maternal metabolic health in relation to oocyte and embryo quality: critical views on what we learned from the dairy cow model. *Reproduction, Fertility, and Development*, 27(4), 693-703. <https://doi.org/10.1071/RD14363>
- Mann, G. E. (2008). Meta-analysis of progesterone supplementation during early pregnancy in cattle. *J. Anim. Sci.* 86, 387-390.
- Melo, G. D., Pinto, L. M. F., Rocha, C. C., Motta, I. G., Silva, L. A., da Silveira, J. C., Gonella-Diaza, A. M., Binelli, M. and Pugliesi, G. (2020). Type I interferon receptors and interferon- τ -stimulated genes in peripheral blood mononuclear cells and polymorphonuclear leucocytes during early pregnancy in beef heifers. *Reproduction, Fertility, and Development*, 32(11), 953-966. <https://doi.org/10.1071/RD19430>
- Middleton, E. L. and Pursley, J. R. (2019). Short communication: Blood samples before and after embryonic attachment accurately determine non-pregnant lactating dairy cows at 24 d post-artificial insemination using a commercially available assay for pregnancy-specific protein B. *Journal of Dairy Science*, 102(8), 7570-7575. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15961>
- Molina-Coto, R. (2017). El estrés calórico afecta el comportamiento reproductivo y el desarrollo embrionario temprano en bovinos. *Nutrición Animal Tropical*, 11(1), 1-15. <https://doi.org/10.15517/nat.v11i1.28280>
- Morales, C. J. L., Pedroso, S. R., Leyva, O. C., Denis, G. R., Guerrero, G. H. Z., Pineda, M. R., Guerrero, M. C. y Veliz, D. F. G. (2016). Efecto de la mastitis sobre el comportamiento reproductivo de vacas Holstein Friesian en la Comarca Lagunera en México. *Memorias del 5to Congreso Internacional sobre Mejoramiento Animal*. 9(2 y 3). La Habana Cuba.
- Moriel, P., Vedovatto, M., Palmer, E. A., Oliveira, R. A., Silva, H. M., Ranches, J. and Vendramini, J. M. (2020). Maternal supplementation of energy and protein, but not methionine hydroxy analog, enhanced postnatal growth and response to vaccination in *Bos indicus*-influenced beef offspring. *Journal of Animal Science*, 98(5), skaa123.
- Ninabanda, J. J. (2018). Impacto del balance energético negativo en vacas lecheras tratadas con somatotropina recombinante bovina. *Rev. Vet.* 29, 1, 68-72.
- Oliveira, R. Fo, Franco, G, Reese, S, Dantas, F, Fontes, P, Cooke, R, Rhinehart, J, Thompson, K, Pohler, K. (2019). Using pregnancy associated glycoproteins (PAG) for pregnancy detection at day 24 of gestation in beef cattle. *Theriogenology*, 141, 128-33. <http://dx.doi.org/10.1016/j.theriogenology.09.014>. PMID:31539641.
- Olivera, M. (2010). Señales moleculares que afectan la síntesis de prostaglandina F-2 Alfa y Prostaglandina E-2 en el endometrio. *Revista Colombiana de Ciencia Pecuarias*, 23, 377-389.
- Osorio, J. y Pedroso, R. (2021) Factores que influyen en la tasa de preñez de hembras bovinas receptoras de embriones in vitro en una región tropical baja del Ecuador. *Ciencia y Tecnología Ganadera*, 15(1), 29-40.
- Pankratova, A. V., Aminova, A. L., Kozyrev, S. G., Al-Azawi Nagham, M. H. (2019). Role of reproductive hormones in ovarian pathology in cows. *Plant Archives*. 19(Suppl. 1), 24-33.
- Pedroso, R. y Roller, F. (2021). Métodos biotécnicos y manejo reproductivo para mejorar la fertilidad y eficacia de las técnicas de reproducción asistida del ganado bovino en clima tropical. Primera Edición CIMAGT. ISBN.976-959-7198-22-2.
- Pedroso, R. (2011) Interacción nutrición reproducción del ganado bovino en pastoreo. Mesa redonda. Congreso Internacional de Medicina Veterinaria. Palacio de las Convenciones, La Habana.
- Pedroso, R., Roller, F., Solano, R., González, N., Ruiz, T., Fajardo, H. y Viamonte, M. (2011). Alteraciones metabólicas y carenciales que afectan la aplicación de las biotecnologías de la reproducción en la hembra bovina en clima tropical. *Reseña. Ciencia y Tecnología Ganadera*, 5, 67-86.
- Pohler, K. G., Pereira, M. H. C., Lopes, F. R., Lawrence, J. C., Keisler, D. H., Smith, M. F., Vasconcelos, J. L. M. and Green, J. A. (2016). Circulating concentrations of bovine pregnancy-associated glycoproteins and late embryonic mortality in lactating dairy herds. *J Dairy Sci.*, 99(2), 1584-94. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-10192>. PMID:26709163.

- Pohler, K. G., Green, J. A., Moley, L. A., Gunewardena, S., Hung, W.-T., Payton, R. R., Hong, X., Christenson, L. K., Geary, T. W. and Smith, M. F. (2017). Circulating microRNA as candidates. *Mol. Reprod. Dev.*, 84(8), 731-743. <http://dx.doi.org/10.1002/mrd.22856>.
- Reese, S. T., Franco, G. A., Poole, R. K., Hood, R., Fernández Montero, L., Oliveira, R. V., Fo, Cooke, R. F. and Pohler, K. G. (2020). Pregnancy loss in beef cattle: a meta-analysis. *Anim. Reprod. Sci.*, 212, 106251. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anireprosci.2019.106251>.
- Rizos, D., Carter, F., Besenfelder, U., Havlicek, V. and Lonergan, P. (2010). Contribution of the female reproductive tract to low fertility in postpartum lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 93, 1022-1029.
- Salasel, B., Mokhtari, A. and Taktaz, T. (2010). Prevalence, risk factors for and impact of subclinical endometritis in repeat breeder dairy cows. *Theriogenology*, 74(7), 1271-1278. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2010.05.033>
- Santos, J. and Ribeiro, E. (2014). Impact of animal health on reproduction of dairy cows. *Anim Reprod.*, 11(39), 254-269.
- Sartori, R., Bastos, M. R. and Wiltbank, M. C. (2010). Factors affecting fertilisation and early embryo quality in single- and superovulated dairy cattle. *Reproduction, Fertility, and Development*, 22(1), 151-158. <https://doi.org/10.1071/RD09221>
- Syid, A. (2021). Fertilization failure and early embryonic mortality as a major cause of reproductive failure in cattle: A review. *World Scientific News*, 34, 59-71.
- Schütz, K. E., Cox, N. R. and Tucker, C. B. (2014). A field study of the behavioral and physiological effects of varying amounts of shade for lactating cows at pasture. *Journal of Dairy Science*, 97(6), 3599-3605. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7649>
- Scully, S., Evans, A., Carter, F., Duffy, P., Lonergan, P. and Crowe, M. (2015) Ultrasound monitoring of blood flow and echotexture of the corpus luteum and uterus during early pregnancy of beef heifers. *Theriogenology*, 83(3), 449-458. <http://dx.doi.org/10.1016/j.theriogenology.2014.10.009>.
- Shaw, A. E., Hughes, J., Gu, Q., Behdenna, A., Singer, J. B., Dennis, T., Orton, R. J., Varela, M., Gifford, R. J., Wilson, S. J. and Palmarini, M. (2017). Fundamental properties of the mammalian innate immune system revealed by multispecies comparison of type I interferon responses. *PLoS Biology*, 15(12), e2004086. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2004086>
- Stranden, I., Kantanen, J., Russo, I. R. M., Orozco-terWengel, P., Bruford, M. W. and the Clingen Consortium. (2019). Genomic selection strategies for breeding adaptation and production in dairy cattle under climate change. *Heredity*, 123, 307-317 <https://doi.org/10.1038/s41437-019-0207-1>
- Warnick, A. C. and Hansen, P. J. (2010). Comparison of ovulation, fertilization and embryonic survival in low-fertility beef cows compared to fertile females. *Theriogenology*, 73, 1306-1310.
- Wathes, D. C. and Lamming, G. E. (1995). The oxytocin luteolysis and maintain pregnancy. *J. Reprod Fertil*, 49, 53-67.
- Wiltbank, M. C., Báez, G. M., García-Guerra, A., Toledo, M. Z., Monteiro, P. L., Melo, L. F., Ochoa, J. C., Santos, J. E. and Sartori, R. (2016). Pivotal periods for pregnancy loss during the first trimester of gestation in lactating dairy cows. *Theriogenology*, 86(1), 239-253.
- Wiltbank, M. C., Mezera, M. A., Toledo, M. Z., Drum, J. N., Baez, G. M., García-Guerra, A. and Sartori, R. (2018). Physiological mechanisms involved in maintaining the corpus luteum during the first two months of pregnancy. *Animal Reproduction*, 15(Suppl 1), 805-821. <https://doi.org/10.21451/1984-3143-AR2018-0045>
- Yusuf, M., Nakao, T., Ranasinghe, R. B., Gautam, G., Long, S. T., Yoshida, C., Koike, K. and Hayashi, A. (2010). Reproductive performance of repeat breeders in dairy herds. *Theriogenology*, 73(9), 1220-1229. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2010.01>
- Zhang, K. and Smith, G. W. (2015). Maternal control of early embryogenesis in mammals. *Reproduction, Fertility, and Development*, 27(6), 880-896. <https://doi.org/10.1071/RD14441>

Contribución de los autores

Autores	Contribución
Raúl Alexander Toala Soledispa	Diseño de la investigación; revisión bibliográfica, análisis e interpretación de los datos, preparación y edición del manuscrito.
Rodolfo Pedroso Sosa	Participó en la preparación y edición del manuscrito, corrección de estilo.
Daniel Isaías Burgos Macías	Interpretación de los datos y revisión del contenido del manuscrito referente a lo nutricional.
Felicia Roller Gutiérrez	Análisis de datos y corrección de estilo.





Análisis de una cadena agroalimentaria de limón

Analysis of a lemon agri-food chain

Autores

✉ ¹*Javier Gregorio García Arteaga

✉ ²Neyfe Sablón Cossío

✉ ³Sebastiana Monserrate Ruiz Cedeño

¹Maestría con Trayectoria Profesional en Gestión de Proyecto. Instituto de Posgrado. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.

²Instituto de Posgrado. Grupo de Producción y Servicios. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.

³Facultad de Ciencias Administrativas y Económicas. Grupo de Producción y Servicios. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.

*Autor de correspondencia.

Citación sugerida: García Arteaga, J. G., Sablón Cossío, N., Ruiz Cedeño, S. M. (2023). Análisis de una cadena agroalimentaria de limón. *La Técnica*, 14(1), 12-19. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v14i1.4861>

Recibido: Julio 19, 2022

Aceptado: Junio 29, 2023

Publicado: Enero 01, 2024

Resumen

El cultivo de limón es una actividad importante en la alimentación ecuatoriana. Por ello, el objetivo de la investigación fue analizar la cadena agroalimentaria del limón en Manabí, y en específico los actores de la parroquia Riochico. El enfoque metodológico que se aplicó en la investigación fue cuantitativo, se aplicó una lista de chequeo de integración y se calculó el nivel de integración en la cadena. La lista de chequeo presentó 13 variables y 121 ítems. Los resultados mostraron que la cadena presentó un bajo nivel de integración, y se encuentra en la etapa de negociación. Se identificó una estrategia y tres objetivos para la mejora de la cadena agroalimentaria del limón. Este estudio presenta un valor práctico.

Palabras clave: cadena productiva; relaciones; producto agrícola; evaluación; cadena de suministro.

Abstract

Lemon cultivation is an important activity in the Ecuadorian diet. Therefore, the objective of this research was to analyze the lemon agri-food chain in Manabí, and specifically the actors of the Riochico parish. The methodological approach that was applied in the investigation is quantitative, an integration checklist was applied and the level of integration in the chain was calculated. The checklist presents 13 variables and 121 items. The results show that the chain presents a low level of integration, and is in the negotiation stage. A strategy and three objectives were identified for the improvement of the lemon agri-food chain. This study has practical value.

Keywords: productive chain; relations; agricultural product; evaluation; supply chain.



Introducción

Las cadenas agroalimentarias se basan en la actuación colectiva y consensuada de los integrantes, para lograr la satisfacción de una demanda específica. Estas constituyen una fuente de mejora social en términos de ingresos, creación de empleos y desarrollo territorial (Anaya, 2015). El crecimiento progresivo de una cadena de valor es una señal de que puede sostenerse económicamente, a medida que se expande su presencia en el mercado.

En Ecuador se cultiva el limón para el consumo local y de exportación. Entre ambos destinos existían 3.846 unidades de producción agropecuarias en el 2021. La provincia de Manabí es una de las zonas agrícolas. Esta cuenta con una extensión de 19.878 km² y una población de 1.369.780 habitantes. El cantón Portoviejo se destaca por la disponibilidad de recursos productivos. Desde productos de ciclo corto y los constantes. El limón es un producto representativo de Portoviejo con 1.200 ha y su producción ha sido durante años la fuente de ingresos para muchas familias manabitas (Valarezo, 2021).

Uno de los mayores inconvenientes presentes en el desarrollo de la actividad comercializadora de productos agropecuarios a la población, es el hecho de que el sistema de acopio no siempre resulta atractivo a productores privados (Rizo et al., 2017). Ante ello, en la zona de estudio existen centros de acopios donde los precios dejan un margen de ganancia mínima para los productores. Según Abadia et al. (2020) dos aspectos claves que están relacionados con la capacidad de un acopio para incrementar la cantidad de mercadería que recibe por año son: la capacidad de recepción y índice de rotación. Los centros de acopio permiten reunir cantidad y variedad de productos agrícolas. Esto con la meta de obtener estandarización en la calidad y presiones estables en la comercialización (Bazurto, 2022).

En este contexto se desarrolló esta investigación. El objetivo de la misma fue analizar la cadena agroalimentaria del limón en Manabí, y en específico los actores de la parroquia Riochico. Esto como un estudio preliminar para investigaciones futuras.

Materiales y métodos

La presente investigación utilizó un enfoque cuantitativo y descriptivo. Se mapeó la cadena agroalimentaria de forma general, con sus actores y eslabones. Para el análisis de la cadena se utilizó la lista de chequeo de integración de Sablón-Cossío et al. (2021). Esta herramienta cuenta con 13 variables y 121 ítems (tabla 1).

Se empleó la escala Likert del 1 al 5 para los ítems medidos en escala ordinal, donde el valor 1 se relacionó con el criterio

Tabla 1. Elementos de la lista de chequeo de integración.

Elementos	Características
Estrategia de la empresa	23
Objetivos estratégicos	6
Formulación de los escenarios en la organización	9
Contratos	4
Información	10
Planes	6
Pronóstico de la demanda	10
Compras	13
Gestión de inventario	14
Proveedores	5
Distribución de mercancía	17
Indicadores para la evaluación del desempeño	4
Clientes	5
TOTAL	121

Fuente: Sablón-Cossío et al. (2021).

muy bajo y el 5 muy alto. Por otro lado, las variables ordinales $E_{n,m}$ y CD_n fueron calculadas para cada una de las empresas i . Posteriormente se procedió a comprobar el nivel de integración de la cadena utilizando la siguiente expresión:

$$NI_{cs} = \sum_{n=1}^7 P_n * Mo_n$$

Dónde:

NI_{cs} : Nivel de integración de la cadena.

P_n : Peso específico de importancia otorgada por los expertos para la dimensión n .

Mo_n : Moda calculada para cada En , m y para cada CD_n .

Si el resultado alcanzado en NI_{cs} fue mayor que cero y menor o igual a uno, "Nivel muy bajo"; mayor que uno y menor o igual a dos, "Nivel bajo"; mayor que dos y menor o igual a tres, "Nivel medio", mayor que tres y menor o igual a cuatro, "Nivel alto" y mayor que cuatro y menor o igual a cinco, "Nivel muy alto" (Sablón-Cossío et al., 2021).

Estos cinco estados para NI_{cs} ayudaron con el análisis de que si las dimensiones fueron bien evaluadas fue porque la NI_{cs} ha alcanzado un nivel adecuado. La determinación del nivel de integración de la cadena de suministro estuvo en función del actor de más bajo valor de NPC en la cadena. Esto se cumple siempre y cuando el actor seleccionado presentó relación directa con el producto y servicio final de la cadena.

La última parte de la investigación, se enfocó en determinar las estrategias y objetivos conjuntos que se deben estimar en la cadena con base al cálculo del NICS (tabla 2). Por esta razón, se manejó la matriz de selección de estrategias de integración en las cadenas de suministro según (Sablón-Cossío et al., 2017).

Tabla 2. Tipos de estrategias para la integración de la cadena.

Niveles de integración	Asignación I	Negociación II	Asociación III	Cooperación IV	Coordinación V	Colaboración VI
NPC	1 < NPC <= 2	1 < NPC <= 2	2 < NPC <= 3	3 < NPC <= 4	3 < NPC <= 4	4 < NPC <= 5
Tipos de estrategias	Asignación de recursos	Discusión enfocada a liderazgos en costos, diferenciación, enfoque o nicho	Unen bienes en procesos críticos por fin solo económico u otro interés	Contratos a largo plazo	Conexión vía TIC	Integración de la cadena de suministro
		Relación como adversaries		Pocos proveedores	Compartir información	Planificación conjunta Compartir tecnología

Fuente: Sablón-Cossío et al. (2017).

Resultados y discusión

El limón como producto de consumo

Los frutos cítricos presentan muchas características que los hacen apreciables para el consumidor, especialmente el color y sabor de su pulpa (meso-endocarpo). A estas características se le suman, que son frutos no climatéricos, con tasas de respiración y de producción de etileno relativamente bajas y que presentan mayores cambios composicionales o de textura después de la cosecha (Cocco, 2016).

El procesamiento mínimo de los frutos cítricos consiste, además de las etapas previas de lavado de los frutos, en un proceso de preparación (descascarado (eliminar el exocarpo), desinfección, segmentación y envasado) para luego comercializarlos refrigerados en condición de listos para su consumo y estado similar al fresco (Cocco, 2016). Las variables que inciden en la calidad del fruto se enfocaron en: biomasa, diámetro ecuatorial y polar del fruto, grosor de la cáscara, la biomasa y el porcentaje de jugo, la acidez, los sólidos solubles y el contenido de vitamina C (Santistevan et al., 2017).

En el año 2013, los cítricos ocupaban una superficie de 8,3 millones de hectáreas a nivel mundial con una producción de 123,8 millones de toneladas (Guanoluisa, 2018). Esto se corresponde con el 58% a naranjas, 23% a mandarinas, 12% a limones (incluidas las limas) y 7% a toronjas. China y Brasil producen 42%, seguido de Estados Unidos con el 8,5% y México con el 4,9%, respectivamente (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2020).

Entre los años 2000 y 2014, México se convirtió en el segundo productor del mundo con 1,93 millones de toneladas de

producción (Nicolás y Favila, 2019), superado por la India, China y Argentina. En cuanto a exportaciones se refiere, la FAO (2020) indicó que México se ubicó en la segunda posición mundial con 413 mil toneladas en promedio, siendo superado por España (470 mil toneladas) y seguido de Turquía (302 mil toneladas) y Argentina (295 mil toneladas).

En México, la producción y comercialización de los cítricos es un referente, tanto para el mercado interno como de exportación, apunta que México ocupó la quinta posición de producción a nivel mundial en 2013, solo después de China, Brasil, Estados Unidos e India (Valencia y Duana, 2020).

En el 2020 la India se convirtió en el mayor productor de limón, al registrar un volumen de producción de aproximadamente 4 millones de toneladas métricas (Guanoluisa, 2018). Mientras que México y China se situaron en segunda y tercera posición, respectivamente. La producción global de limones se caracteriza por las continuas fluctuaciones a lo largo del tiempo, sin una tendencia clara, si bien en los dos últimos años observados el decrecimiento ha sido constante. Así, en 2020, se alcanzó un volumen de alrededor de 8,4 millones de toneladas métricas, lo que significó una disminución de casi 500.000 toneladas con respecto al 2018, momento en el que se registró la cifra más elevada de la pasada década. De esta cantidad, alrededor del 20% se produjo dentro de las fronteras de los países de la Unión Europea, región en la que el cultivo y recolección de este fruto experimentó un aumento de unas 200.000 toneladas con respecto a 2019 (Orús, 2022).

Descripción de la cadena agroalimentaria de limón en Manabí

En Ecuador, según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2019) hay una superficie sembrada de 6.308 ha de las cuales aproximadamente 4.673 producen 28.881 toneladas. Según el Censo Agropecuario del año 2019 con un tamaño de la muestra de 5.731 segmentos y 3.678 unidades de producción agropecuarias (UPAS) de limón, se cultivaron 9.152 hectáreas y se cosecharon 5.487; la producción mayormente se concentró en la región costa, siendo los mayores productores las provincias de Manabí y Guayas.

La provincia de Manabí es una de las zonas de mayor producción de limón en el país (tabla 3), concentrándose en el valle del río Portoviejo con 1.200 ha aproximadamente, que comprende los cantones Santa Ana, Rocafuerte y Portoviejo. Dentro de la ciudad de Portoviejo se encuentra la parroquia Riochico como la zona de mayor producción del cultivo de limón. En la provincia de Manabí, los cantones donde se cultiva mayor cantidad de limón son Portoviejo, Santa Ana, Rocafuerte, Chone. Riochico es la parroquia rural de Portoviejo con más hectáreas cultivadas de limón, seguida por Calderón, Chirijos, San Plácido y Alajuela.



Tabla 3. Distribución de área dedicada al cultivo de limón por cantones, en la provincia de Manabí.

Cantón	Superficie (ha)	Hectáreas sembradas en Manabí (%)
Portoviejo	605	19,16
Manta	20	0,63
Montecristi	40	1,26
El Carmen	125	3,95
Jipijapa	180	5,70
Pedernales	80	2,53
Bahía	137	4,34
San Vicente	50	1,58
Jama	108	3,42
Flavio Alfaro	120	3,80
Tosagua	80	2,53
Rocafuerte	310	9,81
Calceta	180	5,70
Santa Ana	380	12,18
24 de Mayo	102	3,23
Olmedo	50	1,58
Jaramijó	0	0
Pajan	60	1,90
Puerto López	70	2,21
Pichincha	120	3,80
Junín	90	2,85
Chone	250	7,84
Total	3.157	100

Datos obtenidos del geo portal del MAG.

Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG, 2019).

Según el MAG en la provincia de Manabí existen 3.157 hectáreas de limón de las cuales aproximadamente 300 se encuentran ubicadas en la parroquia Riochico. Esto resulta un rendimiento semanal de entre 2.000 y 2.500 sacas de 38 kg. Esta producción es comercializada a mercados mayoristas de Quito, Guayaquil, Ambato a través de comerciantes intermediarios. Manabí y principalmente de Riochico tiene como destino el consumo interno casi en su totalidad. Los altos estándares y pruebas de calidad que tiene que pasar el fruto, limitan su comercialización en el exterior.

Vásquez y Quiroz (2019) analizan la producción de limón y la relación con los ingresos de los productores en una parroquia de Manabí. En esta se estimó que el costo de la cosecha del limón oscila entre los \$1.000 a \$2.000 USD·hectárea⁻¹.

Un factor clave que incidió en sus ingresos fue la falta de organización y no poseer un centro de acopio, permitiendo así vender su producción a bajo costo. La rentabilidad fue de \$500

USD en cada cosecha al año (3 a 4 meses) que fue de 200 a 300 pacas (800 a 1000 unidades de limón), con un valor de \$20 a \$45 USD (dependiendo de la temporada); estos recursos financieros fueron dedicados para la alimentación, educación, servicios básicos y medicina (en algunos casos) dejando de lado el poco recurso financiero para el mantenimiento de los cultivos, por lo que no pueden invertir en mejoras en su producción. La generación de nuevos proyectos y diversificación de variedades de limón puede ser ideas de negocios para así poder ingresar a otros mercados, permitiendo que sus unidades productivas crezcan y se desarrollen competitivas (tabla 4).

Tabla 4. Precios del limón por meses durante los años 2020 y 2021.

	Año 2020	Año 2021	Año 2022
Mes	Precio promedio	Precio promedio	Precio promedio
Enero	15	8	22
Febrero	15	10	15
Marzo	16	7	12
Abril	35	12	-
Mayo	40	13	-
Junio	55	18	-
Julio	0	0	-
Agosto	0	0	-
Septiembre	15	20	-
Octubre	16	25	-
Noviembre	16	15	-
Diciembre	15	22	-

Caracterización de la cadena de estudio

La cadena agroalimentaria del limón, objeto de estudio, constó de siete eslabones que fueron: proveedores de insumos, productores primarios de limón, centros de acopio, transformadores, comercialización, venta directa y consumidores (figura 1).

Proveedores de insumos. Son el primer eslabón de la cadena del limón. Proporcionan insumos agrícolas como abonos foliares, fungicidas, insecticidas, bombas, tijeras para podar, y otros insumos necesarios para la siembra, cultivo, mantenimiento y maximización del rendimiento en las plantaciones del limón. Entre los principales almacenes agrícolas donde los productores realizan adquisiciones podemos mencionar: Agripac, Agroquímica, La Finca, almacén I, Comercial el Agro.

Productos Primarios. En la zona de Riochico existen alrededor de 300 hectáreas de limón que ocupan aproximadamente a 500 productores, siendo los sitios de mayor producción: Las

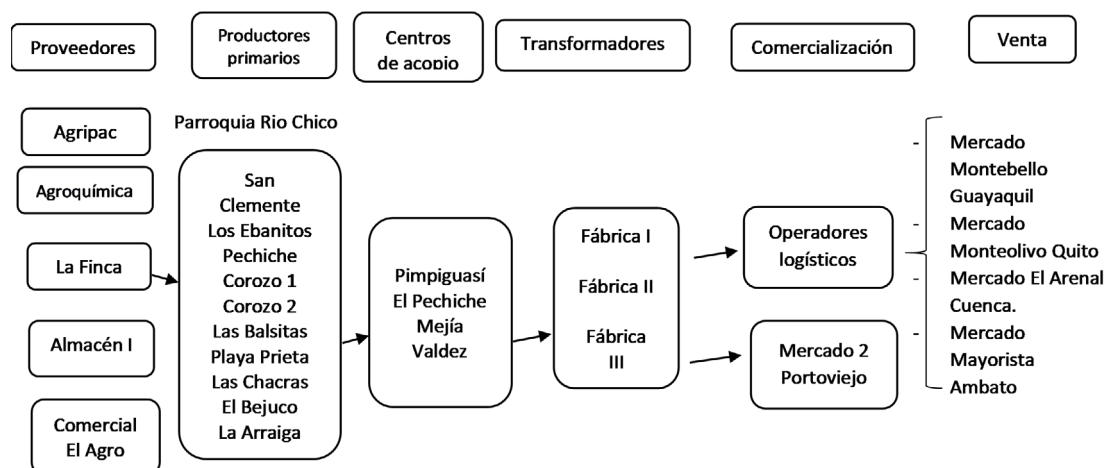


Figura 1. Cadena agroalimentaria del limón.

Balsitas, El Corozo, Los Ebanitos, Santa Marta, San Francisco, Las Chacras, El Bejuco, Los Casinos, La Arriaga, La Encantada, Quebrada de Morales, El Pechiche y San Clemente.

Los productores agrícolas en su mayoría no tienen estudios de tercer nivel y los métodos de producción aplicados fueron empíricos. Estos se basaron en experiencias heredadas de sus antecesores, sumado a la poca capacitación recibida de instituciones agrícolas estatales y privadas.

La edad de los productores de limón de la parroquia Riochico osciló entre 40 y 60 años, ya que los habitantes de la zona con menor edad que se involucraron en el negocio agrícola prefirieron hacerlo como comerciantes.

Centros de Acopio. Estos lugares sirvieron para almacenar el limón y luego distribuirlo en grandes cantidades a través de camiones hacia los mercados mayoristas de las principales ciudades del país. Los centros de acopio más importantes se localizaron en Pimpiguasi; en la vía Rocafuerte y en la vía a Crucita.

Transformadores. Fueron las empresas que le dieron valor agregado a la producción de limones a través del procesamiento o transformación en un bien final. Entre las empresas que estuvieron ligadas con la producción de limón en la parroquia Riochico, se mencionaron: fábrica I que se ubicó en el sitio el Corozo. Esta exporta limón congelado a Rusia. El fabricante II, procesó: jugos, pulpas y otros productos que tuvieron como materia prima el limón. La última, se ubicó en el cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha, aun cuando sus plantaciones estaban en el lugar de estudio. El fabricante III procesó pulpas de frutos cítricos como: naranja, mandarina, limón, maracuyá. Esta se ubicó en el cantón Chone.

Comercialización. La producción de limón fue comercializada en su mayoría a través de intermediarios a los mercados mayoristas de Guayaquil, Quito, Ambato y Cuenca. En menor cantidad se comercializó hacia Ibarra y Santa Elena. Así mismo, en menores proporciones se entregó a los actores: fábrica I, fábrica II y fábrica III para los procesos de industrialización y exportación.

Venta. La producción de limón que se cosechó en la parroquia Riochico se comercializó en los mercados mayoristas de las ciudades más grandes del país. Entre las que se destacaron: el mercado Montebello en Guayaquil; el Monte Olivo en Quito, el Mercado Barrial número 2 en Portoviejo y el mercado mayorista en Ambato.

Clientes. Los clientes fueron los consumidores de las ciudades que utilizaron el limón para consumo personal, y los propietarios de negocios como: restaurantes, bares, cevicherías, entre otros.

Los resultados de la aplicación de la lista de chequeo de integración se muestran en la tabla 5. Las variables de mayor fortaleza, con un nivel medio, en la cadena resultaron: la estrategia de la empresa, objetivos estratégicos, formulación de los escenarios en la organización, pronóstico de la demanda, compras, gestión de inventario, proveedores y distribución de mercancía. Las variables de mayor debilidad, bajo valor, resultaron: contratos, información, planes e indicadores para la evaluación del desempeño.

Por otro lado, se identificó que el 69% de los actores en la cadena presentó un bajo nivel de NI, el 21% un alto nivel NI y el 10% un alto nivel. El NI de menor valor en la cadena fue de 1,98, debido a ello, la cadena presentó un bajo nivel de NI (figura 2).

A partir de estos elementos se identificó el nivel de integración y las estrategias en la cadena objeto de estudio. La cadena objeto

de estudio se encontró en la etapa de negociación. Por ello, para mejorar de etapa de integración hacia Asociación, deben seleccionar la estrategia de enfocarse en bienes en procesos críticos por un fin solo económico u otro interés. Con la meta de alcanzar la etapa de asociación debió enfocarse en mejorarse la variable de contratos. Esta se definió en el diagnóstico como la de mayor debilidad.

TABLA 5. Selección de los tipos de estrategias para la integración de la cadena objeto de estudio.

Elemento del modelo de cadena de suministro	Valoración del estado actual	Clasificación
Estrategia de la empresa	3,07	Nivel medio
Objetivos estratégicos	3,06	Nivel medio
Formulación de los escenarios en la organización	3,19	Nivel medio
Contratos	2,00	Bajo nivel
Información	2,65	Bajo nivel
Planes	2,86	Bajo nivel
Pronóstico de la demanda	2,93	Nivel medio
Compras	3,00	Nivel medio
Gestión de inventario	3,01	Nivel medio
Proveedores	2,99	Nivel medio
Distribución de mercancía	2,99	Nivel medio
Indicadores para la evaluación del desempeño	2,25	Bajo nivel
Clientes	3,01	Nivel medio

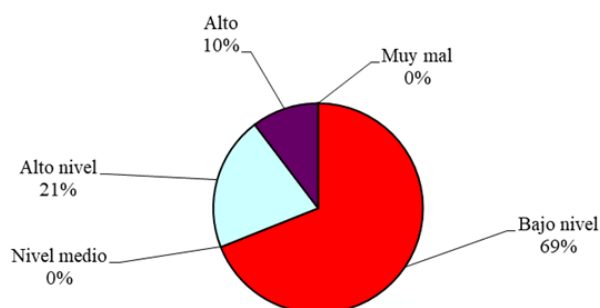


Figura 2. Evaluación del estado de desarrollo de la integración.

Los objetivos estratégicos se enfocaron en:

Potenciar la utilización de contratos mediante los actores que apoyaron la sostenibilidad de los actores.

Incentivar la creación de operadores logísticos que posibilitaron la minimización de sus costos.

Desarrollar productos con valor agregado que facilitaron la maximización de la durabilidad, el aumento del precio y con ello la mejora de las ganancias de los productores.

En este mismo sentido, esta lista de chequeo de evaluación de la integración se aplicó en otras cadenas agroalimentarias de estudio en la provincia de Manabí, por ejemplo: panela (Sablón-Cossío et al., 2016), leche (Sablón-Cossío et al., 2018), tabletas de chocolate (Cañadas y Sablón, 2019), coco (Romero et al., 2020) y café arábico orgánico (Negrín et al., 2020).

Estas seis investigaciones se realizaron en Ecuador. Las tres primeras en la amazonía y el resto con base en la provincial de Manabí. En los estudios mencionados y en esta investigación, el nivel de integración fue bajo y muy bajo. Este nivel de integración ubicaron a las seis cadenas de estudio en la etapa de negociación y asociación. Por ello, se evidenció la necesidad de mejorar las cadenas agroalimentarias en la región.

El estudio de la cadena del coco, fue el más amplio. Este abarcó 162 actores de la cadena. Las variables más afectadas en este caso, fueron la información y los indicadores de desempeño. A la vez, se evaluó la economía circular y el nivel de desarrollo. Debido a esto, fue la mayor diferencia con el resto de las dos investigaciones. En el caso de la cadena de café arábico, las variables de mayor debilidad fueron: la distribución de mercancía y la información. El nivel de alcance de este estudio fue menor. El resto de las variables oscilaron entre muy bajo y medio. En esta investigación se realizó un estudio preliminar, debido al número de actores analizados.

Conclusiones

El análisis de la cadena agroalimentaria del limón en Manabí, y en específico los actores de la parroquia Riochico, es el principal resultado de esta investigación. Los resultados obtenidos muestran que la cadena objeto de estudio, presenta un bajo nivel de integración. A la vez, la cadena debe aplicar las estrategias para alcanzar el nivel de asociación entre los actores de la cadena objeto de estudio. Por ello, se define la **única** estrategia, la de enfocarse en un bien en procesos críticos por un fin solo económico o de otro interés. Esta investigación presenta un valor práctico para la cadena del limón, y es el inicio de futuras investigaciones en temas logísticos en este caso de estudio.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

Abadia, M. B., Urcola, H. A., Ferrari, M. C. y Bartosik, R. E. (2020). Radiografía del sistema de acopio de granos en Argentina: ¿estamos preparados para acopiar más granos y preservar su calidad?. *INTA DIGITAL Repositorio*

- Intitucional Biblioteca Digital. <https://inta.gob.ar/documentos/radiografia-del-sistema-de-acopio-de-granos-en-argentina-%C2%BFestamos-preparados-para-acopiar-mas-granos-y-preservar-su-calidad>
- Anaya Cruz, B. (2015). Las cadenas productivas con impacto económico y social: El caso de los cítricos en Cuba. *Economía y Desarrollo*, 154(1), 105-117.
- Bazurto Párraga, L. C. (2022). *Modelo de gestión administrativa para centros de acopio de productos agrícolas en el cantón Bolívar*. Master's Thesis, ESPAM MFL. Calceta, Ecuador.
- Cañadas Salazar, I. L. y Sablón-Cossío, N. (2019). Análisis de la cadena de suministro de cacao en el contexto de la Amazonia ecuatoriana. *ECA Sinergia*, 10(2), 17-28.
- Cocco, M. (2016). *Estudio del efecto de las distintas etapas del procesamiento mínimo de frutos cítricos sobre su calidad interna global*. Universitat Politècnica de València. España.
- Daboin H., O., Martínez L., E. y Segovia L., E. (2005). Descripción del proceso de comercialización de la panela, estado Trujillo, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, 22(1), 76-89.
- Guanoluisa Rey, D. M. (2018). Caracterización de la comercialización de limón en la Asociación de Agricultores y Citricultores Primero de Mayo de la Comuna Barcelona, provincia de Santa Elena. Tesis de Pregrado. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Estatal Península de Santa Elena. Ecuador. 58 p. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/4492>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2019). *Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua* (ESPAC) 2019.
- Negrín Sosa, E., Sablón-Cossío, N., Intriago Alonzo, F. A., Zambrano Basurto, Á. M. y Acevedo Urquiaga, A. J. (2020). Aplicación del CPFR en una cadena agroalimentaria de café arábico en Manabí (Ecuador). Caso de estudio Calceta. *Espacios*, 41(3), 23-35.
- Nicolás N., O. y Favila T., A. (2019). Competitividad de México en la exportación de limón a países bajos. *Actualidad Contable Faces*, 22(39), 93-111.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2020). Las principales frutas tropicales: análisis del mercado 2018.
- Orús, A. (2022). *Ranking de los mayores países productores de limones y limas a nivel mundial en 2020, según la cantidad de producción*. <https://es.statista.com/estadisticas/613493/principales-paises-productores-de-limon-en-el-mundo/>
- Rizo Mustelie, M., Villa Tabares, B., Vuelta Lorenzo, D. R. y Vargas Batis, B. (2017). Estrategias de comercialización para la gestión de ventas en el Mercado Agropecuario Estatal Ferreiro de Santiago de Cuba. *Ciencia en su PC*, 4, 91-102.
- Romero Delgado, V. M., Rosado Zambrano, G. V., Sablón-Cossío, N. y Burbano Mera, L. (2020). Análisis de la cadena agroalimentaria del coco (*Cocos nucifera*) en la provincia de Manabí, Ecuador. *La Técnica*, 24(2), 43-72.
- Santistevan Méndez, M., Helfgott Lerner, S., Loli Figueroa, O. y Julca Otiniano, A. (2017). Comportamiento del cultivo del limón (*Citrus aurantifolia* Swingle) en "fincas tipo" en Santa Elena, Ecuador. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 35(1), 45-49.
- Sablón-Cossío, N., Pérez Quintana, M. L., Acevedo Suárez, J. A., Chacón Guerra, E. y Villalba Pozo, V. (2016). La integración en la cadena agroalimentaria de panela en el Puyo-Ecuador. *Cultivos Tropicales*, 37(4), 128-135.
- Sablón-Cossío, N., Hernández Nariño, A., Urquiaga Rodríguez, A. J., Acevedo Suárez, J. A., Bautista Santos, H. y Acevedo Urquiaga, A. J. (2017). Matriz de selección de estrategias de integración en las cadenas de suministro. *Revista de Ingeniería Industrial*, XXXVIII(3), 333-344.
- Sablón-Cossío, N., Orozco Crespo, E., Ruajo, A., Acevedo Suárez, J. y Ruiz Cedeño, M. (2021). Análisis de integración de la cadena de suministros en la industria textil en Ecuador. Un Caso de Estudio. *Revista Ingeniar2*, 29(1), 94-108.
- Valarezo Beltrón, C. O. (2021). Sustentabilidad de fincas productoras de Limón (*Citrus aurantifolia* (Christm) S.) en el cantón Portoviejo, Ecuador. Tesis Doctoral. Doctorado en Agricultura Sustentable, Escuela de Posgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú.
- Valencia Sandoval, K. y Duana Avila, D. (2020). Los cítricos en México: análisis de eficiencia técnica. *Análisis Económico*, 34(87), 269-283.

Contribución de los autores

Autor	Contribución
Javier Gregorio García Arteaga	Aplicación de la lista de chequeo de integración, revisión bibliográfica, análisis e interpretación de los datos, preparación y edición del manuscrito.
Neyfe Sablón-Cossío	Diseño de la investigación, interpretación de los datos y revisión de los datos, participó en la preparación y edición del manuscrito, corrección de estilo.
Sebastiana del Monserrate Ruiz Cedeño	Revisión del contenido del manuscrito referente a la cadena agroalimentaria. Participó en la preparación y edición del manuscrito, corrección de estilo.





Efecto de la temperatura de secado sobre los compuestos polifenólicos y actividad antioxidante de las hojas de *Piper aduncum* L.

Effect of drying temperature on polyphenolic compounds and antioxidant activity of *Piper aduncum* L. leaves

Autores

- ✉ *Sting Brayan Luna-Fox
- ✉ Katherine Estefanía González-Linares
- ✉ Jhomaira Astrid Ortega Torres
- ✉ Nancy Narcisa Rodríguez-Almeida
- ✉ Ruth Dayra Dahua-Gualinga
- ✉ Nelly Jazmín Peñafiel-Bonilla
- ✉ Luis Ramón Bravo-Sánchez

Universidad Estatal Amazónica, Km 2½
Vía Puyo, Tena, Puyo, Ecuador.

*Autor de correspondencia.

Resumen

El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la temperatura de secado sobre los compuestos polifenólicos y actividad antioxidante de las hojas de *Piper aduncum* L. Las hojas fueron recolectadas en la ciudad de Puyo, sector El Paico, ubicado en la Amazonía de la provincia de Pastaza, Ecuador. Se utilizó la técnica de extracción asistida por ultrasonido para obtener los extractos acuosos. Los polifenoles totales fueron determinados mediante el método de análisis de Folin-Ciocalteu y la actividad antioxidante fue evaluada utilizando los métodos FRAP y ABTS. Se evaluó el efecto de tres niveles de temperatura de secado (45, 50 y 55 °C) sobre los compuestos polifenólicos y la actividad antioxidante de las hojas de matico. Se usó el software Design Expert versión 10, para evaluar la significancia del factor de estudio sobre la respuesta experimental ($P < 0,05$). Se realizó el análisis ANOVA para valorar la influencia que tuvo la temperatura sobre las variables de respuesta. La temperatura de secado tuvo un efecto negativo sobre los compuestos polifenólicos y la actividad antioxidante en las hojas de *P. aduncum*. Los mayores valores se obtuvieron a 45 °C (79,92 mg eq. de ácido gálico·100 g⁻¹ de biomasa seca) para polifenoles totales, (74.898,90 y 508,07 µg eq. de TROLOX·g⁻¹ de biomasa seca), para actividad antioxidante mediante las técnicas FRAP y ABTS, respectivamente, por lo que es recomendable realizar el secado a esta temperatura, previo a cualquier utilización o procesamiento posterior con vista a preservar sus propiedades como antioxidante natural.

Palabras clave: polifenoles totales; capacidad antioxidante; FRAP; ABTS.

Abstract

The objective of the research was to evaluate the effect of drying temperature on the polyphenolic compounds and antioxidant activity of the leaves of *Piper aduncum* L. The leaves were collected in the city of Puyo, El Paico sector, located in the Amazon of the province from Pastaza, Ecuador. The ultrasound-assisted extraction technique was used to obtain the aqueous extracts. Total polyphenols were determined using the Folin-Ciocalteu analysis method and antioxidant activity was evaluated using the FRAP and ABTS methods. The effect of three levels of drying temperature (45, 50 and 55 °C) on the polyphenolic compounds and antioxidant activity of matico leaves was evaluated. Design Expert version 10 software was used to evaluate the significance of the study factor on the experimental response ($P < 0.05$). ANOVA analysis was performed to assess the influence that temperature had on the response variables. Drying temperature had a negative effect on polyphenolic compounds and antioxidant activity in *P. aduncum* leaves. The highest values were obtained at 45 °C (79.92 mg eq. of gallic acid·100 g⁻¹ of dry biomass) for total polyphenols (74,898.90 and 508.07 µg eq. of TROLOX·g⁻¹ of dry biomass), for antioxidant activity using the FRAP and ABTS techniques, respectively, so it is advisable to dry at this temperature, prior to any subsequent use or processing in order to preserve its properties as a natural antioxidant.

Keywords: total polyphenols; antioxidant capacity; FRAP; ABTS.

Citación sugerida: Luna-Fox, S. B., González-Linares, K. E., Ortega Torres, J. A., Rodríguez-Almeida, N. N., Dahua-Gualinga, R. D., Peñafiel-Bonilla, N. J. y Bravo-Sánchez, L. R. (2024). Efecto de la temperatura de secado sobre los compuestos polifenólicos y actividad antioxidante de las hojas de *Piper aduncum* L. *La Técnica*, 14(1), 20-28. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v14i1.6034>

Recibido: Agosto 23, 2023
Aceptado: Diciembre 15, 2023
Publicado: Enero 09, 2024



Introducción

La región amazónica de Ecuador es considerada como uno de los sectores con más biodiversidad en el planeta, las diversas especies de plantas que allí se encuentran ha generado que se realicen constantes investigaciones tanto en el campo alimentario como en la generación de nuevas materias primas destinadas a la fabricación de cosméticos y productos farmacéuticos (Luna-Fox et al., 2023b). La mayor parte de las especies vegetales son desconocidas para el mundo actual; sin embargo, las diferentes culturas indígenas han utilizado estas plantas para aprovechar sus propiedades curativas, y dentro de esta gran variedad de plantas se encuentra *Piper aduncum* L. conocido comúnmente como matico (Bedón y León, 2022).

Matico, es una planta perteneciente a la familia de las piperáceas, crece aproximadamente hasta 4 m de altura, su corteza es rugosa, granular de color café verdoso y con hojas individuales alternas (Bedón y León, 2022). Crece de manera silvestre en las costas de América central y del sur, en la región amazónica y en los valles de los Andes a 3.000 msnm; es oriunda de Perú, Chile y Argentina (Alvarado, 2019).

En Ecuador, esta planta crece entre 0-2.000 msnm principalmente en las provincias de Azuay, Cañar, Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Pastaza y Zamora Chinchipe; como “hierba del soldado” o “cordoncillo” (Portal et al., 2020). Las diferentes culturas amazónicas, han utilizado durante muchos años sus hojas como medicina natural para sanar las cicatrices de la piel, curar dolores estomacales, úlceras, diarrea, afecciones hepáticas y colitis (Alvarado, 2019). Contiene importantes metabolitos como los polifenoles naturales, tales como taninos y flavonoides los cuales se encuentran en una concentración de hasta 5,7%, además contiene diversos glucósidos y posee propiedades antioxidantes y protectoras de membranas celulares (Cai et al., 2016).

La relación existente entre los radicales libres y los antioxidantes ha sido objeto de estudio por casi cuatro décadas (Taverne et al., 2018). Diferentes especies vegetales han sido investigadas, se han identificado sus metabolitos activos y se ha demostrado su elevada actividad antioxidante, que puede ser aprovechada en la fabricación de medicamentos y también en el sector alimentario (Soro et al., 2021).

La elevada actividad antioxidante, inhibición de la oxidasa, captación de radicales libres y la capacidad quelante de hierro que poseen los compuestos polifenólicos ha despertado el interés de los investigadores. Estos metabolitos poseen un impacto farmacológico amplio y diverso; estudios han demostrado que modifican la sensibilidad del organismo a sustancias peligrosas

como los alérgenos (Vidal-Gutiérrez et al., 2020). Los compuestos polifenólicos poseen mecanismos de protección sobre las paredes vasculares y capilares, la reducción de la fragilidad y la actividad antimicrobiana (Muchiutti et al., 2019).

Para la extracción de compuestos polifenólicos en especies vegetales, se han empleado diversas técnicas, tales como: extracción por microondas, fluido supercrítico, ultrasonidos, entre otras (Otálora-Rodríguez et al., 2021). La eficiencia de las técnicas empleadas depende de factores como el tiempo y tipo de disolvente, así mismo, el tratamiento del material vegetal, la temperatura de secado y el tamaño de la partícula tienen un papel importante en el rendimiento de extracción (Cai et al., 2016). Con estos antecedentes, el objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la temperatura de secado sobre los compuestos polifenólicos y actividad antioxidante de las hojas de *Piper aduncum* L.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el Laboratorio de Bromatología de la Universidad Estatal Amazónica (UEA), ubicada en el km 2½ vía al Tena, provincia Pastaza. Las hojas de matico fueron recolectadas en la ciudad de Puyo, sector El Paico, ubicado en la Amazonía de la provincia de Pastaza, Ecuador con una altitud de 940 msnm, 00°59'-1" y 77°49'0" (Luna-Fox et al., 2023a). Antes de los análisis, las hojas fueron lavadas con agua desmineralizada y secadas a temperatura ambiente. Posterior a ello, fueron colocadas en estufas a 45, 50 y 55 °C por 48 h. El contenido de humedad se determinó por diferencia de biomasa, y este resultado se utilizó para calcular la biomasa inicial en base seca. Las hojas fueron trituradas en un molino marca KitchenAid, modelo BCG111OB y frecuencia nominal de 60 Hz, luego se tamizó para obtener un tamaño de partícula inferior a 0,5 mm (Gayosso-Rodríguez et al., 2018).

Obtención de los extractos

Los extractos se obtuvieron aplicando la extracción asistida por ultrasonido, usando un equipo de baño ultrasónico Branson 38000, serie CPXH, con 5,7 L de capacidad en el tanque, frecuencia de 40 Hz y potencia 110 W. Como disolvente se utilizó agua destilada según lo reportado por Luna-Fox et al. (2023a) para el que se consideró prioritario maximizar el contenido de cafeína y polifenoles. Las mejores condiciones para extraer la mayor cantidad de cafeína y polifenoles fueron con 15 g de guayusa en 100 mL de agua destilada, aplicando la decocción por 30 min. Los extractos se filtraron usando papel Whatman No 4 y se almacenaron a 4 °C en balones de vidrio cubiertos con papel aluminio hasta su posterior uso (Surco-Laos et al., 2020).

Determinación espectrofotométrica de polifenoles totales

Del extracto acuoso obtenido, se tomó 1 mL en un matraz aforado de 10 mL y se agregó 0,5 mL del reactivo Folin-Ciocalteu diluido a la mitad con agua destilada y se dejó en reposo por 10 min, posteriormente se agregó 0,5 mL de carbonato de sodio al 20% y se enrasó con agua destilada; se agitó y se protegió de la luz con papel aluminio por 2 h a temperatura ambiente. Finalmente, la absorbancia se midió a 765 nm en un espectrofotómetro uv-vis marca Thermo, modelo Genesys 5 y serie 3V0H228001 (Luna-Fox et al., 2023a).

El contenido total de polifenoles se determinó utilizando una curva de calibración de ácido gálico y la concentración de polifenoles totales se expresó en miligramos equivalentes al ácido gálico por 100 g de hojas de matico en base a biomasa seca (mg EAG·100 g⁻¹ de biomasa seca), para ello se empleó la ecuación 1, obtenida a partir del modelo matemático de la recta de calibrado del ácido gálico, confeccionada con cinco concentraciones y tres réplicas (Luna-Fox et al., 2023b).

$$A = 0,0734C - 0,0028 \quad (1)$$

donde:

A: absorbancia de la muestra

C: concentración de la muestra (mg·L⁻¹)

Actividad antioxidante

Se realizó mediante la aplicación de dos métodos, que se caracterizaron por ser confiables y sencillos de aplicar (Suárez-Rebaza et al., 2019).

Actividad antioxidante por ABTS

El ensayo de decoloración de cationes radicales ABTS, descrito por Re et al. (1999) fue seleccionado con el fin de determinar la actividad secuestrante de radicales libres. El radical ABTS se preparó mezclando disoluciones de ABTS 7 mM y persulfato de potasio 2,45 mM, a partes iguales. La disolución se mantuvo en la oscuridad a temperatura ambiente durante 16 h para la formación del radical, el cual se diluyó en etanol para obtener una absorbancia de 0,873. La preparación de la disolución de persulfato de potasio se realizó adicionando 0,663 g de la sal en agua destilada y diluyendo hasta enrasar a 100 mL. La disolución de ABTS se preparó disolviendo 0,384 g en 10 mL de agua destilada (Arteaga-Crespo et al., 2020). Los resultados se expresaron en microgramos equivalentes de TROLOX·g⁻¹ de biomasa seca (μg eq. T·g⁻¹ de biomasa seca), calculados a partir de la ecuación 2.

$$A = 0,873 - 0,1304C \quad (2)$$

donde:

A: absorbancia de la muestra leída a 730 nm.

C: concentración de la muestra (mg·L⁻¹).

Actividad antioxidante por FRAP

La actividad antioxidante fue calculada por el ensayo FRAP, según Benzie y Strain (1996). Se colocaron 80 μL de cada extracto en un matraz aforado de 10 mL, al que se le agregaron 5

mL de disolución de FRAP recién preparada. Luego de agregar el reactivo, se agregó agua destilada al matraz hasta completar 10 mL, y se dejó a 37 °C durante 30 min, protegido de la luz. La lectura se registró a una longitud de onda de 593 nm frente a la disolución de control. El reactivo FRAP se preparó mezclando 2,5 mL de disolución de 2,4,6-piridil-s-triazina (TPTZ) con 2,5 mL de disolución de cloruro de hierro III y 25 mL de tampón acetato.

Para la preparación de la disolución de TPTZ se pesaron 0,03 g de reactivo y se colocaron en un matraz aforado de 10 mL y se diluyó hasta enrase con ácido clorhídrico 40 mM. Se preparó tampón de acetato disolviendo 0,0061 g de acetato de sodio en 200 mL de agua destilada, se añadió ácido clorhídrico 40 Mm hasta que la mezcla alcanzó un pH de 3,5, luego se diluyó hasta enrasar con agua destilada hasta 250 mL. Para la preparación de la disolución de cloruro de hierro (III) se disolvieron 0,1352 g en 25 mL de agua destilada. Los resultados se expresaron en microgramos equivalentes de Trolox·100 g⁻¹ de biomasa seca (μg eq. T·g⁻¹ de biomasa seca), y se calcularon mediante la ecuación 3 (Arteaga-Crespo et al., 2020).

$$C = \frac{A}{0,1879} \quad (3)$$

donde:

A: absorbancia de las muestras leídas a 593 nm.

C: concentración de las muestras (mg·L⁻¹)

Diseño experimental

Se evaluó el efecto de tres niveles de temperatura de secado (variable independiente) de las hojas de matico (tabla 1) sobre la concentración de compuestos polifenólicos y la actividad antioxidante de los extractos acuosos obtenidos (variables de respuesta). Se usó el software Design Expert versión 10, para evaluar la significancia (P<0,05) del factor de estudio sobre la respuesta experimental. Se realizó el análisis ANOVA para valorar la influencia que tuvo la temperatura sobre las variables de respuesta.

En la tabla 1 se plantea el diseño factorial con punto intermedio, realizado.

Tabla 1. Nivel de las variables seleccionadas en el diseño factorial

Variable independiente	Nivel de variable codificada			
	Símbolo	Bajo	Central	Alto
Temperatura de secado (°C)	A	-1	0	1
		45	50	55

Resultados y discusión

Efecto de la temperatura sobre los compuestos polifenólicos totales del matico

La figura 1 muestra el Diagrama de Pareto el cual incluyó el límite de Bonferroni que es una línea de corte estadístico; así



mismo, el factor de estudio está representado por la barra vertical y el color muestra el efecto que tuvo sobre la variable respuesta; si el color es azul entonces el efecto del factor sobre la variable respuesta fue negativo, si el color es naranja fue positivo. El factor de estudio fue estadísticamente significativo ($P < 0,05$) si se ubica por encima del límite de Bonferroni. En esta investigación, la temperatura afectó significativamente los compuestos polifenólicos del matico, lo cual era de esperar debido a que estos compuestos antioxidantes experimentaron una reacción de oxidación que se aceleró por efecto de la temperatura.

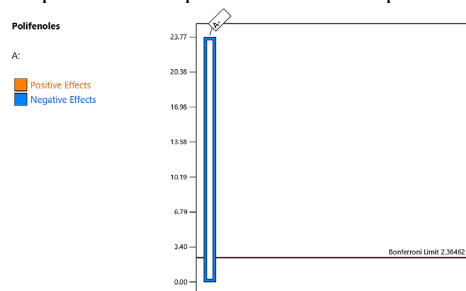


Figura 1. Diagrama de Pareto sobre el efecto de la temperatura en los polifenoles totales del matico.

La figura 2, muestra el efecto negativo de la temperatura sobre la variable respuesta, donde a mayor temperatura la concentración de polifenoles disminuyó; en este sentido, la mayor concentración de polifenoles se obtuvo en las hojas de matico secadas a 45 °C.

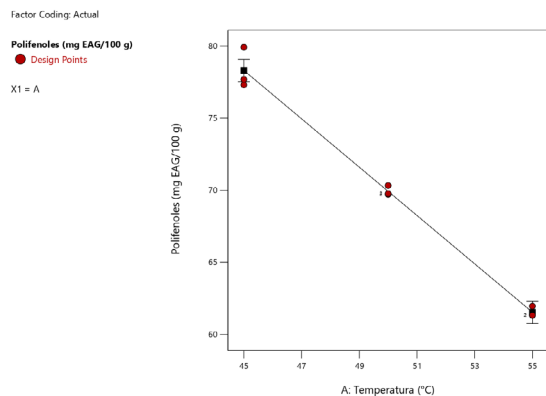


Figura 2. Efecto de la temperatura de secado sobre los polifenoles totales del matico.

En la tabla 2, se muestra el modelo factorial seleccionado. El valor F del modelo de 659,19 implicó que el modelo fue significativo. Solo hubo un 0,01% de posibilidades de que un valor F tan grande se deba al ruido.

Los valores de probabilidad “P” inferiores a 0,05 indicaron que los términos del modelo fueron significativos. En este caso, la temperatura (A) fue un término significativo del modelo. El

valor F de falta de ajuste de 0,06 implicó que la falta de ajuste no fue significativa con relación al error puro. Hubo un 98,12% de posibilidades de que un valor F de falta de ajuste tan grande se deba al ruido.

Tabla 2. ANOVA para el modelo factorial seleccionado en polifenoles totales.

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	Valor F	Valor P	
Modelo	421,85	1	421,85	659,19	< 0,0001	Significativo
Temperatura (A)	421,85	1	421,85	659,19	< 0,0001	
Residual	4,48	7	0,6400			
Falta de ajuste	0,0005	1	0,0005	0,06	0,9812	No significativo
Error puro	4,48	6	0,7465			
Total corregido	426,33	8				

De acuerdo con Anderson y Whitcomb (2016) la diferencia entre el R^2 previsto y el R^2 ajustado debe ser inferior a 0,2 para que el modelo factorial utilizado en una investigación sea apropiado. El valor obtenido en esta investigación para el R^2 previsto de 0,9802 concordó razonablemente con el R^2 ajustado de 0,9880; es decir, la diferencia fue inferior a 0,2 (tabla 3). La precisión adecuada mide la relación señal/ruido. Lo deseable es una relación superior a 4 (Arteaga-Crespo et al., 2020). Su ratio de 44,47 indicó una señal adecuada.

Tabla 3. Estadística de ajuste para polifenoles totales.

Desviación estándar	0,8000	R^2	0,9895
Media	69,93	R^2 ajustado	0,9880
CV (%)	1,14	R^2 previsto	0,9802
		Precisión adecuada	44,4699

Abreviatura: CV= coeficiente de variación.

El software Design-Expert generó un modelo matemático lineal que demostró la relación entre la temperatura de secado y los polifenoles totales (ecuación 4).

$$\text{Polifenoles totales} = 153,79445 - 1,67733A \quad (4)$$

donde:

A: temperatura (°C).

La ecuación 4 en términos de factores reales puede utilizarse para hacer predicciones sobre la respuesta para niveles dados de cada factor. En este caso, los niveles deben especificarse en las unidades originales de cada factor.

Los valores experimentales por triplicado y predichos por el modelo matemático se presentan en la tabla 4. Los resultados obtenidos mostraron la idoneidad del modelo predictivo para cubrir todo el intervalo de resultados experimentales, lo que se supone que el modelo puede aplicarse con éxito.

Tabla 4. Resultados experimentales y predichos de polifenoles.

Temperatura (°C)	Polifenoles (experimentales) mg EAG·100 g ⁻¹ bs	Valores predichos mg EAG·100 g ⁻¹ bs
45	77,32	78,31
	79,92	
	77,69	
	69,71	
	69,77	
50	70,33	69,93
	61,32	
	61,33	
55	61,96	61,54

La temperatura de secado tuvo un efecto negativo sobre los polifenoles del matico, la mayor y menor cantidad de polifenoles totales se reportó en el extracto obtenido con las muestras secadas a 45 y 55 °C, respectivamente. Rojas (2019) probó el efecto de cuatro temperaturas de secado (35, 40, 50 y 60 °C) sobre los polifenoles totales en hojas de *P. aduncum* y *Brunfelsia grandiflora* demostró que la concentración de polifenoles disminuyó con el aumento de temperatura; estos resultados concordaron con los obtenidos por Luisetti et al. (2020) cuya aplicación en la formulación de potenciales alimentos funcionales, por sus efectos beneficiosos para la salud, hace interesante su extracción de manera selectiva. Se propone optimizar los parámetros del proceso de extracción de los compuestos fenólicos, sobre la base de un diseño experimental de tres variables a tres niveles. Los parámetros fueron temperatura de secado, relación

Líquido/Sólido (L/S al demostrar que la temperatura de secado fue inversamente proporcional al rendimiento de extracción de metabolitos secundarios.

Ríos-Aguirre y Gil-Garzón (2021) mencionaron que temperaturas de secado superiores a 50 °C degradan algunos compuestos bioactivos de las plantas; en este sentido, Nova et al. (2023) indicaron que temperaturas de secado que estuvieron entre los 35-45 °C fueron las apropiadas para mantener los metabolitos secundarios de las plantas, con actividad antioxidante.

Los resultados de polifenoles conseguidos en esta investigación variaron desde 61,32 a 79,92 mg EAG·100 g⁻¹ bs, estos resultados fueron superiores a los obtenidos por Załuski et al. (2018). Diferentes investigaciones como las de Herrera-Calderon et al. (2019), Uribe et al. (2021) y Aldair et al. (2022) han reportado una gran variedad de polifenoles totales en diferentes especies de matico, esta variabilidad puede deberse a factores como, edad de la planta, condiciones climáticas y de suelo; en este sentido, Alvarado (2019) señaló que la altitud a la cual se recolectaron hojas de matico influyó significativamente sobre el contenido de polifenoles de esta planta.

Por otro lado, las técnicas de extracción, tamaño de partícula y el disolvente usado en la extracción, influyen de manera directa en el rendimiento de los polifenoles. Mamoori y Janabi (2018) evaluaron el efecto de dos métodos de extracción para cuantificar polifenoles espectrofotométricamente, demostraron que los resultados obtenidos por ultrasonido fueron superiores a los obtenidos por microondas.

Efecto de la temperatura sobre la actividad antioxidante del matico

La influencia de la temperatura sobre la actividad antioxidante del matico evaluada por las técnicas FRAP y ABTS se muestra en la figura 3. En el Diagrama de Pareto se puede evidenciar que la temperatura se ubicó por encima del límite de Bonferroni, lo cual indicó que este factor fue estadísticamente significativo ($P < 0,05$).

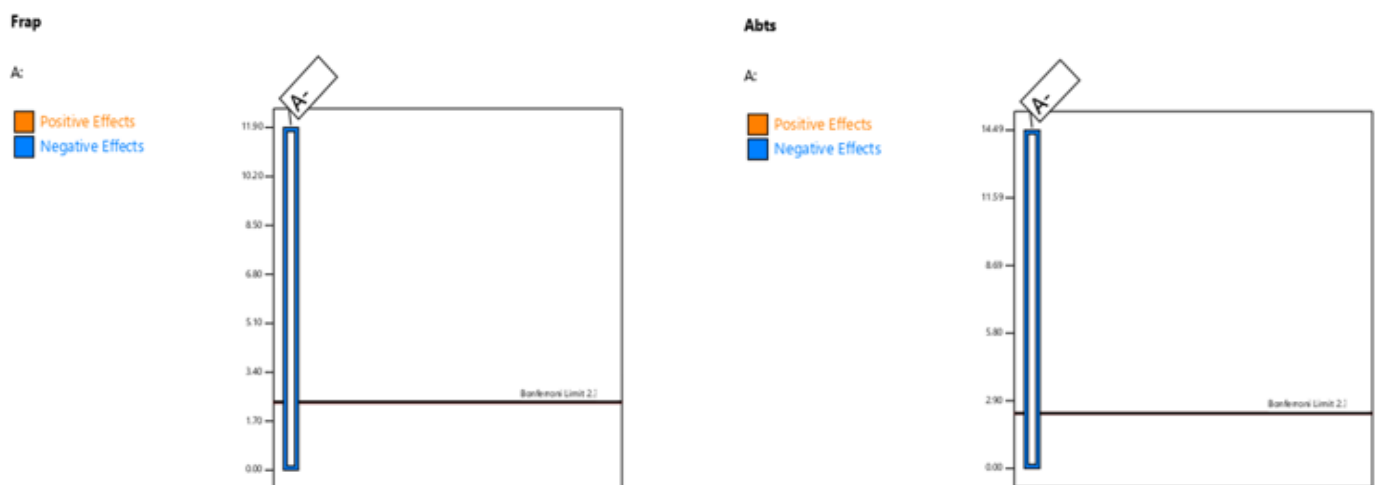


Figura 3. Diagrama de Pareto sobre el efecto de la temperatura en la actividad antioxidante del matico.

La figura 4 muestra que la temperatura fue inversamente proporcional a la capacidad antioxidante; es decir, que en la medida en que se incrementaron los niveles de este factor, la variable de respuesta disminuyó. En este sentido, para la técnica de FRAP (A) y ABTS (B) los resultados superiores se consiguieron a 45 °C con valores de 74.898,90 y 508,07 $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ bs, respectivamente.

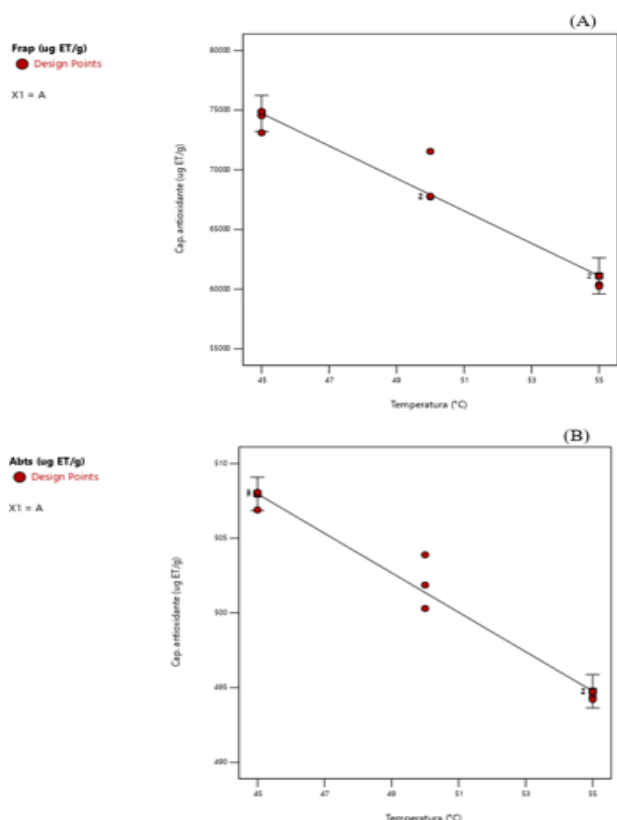


Figura 4. (A) Efecto de la temperatura sobre la actividad antioxidante por FRAP. (B) Efecto de la temperatura sobre la actividad antioxidante por ABTS.

En la tabla 5 se presenta el ANOVA con el modelo factorial seleccionado para actividad antioxidante. El valor de F del modelo de 113,11 implicó que este fue significativo y que solo hubo una probabilidad del 0,01% de que se produjera un valor F tan grande debido al ruido.

Los valores de P menores a 0,05 probaron que los términos del modelo fueron significativos. En este caso, la temperatura (A) fue un factor significativo del modelo. Los valores que se encontraron por encima de 0,10 indicaron que los términos del modelo no fueron significativos. El valor F de falta de ajuste de 2,76 implicó que la falta de ajuste no fue significativo con

relación al error puro. Hubo una probabilidad del 14,76% de que se produzca un valor F de falta de ajuste tan grande debido al ruido.

Tabla 5. Resultados experimentales y predichos de actividad antioxidante.

Temperatura (°C)	Actividad Antioxidante (FRAP) $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ bs	Valores predichos (FRAP) $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ bs	Actividad Antioxidante (ABTS) $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ bs	Valores predichos (ABTS) $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ bs
45	74.528,60		507,97	
	73.105,60	74728,95	508,07	507,97
	74.898,90		506,89	
	67.727,00		501,87	
50	67.787,20	67921,50	503,89	501,37
	71.544,30		500,30	
	60.383,90		494,37	
	60.234,50	61117,05	494,73	494,76
55	61.088,00		494,21	

Nuevamente, considerando lo propuesto por Anderson y Whitcomb (2016), la diferencia entre el R^2 previsto y el R^2 ajustado debe ser inferior a 0,2 para que el modelo factorial utilizado en una investigación sea adecuado. En la presente investigación el R^2 previsto de 0,9174 estuvo razonablemente de acuerdo con el R^2 ajustado de 0,9334; es decir, la diferencia fue inferior a 0,2 (tabla 6). La precisión adecuada midió la relación señal/ruido. Es deseable una relación superior a 4. Su relación de 18,421 indica una señal adecuada.

Tabla 6. Estadística de ajuste para la actividad antioxidante.

Desviación estándar	1567,17	R^2	0,9417
Media	67.922,00	R^2 ajustado	0,9334
CV (%)	2,31	R^2 previsto	0,9174
		Precisión adecuada	18,4210

Abreviatura: CV= coeficiente de variación.

El software Design-Expert generó dos modelos matemáticos, uno para FRAP (ecuación 5) y otro para ABTS (ecuación 6), que demostraron la relación entre la temperatura de secado y la actividad antioxidante.b

$$\text{Actividad antioxidante (FRAP)} = 1,35966 \times 10^5 - 1360,89A \quad (5)$$

$$\text{Actividad antioxidante (ABTS)} = 567,40000 - 1,3207A \quad (6)$$

donde:

A: temperatura (°C)

Las ecuaciones 5 y 6 se pueden utilizar para hacer estimaciones sobre la variable respuesta a diferentes niveles de temperatura. En este caso, los niveles deben especificarse en las unidades originales del factor de estudio.

Las respuestas experimentales por triplicado y los valores predichos por los modelos matemáticos se presentan en la tabla 7. Los resultados predichos mostraron la idoneidad de los modelos predictivos para cubrir todo el intervalo de resultados experimentales, lo cual significó que el modelo puede aplicarse con éxito.

Tabla 7. ANOVA para el modelo factorial seleccionado en capacidad antioxidante.

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	Valor F	Valor P	
Modelo	2,778E+08	11	2,778E+08	113,11	< 0,0001	Significativo
Temperatura (A)	2,778E+08	11	2,778E+08	113,11	< 0,0001	
Residual	1,719E+07	77	2,456E+06			
Falta de ajuste	5,420E+06	11	5,420E+06	2,76	0,1476	No significativo
Error puro	1,177E+07	66	1,962E+06			
Total corregida	2,950E+08	88				

La temperatura tuvo un comportamiento inversamente proporcional a la actividad antioxidante del matico sometido a secado, esto concordó con lo indicado por Soto-Celis y Jáuregui, (2018) quienes evaluaron el efecto de la temperatura de secado sobre la actividad antioxidante de *Psidium guajava* L. y se demostró que esta disminuyó con el incremento de temperatura; así mismo, Rosa-Hernández et al. (2018) demostró que la temperatura de secado tuvo un efecto negativo sobre la actividad antioxidante de *Citrus paradisi*.

Zaluski et al. (2018) mencionó que el matico es una planta cuya actividad antioxidante está determinada principalmente por los compuestos fenólicos que posee. Según Indirayati et al. (2020) dentro de los polifenoles presentes en el matico con mayor actividad antioxidante se encontraron los flavonoides, catequinas, flavonas y ácidos hidroxicinámico. La cantidad de estos compuestos dependió de la especie, condiciones de suelo, horas luz y condiciones climáticas (Arroyo et al., 2022). Los resultados de actividad antioxidante obtenidos en este estudio fueron superiores a los reportados por Pacheco et al. (2022) donde alcanzó valores de 1770 y 86,4 $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ de biomasa seca para las técnicas FRAP y ABTS, respectivamente. La discrepancia en los valores podría atribuirse a diferencias en las muestras analizadas (Chizzola et al., 2018), la variabilidad genética (Alipio-Rodríguez et al., 2020) y condiciones ambientales (Średnicka-Tober et al., 2019).

Vale recalcar que los resultados de la presente investigación poseen una importancia trascendental a la hora de procesar las hojas de *P. aduncum*. como materia prima no alimentaria para la

fabricación de productos medicinales, nutracéuticos, cosméticos, entre otros, para lo cual es conveniente llevar a cabo un secado a una temperatura que no sobrepase los 45 °C.

Conclusión

La temperatura de secado tuvo un efecto negativo sobre los compuestos polifenólicos y la actividad antioxidante de las hojas secas del matico. Los mejores resultados se obtuvieron a 45 °C con valores de 79,92 mg EAG $\cdot$ 100 g $^{-1}$ de biomasa seca para polifenoles totales; 74.898,90 y 508,07 $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ de biomasa seca, para actividad antioxidante determinada a través de las técnicas espectrofotométricas FRAP y ABTS, respectivamente. Este aporte es crucial en el contexto de la optimización de procesos de secado para la conservación de propiedades bioactivas en productos naturales, ofreciendo pautas prácticas para la obtención de productos con mayores beneficios antioxidantes.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

- Aldair, C., Pérez, Z., Valencia, J. y Ríos, F. (2022). Propiedades farmacológicas e indicaciones terapéuticas el *Piper aduncum* L. (matico) para aliviar diversas enfermedades. *Investigación Universitaria UNU*, 12(1), 766-774. <https://doi.org/10.53470/RIU.V12I1.73>
- Alipio-Rodríguez, A., Mostacero-León, J., López-Medina, E., Cruz-Castillo, A. and Gil-Rivero, A. (2020). Ethnomedicinal use value of the flora of the hill “la botica” used by the andean community of cachicadán-Perú. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromaticas*, 19(6), 601-613. <https://doi.org/10.37360/blacpma.20.19.6.43>
- Alvarado, G. (2019). *Actividad antioxidante y determinación de fenoles de extractos de matico (Piper sp.) en diferentes altitudes del distrito de Levanto, Amazonas*. https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/1769/AlvaradoSantillanGin_gler.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Anderson, M. J. and Whitcomb, P. J. (2016). *Rsm simplified: Optimizing processes using response surface methods for design of experiments*. Second Edition. 295 p.
- Arroyo, J., Bonilla, P., Marín, M., Tomás, G., Huamán, J., Ronceros, G., Ruez, E., Moreno, L. and Hamilton, W. (2022). Anatomical and histochemical study of the vegetative organs of *Piper aduncum* L. (Piperaceae). *Polibotánica*, 0(54), 185-202.
- Arteaga-Crespo, Y., Radice, M., Bravo-Sanchez, L. R., García-Quintana, Y. and Scalvenzi, L. (2020). Optimisation of ultrasound-assisted extraction of phenolic antioxidants from *Ilex guayusa* Loes. leaves using response surface methodology. *Heliyon*, 6(1), e03043. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e03043>



- Bedón Ponluisa, K. A. y León Coque, N. I. (2022). *Extracción del aceite esencial de Matico (Piper aduncum) mediante el método de arrastre de vapor*. Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador. 102 p.
- Benzie, I. and Strain, J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70-76. <https://doi.org/10.1006/ABIO.1996.0292>
- Cai, Z., Qu, Z., Lan, Y., Zhao, S., Ma, X., Wan, Q., Jing, P. and Li, P. (2016). Conventional, ultrasound-assisted, and accelerated-solvent extractions of anthocyanins from purple sweet potatoes. *Food Chemistry*, 197, 266-272. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2015.10.110>
- Chizzola, R., Lohwasser, U. and Franz, C. (2018). Biodiversity within *Melissa officinalis*: Variability of bioactive compounds in a cultivated collection. *Molecules*, 23(2), 1-13. <https://doi.org/10.3390/molecules23020294>
- Gayosso-Rodríguez, S., Villanueva-Couoh, E., Estrada-Botello, M. y Garraña, R. (2018). Caracterización físico-química de mezclas de residuos orgánicos utilizados como sustratos agrícolas. *Bioagro*, 30(3), 179-190. <https://revistas.uclave.org/index.php/bioagro/article/view/2716>
- Herrera-Calderon, O., Chacaltana-Ramos, L., Yuli-Posadas, R., Pari-Olarte, B., Enciso-Roca, E., Tinco-Jayo, J., Rojas-Armas, J., Felix-Veliz, L. and Franco-Quino, C. (2019). Antioxidant and cytoprotective effect of *Piper aduncum* L. against sodium fluoride (NaF)-Induced toxicity in Albino mice. *Toxics*, 7(2). <https://doi.org/10.3390/TOXICS7020028>
- Indirayati, N., Nisa, K., Kurang, R., Tarmo, N. and Adang, K. (2020). Radical scavenging activity and total phenolic content of seven tropical plants. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 462(1), 12. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/462/1/012043>
- Luisetti, J., Lucero, H. and Ciappini, M. C. (2020). Estudio preliminar para optimizar la extracción de compuestos fenólicos bioactivos de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Revista de Ciencia y Tecnología*, 33, 1-10. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-75872020000100012&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Luna-Fox, S. B., Álvarez Castro, R. R., Peñafiel-Bonilla, N. J., Radice, M., Scalvenzi, L., Arteaga-Crespo, Y., López-Hernández, O. D. y Bravo-Sánchez, L. R. (2023). Elaboración de un preparado hidrosoluble en forma de sólido pulverulento a partir de *Ilex guayusa* Loes. *La Técnica*, 13(1), 247-56. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9035502&info=resumen&idioma=SPA>
- Luna-Fox, S. B., Rodríguez-Almeida, N. N., Dahua-Gualinga, R. D. y Sancho-Aguilera, D. (2023). Compuestos polifenólicos, contenido mineral y tamizaje fitoquímico de extractos acuosos de *Simira cordifolia* obtenidos mediante ultrasonidos. *Polo del Conocimiento*, 8(11), 418-437. <https://doi.org/10.23857/pc.v8i11.6216>
- Mamoori, F. and Janabi, R. (2018). Recent advances in microwave-assisted extraction (mae) of medicinal plants: a review. *International Research Journal of Pharmacy*, 9(6), 22-29. <https://doi.org/10.7897/2230-8407.09684>
- Muchiutti, G., López-Novello, L., Córscico, F. y Larrosa, V. (2019). Cápsulas de alginato para la protección de polifenoles presentes en el aceite esencial de orégano. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 30(59), 297-309. <https://doi.org/10.33255/3059/687>
- Nova, C., Giraldo, L. y Cáceres-Roa, S. (2023). Extracción de polifenoles: una comparación a partir de cáscara de cacao húmeda vs cáscara de cacao secada. *Ingeniería y Competitividad*, 25(2), e-20612223. <https://doi.org/10.25100/iyec.v25i2.12223>
- Otálora-Rodríguez, M., Wilches-Torres, A. y Cárdenas-González, O. (2021). Extracción de polifenoles de *Cynara scolymus* L., usando técnicas tradicionales y modernas. Una breve revisión. *I3+, Investigación, Innovación, Ingeniería*, 4(1), 29-38. <https://doi.org/10.24267/23462329.789>
- Pacheco, F., Alvarenga, I., Bertolucci, S., Pinto, J. and Alvarenga, A. (2022). Water suppression indicates the prevalence of the secondary defense system in *Piper aduncum*. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 24(1), 38-50. https://www.sbpmed.org.br/admin/files/papers/file_UgUsUux8IxMz.pdf
- Portal, J., Proaño, R. y Villacís, S. (2020). Experiencia comunitaria con el uso de la planta medicinal conocida como "matico", en el cantón ambato, en el período marzo-julio del 2012. *Investigación y Desarrollo*, 5(1), 7-12. <https://doi.org/10.31243/id.v5.2013.15>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., and Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10), 1231-1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)

- Rios-Aguirre, S. y Gil-Garzón, M. (2021). Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. *Tecnológicas*, 24(51), 206-229. <https://doi.org/10.22430/22565337.1836>
- Rojas, M. (2019). Evaluación de la actividad antioxidante y polifenoles totales en extractos de las hojas de tres especies de plantas medicinales de Campo Verde, Ucayali-2018. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía. <http://repositorio.unia.edu.pe/handle/unia/206>
- Rosa-Hernández, M., Wong-Paz, J., Muñoz-Márquez, D. y Carrillo-Inungaray, M. (2018). Compuestos fenólicos bioactivos de la toronja (*Citrus paradisi*) y su importancia en la industria farmacéutica y alimentaria. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 47(2), 22-35. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57956610003>
- Soro, A., Valenzuela, G. y Núñez, M. B. (2021). Actividad antioxidante de cuatro especies vegetales del nordeste argentino. *Rev. Colomb. Cienc. Quím. Farm.*, 50(1), 236-252. <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v50n1.95457>
- Soto-Celis, E. y Jáuregui, B. (2018). Efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento en las características fisicoquímicas y capacidad antioxidante de pulpa de guayaba (*Psidium guajava* L.) variedad criolla roja. *Cientifi-K*, 2(2), 14.
- Średnicka-Tober, D., Ponder, A., Hallmann, E., Głowacka, A. and Rozpara, E. (2019). The profile and content of polyphenols and carotenoids in local and commercial sweet cherry fruits (*Prunus avium* L.) and their antioxidant activity in vitro. *Antioxidants*, 8(11). <https://doi.org/10.3390/antiox8110534>
- Suárez-Rebaza, L., Ganoza-Yupanqui, L., Zavala-Urtecho, D. y Alva-Plasencia, M. (2019). Compuestos fenólicos y actividad antioxidante de extractos hidroalcohólicos y acuosos de frutos de *Prosopis pallida* “algarrobo.” *Agroindustrial Science*, 9(1), 87-91. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2019.01.11>
- Surco-Laos, F., Paucar, H., Gamboa, W., Ceccarelli, J. y Campos, M. (2020). Determinación de polifenoles totales y actividad antioxidante de extracto de semillas de uvas residuos de la producción de pisco phenolic compounds and antioxidant activity of grape seeds residues of pisco production. *Rev. Soc. Quím. Perú.*, 86(2), 1-9.
- Taverne, Y., Merkus, D., Bogers, A. J., Halliwell, B., Duncker, D., and Lyons, T. (2018). Reactive oxygen species: Radical factors in the evolution of animal life: A molecular timescale from Earth's earliest history to the rise of complex life. *BioEssays*, 40(3), 9. <https://doi.org/10.1002/BIES.201700158>
- Uribe, T., Arroba, J., Barrera, T. y Lascano, E. (2021). Eficacia clínica del extracto de Matico (*Piper angustifolium*) en la evolución de la cicatrización de heridas por estomatitis aftosa recidivante. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 61(4), 693-699. <https://doi.org/10.52808/bmsa.7e5.614.017>
- Vidal-Gutiérrez, M., Torres-Moreno, H., Velázquez-Contreras, C. A., Rascón-Valenzuela, L. A., y Robles-Zepeda, R. E. (2020). Actividad antioxidante y antiproliferativa de seis plantas medicinales del noroeste de México. *Biotecnica*, 22(3), 40-45. <https://doi.org/10.18633/Biotecnica.V22I3.1169>
- Załoski, D., Cieśla, Ł. and Janeczko, Z. (2018). The structure-activity relationships of plant secondary metabolites with antimicrobial, free radical scavenging and inhibitory activity toward selected enzymes. *Studies in Natural Products Chemistry*, 45, 217-249. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63473-3.00007-1>

Contribución de los autores

Autores	Contribución
Sting Brayan Luna-Fox	Diseño de la investigación, análisis estadístico, revisión bibliográfica, parte experimental, análisis e interpretación de los datos, preparación, redacción y edición del manuscrito.
Katherine Estefanía González-Linares	Revisión bibliográfica, parte experimental y redacción del manuscrito.
Jhomaira Astrid Ortega Torres	Revisión bibliográfica, parte experimental y redacción del manuscrito.
Nancy Narcisa Rodríguez-Almeida	Revisión bibliográfica, redacción del manuscrito.
Ruth Dayra Dahua-Gualinga	Revisión bibliográfica, redacción del manuscrito.
Nelly Jazmín Peñafiel-Bonilla	Revisión bibliográfica, redacción del manuscrito.
Luis Ramón Bravo-Sánchez	Análisis e interpretación de los datos, redacción y edición del manuscrito.





Daucus carota L. como fuente de pigmento natural y su efecto sobre los parámetros zootécnicos en pollos de engorde Cobb 500

Daucus carota L. as a source of natural pigment and its effect on zootechnical parameters in Cobb 500 broiler chickens

Autores

- ✉ ¹*Janeth Rocío Jácome-Gómez
- ✉ ²Ximena Patricia Valencia-Enríquez
- ✉ ¹Edison Javier Salcán-Sánchez
- ✉ ²María Cristina Martínez Sotelo
- ✉ ¹Diana Leticia de La Cruz Chicaiza

¹Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, extensión El Carmen. Manabí, Ecuador.

²Instituto Superior Tecnológico Tsáchila. Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

*Autor de correspondencia.

Citación sugerida: Jácome-Gómez, J. R., Valencia-Enríquez, X. P., Salcán-Sánchez, E. J., Martínez Sotelo, M. C., y de La Cruz Chicaiza, D. L. (2024). *Daucus carota* L. como fuente de pigmento natural y su efecto sobre los parámetros zootécnicos en pollos de engorde Cobb 500. *La Técnica*, 14(1), 29-36. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v14i1.6219>

Recibido: Noviembre 04, 2023

Aceptado: Enero 30, 2024

Publicado: Febrero 16, 2024

Resumen

Este estudio evaluó el efecto de la harina de zanahoria (HZ; *Daucus carota* L.) como sustituto parcial de la dieta basal de pollos de engorde Cobb 500 sobre la pigmentación de la piel, parámetros productivos y rentabilidad. Un total de 64 pollos fueron separados según el sexo y se asignaron a cuatro dietas, con cuatro réplicas de dos aves cada una. Los grupos testigos fueron alimentados con una dieta estándar y los grupos experimentales recibieron la misma dieta convencional con niveles de reemplazo del 10, 15 y 20% de HZ. No se observaron diferencias significativas en el consumo de alimento, ganancia de peso o índice de conversión alimenticia. Sin embargo, las dietas con harina de zanahoria mejoraron el consumo de alimento, promovieron el aumento de peso y optimizaron la eficiencia alimenticia con un 10% en machos y un 15% en hembras. No se registró mortalidad en los grupos experimentales. La intensidad de la pigmentación en la piel de los pollos aumentó a medida que se incrementó el nivel de sustitución, mientras que el sexo influyó en la expresión del color. Las dietas con HZ mejoraron la rentabilidad especialmente en los machos. En conclusión, la sustitución de la dieta basal con HZ en la dieta de los pollos de engorde Cobb 500, tuvo efectos positivos en los parámetros evaluados; por tanto, puede usarse como fuente alternativa de pigmento natural en la producción de pollos de engorde de piel amarilla.

Palabras clave: pigmentación; carotenoides; producción avícola; *Daucus carota*; harina de zanahoria.

Abstract

This study evaluated the effect of carrot flour (CF; *Daucus carota* L.) as a partial substitute for the basal diet of Cobb 500 broiler chicken on skin pigmentation, production parameters and profitability. A total of 64 chickens were separated according to sex and assigned to four diets, with four replicates of two birds each. The control groups were fed a standard diet, and the experimental groups were fed the same conventional diet with replacement levels of 10, 15, and 20% CF. No significant differences were observed in feed consumption, weight gain or feed conversion ratio. However, diets with carrot flour improved feed intake, promoted weight gain and optimized feed efficiency with 10% in males and 15% in females. No mortality was recorded in the experimental groups. The intensity of pigmentation in the chickens' skin increased as the level of substitution increased, while sex influenced color expression. Diets with CF improved profitability especially in males. In conclusion, the replacement of the basal diet with CF in the diet of Cobb 500 broilers had positive effects on the evaluated parameters, therefore, it can be used as an alternative source of natural pigment in the production of yellow-skinned broilers.

Keywords: pigmentation; carotenoids; poultry production; *Daucus carota*; carrot flour.



Introducción

La industria avícola ha logrado la producción de pollos en gran escala debido a los avances en mejoramiento genético, reproducción, salud y alimentación, que han permitido alcanzar tasas de crecimiento más rápidas y optimizar la producción de huevos (Kleyn y Ciacciariello, 2021; Martínez et al., 2021). Estos avances han contribuido a satisfacer la alta demanda de productos avícolas a nivel mundial, convirtiendo a la carne y huevos de aves de corral en fuentes importantes de proteína animal (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2023).

En la actualidad, uno de los enfoques clave en la producción avícola, se centra en mejorar la calidad de la carne a través de estrategias nutricionales, diseñadas para modificar las propiedades que influyen en la aceptabilidad general del producto (Mir et al., 2017). Entre estas propiedades, la pigmentación de la piel y carne del pollo emerge como el atributo de calidad más importante, ya que representa la primera característica sensorial que los consumidores asocian con calidad nutricional y posibles beneficios para la salud (Ortiz et al., 2022; Pandiselvam et al., 2023). Aunque, en términos prácticos, la pigmentación no es un pronosticador confiable de seguridad y calidad, la percepción del consumidor sobre este atributo afectada en su decisión de compra, por lo que también es un rasgo económico importante (de Araújo et al., 2022).

En Ecuador, hay informes de preferencias por una piel amarilla como indicador de alimento fresco, seguro y nutritivo (Vargas, 2015; Toalombo et al., 2019). Sin embargo, las principales líneas de pollos de engorde no logran desarrollar la intensidad del color apropiado de manera natural, debido a que no pueden sintetizar carotenoides *in vivo*, por lo que, estos pigmentos deben complementarse a través de la dieta (Wu et al., 2021).

Como resultado, la industria de alimentos balanceados agrega pigmentos, ya sean sintéticos o naturales, en la formulación de alimentos para la producción de pollos de piel amarilla (Marounek y Pebriansyah, 2018). Aunque, los pigmentos sintéticos utilizados están sujetos a evaluaciones de seguridad y a regulaciones estrictas, la creciente conciencia de los consumidores sobre la salud, tanto personal como de las aves, demanda la aplicación de aditivos naturales (Rana et al., 2021).

En este contexto, la fuente más importante de carotenoides es el maíz amarillo, pero esta materia prima no aporta la cantidad suficiente para conseguir la coloración que demanda el consumidor (Moreno et al., 2020). En consecuencia, se recurre al uso de aditivos alimentarios como el azafrán (*Crocus sativus*), la flor de caléndula (*Calendula officinalis*), el pimentón (*Capsicum*

annuum), la alfalfa (*Medicago sativa*) y el achiote (*Bixa orellana*) para mejorar el color de la piel, carne y yema de huevo. No obstante, la viabilidad comercial de estos programas de alimentación se ve limitada por el alto costo de incorporarlos en las dietas (Farkas et al., 2020; Surai y Kochish, 2020; Martínez-Cámara et al., 2021).

Ante este desafío, Ürüşan et al. (2018), Khan (2019), Ng'Ambo et al. (2019), Widya et al. (2019) y Dabai et al. (2021) documentaron el potencial de los subproductos de la zanahoria, como el extracto de hojas, de semillas, así como el jugo, la parte carnosa de la raíz napiforme (pulpa de la raíz) y los desechos, en la alimentación de pollos de engorde. Estos estudios revelaron mejoras significativas en la pigmentación de la piel, ingesta de alimento, ganancia de peso corporal, índice de conversión alimenticia y respuesta inmunitaria de las aves. No obstante, la evidencia científica para el uso de zanahoria en la alimentación de pollos de engorde de la línea Cobb 500 es inexistente, y además, no hay informes asociados a la rentabilidad de su uso.

Por tanto, esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la harina de zanahoria (*Daucus carota* L.) como sustituto parcial de la dieta basal del pollo de engorde Cobb 500 sobre la pigmentación, parámetros productivos y rentabilidad.

Materiales y métodos

Localización

El ensayo se desarrolló en la Granja Experimental Rio Suma, ubicada en los predios de la Facultad de Ingeniería Agropecuaria, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, extensión El Carmen, provincia de Manabí, Ecuador, con coordenadas geográficas -0,262655 S y -79,427579 O, dentro de una zona que se caracteriza por tener un clima de trópico húmedo. Esta zona se encuentra a una altitud de 263 msnm, con una temperatura promedio de 24 °C, una precipitación anual de 2.806 mm, una humedad relativa de 86%, una exposición solar de 1.026 horas luz al año y una evaporación anual de 1.064 mm (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), 2019).

Diseño experimental

Se aplicó un diseño experimental completamente aleatorizado (DCA) con un arreglo factorial A (sexo) x B (niveles de harina de zanahoria) con cuatro repeticiones, cada una compuesta de dos aves. Los tratamientos consistieron en una dieta testigo y tres dietas experimentales en las que se reemplazó el alimento convencional por harina de zanahoria en proporciones de 10, 15 y 20%, como se detalla en la tabla 1.

Tabla 1. Grupos experimentales.

Factor A	Factor B			
	Testigo (b1)	10% HZ (b2)	15% HZ (b3)	20% HZ (b4)
Hembra (a1)	a1+b1	a1+b2	a1+b3	a1+b4
	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
	a2+b1	a2+b2	a2+b3	a2+b4
Macho (a2)	Tratamiento 5	Tratamiento 6	Tratamiento 7	Tratamiento 8

Nota: HZ: harina de zanahoria.

Manejo experimental

Se empleó un total de 64 polluelos de 5 días de edad, con un peso inicial promedio de 45 g, fueron alojados en un círculo de crianza en un galpón durante 14 días. A los 15 días, fueron separados por sexo y distribuidos al azar en las unidades experimentales. Durante las primeras tres semanas, todas las aves recibieron una dieta estándar según los requerimientos nutricionales en cada etapa. Desde entonces y hasta la etapa de finalización, en la semana 5, se proporcionó alimento balanceado de engorde con la adición de harina de zanahoria.

La harina de zanahoria fue adquirida en una empresa procesadora de alimentos (sin marca). Posteriormente, para determinar su composición nutricional, se envió una muestra a un laboratorio local para el análisis bromatológico, mientras que los valores nutricionales del balanceado utilizado en la formulación de las dietas se obtuvieron de la tabla de composición del alimento (tabla 2).

Tabla 2. Composición nutricional de las dietas.

Parámetros	Alimento balanceado	Harina de zanahoria
(%) Humedad	13	9,10
(%) Proteína	18	8,62
(%) Ext. Etéreo	5	1,32
(%) Ceniza	7	5,73
(%) Fibra	4	7,54

Métodos de evaluación

Durante el periodo experimental, las aves fueron pesadas cada semana, mientras que el consumo de alimento se registró diariamente (alimento ofrecido-alimento rechazado). Al finalizar el periodo experimental, para cada tratamiento se determinaron las variables:

Consumo de alimento promedio ($\text{g}\cdot\text{ave}^{-1}$): este valor se estimó dividiendo la suma de los registros de consumo de alimento entre el número de aves.

Ganancia de peso promedio ($\text{g}\cdot\text{ave}^{-1}$): esta variable se calculó sumando las diferencias entre el peso final y el peso inicial de cada ave, y luego dividiendo entre el número total de aves en el tratamiento.

Índice de conversión alimenticia: para obtener el valor de esta variable, se dividió la cantidad total de alimento consumido entre la cantidad total de ganancia de peso experimentado.

Mortalidad (%): se determinó dividiendo la cantidad total de pollos muertos durante el periodo de observación entre el número inicial de pollos con los que se comenzó el tratamiento, y luego multiplicando el resultado por 100.

Pigmentación: la evaluación de la pigmentación de la piel de los pollos se realizó utilizando la escala de Rocher. Este procedimiento implicó la medición y registro de la intensidad de pigmentación en la piel de cada pollo de forma individual, al momento del sacrificio. A cada pollo se le asignó un valor numérico según la intensidad de su pigmentación cutánea. Posteriormente, se calculó el promedio de los valores registrados.

Rentabilidad: se calculó a través de la fórmula de beneficio/costo, considerando únicamente los costos de alimentación y los ingresos derivados de la venta de los pollos en función de su peso. Un valor mayor que 1 indicó que el proyecto fue rentable (Rebollar et al., 2020).

Análisis de los datos

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza y, las medias se compararon mediante la prueba de Duncan. Se consideró un nivel de significancia del 5%. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software estadístico SPSS versión 23.1.

Resultados y discusión

Los resultados del análisis de varianza presentados en la tabla 3, indicaron que los diferentes niveles de harina de zanahoria utilizados como sustituto parcial de la dieta basal de los pollos de engorde no tuvieron un impacto significativo en ninguno de los parámetros evaluados ($P>0,05$). Este hallazgo fue similar a lo reportado por Khan (2019), quien reemplazó una proporción del maíz con harina de pulpa de zanahoria en la dieta de pollos Hubbard y no encontró diferencias significativas en el consumo de alimento, el peso corporal y el índice de conversión.

Consumo de alimento

Aun cuando no se encontraron diferencias estadísticas significativas, los datos de la tabla 3, mostraron que los machos consumieron más alimento que las hembras en todos los tratamientos. Esta tendencia coincidió con lo reportado por Jácome-Gómez et al. (2023) en relación a la mayor ingesta de alimento por parte de los pollos machos de la línea Cobb 500 en comparación con las hembras. Además, se observó que el consumo de alimento aumentó a medida que se incrementaron los porcentajes de harina de zanahoria en la dieta, lo cual concordó con lo descrito por Noviadí y Maradon (2021) y confirmó la influencia de HZ en el comportamiento alimenticio de los pollos, señalada por Ng'Ambi et al. (2019).

Es posible que la respuesta de los pollos en este parámetro estuviera relacionada con el contenido más bajo de proteína en la



porción de harina de zanahoria, que llevó a un incremento en la ingesta de alimento para equilibrar el nivel de proteico requerido para mantener el crecimiento, como mencionaron Jabbar et al. (2021).

Ganancia de peso

En cuanto a la ganancia de peso, se observó que los machos ganaron mayor peso en comparación con las hembras, independientemente del nivel de harina de zanahoria. Esto estuvo en consonancia con la tendencia generalizada sobre que el sexo de los pollos tiene un papel crucial en la productividad, con una tasa de crecimiento más rápida y mayor ganancia de peso en los machos que en las hembras, independientemente de otros factores como la dieta o sistemas de crianza (Benyi et al., 2015; Cygan-Szczegielniak et al., 2019).

Por otro lado, entre los tratamientos, la mayor ganancia de peso se encontró en el grupo de machos con el 20% de HZ (2.809 g), mientras que en el grupo de hembras la ganancia de peso más alta se registró en las aves con el 15% de sustitución (2.649,63 g). Es relevante destacar que, aunque estos valores fueron ligeramente inferiores a los estándares de referencia, los grupos testigos obtuvieron valores más bajos, lo cual sugiere que la harina de zanahoria mejoró el peso de los pollos. La cantidad de fibra presente en la harina de zanahoria podría haber explicado parcialmente estos resultados, puesto que es un componente que ayuda a regular la digestión de las aves y contribuye en el aprovechamiento de los nutrientes, como señalaron Widya et al. (2019).

Conversión alimenticia

Respecto a la conversión alimenticia, los resultados señalaron que en general los machos tuvieron una mayor eficiencia en comparación con las hembras. Esta variabilidad pudo estar relacionada con las diferencias fisiológicas entre machos y hembras en términos de metabolismo, requerimientos nutricionales, e interacciones hormonales que influyen en cómo los pollos utilizan y digieren los nutrientes (Cui et al., 2021).

Teniendo en cuenta que la conversión alimenticia es el indicador que refleja la cantidad de alimento necesaria para producir una unidad de peso corporal, y por lo general, un valor más bajo indica una mayor eficiencia en el proceso de producción (Prakash et al., 2020), los resultados evidenciaron que, para las hembras, el reemplazo de la dieta basal con el 15% de harina de zanahoria fue beneficioso, mientras que para los machos, el 10% de harina de zanahoria resultó más eficiente en comparación con los grupos testigos. Estas mejoras en la eficiencia alimenticia pudieron estar relacionadas con la presencia de carotenoides, precursores de vitamina A, en la harina de zanahoria. De acuerdo con Khan et

al. (2023) estos compuestos en concentraciones óptimas tuvieron efectos positivos sobre la digestibilidad de los nutrientes y la tasa de conversión alimenticia.

Tabla 3. Comparación estadística de los parámetros zootécnicos.

Tratamientos	Sexo	HZ (%)	Consumo de alimento (g)	Ganancia de peso (g)	Conversión alimenticia
1	Hembra	Testigo	3.713,63 ^b	2.366,00 ^a	1,57 ^a
2	Hembra	10	4.126,88 ^{ab}	2.384,63 ^a	1,73 ^a
3	Hembra	15	4.145,75 ^{ab}	2.649,63 ^a	1,56 ^a
4	Hembra	20	4.225,63 ^{ab}	2.352,88 ^a	1,80 ^a
5	Macho	Testigo	3.988,32 ^{ab}	2.543,38 ^a	1,57 ^a
6	Macho	10	4.230,19 ^{ab}	2.725,63 ^a	1,55 ^a
7	Macho	15	4.501,07 ^a	2.758,50 ^a	1,63 ^a
8	Macho	20	4.475,07 ^a	2.809,00 ^a	1,59 ^a

Nota: medias con una letra común no son significativamente diferentes (P>0,05).

Mortalidad

Los resultados de la tabla 4 revelaron que la mortalidad en todos los grupos experimentales fue del 0%, mientras que en los grupos testigos para ambos sexos presentaron una tasa de mortalidad del 12,50%, lo que indicó que la inclusión de harina de zanahoria en las dietas de pollos, en los porcentajes evaluados, tuvo un impacto positivo en la supervivencia de las aves. Este resultado estuvo en línea con lo señalado por Silondae et al. (2023) quienes destacaron el uso de la zanahoria como una fuente de antioxidantes esenciales para mejorar la salud de los pollos, y en consecuencia reducir el porcentaje de pérdidas por muerte.

Tabla 4. Mortalidad de los pollos de engorde.

Tratamientos	Sexo	HZ (%)	Mortalidad
1	Hembra	Testigo	12,50
2	Hembra	10	0,00
3	Hembra	15	0,00
4	Hembra	20	0,00
5	Macho	Testigo	12,50
6	Macho	10	0,00
7	Macho	15	0,00
8	Macho	20	0,00

Nota: HZ: harina de zanahoria.

Pigmentación

La harina de zanahoria como sustituto parcial de la dieta basal de los pollos de engorde tuvo un efecto positivo en la pigmentación

de la piel. Además, se observó un aumento en la intensidad del color a medida que se incrementó el porcentaje de sustitución, tanto en hembras como en machos. No obstante, es importante notar que los machos exhibieron una pigmentación superior en comparación con las hembras, lo cual pudo estar relacionado con la cantidad de alimento consumido. En el caso de los machos, al haber ingerido mayores cantidades de alimento, también incorporando una mayor cantidad de carotenoides (tabla 5).

En general, los resultados indicaron que la harina de zanahoria mejoró la pigmentación de la piel de los pollos, contrario a lo señalado por Azizah et al. (2017) en el cual no se observó un cambio en la coloración de la piel de los pollos de engorde Lohmann cuando incluyeron harina de desechos de zanahoria en la alimentación. Una razón para estas diferencias pudo ser la disminución de la concentración de carotenoides en los desechos debido al proceso de extracción (Otálora-Orrego y Martin, 2021).

Tabla 5. Efecto de la harina de zanahoria en la pigmentación de pollos de engorde según el sexo.

Tratamientos	Sexo	HZ (%)	Pigmentación
1	Hembra	Testigo	0,25
2	Hembra	10	2,25
3	Hembra	15	3,25
4	Hembra	20	5,50
5	Macho	Testigo	0,50
6	Macho	10	2,75
7	Macho	15	4,75
8	Macho	20	6,00

Nota: HZ: harina de zanahoria.

Rentabilidad

Los resultados del análisis económico que se presentan en la tabla 6, mostraron que la sustitución parcial por harina de zanahoria en la dieta de los pollos de engorde tuvo un efecto positivo en la rentabilidad. En particular, en el grupo de las hembras, el tratamiento con un 15% de HZ mostró el ingreso más alto y una relación B/C más favorable, mientras que, en el grupo de machos, el tratamiento con un 20% de HZ generó el ingreso más alto. No obstante, el tratamiento de machos con un 10% de harina de zanahoria reportó un menor costo y la mejor relación B/C. Debido a que los estudios sobre las características de pigmentación de diversas fuentes de carotenoides a menudo ponen menos énfasis en la rentabilidad, resultó difícil comparar los hallazgos de este estudio con investigaciones previas, especialmente en el caso de harina de zanahoria que ha sido menos explorada.

En síntesis, este estudio proporcionó evidencia preliminar de los posibles beneficios de utilizar harina de zanahoria en la producción de pollos de engorde de la línea Cobb 500. Estos beneficios se reflejaron tanto en el rendimiento productivo como en la rentabilidad económica, presentando una excelente oportunidad para eliminar o reducir el uso de pigmentos

artificiales en la producción avícola. Estos hallazgos pueden ser valiosos para la industria avícola y la toma de decisiones en la formulación de dietas. Asimismo, los resultados son de particular importancia para los pequeños productores de pollo del cantón El Carmen, Manabí, ya que les brinda una alternativa para adaptar sus estrategias de producción de manera que satisfagan las preferencias de los consumidores locales.

Tabla 6. Análisis económico del efecto de la harina de zanahoria en la pigmentación de pollos de engorde según el sexo.

Tratamientos	Sexo	HZ (%)	Ingresos	Costos	B/C
1	Hembra	Testigo	40,08	29,95	1,34
2	Hembra	10	54,56	35,60	1,53
3	Hembra	15	60,62	35,72	1,70
4	Hembra	20	53,83	36,25	1,49
5	Macho	Testigo	43,08	31,55	1,37
6	Macho	10	62,36	36,28	1,72
7	Macho	15	63,11	38,08	1,66
8	Macho	20	64,27	37,90	1,70

Nota: HZ: harina de zanahoria.

Este estudio está sujeto a limitaciones. En primer lugar, la falta del análisis del contenido de carotenoides en la harina de zanahoria dificultó la interpretación precisa de los resultados. Se recomienda realizar este análisis en futuras investigaciones. En segundo lugar, la adquisición de harina de zanahoria ya procesada, influyó en los costos de alimentación. En futuras investigaciones, sería recomendable evaluar la viabilidad de llevar a cabo el proceso de producción de harina de zanahoria internamente. Por último, la principal limitación en este estudio fue la técnica de medición del color, ya que al utilizar el abanico DSM, las cuantificaciones pudieron verse afectadas por la subjetividad, la fatiga humana y las variaciones en la iluminación. Estudios futuros pueden abordar esta limitación empleando el método de fotometría de reflectancia.

Conclusión

La sustitución de la dieta basal con harina de zanahoria tuvo efectos positivos en la pigmentación de la piel de los pollos, independientemente del sexo de las aves. Con el 10% se alcanzó un grado de pigmentación leve con un ligero matiz de color amarillo, con el 15% una intensidad del color amarillo pálido, mientras que con el 20% se alcanzó un tono amarillo más intenso y definido. Del mismo modo, mejora la ganancia de peso y en el índice de eficiencia alimenticia, especialmente en los machos cuando se suministra un 15% de harina de zanahoria. Además, demuestra ser rentable con un énfasis en los beneficios para las hembras. Estos hallazgos pueden ser de gran relevancia en la toma de decisiones sobre la alimentación de las aves de corral y podrían tener implicaciones económicas en el contexto de la producción agrícola o ganadera.



Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

- Azizah, N. A., Mahfudz, L. D. and Sunarti, D. (2017). Kadar lemak dan protein karkas ayam broiler akibat penggunaan tepung limbah wortel (*Daucus carota* L.) dalam Ransum. *Journal Sain Peternakan Indonesia*, 12(4), 389-396. <https://doi.org/10.31186/jspi.id.12.4.389-396>
- Benyi, K., Tshilale, T. S., Netshipale, A. J. and Mahlako, K. T. (2015). Effects of genotype and sex on the growth performance and carcass characteristics of broiler chickens. *Tropical Animal Health and Production*, 47, 1225-1231. DOI: 10.1007/s11250-015-0850-3
- Cui, L., Zhang, X., Cheng, R., Ansari, A. R., Elokil, A. A., Hu, Y., Chen, Y., Nafady, A. A. and Liu, H. (2021). Sex differences in growth performance are related to cecal microbiota in chicken. *Microbial Pathogenesis*, 150, 104710. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2020.104710>
- Cygan-Szczegielniak, D., Maiorano, G., Janicki, B., Buzala, M., Stasiak, K., Stanek, M., Roślewska, A., Elminowska-Wenda, G., Bogucka, J., and Tavaniello, S. (2019). Influence of rearing system and sex on carcass traits and meat quality of broiler chickens. *Journal of Applied Animal Research*, 47(1), 333-338. <https://doi.org/10.1080/09712119.2019.1634076>
- Dabai, S. A., Bello, S. and Dabai, J. S. (2021). Growth performance and carcass characteristics of finisher broiler chickens served carrot leaf extract as a supplementary source of vitamins and minerals. *Nigerian Journal of Animal Science*, 23(1), 144-149. <https://www.ajol.info/index.php/tjas/article/view/212020>
- de Araújo, P. D., Araújo, W. M. C., Patarata, L. and Fraqueza, M. J. (2022). Understanding the main factors that influence consumer quality perception and attitude towards meat and processed meat products. *Meat Science*, 193, 108952. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108952>
- Farkas, Á., Bencsik, T. and Deli, J. (2020). Carotenoids as food additives. P. 421-447. In: Jacob-Lopes, E., Queiroz, M. I., and Queiroz Zepka, L. (Eds.). *Pigments from Microalgae Handbook*. First edition. Suiza: Springer.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2019). *INAMHI-Precipitación-2019Diciembre.csv*. <https://www.datosabiertos.gob.ec/dataset/precipitacion-total-mensual/resource/98c77d18-e863-4e00-8a22-eb47f2981d9c>
- Jabbar, A., Tahir, M., Khan, R. U. and Ahmad, N. (2021). Interactive effect of exogenous protease enzyme and dietary crude protein levels on growth and digestibility indices in broiler chickens during the starter phase. *Tropical Animal Health and Production*, 53, 1-5. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02466-5>
- Jácome-Gómez, J. R., Sánchez, E. J. S., Mendoza, M. E. Z., De la Cruz Chicaiza, M. V. y Anchundia, M. Á. M. (2022). Efecto de diferentes materiales de cama sobre el comportamiento productivo de pollos de engorde Cobb 500. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(5), 3868-3881. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3362
- Khan, R. U., Khan, A., Naz, S., Ullah, Q., Puvaca, N., Laudadio, V., Mazzei, D., Seidavi, A., Ayasan, T., and Tufarelli, V. (2023). Pros and cons of dietary vitamin A and its precursors in poultry health and production: A comprehensive review. *Antioxidants*, 12(5), 1131. <https://doi.org/10.3390/antiox12051131>
- Khan, S. (2019). Utilization carrot pulp as corn replacement in the broiler diet. *IOSR-JAVS*, 12, 72-4. DOI: 10.9790/2380-1202027274
- Kleyn, F. J. and Ciacciariello, M. (2021). Future demands of the poultry industry: will we meet our commitments sustainably in developed and developing economies?. *World's Poultry Science Journal*, 77(2), 267-278. <https://doi.org/10.1080/00439339.2021.1904314>
- Marounek, M., & Pebriansyah, A. (2018). Use of carotenoids in feed mixtures for poultry: a review. *Agricultura Tropica et Subtropica*, 51(3), 107-111. <https://doi.org/10.2478/ats-2018-0011>
- Martínez, Y., Orozco, C. E., Montellano, R. M., Valdiviá, M. and Parrado, C. A. (2021). Use of achiote (*Bixa orellana* L.) seed powder as pigment of the egg yolk of laying hens. *Journal of Applied Poultry Research*, 30(2), 100154. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2021.100154>
- Martínez-Cámara, S., Ibañez, A., Rubio, S., Barreiro, C. and Barredo, J. L. (2021). Main carotenoids produced by microorganisms. *Encyclopedia*, 1(4), 1223-1245. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia1040093>
- Mir, N. A., Rafiq, A., Kumar, F., Singh, V. and Shukla, V. (2017). Determinants of broiler chicken meat quality and factors affecting them: a review. *Journal of food science and*

- technology, 54, 2997-3009. DOI: 10.1007/s13197-017-2789-z
- Moreno, J. A., Díaz-Gómez, J., Fuentes-Font, L., Angulo, E., Gosálvez, L. F., Sandmann, G., Portero-Otin, M., Capell, T., Zhu, C., Christou, P. and Nogareda, C. (2020). Poultry diets containing (keto) carotenoid-enriched maize improve egg yolk color and maintain quality. *Animal Feed Science and Technology*, 260, 114334. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2019.114334>
- Ng'ambi, J. W., Mokgope, P. K., Brown, D. and Manyelo, T. G. (2019). Effect of dietary carrot meal supplementation on productivity and carcass characteristics of Arbor acre broiler chickens aged 22 to 42 days. *Applied Ecology & Environmental Research*, 17(5), 12337-12346. <https://lc.cx/gXkiyh>
- Noviadi, R. and Maradon, G. G. (2021). Broiler performance given carrot waste juice meal as a feed supplement. *International Conference on Agriculture and Applied Science*. 146-150. <https://doi.org/10.25181/icoaas.v1i1.2068>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2023). *Producción avícola*. <https://www.fao.org/poultry-production-products/production/es/>
- Ortiz, D., Lawson, T., Jarrett, R., Ring, A., Scoles, K. L., Hoverman, L., Rocheford, E., Karcher, D.M. and Rocheford, T. (2022). Applied Research Note: The impact of orange corn in laying hen diets on yolk pigmentation and xanthophyll carotenoid concentrations on a percent inclusion rate basis. *Journal of Applied Poultry Research*, 31(1), 100218. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2021.100218>
- Otálora-Orrego, D. y Martin, D. A. (2021). Técnicas emergentes de extracción de β -caroteno para la valorización de subproductos agroindustriales de la zanahoria (*Daucus carota* L.): una revisión. *Informador Técnico*, 85(1), 83-106. <https://doi.org/10.23850/22565035.2857>
- Pandiselvam, R., Mitharwal, S., Rani, P., Shanker, M. A., Kumar, A., Aslam, R., Tekgül Barut, Y., Kathakota, A., Rustagi, S., Bhati, D., Anusha Siddiqui, S., Wasin Siddiqui, M., Ramniwas, S., Aliyeva, A. and Khaneghah, A. M. (2023). The influence of non-thermal technologies on color pigments of food materials: An updated review. *Current Research in Food Science*, 100529. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100529>
- Prakash, A., Saxena, V. K. and Singh, M. K. (2020). Genetic analysis of residual feed intake, feed conversion ratio and related growth parameters in broiler chicken: A review. *World's Poultry Science Journal*, 76(2), 304-317. <https://doi.org/10.1080/00439339.2020.1735978>
- Rana, B., Bhattacharyya, M., Patni, B., Arya, M. and Joshi, G. K. (2021). The realm of microbial pigments in the food color market. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 603892. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.603892>
- Rebollar, S., Posadas, R. R., Rebollar, E., Hernández, J. and González, F. D. J. (2020). Aportes a indicadores de evaluación privada de proyectos de inversión. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 46(444-461). <http://dx.doi.org/10.22004/ag.econ.303885>
- Silondae, H., Polakitan, D., Paat, P. C., Kairupan, A. N., Layuk, P., Lintang, M., Joseph, G. H., Polakitan, A., Tandi, O. G., Markus Rawung, J. B., Rembang, J. H. W., Salamba, H. N., Malia, I. E., Sondakh, J. O. M., Hutapea, R. T. P., Kindangen, J. G. and Elizabeth, R. (2023). The effects of carrot (*Daucus carota* L.) waste juice on the performances of native chicken in North Sulawesi, Indonesia. *Open Agriculture*, 8(1), 20220173. <https://doi.org/10.1515/opag-2022-0173>
- Surai, P. F., and Kochish, I. I. (2020). Carotenoids in Aviculture. p. 515-540. In: Jacob-Lopes, E., Queiroz, M. I., and Queiroz Zepka, L. (Eds.). *Pigments from Microalgae Handbook*. First edition. Suiza: Springer.
- Toalombo, P. A., Camacho, C. A., Buenaño, R., Jiménez, S., Navas-González, F. J., Landi, V. y Delgado, J. V. (2019). Efecto socioeconómico sobre las características fanerópticas de gallinas autóctonas de Ecuador. *Archivos de Zootecnia*, 68(263), 416-421. <https://doi.org/10.21071/az.v68i263.4202>
- Ürüşan, H., Erhan, M. K. and Bölükbaşı, S. C. (2018). Effect of cold-press carrot seed oil on the performance, carcass characteristics, and shelf life of broiler chickens. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences*, 28(6), 1662-1668. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20193004826>
- Vargas González, O. N. (2015). *Avicultura*. Machala, Ecuador: Ediciones UTMACH. 134 p.
- Widya Paramita, L., Novryantoro, V., Wibowo, M. L. and Ananda, A. T. (2019). An utilization of carrot tuber juice (*Daucus carota* L.) to increase average daily gain in broiler chickens: Reinventing food security through chicken livestock. 223 *Proceeding Book 7th Asian Academic Society International Conference 2019*. <https://core.ac.uk/download/pdf/288223943.pdf>
- Wu, J., Lin, Z., Chen, G., Luo, Q., Nie, Q., Zhang, X. and Luo, W. (2021). Characterization of chicken skin yellowness and exploration of genes involved in skin yellowness deposition in chicken. *Frontiers in Physiology*, 12, 585089. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.585089>



Contribución de los autores

Autores	Contribución
Janeth Rocío Jácome-Gómez	Diseño de la investigación, administración del proyecto, toma de datos, revisión, redacción revisión del manuscrito.
Ximena Patricia Valencia-Enríquez	Método, revisión de la bibliografía, y redacción del manuscrito.
Edison Javier Salcán-Sánchez	Análisis e interpretación de datos y revisión del manuscrito.
María Cristina Martínez-Sotelo	Diseño de la investigación y redacción manuscrito.
Diana Leticia de La Cruz Chicaiza	Análisis económico y redacción del manuscrito.



Evaluación de atributos e índices de calidad en plantas de vivero para la reforestación exitosa en Pinar del Río, Cuba: Revisión sistemática

Evaluation of attributes and quality indices in nursery plants for successful reforestation in Pinar del Río, Cuba: Systematic review

Autores

✉ ¹*Samantha García-Decoro

✉ ²Sting Brayan Luna-Fox

✉ ³Sonia Vega-Rosete

✉ ¹Gretel Geada-López

✉ ²Yudel García-Quintana

¹Universidad de Pinar del Río, Cuba.

²Universidad Estatal Amazónica, Ecuador.

³Universidad de Alicante, España.

*Autor de correspondencia.

Citación sugerida: García-Decoro, S., Luna-Fox, S. B., Vega-Rosete, S., Geada-López, G., García-Quintana, Y. (2024). Evaluación de atributos e índices de calidad en plantas de vivero para la reforestación exitosa en Pinar del Río, Cuba: Revisión sistemática. *La Técnica*, 14(1), 37-44. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v14i1.6377>

Recibido: Enero 18, 2024

Aceptado: Febrero 21, 2024

Publicado: Febrero 26, 2024

Resumen

El proceso de repoblación forestal resulta una de las tareas más complejas para los silvicultores ya que existen varios factores que limitan el éxito, uno de ellos tiene que ver con la calidad del material a plantar. De allí, que cada día es más importante orientar estudios que faciliten entender la adaptación de plantas al sitio definitivo y el establecimiento de plantaciones altamente productoras, considerando como base la producción de plantas de calidad en viveros. El objetivo de este trabajo fue evaluar los atributos e índices de calidad de las plantas más adecuados en los viveros forestales, mediante revisión sistemática, como contribución a los programas de reforestación en la provincia de Pinar del Río, Cuba. La metodología buscó datos relevantes a partir de la revisión de fuentes confiables relacionadas con el tema de calidad de planta en vivero. Los resultados reportaron la necesidad de diagnosticar la calidad de las plantas en vivero, mediante la combinación de parámetros morfológicos y fisiológicos que permitieron entender mejor el funcionamiento de la planta y garantizar su respuesta al sitio de plantación. Se encontró que más del 90% de los estudios expresaron una relación positiva entre el diámetro de las plantas en vivero y el crecimiento después de la plantación, resultando de alta prioridad estos parámetros para la toma de decisiones en cuanto a la calidad de las plantas forestales, lo que facilita un mayor crecimiento, supervivencia y desarrollo en las condiciones de plantación.

Palabras clave: revisión documental; reforestación; atributos morfológicos; atributos fisiológicos; plantas de calidad en vivero.

Abstract

The reforestation process is one of the most complex tasks for foresters since there are several factors that limit success, one of them has to do with the quality of the material to be planted. Hence, every day it is more important to guide studies that facilitate understanding the adaptation of plants to the site and the establishment of highly productive plantations, based on the production of quality plants in nurseries. The objective of this work was to evaluate the attributes and quality indices of the most appropriate plants in forest nurseries, through a systematic review, as a contribution to reforestation programs in the province of Pinar del Río, Cuba. The methodology sought relevant data from the review of reliable sources related to the issue of plants quality in the nursery. The results reported the need to diagnose the quality of the plants in the nursery through the combination of morphological and physiological parameters that allow us to better understand the functioning of the plants and guarantee its response to the planting site. It was found that more than 90% of the studies expressed a positive relationship between the diameter of the plant in the nursery and the growth after planting, making these parameters a high priority for decision making regarding the quality of the forest plants, which would facilitate greater growth, survival and development in plantation conditions.

Keywords: documentary review; reforestation; morphological attributes; physiological attributes, quality plants in the nursery.



Introducción

El cultivo de plantas de interés forestal en los viveros constituye una prioridad en los programas de reforestación en la provincia de Pinar del Río, reconocida por su alto compromiso para alcanzar el desarrollo forestal sostenible, donde cada día son mayores los esfuerzos en este sentido, para cumplir con las metas y compromisos del país.

La reforestación requiere plantas de calidad para incrementar la supervivencia y el desarrollo en campo (Wightman y Cruz, 2003; Paz et al., 2023). Una prueba para verificar la calidad de las plantas producidas en vivero, es su respuesta en campo, la cual depende básicamente, de los atributos genéticos y de los adquiridos a través del manejo en el vivero (Duryea, 1985; Alcalá et al., 2002; Sequía et al., 2002; Serrada, 2005).

La producción de plantas en vivero es el proceso en el cual se le proporciona a las semillas los cuidados y tratamientos necesarios para su exitosa germinación y para que la planta crezca adecuadamente, con la finalidad de que se logren altas tasas de sobrevivencia y se favorezca su desarrollo al plantarla en campo (Muñoz et al., 2015). Las prácticas de manejo en vivero se reflejan en la calidad de las plantas producidas, las cuales deben tener una serie de atributos morfológicos y fisiológicos, que le den la capacidad de adaptarse y desarrollarse en las condiciones climáticas y edáficas del sitio de plantación (Oliet, 2001; Salvador, 2016; Leones et al., 2018; Senilliani et al., 2021).

La calidad de las plantas se reconoce como la capacidad que tienen los individuos para adaptarse y desarrollarse en las condiciones climáticas y edáficas del sitio donde se establecen (Rodríguez, 2008; Bernaola et al., 2016; Escobar y Rodríguez, 2019), la cual obedece a las características genéticas del germoplasma y a las técnicas utilizadas para su reproducción (Prieto et al., 2009). Sin embargo, al realizar una evaluación sobre la calidad de las plantas que se producen, son pocos los productores que conocen la importancia de este concepto.

El origen genético, el estado sanitario y las características morfológicas y fisiológicas establecidas durante el proceso de cultivo en vivero, conforman la calidad de una planta, que junto con la preparación del suelo y los cuidados posteriores a la plantación, son los elementos más importantes en el desarrollo de los proyectos de restauración vegetal (Montenegro, 2007; Salvador, 2016). En este contexto, son muchos los proyectos de plantaciones que fracasan porque no consideran aspectos de calidad de las plantas en el vivero ni las condiciones del sitio forestal.

Los programas de reforestación en la provincia de Pinar del Río no se encuentran exentos a esta realidad y en los viveros se

producen plantas de mala calidad, lo que atenta con los resultados de la reforestación. De allí que el objetivo de esta investigación fue evaluar los atributos e índices de calidad de las plantas más adecuados en los viveros forestales, mediante revisión sistemática, como contribución a los programas de reforestación en la provincia de Pinar del Río, Cuba.

Materiales y métodos

El estudio comprendió una investigación de carácter teórico mediante revisión sistemática (Arencibia et al., 2008), lo cual se ajustó a la selección y recopilación de información por medio de la lectura crítica de documentos y materiales bibliográficos existentes en bases de datos (Ruano et al., 2003), con el fin de tener antecedentes para profundizar en las teorías y aportaciones ya emitidas sobre el tema de atributos de calidad de las plantas forestales cultivadas en vivero.

La revisión bibliográfica sobre los atributos de calidad de las plantas, incluyó la búsqueda de artículos científicos publicados de relevancia en la temática. El presente estudio sintetizó información recopilada de 50 fuentes relevantes entre artículos indexados y libros; 10 de ellos fueron rechazados al no poseer información encaminada a la calidad de las plantas en el contexto de la investigación.

Se procedió con la búsqueda de información científica especializada en el tema de calidad de las plantas, a través del cual se realizó la lectura crítica de los artículos científicos publicados y almacenados en revistas científicas en base de datos como Scopus, Dialnet, SciELO, Science Direct, PubMed y Springer Link. El motor de búsqueda bibliográfica que se empleó fue el Google académico (Codina, 2007), el cual ordenó la información según las visitas recibidas de las páginas, y presentó suscripciones a muchas revistas a las que tiene acceso directo. La estrategia de búsqueda de la información científica consistió en identificar palabras clave, tales como: viveros forestales, calidad de las plantas forestales y atributos morfo-fisiológicos. Además, se emplearon los operadores booleanos, que son conectores de palabras o signos que se hallan estandarizados para la búsqueda en internet, entre ellos se utilizó: AND (que busca dos palabras con significado distinto), OR (que busca palabras con significado semejante), y AND NOT (que busca una palabra, pero sin alguna palabra relacionada). Para la búsqueda de palabras específicas se colocó la palabra entre comillas ("..."), y en el caso que se pretendió dar importancia a una palabra en un grupo de palabras se utilizó los signos más y menos según la búsqueda (..+, ...-) (Oller, 2003).

Desarrollo

La revisión bibliográfica aportó información sobre los atributos de calidad de las plantas que se utilizaron en los viveros

forestales para diagnosticar la calidad forestal, determinada por un conjunto de atributos morfológicos (tabla 1) tales como: diámetro, altura de la plántula, biomasa (fresca y seca aérea y radical), así como el sistema radical. A continuación, se presenta un resumen del análisis sintético realizado por varios autores que abordaron el tema sobre calidad de las plantas que comúnmente se emplearon en los viveros forestales para el diagnóstico de calidad morfológica (Davis y Jacobs, 2005; Grossnickle y South, 2017; Davis y González, 2021).

El análisis de la revisión sistemática indicó que los atributos morfológicos estuvieron correlacionados con el crecimiento

de las plántulas después de establecerlas en los sitios de plantación, porque conservaron la mayoría de las características de las plántulas durante periodos prolongados. En particular, los atributos morfológicos limitaron la susceptibilidad al estrés en la plantación y mejoraron el crecimiento, además fueron importantes para predecir el desarrollo y crecimiento luego del establecimiento de plántulas; es por esto, que los estudios que evaluaron los atributos morfológicos típicamente reportaron una respuesta positiva entre los atributos medidos y el crecimiento posterior de las plántulas.

Tabla 1. Atributos morfológicos para la calidad de las plantas forestales.

Atributo	Criterios de medición	Interpretación
Altura	Este atributo fue el más sencillo de medir. En la mayoría de los estudios se utilizó una regla graduada o cinta métrica y se realizó la medición desde la base del tallo hasta el ápice de la yema terminal de la plántula.	La altura de la planta en vivero fue una señal del nivel de desarrollo de la parte aérea, lo cual ayudó a pronosticar sus medidas de altura en campo ya que las plántulas con mayor altura mantuvieron su ventaja de altura con el tiempo; sin embargo, por sí sola no aseguró la supervivencia.
Diámetro del cuello de la raíz (DCR)	Este atributo fue uno de los más utilizados en la caracterización de la calidad de las plantas, debido al bajo costo que tuvo su medición, además de la capacidad predictiva de respuesta en campo. Se determinó con la ayuda de un calibrador Vernier mecánico y se midió en la base del tallo a todas las plantas. También se utilizó un calibrador digital STANLEY, expresado en mm.	Este atributo describe la robustez de las plántulas. Se consideró el indicador más confiable de la supervivencia y desarrollo de las plantas en campo, ya que al estar relacionado con el tamaño de las raíces y la sección transversal del transporte de agua, absorción de nutrientes, la resistencia mecánica, el grado de lignificación del tallo y la capacidad relativa para tolerar altas temperaturas en la superficie del suelo.
Biomasa fresca aérea y radical	Para determinar la biomasa fresca aérea y radical se tomaron muestras de plántulas, se separó la biomasa de la muestra en componentes aéreo y radical (tallo, hojas y raíz) y luego se utilizó una balanza analítica para pesar las muestras y obtener valores más exactos.	La biomasa de las plantas fue un indicador de su volumen y el área foliar. El mismo estuvo fuertemente relacionado con aspectos fisiológicos ya fuera el transporte y la actividad fotosintética; por lo que, este fue un indicador de cuan productivas pueden ser las especies en las condiciones futuras de plantación.
Biomasa seca aérea y seca radical	La biomasa seca se obtuvo de las medidas de obtenidas de los valores aéreos y radicales, expuestos a la estufa a una temperatura constante igual o superior a 60 °C durante 48 horas, posteriormente cada fracción de las plántulas fueron pesadas en una balanza analítica para obtener la biomasa seca aérea y radical.	Este atributo fue un indicador del equilibrio estructural de las diferentes partes de la planta, además indicó la proporción y existencia de un sistema radical para proveer energía a la parte aérea de la planta.
Sistema radical	Para el sistema radical se utilizaron muestras de raíces de plántulas con las cuales con una regla graduada se midió la longitud y se tomaron las dimensiones desde el cuello de la raíz de la plántula hasta el extremo distal de la misma. El potencial de crecimiento se obtuvo al contar las raíces secundarias nuevas mayores a 1 cm. Se utilizó una probeta de 100 mL con un volumen de agua común a 60 mL, se sumergieron las muestras en el interior y se determinó el volumen de la raíz.	Las plántulas con un mayor tamaño de sistemas de raíces con altos estándares morfológicos y fisiológicos ofrecieron la capacidad de superar el estrés de la plantación y así lograr establecerse en las condiciones de plantación, además de tener mayor capacidad para desarrollar raíces rápidamente después de la siembra.

En la tabla 2 se muestra un resumen del conjunto de atributos fisiológicos empleados para la calidad de las plantas forestales estudiados por varios autores (Birchler et al., 1998; Rueda et al., 2013; Sáenz et al., 2014; Ureta et al., 2018; Escobar y Rodríguez, 2019). Dentro de estos se encontraron: resistencia a la sequía,

estado nutricional, potencial de crecimiento de raíces y potencial hídrico de las plantas. El análisis crítico de la revisión sistemática permitió recomendar que para decidir la calidad de una planta forestal fue necesario la combinación del conjunto de atributos morfológicos y fisiológicos.

Tabla 2. Atributos fisiológicos para la calidad de las plantas forestales.

Atributo	Criterios de medición	Interpretación
Resistencia a la sequía	Durante el crecimiento y desarrollo de las plantas estas se deben someter a diferentes niveles de humedad, es decir riego y estrés por sequía, luego tomar muestras de suelo, con una frecuencia semanal, para cuantificar el contenido de humedad gravimétrica, y posteriormente determinar el contenido de humedad volumétrico usando determinaciones de densidad aparente.	Se consideró que el potencial hídrico de las plántulas reflejó mejor el estado hídrico instantáneo de las plántulas porque integró la respuesta de las plántulas con relación a su estado de resistencia a la sequía con relación al entorno circundante.
Estado nutricional	La determinación analítica para el estado nutricional de las plantas se realizó para el nitrógeno, mediante el método estándar micro-Kjeldahl. En el caso del fósforo se empleó el método colorimétrico de azul de molibdeno y para el potasio el método de fotometría de llama.	Este atributo contribuyó a mejorar los parámetros morfológicos de las plantas ya que estuvo relacionado con el aumento de las concentraciones nutricionales internas, estimulación en el desarrollo del sistema radical, producción de nuevas raíces, número de hojas y longitud de los pelos radicales, lo cual dio como resultado un crecimiento positivo debido a las reservas de nutrientes.
Potencial de crecimiento de las raíces (RGP)	Para estimar el potencial de crecimiento de las raíces se tomó una muestra de plántulas y luego se establecieron en contenedores, los cuales se llenaron con un sustrato que tuvo propiedades similares al sustrato que se utilizó para producir la planta en vivero y adicionaron fertilizantes. Se midió el diámetro y la altura inicial de las plantas y después de un tiempo se sacaron las muestras de los envases y se midió la altura y diámetro final y por último se sacaron con cuidado las raíces y se secaron en una estufa para determinar la biomasa seca.	El potencial de crecimiento de las raíces estuvo asociado con mejorar el establecimiento y crecimiento de las plantas después del establecimiento en campo, es decir, que todos los sistemas fisiológicos funcionaron correctamente.
Potencial hídrico foliar	Se estimó utilizando la bomba de presión de Scholander. Se tomó una muestra de hojas al alba y mediodía y se colocaron en la cámara hasta obtener las medidas de presión expresado en MPa.	Permitió diagnosticar el estado hídrico de las plantas. De esto dependió que tuvieran una respuesta favorable en campo, en cuanto a condiciones de estrés, por falta de agua.

En la tabla 3 se presentan los índices empleados para determinar la calidad de las plantas forestales. En la literatura revisada los autores reportaron como índices más empleados: relación brote/raíz, índice de calidad de Dickson, índice de esbeltez, índice de lignificación, relación parte aérea parte radical, fluorescencia de clorofila, conductancia estomática (Sánchez y Carrión, 1997; Birchler et al., 1998; Pérez et al., 2010; Sáenz et al., 2014; Ureta et al., 2018). La mayoría de los índices resultaron de la combinación de atributos morfológicos y fisiológicos y permitieron tener un criterio técnico-silvícola sobre el crecimiento potencial, grado

de desarrollo de las plantas, supervivencia en campo, resistencia mecánica, así como medidas del intercambio gaseoso de las plantas que facilitaron la toma de decisiones para el éxito en el establecimiento de las plantaciones forestales. En la tabla 4 se muestra un análisis comparativo de los resultados de autores que abordaron el tema sobre el potencial de un atributo para afectar el rendimiento de las plántulas y determinar la calidad de una planta, reportando una variación de criterios positivos, negativos y no aceptables.

Tabla 3. Índices morfológicos y fisiológicos para determinar la calidad de las plantas.

Índice	Procedimiento	Interpretación
Relación brote/raíz (S:R)	Resultó de la división de la biomasa seca del brote entre la biomasa seca de la raíz.	Ayudó a pronosticar el crecimiento de las plántulas en sitios secos o normales.
Índice de calidad de Dickson	Se estimó a partir de la combinación de la biomasa seca total de la planta como criterio de biomasa dividido sobre la esbeltez, sumando a este la relación biomasa seca aérea:biomasa seca radical.	Expresó la potencialidad de la planta con relación a la sobrevivencia y el crecimiento. Este sirvió para comparar la calidad de las plantas de diferentes tamaños.
Índice de esbeltez	Se obtuvo a partir de la relación altura y diámetro del cuello de la raíz.	Expresó el grado de resistencia mecánica de las plantas a eventos de fuertes lluvias, sequías, pastoreo, entre otros.
Índice de lignificación	Relacionó la biomasa seca total y la biomasa húmeda total de la planta.	Este índice expresó el porcentaje de lignificación.
Relación parte aérea y parte radical	Se determinó mediante la relación de la biomasa aérea dividida entre la radical.	Este índice fue un indicador de la supervivencia de las plantas.
Fluorescencia de la clorofila	Los parámetros de fluorescencia de la clorofila (ChlF) se midió a temperatura ambiente, en oscuridad controlada durante 30 min con un fluorómetro.	Se utilizó como indicador de conversión de energía fotosintética en las plantas, además proporcionó información sobre el estado del fotosistema e identificó como la clorofila utilizó la energía absorbida y en qué medida estuvo siendo dañada por el exceso de luz.
Conductancia estomática	Para medir este índice se utilizó el porómetro, el cual midió la conductancia estomática mediante el flujo de vapor desde la hoja a través de los estomas de la planta.	Permitió distinguir el grado de apertura estomática que hubo en las hojas de las plantas y tuvo la capacidad de regular la pérdida de vapor de agua y el ingreso de CO ₂ , por ende, redujo o reguló la transpiración para maximizar la fotosíntesis.
Tasa de fotosíntesis	Se utilizó un analizador de gases en infrarrojo IRGA	Sirvió para determinar la asimilación de CO ₂ de la planta. Estuvo directamente relacionado con la radiación fotosintéticamente activa (composición de la luz) y el intercambio de los gases.

Tabla 4. Análisis comparativo de resultados sobre los atributos de calidad de las plantas.

Autor(es)	Atributos morfológicos				Atributos fisiológicos		
	Altura	Diámetro del cuello de la raíz	Sistema radical	Relación brote/raíz	Resistencia a la sequía	Potencial de crecimiento de las raíces	Estado nutricional
Muñoz et al., (2011)	+	+	+	+	+	+	+
Johnson and Cline (1991)	↔	+	+	-	+	+	X
Grossnickle and Folk (1993)	+	+	+	+	+	+	+
Mattsson (1997)	X	+	+	+	X	+	X
Grossnickle (2000)	+	+	+	+	+	+	+
Wilson and Jacobs (2006)	↔	+	+	+	+	X	X
Prieto et al., (2018)	↔	+	↔	↔	+	+	+

Legenda: Los símbolos resumen la opinión y resultado de los autores descritos sobre el potencial de un atributo para afectar el rendimiento de las plántulas y determinar la calidad (+ fue positivo; - fue negativo; ↔ atributo aceptable; X el autor no concluyó positiva o negativamente sobre este atributo).

De acuerdo con los estudios revisados sobre los atributos morfológicos y fisiológicos de calidad de la planta el 70% informó que hubo una relación positiva de la altura como indicador de crecimiento y desarrollo futuro de las plántulas en campo, un 20% determinó que no hubo relación de la altura como atributo y solo el 10% demostró una relación negativa, es decir, que la altura no se consideró un atributo para determinar la calidad de la planta ya que las plantas con mayor altura en ambientes adversos estuvieron sometidas a mayor estrés hídrico.

También se pudo evidenciar que en el 91% de los estudios revisados dieron como resultado una relación positiva entre el diámetro inicial y el crecimiento después de la plantación, esto se debió a que el diámetro del cuello de la raíz (DCR) fue un atributo de alta importancia porque estuvo relacionado con la reserva de nutrientes y asimilación de estos. Por otro lado, el 9% de los estudios no informó ninguna relación del diámetro con la calidad de las plantas.

Las plántulas que presentaron sistemas de raíces con altos estándares morfológicos y fisiológicos presentaron una relación positiva con la calidad de la planta, así lo demostró el 78% de los estudios revisados con mayor capacidad para desarrollar raíces rápidamente después de la siembra; sin embargo, el 22% de los estudios no mostró relación; por lo que, se señaló que aun cuando fue un buen atributo, no siempre logró pronosticar el crecimiento de las plántulas en campo.

El análisis realizado indicó que el potencial de crecimiento de las raíces (RGP) logró pronosticar la supervivencia de plántulas de 70 a 80% del tiempo, lo cual estableció un equilibrio morfológico positivo para la absorción de agua y nutrientes, lo que redujo el estrés de plantación y aseguró un buen desarrollo en campo después de la plantación.

Del conjunto de atributos de calidad de las plantas que establecieron relaciones proporcionales se recomendó identificar como confiables al diámetro en el cuello de la raíz, que facilitó una mayor supervivencia, lignificación y desarrollo de las plantas en las condiciones ecológicas extremas del sitio; además, se podría considerar al índice de Dickson como predictor de la potencialidad de desarrollo de una planta, siendo necesario contar con plantas de alto potencial que logren adaptarse a las condiciones edafoclimáticas del sitio de plantación.

Conclusiones

La revisión sistemática evidencia que la mayoría de las investigaciones utilizan parámetros morfológicos como indicador de calidad de las plantas; sin embargo, la combinación

de parámetros morfológicos y fisiológicos permite entender mejor el funcionamiento de la planta tanto en vivero como en el sitio de plantación.

El análisis realizado reporta que más del 90% de los estudios expresan una relación positiva entre el diámetro en el cuello de la raíz y el crecimiento de las plantas después de la plantación. De esto se puede inferir que este atributo morfológico puede ser empleado como prioritario para decidir la calidad de la planta, el cual está relacionado con la potencialidad de crecimiento y desarrollo, la reserva de nutrientes y asimilación de estos, aportando información valiosa para evaluar la calidad de la planta en vivero.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

- Alcalá, V. M. C., Hernández, V. A. G., Delgado, M. L. O., Hernández, J. V. y Villegas Monter, Á. (2002). Supervivencia y crecimiento en campo de *Pinus greggii* Engelm. previamente sometido a podas o sequía en vivero. *Agrociencia*, 36(2), 233-241. <https://www.redalyc.org/pdf/302/30236210.pdf>
- Arencibia Jorge, R. y de Moya Anegón, F. (2008). La evaluación de la investigación científica: una aproximación teórica desde la cienciométrica. *Acimed*, 17(4), 0-0. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1024-94352008000400004&script=sci_arttext
- Bernaola Paucar, R. M., Zamora Natera, J. F., Vargas Radillo, J. D. J., Cetina Alcalá, V. M., Rodríguez Macías, R. y Salcedo Pérez, E. (2016). Calidad de planta en etapa de vivero de dos especies de pino en sistema doble-trasplante. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(33), 74-93. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11322016000100074&script=sci_arttext
- Codina, L. (2007). Motores de búsqueda de información científica y académica. *Hipertext.net*, (5). <http://eprints.rclis.org/9966/>
- Davis, A. S. and Jacobs, D. F. (2005). Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. *New Forests*, 30(2-3), 295-311. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11056-005-7480-y>
- Davis, A. S., Pinto, J. R. and Gonzalez-Benecke, C. (2021). The scientific basis of the target plant concept: An overview.

- Forests*, 12(9), 1293. <https://www.mdpi.com/1999-4907/12/9/1293>.
- Duryea, M. L. and Landis, T. D. (Eds.). (2012). Forest nursery manual: production of bareroot seedlings (Vol. 11). <https://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/tools/tool-detail/en/c/1400838/>
- Escobar-Alonso, S. y Rodríguez Trejo, D. A. (2019). Estado del arte en la investigación sobre calidad de planta del género *Pinus* en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(55), 4-38. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11322019000500004&script=sci_arttext
- Grossnickle, S. C. (2000). *Ecophysiology of northern spruce species: the performance of planted seedlings*. NRC Research Press. <https://scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1740832>
- Grossnickle, S. C. and Folk, R. S. (1993). Stock quality assessment: Forecasting survival or performance on a reforestation site. *Tree Planters' Notes*, 44(3), 113-121. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1006514805052>
- Grossnickle, S. C. and South, D. B. (2017). Seedling quality of southern pines: Influence of plant attributes. *Tree Planters' Notes*, 60(2), 29-40. <https://www.mdpi.com/1999-4907/9/5/283>
- Johnson, J. D. and Cline, M. L. (1991). Seedling quality of southern pines. In: *Forest regeneration manual* (pp. 143-159). Springer, Dordrecht. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-011-3800-0_8
- Leones, D. A. U., Quintana, Y. G., Crespo, Y. A., Moreno, A. M., Pérez, Y. L. y Jalca, I. (2018). Método de clasificación a partir del diagnóstico de calidad morfológica en vivero para la selección de especies forestales promisorias en programas de restauración. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 7(3), 142-150. <https://revistas.uea.edu.ec/index.php/racyt/article/view/99>
- Mattsson, A. (1997). Predicting field performance using seedling quality assessment. *New Forests*, 13(1), 227-252. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1006590409595>
- Montenegro, H. (2007). Normatividad colombiana para la producción, importación y comercialización de semilla y clones de palma de aceite. *Palmas*, 28(especial), 292-303. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1266>
- Muñoz Flores, H. J., García Magaña, J. J., Coria Ávalos, V. M., Orozco Gutiérrez, G. y Muñoz Vega, Y. Y. (2011). Características morfológicas de plántulas de dos especies forestales tropicales propagadas en contenedores biodegradables y charolas styroblock. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(8), 21-34. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11322011000600003&script=sci_arttext
- Muñoz Flores, H. J., Sáenz Reyes, J. T., Coria Avalos, V. M., García Magaña, J. D. J., Hernández Ramos, J. y Manzanilla Quijada, G. E. (2015). Calidad de planta en el vivero forestal La Dieta, Municipio Zitácuaro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(27), 72-89. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11322015000100007&script=sci_abstract&tlng=pt
- Oliet, P. J. (2001). Aplicaciones de la medida del hídrico en el viverismo. Universidad de Córdoba, Dpto. Ingeniería Forestal. España. 17 p. <https://scholar.google.es/citations?user=FT03ZggAAA&hl=es&oi=sra>
- Oller Gómez, J. (2003). Elementos teórico-prácticos útiles para comprender el uso de los motores de búsqueda en Internet. *Acimed*, 11(6), 0-0. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1024-94352003000600007&script=sci_arttext&tlng=pt
- Paz Paz, M., Rodríguez Trejo, D. A., Villanueva Morales, A., De la Rosa, B. y Máxima, M. A. (2023). Fertilización, calidad de planta y supervivencia en campo de *Pinus spp.* en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 14(76), 71-92. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11322023000200071&script=sci_arttext
- Pérez, N., Fuego, M., Castillo, I., Orea, U., Pérez, J., Veliz, J. y Cordero, E. (2010). Valoración de atributos fisiológicos en plántulas de *Eucalyptus saligna* Smith desarrolladas en sustratos elaborados con compost de corteza de *Eucalyptus* sp. *Revista Forestal Baracoa*. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122590/records/647251a453aa8c896306168b>
- Prieto, R., J., Sigala, R., J., Pinedo, L., S., García, R., J. L., Madrid, A., R. E., García, P., J. L. y Mejía, B., J. M. (2009). *Calidad de planta en los viveros forestales del Estado de Durango*. INIFAP. CIRNOC. Campo Experimental Valle del Guadiana. Folleto Num. 30. Durango, México. 81 pp. <https://scholar.google.es/citations?user=kvREC8MAAAAJ&hl=es&oi=sra>
- Prieto Ruíz, J. Á., Duarte Santos, A., Goche Télles, J. R., González Orozco, M. M. y Pulgarín Gámiz, M. Á. (2018). Supervivencia y crecimiento de dos especies forestales, con base en la morfología inicial al plantarse. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(47), 151-168. <https://scholar.google.es/citations?user=kvREC8MAAAAJ&hl=es&oi=sra>
- Rodríguez, I., Adam, G. y Duran, J. (2008). Ensayos de germinación y análisis de viabilidad y vigor en semillas Odometric View project. *Agricultura: Revista Agropecuaria*, 78(912), 836-842. <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/37372/1/articulo%20definitivo%20agricultura>



- Ruano, O. M., Bolsa, E. A. y de Cardona, A. P. S. (2003). Lectura crítica de la literatura científica. *Enfermería Clínica*, 13(1), 32-40. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1130862103737796>
- Rueda-Sánchez, A., Benavides-Solorio, J. de D., Saenz-Reyez, J. T., Muñoz Flores, H. J., Prieto-Ruiz, J. Á. y Orozco Gutiérrez, G. (2013). Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(22), 58-73. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11322014000200005&script=sci_abstract&tlng=pt
- Sáenz Reyes, J., Muñoz Flores, H. J., Pérez, C. M. Á., Rueda Sánchez, A. y Hernández Ramos, J. (2014). Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero "Morelia", estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(26), 98-111. <https://www.redalyc.org/pdf/634/63439016008.pdf>
- Sánchez, L. G. y Carrión, J. A. P. (1997). Aspectos funcionales del arraigo. La calidad fisiológica de la planta forestal. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 4, 27-33. <file:///C:/Users/UEA/Downloads/Dialnet-AspectosFuncionalesDelArraigoLaCalidadFisiologicaD-8161677.pdf>
- Sequía, P. S. A. P. O. y Vivero, E. (2002). Supervivencia y crecimiento en campo de *Pinus greggii* Engelm. *Agrociencia*, 36(2), 234. <https://www.redalyc.org/pdf/302/30236210.pdf> [pinus-greggii-engelm-previously-submitted-to-pruning-or-drought-stress-in-nursery.pdf](https://www.redalyc.org/pdf/302/30236210.pdf)
- Serrada Hierro, R., Navarro Cerrillo, R. M. y Pemán García, J. (2005). La calidad de las repoblaciones forestales: una aproximación desde la silvicultura y la ecofisiología. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 14(3), 462-481. <https://repositori.udl.cat/handle/10459.1/44686>
- Senilliani, M. G., Acosta, M., Oliet, J. y Brassiolo, M. (2021). Atributos morfológicos y fisiológicos de *Prosopis alba* Griseb en vivero con diferentes sustratos y contenedores. *Quebracho*, 29(2), 92-101. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1851-30262021000200092&script=sci_abstract
- Ureta, D., García, Y., Arteaga, Y., Morales, A., Lazo, Y. y Jalca, I. (2018). Método de clasificación a partir del diagnóstico de calidad morfológica en vivero para la selección de especies forestales promisorias en programas de restauración. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 7(3), 142-150. <https://revistas.uea.edu.ec/index.php/racyt/article/view/99>
- Wightman, K. E. y Cruz, B. S. (2003). La cadena de la reforestación y la importancia en la calidad de las plantas. *Foresta Veracruzana*, 5(1), 45-51. <https://www.redalyc.org/pdf/497/49750108.pdf>
- Wilson, J. and Wilson, G. J. (2006). Contemporary issues in protein requirements and consumption for resistance trained athletes. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 3, 1-21. <https://link.springer.com/article/10.1186/1550-2783-3-1-7>

Contribución de los autores

Autores	Contribución
Samantha García-Decoro	Diseño de la investigación; revisión bibliográfica, análisis e interpretación de los datos, preparación y edición del manuscrito.
Sting Brayan Luna-Fox	Participó en la preparación y edición del manuscrito, revisión bibliográfica, interpretación de resultados.
Sonia Vega-Rosete	Participó en la preparación y edición del manuscrito, revisión bibliográfica, interpretación de resultados.
Gretel Geada-López	Participó en la preparación y edición del manuscrito, revisión bibliográfica, interpretación de resultados.
Yudel García-Quintana	Participó en la preparación y edición del manuscrito, revisión bibliográfica, interpretación de resultados.



Biología pesquera de la gallineta, *Prionotus stephanophrys* Lockington, 1880, procedentes de la flota polivalente durante el 2017 y 2018 en Ecuador

Fishing biology of lumptail searobin, *Prionotus stephanophrys* Lockington, 1880 from the multi-purpose fishing fleet during 2017 and 2018 in Ecuador

Autores

✉ ¹Sara España-Mindiolaza

✉ ²Willan Revelo-Ramírez

✉ ^{1*}Gabriela Vergara

¹Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales, Avenida Juan Tanca Marengo y Avenida Raúl Gómez Lince, Guayaquil, Ecuador.

²Instituto Nacional de Investigaciones en Acuicultura y Pesca, Letamendi 102 y la Ría, Guayaquil, Ecuador.

*Autor de correspondencia.

Resumen

La gallineta (*Prionotus stephanophrys* Lockington 1881) es una de las especies más capturadas como parte de la fauna acompañante dentro de las faenas de pesca de la flota merlucera; por lo tanto, la presente investigación analizó la relación talla-peso, índice gonadosomático y talla media de madurez sexual de 622 individuos capturados incidentalmente por la flota polivalente en la costa ecuatoriana entre el 2017 y 2018, donde se observó que las tallas más frecuentes oscilaron entre 25-30 cm LT para ambos sexos, con una talla promedio para hembras de $27,73 \pm 2,88$ cm LT y para machos de $26,78 \pm 2,51$ cm LT; sin embargo, de manera general, no se encontraron diferencias significativas en la estructura de tallas en años combinados ($P > 0,05$). Adicionalmente, la talla media de madurez sexual estimada fue de 20,22 cm de LT; por lo tanto, se consideró que todos los individuos capturados incidentalmente se encontraron por encima de la madurez sexual, con únicamente el 3,86% por debajo de esta. La relación longitud total-peso total mostró para la especie un crecimiento alométrico negativo; mientras que, el índice gonadosomático estableció que la época reproductiva correspondió de marzo a noviembre y de abril a mayo como de reposo. La mayor captura incidental de individuos, sobre todo de hembras coincide con la mayor intensidad reproductiva, con una proporción sexual H:M de 1,5:1.

Palabras clave: gallineta; *Prionotus stephanophrys*; fauna acompañante; índice gonadosomático; madurez sexual.

Citación sugerida: España-Mindiolaza, S., Revelo-Ramírez, W. y Vergara, G. (2024). Biología pesquera de la gallineta, *Prionotus stephanophrys* Lockington, 1880, procedentes de la flota polivalente durante el 2017 y 2018 en Ecuador. *La Técnica*, 14(1), 45-52. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v14i1.6292>

Recibido: Diciembre 18, 2023

Aceptado: Febrero 14, 2024

Publicado: Febrero 16, 2024

Abstract

The lumptail searobin (*Prionotus stephanophrys* Lockington 1881) is one of the most captured species as part of the bycatch in hake fishing operations; therefore, this research analyzed the size-weight relationship, gonadosomatic index, and size at sexual maturity of 622 individuals incidentally captured by the polyvalent fishing fleet between 2017 and 2018 in the Ecuadorian coast, where it was observed that the most frequent lengths were 27-28 cm TL for both sexes, with an average length for females of 27.73 ± 2.88 cm LT and for males of 26.78 ± 2.51 cm LT; however, in general, no significant differences were found in size structure in combined years ($P > 0.05$). Additionally, the estimated size at sexual maturity was 20.22 cm; therefore, it is considered that all incidentally captured individuals are above sexual maturity, with only 3.86% below it. The total length-total weight relationship showed for the species a negative allometric growth; meanwhile, the gonadosomatic index established that the reproductive season corresponds from march to november, and from april to may is resting season. The highest incidental capture of individuals, especially females, coincided with the peak of reproductive intensity, with a sex ratio F:M of 1.5:1.

Keywords: lumptail searobin; *Prionotus stephanophrys*; bycatch; gonadosomatic index; sexual maturity.



La estructura de tallas de los individuos capturados incidentalmente entre el 2017 y 2018 se determinó a través de histogramas de frecuencia absoluta, aplicando la regla de Sturges para establecer los intervalos de clase talla (Salgado-Ugarte y Saito-Quezada, 2020). Posteriormente, se comparó la longitud entre hembras y machos, aplicando la prueba U de Mann Whitney (Kolmogorov-Smirnov con corrección de Lilliefors, $P < 0,01$) en el programa R.

Además, se estableció el tipo de crecimiento para hembras, machos y sexos combinados a través de la relación longitud total-peso total (LT-PT) para los años 2017 y 2018 mediante la ecuación potencial de Ricker (1977).

$$PT = a \cdot (LT)^b$$

donde “a” representa el intercepto u origen y “b” el tipo de crecimiento; considerando que, si $b = 3$ el crecimiento fue isométrico, $b > 3$ el crecimiento fue alométrico positivo y $b < 3$ el crecimiento fue alométrico negativo (Froese, 2006).

El índice gonadosomático (IGS) de hembras y machos se estimó aplicando la ecuación de Vazzoler (1996).

$$IGS = (PG/PT) \cdot 100$$

Los valores de IGS fueron representados por la mediana de cada mes. En los meses donde no existían datos, se generó una interpolación por polinomio de sexto grado, dado que, este presentaba el mayor coeficiente de determinación ($\varnothing$: $r^2 = 0,80$; σ : $r^2 = 0,73$).

La talla media de madurez se estimó con la ecuación propuesta por Gislason et al. (2008).

$$L_{\infty} = 0,64 (\pm 0,15) \quad L_{\infty}^{0,95 (\pm 0,05)}$$

donde, L_{∞} corresponde a la longitud asintótica; el valor numérico 0,64 fue la proporción de madurez sexual con relación con el tamaño asintótico; la expresión $L_{\infty}^{0,95 (\pm 0,05)}$ representa una relación exponencial en la que L_{∞} está elevado a una potencia de 0,95.

Resultados y discusión

Se analizaron 622 individuos de gallineta (*P. stephanophrys*), donde 368 fueron hembras y 254 machos (figura 2). Durante el 2017, se capturaron incidentalmente entre 59 (enero) y 11 individuos (julio). Mientras que, en el año 2018, se registraron entre 104 (marzo) y nueve individuos capturados (febrero). De manera general, durante el período de estudio se observó una mayor captura de hembras con relación a los machos, con una proporción sexual H:M de 1,5:1. En este contexto, las variaciones en la captura incidental de *P. stephanophrys* podrían estar estrechamente asociadas al esfuerzo pesquero sobre la pesca objetivo (merluza) y la operatividad de la flota; sin embargo, no se puede aseverar esta hipótesis debido la falta de información de acceso abierto. Otra posible explicación para la fluctuación en el número de individuos capturados podría ser cambios en las masas de agua (temperatura), y disponibilidad de alimento, que obligarían a los individuos a desplazarse dentro de la columna

de agua (Herdson y Martínez, 1985); consecuentemente, la hora y la profundidad en la que se realizaron los lances de pesca podrían ser un factor determinante en el número de individuos capturados.

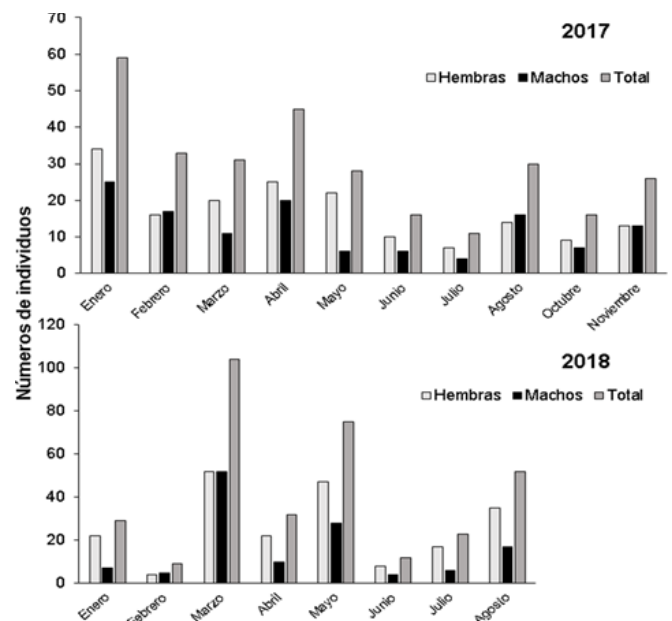


Figura 2. Número de individuos de *P. stephanophrys* capturados como parte de la flota polivalente durante los años 2017 y 2018 en Ecuador.

La estructura de tallas de los individuos capturados incidentalmente comprendió un rango entre 21 y 36 cm LT en ambos años; el cual difirió ligeramente al obtenido por Herrera et al. (2010) para el golfo de Guayaquil, donde registraron rangos de 22 a 39 cm LT para hembras y 21 a 38 cm LT para machos, esta diferencia puede estar asociada a la obtención de los datos (crucero de pesca exploratoria durante junio 2007). En el año 2017, se observó la mayor cantidad de individuos capturados en el intervalo 27-28 cm LT en ambos sexos. Mientras que, durante el año 2018, se observó una diferencia entre los intervalos de tallas por sexo, donde en machos se mantuvo lo registrado en el 2017 (27-28 cm LT) y en hembras fue 25-26 cm LT. De manera general, se registró la menor captura de individuos en los intervalos 33-34 y 35-36 cm LT (figura 3).

La talla promedio de hembras fue $27,73 \pm 2,88$ cm LT y para machos de $26,78 \pm 2,51$ cm LT. Las tallas de los individuos capturados no mostraron diferencias significativas entre sexos por años combinados ($P > 0,05$); sin embargo, al analizar cada año independientemente se obtuvieron diferencias significativas (año 2017: $P < 0,01$; 2018: $P < 0,001$), con una talla promedio anual mayor en hembras (año 2017: $27,4 \pm 2,74$ cm LT; 2018: $27,7 \pm 2,71$ cm LT) (tabla 1). Pérez-Huaripata y Castañeda-Condori (2018) reportaron tallas desde 6 hasta 35 cm LT para esta especie, y una talla media de 23,4 cm LT en hembras y 21,7 cm LT en machos. La notable diferencia en los rangos de tallas y

medias observados entre ambos estudios se debe a que, los datos analizados provinieron exclusivamente de la flota polivalente, que utilizó redes de arrastre con 90 mm de copo, permitiendo el escape de individuos de tallas pequeñas; mientras que, los datos de Pérez-Huaripata y Castañeda-Condori (2018) correspondieron a un crucero de evaluación de la fauna acompañante de *M. gayi*, que opera con diferentes tamaños de ojo de malla.

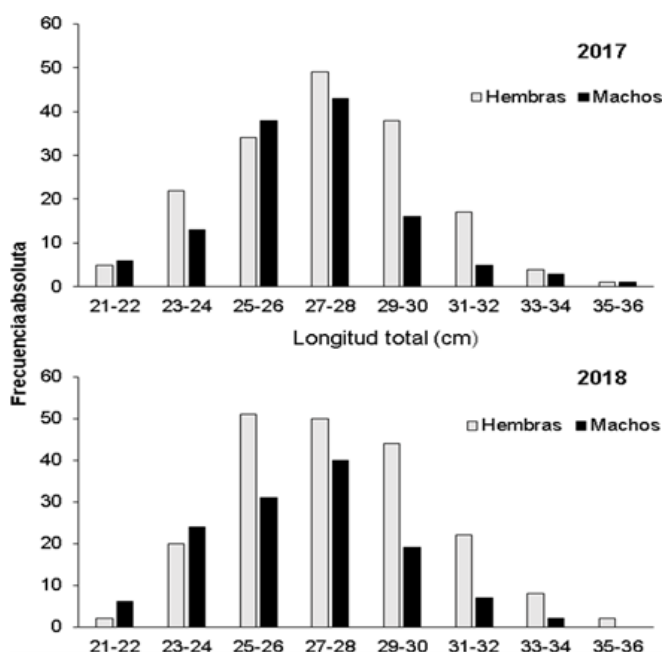


Figura 3. Estructura de tamaño de hembras y machos de gallineta (*P. stephanophrys*) obtenidas de la flota polivalente durante los años 2017 y 2018 en Ecuador.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos del tamaño (cm LT) de hembras y machos de *P. stephanophrys* obtenidas de la flota polivalente durante 2017 y 2018 en Ecuador.

Año	Sexo	Talla promedio (cm)	Desviación estándar	Error estándar
2017	Hembra	27,40	2,74	0,21
	Macho	26,80	2,42	0,21
2018	Hembra	27,70	2,71	0,19
	Macho	26,40	2,58	0,22
Años combinados	Hembra	27,73	2,88	0,15
	Macho	26,78	2,51	0,15

La relación LT-PT en hembras, machos y sexos combinados en ambos años presentaron valores de $b < 3$ ($b = 2,57-2,82$), lo cual indicó un crecimiento alométrico negativo. No obstante, el valor de b y significancia observado en los machos durante el 2018 ($b = 2,82$; $p = 0,08$) correspondieron a un crecimiento isométrico, esto podría estar asociado a varios factores, entre ellos, la condición general de la población y el desarrollo gonadal de los machos (Rahman et al., 2015) durante el 2018, así como, la metodología aplicada (tamaño de muestra y los rangos de tallas capturados). En consecuencia, se debería considerar que lo observado en el 2018 no representó el crecimiento general de la especie (tabla 2); considerando además que, la pendiente no presentó diferencias significativas entre hembras y machos.

Tabla 2. Relación LT - PT de hembra, machos y sexo combinados de *P. stephanophrys* obtenidas de la flota polivalente durante el año 2017 y 2018 en Ecuador. Hembras (H), Machos (M), Combinados (C).

Año	Sexo	n	Rango de LT (cm)	a	b	r ²	t - calculada	p - valor	Crecimiento
2017	H	170	21 - 35	0,04	2,60	0,87	-5,19	< 0,001 *	Alometría (-)
	M	125	22 - 35	0,05	2,57	0,87	-4,98	< 0,001 *	Alometría (-)
	C	295	21 - 35	0,04	2,61	0,87	-6,71	< 0,001 *	Alometría (-)
2018	H	198	22 - 36	0,04	2,62	0,81	-4,31	< 0,001 *	Alometría (-)
	M	129	21 - 34	0,02	2,82	0,86	-1,75	0,08	Isometría
	C	327	21 - 36	0,03	2,75	0,84	-3,80	< 0,001 *	Alometría (-)

*representa significancia

Sin embargo, en los datos combinados (años y sexo) se obtuvo que la gallineta tuvo un crecimiento alométrico negativo ($t = -7,09$, $P < 0,001$) con valores de $b = 2,67$ y $r^2 = 0,85$ (figura 4). Herdson y Martínez (1985) determinaron un valor de $b = 2,67$, aunque, los 244 individuos analizados por los autores estuvieron en un rango entre 16 y 21 cm LT. Aun ante la diferencia en los rangos de tallas, el valor del exponente de la longitud-peso (b) fue el mismo, lo cual podría ser resultado de la estabilidad de las condiciones ambientales del ecosistema, o que *P. stephanophrys* presentó características biológicas y morfo-fisiológicas estables (Rahman et al., 2015).

El tipo de crecimiento alométrico de *P. stephanophrys* negativo difirió de lo registrado en Perú (Pérez-Huaripata y Castañeda-Condori, 2018) y México (Schmitter-Soto y Castro-Aguirre, 1991), así como, en otras especies del género *Prionotus*, tal es el caso de *P. nudigula* en Mar de Plata, Argentina (Volpedo

y Thompson, 1998) y *P. ruscarius* en las costas de Jalisco y Colima, México (Lucano-Ramírez et al., 2005) quienes determinaron un crecimiento isométrico, es decir, el peso incrementó proporcionalmente con la longitud. El crecimiento alométrico negativo de *P. stephanophrys* observado en Ecuador, posiblemente se debió a la oferta alimenticia y competencia y/o presión trófica con *M. gayi*. En este contexto, se ha determinado que alrededor del 65% de la dieta de *P. stephanophrys* estuvo constituida por eufáusidos (Samamé y Fernández-Ramírez, 2000), existiendo un solapamiento de nicho trófico con *M. gayi* (Alamo y Espinoza, 1997), además que es uno de sus principales depredadores (Castillo-Rojas et al., 2000).

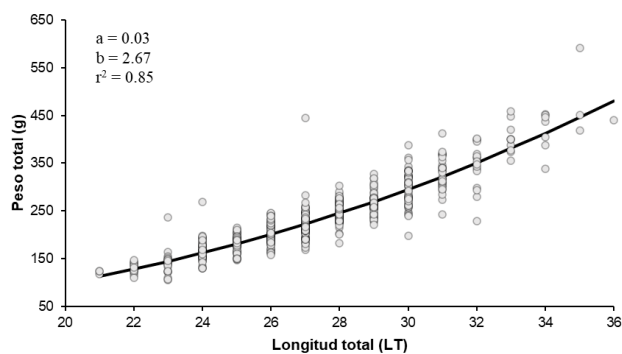


Figura 4. Curva de relación LT-PT para datos combinados (años y sexo) de gallineta (*P. stephanophrys*) obtenidos de la flota polivalente en Ecuador.

La zona de pesca también podría influenciar los resultados obtenidos en este estudio, ya que las zonas de captura de merluza en Perú fueron más costeras, y con altas abundancias de eufáusidos (Orosco y Ayón, 2016), reduciendo la competencia trófica y, consecuentemente el crecimiento relativo en la talla y peso fue isométrico. Mientras que, la flota polivalente en Ecuador se concentró principalmente en el estuario externo del golfo de Guayaquil, que tiene influencia oceánica, donde hubo menor abundancia de eufáusidos (Jiménez y Bonilla, 1980), lo que podría ser la causa que impidió que *P. stephanophrys* ganara peso en la misma relación a la que creció. Adicionalmente, otro factor a considerar fue el nivel de explotación del recurso merluza, ya que la pesca podría reducir la competencia y depredación interespecífica.

En el 2017, febrero obtuvo el máximo valor de IGS (IGS= 5,30) y el mínimo en mayo (IGS= 0,88); mientras que, en el año 2018, enero presentó el máximo valor (IGS= 3,46) y agosto el mínimo (IGS= 0,52). Paredes-Bulnes y Rodríguez (2004) afirmaron lo anterior con análisis macroscópico de las gónadas de diciembre a marzo de 2001, determinando que el 73,4% de los individuos examinados estuvieron maduros durante este periodo. De manera similar, Wasiw (2012) en su estudio realizado durante enero-febrero de 2003 determinó que, de 23 hembras examinadas, el 69,6% estuvieron en estadio maduro y el resto en desove. Esto podría indicar que la mayor intensidad de reproducción para *P. stephanophrys* en Ecuador ocurre de noviembre a marzo;

mientras que, tomando en cuenta los valores de IGS observados en abril y mayo se podría considerar como meses de reposo. Los valores del IGS de este estudio fueron comparables con los obtenidos por Samamé y Fernández-Ramírez (2000) en Perú; esto podría ser resultado de las condiciones oceánicas, regidas por la influencia de las corrientes (corriente de Humboldt) y masas de agua con características termohalinas similares, que determinaron la disponibilidad de alimento y los procesos metabólicos de los organismos (Morgan et al., 2010), factores estrechamente asociados con el crecimiento y reproducción.

La variación del IGS coincidió entre hembras y machos durante el 2017; sin embargo, para el año 2018 la variación fue inversa, notándose que los meses donde aumentó el IGS en hembras, en machos disminuyó (figura 5). Si bien los periodos reproductivos fueron altamente variables en especies marinas y dependieron de variables intrínsecas y extrínsecas a diferentes escalas temporales (Lowerre-Barbieri et al., 2011), la asincronía reproductiva, observada en los valores de IGS obtenidos en el 2018 podría considerarse como un comportamiento atípico y sería importante analizar si esta tendencia se mantiene a largo plazo, ya que podría afectar el éxito reproductivo, la supervivencia de las larvas y reclutamiento. Tales efectos se han observado en especies objetivo (Cushing, 1973; Wieland, 2000; Anderson et al., 2008); sin embargo, no existen estudios en especies consideradas como fauna acompañante.

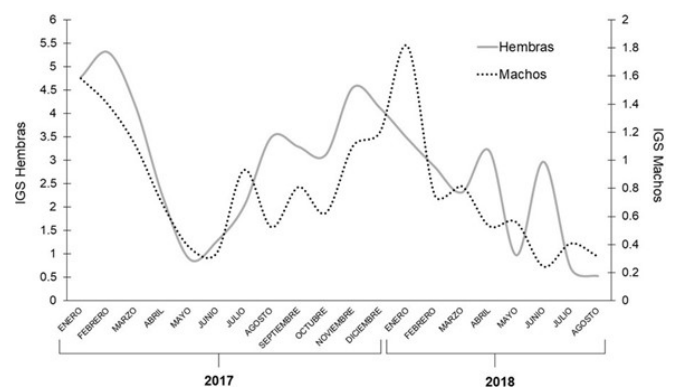


Figura 5. Índice gonadosomático (IGS) de hembras y machos de *P. stephanophrys* obtenidos de la flota polivalente durante 2017 y 2018 en Ecuador.

El mayor número de individuos capturados se registró en enero 2017 y marzo 2018, esto coincidió con los meses donde se obtuvieron los valores más altos de IGS, lo que indicó que, los individuos fueron propensos a ser capturados durante la época de mayor intensidad reproductiva, llegando a deducir que, si no se protege a la especie durante los meses de mayor intensidad, la tasa de reclutamiento irá disminuyendo, observándose menores abundancias de *P. stephanophrys* a largo plazo. Adicionalmente, el aumento de capturas podría indicar un mayor esfuerzo de la flota arrastrera, lo que tendría un efecto sobre la estructura de tallas y la talla media de madurez sexual.

La talla media de madurez estimada para *P. stephanophrys* fue 20,22 cm LT para ambos sexos, lo cual concordó con el L_{50} reportado en Perú por Samamé y Fernández-Ramírez (2000) a partir de la observación de las gónadas. No obstante, la falta de estudios reproductivos de esta especie en Ecuador impidió discutir los posibles cambios en la talla de primera madurez durante la transición de la pesca de arrastre con la actual pesca polivalente o cambios a nivel temporal. Además, cabe recalcar que, la talla media de madurez estimada en esta investigación se realizó por métodos indirectos, y fue necesario complementar con el análisis de madurez gonadal.

Aunque esta no es una especie objetivo, es probable que a largo plazo se observe la disminución de la talla de madurez sexual, comportamiento observado en otras especies como respuesta a altas mortalidades inducidas por la pesca, tanto en Ecuador (Suarez-Torres et al., 2022), como a nivel mundial (Marshall y Browman, 2007; Rochet y Marty, 2016), especialmente, considerando el grado de explotación ejercido sobre *M. gayi*, y la proporción y composición de la fauna acompañante.

Conclusión

La mayor captura incidental de *P. stephanophrys* se registró en un rango de tallas 25-30 cm LT, estando por encima de la talla de madurez sexual calculada (20,22 cm LT), presentando un crecimiento alométrico negativo. Además, la época reproductiva con base en los valores de IGS se establece de noviembre a marzo para ambos años; sin embargo, existe una mayor presión sobre las hembras durante los meses de mayor intensidad reproductiva, ya que se estimó una proporción sexual de 1,5:1.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

- Abdulqader, E. A. A., Abdurahiman, P., Mansour, L., Harrath, A. H., Qurban, M. A. and Rabaoui, L. (2020). Bycatch and discards of shrimp trawling in the Saudi waters of the Arabian Gulf: ecosystem impact assessment and implications for a sustainable fishery management. *Fisheries Research*, 229, 105596. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2020.105596>
- Amoroso, R. O., Pitcher, C. R., Rijnsdorp, A. D., McConnaughey, R. A., Parma, A. M., Suuronen, P., Eigaard, O. R., Bastardie, F., Hintzen, N. T., Althaus, F., Baird, S. J., Black, J., Buhl-Mortensen, L., Campbell, A. B., Catarino, R., Collie, J., Cowan, J. H., Durholtz, D., Engstrom, N., Fairweather, T. P., Fock, H. O., Ford, R., Gálvez, P. A., Gerritsen, H., Góngora, M. E., González, J. A., Hiddink, J. G., Hughes, K. M., Intelmann, S. S., Jenkins, C., Jonsson, P., Kainge, P., Kangas, M., Kathena, J. N., Kavadas, S., Leslie, R. W., Lewis, S. G., Lundy, M., Makin, D., Martin, J., Mazor, T., González-Mirelis, G., Newman, S. J., Papadonoulou, N., Posen, P. E., Rochester, W., Russo, T., Sala, A., Semmens, J. M., Silva, C., Tsoilos, A., Vanelandlers, B., Wakefield, C. B., Wood, B. A., Hilborn, R., Kaiser, M. J. and Jennings, S. (2018). Bottom trawl fishing footprints on the world's continental shelves. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(43). <https://doi.org/10.1073/pnas.1802379115>
- Anderson, C. N. K., Hsieh, C., Sandin, S. A., Hewitt, R., Hollowed, A., Beddington, J., May, R. M. and Sugihara, G. (2008). Why fishing magnifies fluctuations in fish abundance. *Nature*, 452(7189), 835-839. <https://doi.org/10.1038/nature06851>
- Baum, J. K. and Worm, B. (2009). Cascading top-down effects of changing oceanic predator abundances. *Journal of Animal Ecology*, 78(4), 699-714. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2009.01531.x>
- Blanco, M., Nos, D., Lombarte, A., Recasens, L., Company, J. B. and Galimany, E. (2023). Characterization of discards along a wide bathymetric range from a trawl fishery in the NW Mediterranean. *Fisheries Research*, 258, 106552. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2022.106552>
- Castillo Rojas, C. R., Gómez Sulca, E. y Paredes Bulnes, F. (2000). Algunos aspectos adicionales sobre la biología y pesquería del falso volador *Prionotus stephanophrys*. *Informe Progresivo Instituto del Mar del Perú*, N°127, 1-27.
- Chirichigno, N. y Vélez, J. (1998). Clave para identificar los peces marinos del Perú. *Informes del Instituto del Mar del Perú, Callao*. 500 p.
- Cushing, D. H. (1973). Dependence of recruitment on parent stock. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 30(12), 1965-1976. <https://doi.org/10.1139/f73-320>
- Eayrs, S. (2007). *A guide to bycatch reduction in tropical shrimp-trawl fisheries*. <https://www.researchgate.net/publication/261509706>
- Gilman, E., Perez Roda, A., Huntington, T., Kennelly, S. J., Suuronen, P., Chaloupka, M. and Medley, P. A. H. (2020). Benchmarking global fisheries discards. *Scientific*

- Reports, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71021-x>
- Gislason, H., Pope, J., Rice, J. and Niels, D. (2008). Coexistence in north sea fish communities: Implications for growth and natural mortality. *ICES Journal of Marine Science* 65(4). <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsn035>
- Hall, M. A., Alverson, D. L. and Metuzals, K. I. (2000). By-catch: Problems and solutions. *Marine Pollution Bulletin*, 41(1-6), 204-219. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(00\)00111-9](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(00)00111-9)
- Herdson, D. y Martínez, J. (1985). Ocurrencia de gallineta con joroba, *Prionotus stephanophrys* Lockington (Pisces: Triglidae) en aguas ecuatorianas, y aspectos de su comportamiento, biología y utilización. *Boletín Científico y Técnico*, 8(6), 18-34. <http://hdl.handle.net/1834/3157>
- Herrera, M., Peralta, M., Coello, D., Cajas Jacqueline, Elías, E., León Janeth y De la Cuadra, T. (2010). Estimación de la biomasa de los recursos demersales en el Golfo de Guayaquil (junio 2007). *Boletín Científico y Técnico*, 29(7), 1-27. <http://hdl.handle.net/1834/4797>
- Kelleher, K. (2005). Discards in the world's marine fisheries. An Update. *FAO Fisheries Technical Paper*, 470.
- Lowerre-Barbieri, S. K., Ganas, K., Saborido-Rey, F., Murua, H. and Hunter, J. R. (2011). Reproductive timing in marine fishes: Variability, temporal scales, and methods. *Marine and Coastal Fisheries*, 3(1), 71-91. <https://doi.org/10.1080/19425120.2011.556932>
- Lucano-Ramírez, G., Ruiz-Ramírez, S. y Rojo Vázquez, J. A. (2005). Biología reproductiva de *Prionotus ruscarius* (Pisces: Triglidae) en las costas de Jalisco y Colima, México. *Revista Digital Universitaria*, 6(8), 1-13. <http://www.revista.unam.mx/vol.6/num8/art75/int75.htm>
- Marshall, C. and Browman, H. (2007). Disentangling the causes of maturation trends in exploited fish populations. *Marine Ecology Progress Series*, 335, 249-251. <https://doi.org/10.3354/meps335249>
- Mendo, J., Mendo, T., Gil-Kodaka, P., Martina, J., Gómez, I., Delgado, R., Fernández, J., Travezaño, A., Arroyo, R., Loza, K. and James, M. A. (2022). Bycatch and discards in the artisanal shrimp trawl fishery in Northern Peru. *PLOS ONE*, 17(6), e0268128. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268128>
- Morgan, M. J., Rideout, R. M. and Colbourne, E. B. (2010). Impact of environmental temperature on Atlantic cod *Gadus morhua* energy allocation to growth, condition and reproduction. *Marine Ecology Progress Series*, 404, 185-195. <http://www.jstor.org/stable/24873864>
- Paredes Bulnes, F. y Rodríguez P., F. (2004). Principales especies de la ictiofauna acompañante de la merluza peruana durante el verano 2001. *Informe Instituto del Mar del Perú*, 7, 247-255. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/1840>
- Pérez Huaripata, M. y Castañeda Condori, J. (2018). Principales peces asociados a la fauna acompañante de la merluza durante el otoño 2015. Cr. 1505-06. *Informe Instituto del Mar del Perú*, 45(1), 96-103. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/3272>
- Pérez Roda, M., Gilman, E., Huntington, T., Kennelly, S., Suuronen, P., Chaloupka, M. and Medley, P. (2019). *A third assessment of global marine fisheries discards* *FAO Technical Paper* 633. <https://www.researchgate.net/publication/330400691>
- Pranovi, F. (2000). Rapido trawling in the northern Adriatic Sea: effects on benthic communities in an experimental area. *ICES Journal of Marine Science*, 57(3), 517-524. <https://doi.org/10.1006/jmsc.2000.0708>
- Quijije, P. (2018). *Fauna acompañante de pesca industrial polivalente dirigida a camarones rojo (Penaeus brevivirostris) y café (Penaeus californiensis) en la costa ecuatoriana*. Universidad de Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/33852>
- Rahman, F., Zaher, M., B.M., Rahman, Md. A., Alam, M., Pramanik, M. M. and Pramanik, H. (2015). Length-weight relationship and GSI of hilsa, *Tenualosa ilisha* (Hamilton, 1822) fishes in Meghna river, Bangladesh. *International Journal of Natural and Social Sciences*, 2, 82-88. <https://www.researchgate.net/publication/296902197>
- Ricker, W. (1977). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *The Journal of Wildlife Management*, 41. <https://doi.org/10.2307/3800109>
- Rochet, M. and Marty, L. (2016). Effects of fishing on the population. In: *Fish reproductive biology* (pp. 188-225). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118752739.ch4>
- Salgado-Ugarte, I. and Saito-Quezada, V. (2020). *Métodos cuantitativos computarizados para biología pesquera*.
- Samamé, M. y Fernández Ramírez, F. (2000). Evaluación biológico pesquera del falso volador *Prionotus stephanophrys* Lockington, componente de la ictiofauna demersal del Perú. *Informe Progresivo N°126*, 3-28. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/1158>
- Samamé, M. y Molina, P. (2000). Principales recursos de la fauna acompañante de la merluza entre Huarmey y Puerto Pizarro durante el verano 1999. *Informe Instituto del Mar del Perú*, 153, 45-55. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/1868>
- Schmitter-Soto, J. y Castro-Aguirre, J. (1991). Edad y crecimiento de *Prionotus stephanophrys* (Osteichthyes: Triglidae) en la costa occidental de Baja California Sur, México. *Revista de Biología Tropical*, 39, 23-29. <https://www.researchgate.net/publication/235724821>



- Schmitter-Soto, J. and Castro-Aguirre, J. (1994). Age and growth of three searobins (Pisces: Triglidae) off the western coast of Baja California Sur, México. *Revista de Biología Tropical*, 42, 271-279. <https://www.researchgate.net/publication/235653927>
- Simpson, A. W. and Watling, L. (2006). An investigation of the cumulative impacts of shrimp trawling on mud-bottom fishing grounds in the Gulf of Maine: Effects on habitat and macrofaunal community structure. *ICES Journal of Marine Science*, 63(9), 1616-1630. <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2006.07.008>
- Suarez-Torres J., Preciado, M. y Vergara, G. (2022). Análisis de la captura de *Merluccius gayi* en Ecuador durante el 2019. *La Técnica*, 13(1), 1-8. <https://doi.org/https://doi.org/10.33936/latecnica.v13i1.5289>
- Vazzoler, A. (1996). *Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática* (Universidade Estadual de Maringá, Ed.). EDUEM.
- Victorero, L., Watling, L., Deng Palomares, M. L. and Nouvian, C. (2018). Out of sight, but within reach: A global history of bottom-trawled deep-sea fisheries from 400 m depth. *Frontiers in Marine Science*, 5. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00098>
- Volpedo, A. y Thompson, G. (1998). Diferencias en el crecimiento de las sagittae de *Prionotus nudigula* Ginsburg, 1950 (Pisces: Triglidae) en relación al sexo. *Boletín del Instituto Español Oceanográfico*, 12(1), 3-16. <https://www.researchgate.net/publication/262232527>
- Wasiw, J. (2012). Peces acompañantes de la merluza peruana en el verano 2003. Crucero BIC Olaya 0301-02. *Informe Instituto del Mar del Perú*, 39(3-4), 280-287. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/2234>
- Wieland, K. (2000). Changes in the timing of spawning of baltic cod: possible causes and implications for recruitment. *ICES Journal of Marine Science*, 57(2), 452-464. <https://doi.org/10.1006/jmsc.1999.0522>
- Zhou, S., Smith, A. D. M., Punt, A. E., Richardson, A. J., Gibbs, M., Fulton, E. A., Pascoe, S., Bulman, C., Bayliss, P. and Sainsbury, K. (2010). Ecosystem-based fisheries management requires a change to the selective fishing philosophy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(21), 9485-9489. <https://doi.org/10.1073/pnas.0912771107>

Contribución de los autores

Autores	Contribución
Sara España-Mindiola	Diseño de la investigación; revisión bibliográfica, análisis e interpretación de los datos.
Willan Revelo-Ramírez	Base de datos.
Gabriela Vergara	Interpretación de los datos, preparación y edición del manuscrito, corrección de estilo.



Tectona grandis Linn. Retos y perspectivas del potencial uso de la especie

Tectona grandis Linn. challenges and perspectives of the potential use of the species

Autores

✉ ¹*Yamila Lazo-Pérez

✉ ²Arliet Morales-Moreno

✉ ¹Nancy Narcisa Rodríguez-Almeida

¹Universidad Estatal Amazónica. Puyo, Ecuador.

²Palmeras del Ecuador S.A. Ecuador.

*Autor de correspondencia.

Resumen

Tectona grandis Linn. f es una especie perteneciente a la familia Lamiaceae, que crece en la península India, Myanmar, Tailandia, República Democrática Popular Laos. El presente estudio ofrece una evaluación farmacognóstica (índices numéricos) y evalúa el poder antioxidante del extracto acuoso de las hojas de *T. grandis*. Se realizó un estudio de secado al sol y en estufa para determinar el método más idóneo, resultando ser el de la estufa el más adecuado, con un tiempo máximo de secado de 30 h. Los índices numéricos de humedad residual, cenizas totales, cenizas solubles en agua y cenizas insolubles en ácido clorhídrico se utilizaron para garantizar la calidad del material vegetal y establecer, por primera vez, esos parámetros para las hojas de la especie. Se determinó el contenido de fenoles totales, con valores entre 75 y 310 mg EAG·gDE⁻¹, así como la evaluación del potencial reductor del radical 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH), y la actividad antioxidante del extracto por el sistema β-caroteno/ácido linolénico. El extracto obtenido de las hojas de *T. grandis* mostró prometedora actividad antioxidante.

Palabras clave: *Tectona grandis*; actividad antioxidante; índices numéricos; farmacognóstico.

Citación sugerida: Lazo-Pérez, Y., Morales-Moreno, A., Rodríguez-Almeida, N. N. (2024). *Tectona grandis* Linn. Retos y perspectivas del potencial uso de la especie. *La Técnica*, 14(1), 53-59. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v14i1.6426>

Recibido: Enero 31, 2024

Aceptado: Febrero 15, 2024

Publicado: Febrero 23, 2024

Abstract

Tectona grandis Linn f. is a species belonging to the Lamiaceae family, which grows in the Indian peninsula, Myanmar, Thailand, Lao People's Democratic Republic. The present study offers a pharmacognostic evaluation (numerical indices) and evaluates the antioxidant power of the aqueous extract of the leaves of *T. grandis*. A drying study was carried out in the sun and in an oven to determine the most suitable method, and the oven method turned out to be the most appropriate, with a maximum drying time of 30 h. The numerical indices of residual moisture, total ash, water-soluble ash and hydrochloric acid-insoluble ash were used to guarantee the quality of the plant material and establish, for the first time, these parameters for the leaves of the species. The content of total phenols was determined, with values between 75 and 310 mg GAE·gDE⁻¹, as well as the evaluation of the reducing potential of the radical 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), and the antioxidant activity of the extract by the system β-carotene/linolenic acid. The extract obtained from *T. grandis* leaves showed promising antioxidant activity.

Keywords: *Tectona grandis*; antioxidant activity; numerical indices; pharmacognostic.



Introducción

Las plantas pueden producir metabolitos con actividad antioxidante, especialmente compuestos fenólicos (Haggag y Elhaw, 2022), entre ellos flavonoides y taninos. Además, los compuestos naturales son innovadores, económicos, de fácil acceso y tienen una toxicidad reducida. El estudio de las plantas medicinales ha recibido especial atención con el objetivo de descubrir nuevas aplicaciones. El estudio de *Tectona grandis* Linn. (Lamiaceae) ha recibido especial atención debido a sus diversos usos. Los metabolitos secundarios, también conocidos como extractivos en el contexto de los productos forestales, son compuestos químicos no estructurales producidos por las plantas.

Los polifenoles son un grupo de diferentes compuestos con actividad reconocida, que inhiben varias enzimas (Gonçalves et al., 2017; Xuan Zhou et al., 2021) varios polifenoles son potentes inhibidores de radicales libres. Algunos autores atribuyeron la bioactividad de la especie no solo a la toxicidad de los extractos sino a un efecto sinérgico de propiedades tóxicas y antioxidantes (Vuolo et al., 2019). Los metabolitos secundarios más importantes identificados en las hojas de *T. grandis* (Macías et al., 2008) son los apocarotenoides, el ácido abeograndinoico, taninos, probablemente del tipo galotanino, elagitaninos, derivados del ácido gálico, digálico y elágico (Macías et al., 2010).

Para algunos apocarotenoides se ha demostrado su fitotoxicidad se ha comprobado el efecto alelopático en la lechuga y el tomate (de Vargas et al., 2016). Otros estudios permitieron aislar diterpenos y triterpenos y demostraron la alta actividad fitotóxica del ácido 2-oxokovalénico y del 19-hidroxiferuginol (Macías et al., 2010). Algunos estudios sugieren que los ácidos triterpénicos como el oleanólico y el ursólico o sus glucósidos (extractos de diclorometano) pueden estar relacionados con la resistencia a los ataques de termitas y hongos (Krishna et al., 2010). Lacret et al. (2012) aislaron lignanos, norlignanos y algunos compuestos fenólicos a partir de diclorometano y acetato de etilo. También es importante destacar que aislaron por primera vez tectonoelina A y tectonoelina B de *T. grandis*, además aislaron antraquina en las mismas condiciones (Lacret et al., 2012). Nayeem y Karvekar (2010) encontraron ácidos fenólicos.

Debido a que el material vegetal se ve afectado por características climatológicas, suelo, edad y los factores genéticos (Majumdar et al., 2007), es importante obtener información precisa de su composición química para evaluar sus potencialidades. Además, la composición de los extractos, presentan diferencias de una planta a otra e incluso dentro del mismo árbol; por lo que, la estandarización de los procesos es importante. Este estudio tuvo como objetivo evaluar parámetros farmacognósticos de las hojas de la especie *T. grandis* y el efecto antioxidante del extracto acuoso de las mismas.

Materiales y métodos

Material vegetal

El material vegetal empleado en la investigación fue recolectado en la localidad Shushufindi provincia de Orellana, entre los meses de septiembre y octubre de 2023, en horas de la mañana. Incluía las hojas de la planta de un suelo carbonatado (figura 1).



Figura 1. Hoja de *Tectona grandis*.

Estudio de secado

Se realizó un estudio de secado (50 g) de hojas *T. grandis*, lo que permitió establecer el método más adecuado y el tiempo necesario para realizar este proceso. Se estudió el método tradicional de secado al sol y secado artificial mediante horno de recirculación de aire (BINDER GmbH, Alemania). A continuación, el material vegetal se molió hasta un tamaño de partícula entre 1 y 2 mm en un molino de cuchillas (IKA Werke MF 10, EE.UU.). El material vegetal seco y molido se almacenó en bolsas de polietileno en una desecadora protegido de la luz y la humedad, hasta su uso posterior.

Obtención de extracto acuoso

Se utilizó el método de extracción asistida por ultrasonido (Branson, EE.UU.), utilizando agua como disolvente. En cada extracción se pesaron 40 g de material vegetal seco y pulverizado y se agregaron 400 mL de agua destilada, humedeciendo primero con una parte del disolvente, estableciendo 1 h de extracción a 60 °C y el 75% de potencia ultrasónica, repitiéndose el proceso hasta lograr el agotamiento total del material vegetal, una vez finalizado el proceso de extracción, se recolectaron los volúmenes correspondientes de cada extracción, se filtró y se concentró a mínimo volumen mediante un rotavapor (IKA Rotary Evaporators 10 digital V., EE.UU.). Del extracto final se tomaron 5 mL para determinar el contenido total de sólidos. El volumen restante se evaporó hasta sequedad. El valor del rendimiento se determinó usando la ecuación (1) donde Mf fue la masa final

del extracto seco y M_i fue la masa inicial del material vegetal empleado en la extracción.

$$R = \frac{M_f}{M_i} * 100 \quad (1)$$

Contenido de humedad residual

El contenido de humedad residual se determinó por el método gravimétrico:

Cenizas totales, cenizas solubles en agua y cenizas insolubles en HCl se realizaron según USP38 (2015).

Contenido de fenoles totales

El contenido de fenoles totales en el extracto acuoso de hojas de *T. grandis* se determinó mediante la reacción colorimétrica de Follin-Ciocalteu (Molole et al., 2022), con algunas modificaciones. Se prepararon curvas de calibración (125, 250, 500 y 1000 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) a partir del estándar de ácido gálico hasta 1000 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ (Sigma-Aldrich). Para el ensayo se utilizaron placas de 96 pocillos. Una vez preparadas las soluciones, se colocaron 50 μL de cada solución en los pocillos (por triplicado), se agregaron 100 μL de reactivo de Folin-Ciocalteu (1 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) y se dejó reaccionar durante 8 min. Luego se agregaron 80 μL de solución de carbonato de sodio al 7,5%, se homogeneizó y se incubó a temperatura ambiente en la oscuridad durante 2 h. La absorbancia se midió a 765 nm usando un lector de microplacas Varioskan™ LUX (Thermo Fisher Scientific, Inc., Waltham.). El contenido total de compuestos fenólicos en el extracto se expresó como miligramos equivalente de ácido gálico por gramo de extracto ($\text{mg EAG}\cdot\text{gDE}^{-1}$) utilizando la ecuación obtenida de la curva de calibración del ácido gálico.

Actividad antioxidante del extracto acuoso

Evaluación de la capacidad de reducción del radical 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH)

La actividad antioxidante se evaluó utilizando el reactivo 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH), siguiendo la metodología descrita por (Adeku et al., 2022) con modificaciones menores. Se utilizó metanol como blanco y una solución metanólica de pirogalol (concentración final de 50 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) como testigo positivo para el ensayo. El extracto acuoso de hojas de *T. grandis* se evaluó por triplicado, con concentraciones finales que oscilaron entre 1 y 200 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, en una microplaca de 96 pocillos. A los pocillos correspondientes a las muestras se les añadió solución de DPPH (100 μL , 300 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) y a los pocillos correspondientes al control se les añadió 100 μL de metanol. La placa se leyó a $\lambda=517$ nm a intervalos de 5 minutos. Después de 30 minutos, se calculó el porcentaje de actividad antirradical (ARA) utilizando la ecuación (2).

$$\%ARA = 100 - \left[\frac{(A_m - A_{\text{blanco}})}{A_c} * 100 \right] \quad (2)$$

donde Ac correspondió a la absorbancia del testigo y A_m fue la absorbancia de la muestra a los 30 minutos. Las muestras con una IC50 inferior a 200 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ se consideraron activas y las muestras con resultados inferiores a 50 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ se consideraron prometedoras.

Evaluación de la actividad antioxidante por el sistema β -caroteno/ácido linoleico

Se desarrolló un sistema de cooxidación de β -caroteno/ácido linoleico para la evaluación de la actividad antioxidante (Chintong et al., 2019). El extracto acuoso de hojas de *T. grandis* se solubilizó en metanol (concentración de 2,2 $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$) y posteriormente se diluyó a concentraciones entre 125 y 200 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$. Se agregaron alícuotas (25 μL) de cada concentración a una placa de 96 pocillos y se transfirieron 25 mg de ácido linoleico y 100 mg de Tween 20 a un balón que contenía 1 mL de solución de β -caroteno (1 $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$) en cloroformo.

La mezcla se evaporó para eliminar el cloroformo, se agregaron 50 mL de agua aireada para obtener la emulsión de β -caroteno y se colocaron 250 μL de la emulsión en los pocillos de la microplaca. El blanco se preparó según la metodología descrita, pero sin la adición de la solución de β -caroteno. Se utilizaron metanol y quercetina (20 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) como testigos negativo y positivo, respectivamente. La primera lectura se tomó a 470 nm y posteriormente la placa se incubó a 45 °C con lecturas tomadas cada 15 minutos, durante 120 minutos. La actividad antioxidante se expresó como porcentaje de inhibición de la peroxidación lipídica (%I), según la ecuación (3) (Gouveia-Figueira et al., 2014):

$$\%I = \frac{(AbsC_{\text{inicial}} - AbsC_{\text{final}}) / (AbsS_{\text{final}} - AbsS_{\text{inicial}})}{(AbsC_{\text{inicial}} - AbsC_{\text{final}}) * 100} \quad (3)$$

donde AbsC inicial fue la absorbancia del testigo en $t=0$ y AbsC final fue la absorbancia del testigo en $t=120$ min. AbsS inicial correspondió a la absorbancia de las muestras en $t=0$, y AbsS final a la absorbancia de las muestras en $t=120$ minutos. Las muestras con resultados inferiores a 50 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ se consideraron prometedoras.

Análisis estadístico

Todos los análisis se realizaron por triplicado. Los datos informados se expresaron como la media de las repeticiones. Los resultados de los ensayos de actividad antioxidante se expresaron como concentración efectiva para capturar el 50% de los radicales (IC50) determinada mediante regresión no lineal utilizando GraphPad Prism (GraphPad Software, San Diego, CA, EE. UU., versión 6).

Resultados y discusión

El material vegetal se recolectó en áreas de suelos ricos en carbonatos ubicadas en la provincia de Orellana, localidad Shushufindi. Esto se realizó de forma manual y durante las

primeras horas de la mañana. El estudio de secado al sol (figura 2) mostró que después de las 30 h hubo un comportamiento constante con relación a la pérdida de biomasa del material vegetal, indicando que el tiempo óptimo de secado fue de 36 h en estas condiciones. También se realizó el método de secado artificial en estufa a 35 °C, y se encontró que después de 30 h, hubo un comportamiento constante con relación a la pérdida de la biomasa del material vegetal.

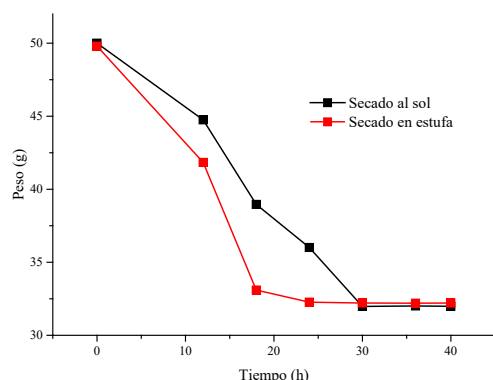


Figura 2. Estudio de secado de las hojas *Tectona grandis*.

Por lo tanto, el tiempo óptimo de secado de las hojas de esta especie fue de 30 h en estufa con aire recirculado, ya que mostró menor tiempo en el proceso, los factores ambientales no afectaron la calidad del material vegetal porque la temperatura fue estable y hubo una correcta ventilación. Este proceso también redujo sustancialmente el volumen y biomasa del material vegetal, permitiendo su almacenamiento por un período más prolongado. El proceso de secado no modificó significativamente el color de las hojas, aunque sí la friabilidad, lo que facilitó la posterior reducción del tamaño de partículas para favorecer el proceso extractivo. El material vegetal seco y molido conservó las características macromorfológicas de las drogas naturales (USP38, 15).

Extracción, determinación del rendimiento y humedad residual

La extracción se realizó asistida por ultrasonido, con un rendimiento extractivo de (20,95%) y alto contenido de sólidos totales. El ensayo del contenido de humedad residual es particularmente importante para drogas vegetales que absorben agua fácilmente o se deterioran rápidamente en presencia de la misma. Al realizar el secado se obtuvo un contenido de humedad residual de 6,77%, el cual se encontró por debajo del valor límite establecido (10%) (USP38, 2015). Este valor garantizó una adecuada calidad del material vegetal, ya que contribuyó a su

preservación de los microorganismos y de la acción de enzimas que provocaron cambios químicos que afectaron la calidad del material a lo largo del tiempo (Aware et al., 2022).

En tabla 1 se muestra que el contenido de cenizas totales (8,99%) fue alto (superior al 5%), lo cual fue representativo de la composición inorgánica de las hojas (Shakeel et al., 2022). El resultado de cenizas solubles en agua, como se muestra en la tabla 1, fue de 3,41%, lo que fue indicativo de la presencia de sales de metales alcalinos y alcalinotérreos. Los resultados de cenizas insolubles en HCl aportaron un valor de 0,91%. Al comparar estos resultados con los estudios realizados para otros órganos de la planta, se encontró que el mayor porcentaje de material inorgánico no se encontró en las hojas de la especie.

Tabla 1. Índices numéricos para las hojas de la especie *Tectona grandis*.

Índice	Resultados (%)
Humedad residual	6,7
Cenizas totales	8,99
Cenizas solubles en H ₂ O	3,41
Cenizas insolubles en HCl	0,91

Los polifenoles tienen una estructura química ideal para la actividad eliminadora de radicales libres (Guo et al., 2022). El contenido de fenoles totales en el extracto acuoso de hojas de *T. grandis* se calculó utilizando la curva de calibración de ácido gálico ($y = 0,0099x + 0,0262$, $R^2 = 0,9961$) y se expresó como mg EAG·gDE⁻¹ (miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de extracto seco). El contenido fenólico del extracto evaluado osciló entre 75 y 310 mg EAG·gDE⁻¹ (figura 3), el cual fue superior a los valores reportados para otras especies de la familia Lamiaceae (Bhaskara et al., 2015), confirmando los resultados obtenidos. En el cribado fitoquímico de la presencia de los principales grupos de compuestos polifenólicos, incluidos flavonoides y taninos (Mama et al., 2019). El contenido de polifenoles reportado en otras partes de *T. grandis* fue similar al del extracto acuoso de las hojas, lo que podría estar relacionado con la ruta biogenética utilizada por la especie para la formación de estos metabolitos.

Evaluación del potencial reductor del radical DPPH

Los resultados del ensayo se muestran en la tabla 2 y se expresaron como IC₅₀, que es la concentración eficaz para disminuir la concentración inicial de DPPH en un 50%. El extracto acuoso de hojas de *T. grandis* se consideró activo al presentar valores de IC₅₀ inferiores a 200 µg·mL⁻¹ y con actividad antioxidante

cundo se obtuvieron valores inferiores al parámetro establecido de $50 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ($\text{IC}_{50} = 40,35 \pm 0,66 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) (Sharma et al., 2014).

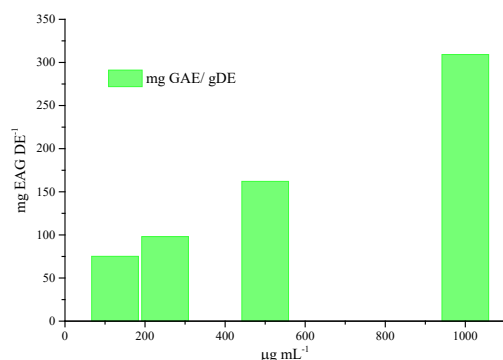


Figura 3. Contenido de fenoles totales en las hojas de la especie *Tectona grandis*.

Sin embargo, al comparar estos resultados con los obtenidos para el estándar de pirogalol (IC_{50} pirogalol, $28,60 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$), se observó que estos valores fueron superiores para la muestra evaluada. La curva de calibración para pirogalol ($y = 0,0126x - 0,11533$, $R^2 = 0,9996$), mostró un aumento lineal en la actividad depuradora al aumentar la concentración dada por la reacción de donación de electrones entre las moléculas antioxidantes y el radical DPPH•. Considerando que los bajos valores de IC_{50} obtenidos para el estándar fueron altamente representativos de una marcada actividad antioxidante (Guo et al., 2022) se puede deducir que la actividad antioxidante del extracto evaluado fue menor debido a este mecanismo de acción antioxidante (Gomathi et al., 2011) el cual se valoró como adecuado, si se considera que el pirogalol fue un compuesto puro, mientras que el extracto tuvo una composición variada de metabolitos, pero en concentraciones más bajas.

Tabla 2. Ensayo de DPPH• y evaluación por el sistema β -caroteno/ácido linoleico en las hojas de la especie *Tectona grandis*.

	DPPH• $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$	β caroteno/acidlinoleico ($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)
Ensayo1	40,16	18,27
Ensayo 2	40,63	22,05
Ensayo3	39,59	16,29
Media	40,35	18,87
SD	0,66	2,93

La actividad obtenida para el extracto por el sistema β -caroteno/ácido linoleico (tabla 2) mostró un valor de IC_{50} de $18,27 \pm 2,93 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ($< 50 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$), superior a la de la quercetina (IC_{50} , $2,40 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$). Para que los compuestos fenólicos sean considerados antioxidantes y ejerzan su acción biológica, es necesario que,

en bajas concentraciones, sean capaces de impedir, retrasar y prevenir la autooxidación u oxidación mediada por radicales libres (Ammar et al., 2014) y que el producto formado tras la reacción sea estable. Investigadores anteriores (Micera et al., 2020) aislaron flavonoides glicosilados y derivados de la quercetina, apigenina, kamferol y otros de esta planta, con alta actividad antioxidante.

Conclusión

El estudio de secado para las hojas de *T. grandis* mostró que las mejores condiciones de secado fueron 35°C con aire recirculado, durante 30 horas. Se determinaron índices numéricos que permitieron evaluar el control de la calidad de la materia prima empleada. El método de extracción asistida por ultrasonido resultó eficiente con un rendimiento de 20,95%. El contenido fenólico del extracto acuoso de hojas de *T. grandis* osciló entre 75 y 310 mg de EAG·gDE⁻¹. La evaluación del potencial reductor del radical DPPH mostró un IC_{50} de $40,35 \pm 0,66 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$. Mientras tanto, la evaluación de la actividad antioxidante por el sistema β -caroteno/ácido linoleico mostró un IC_{50} de $18,87 \pm 2,93 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$.

Los resultados obtenidos para el extracto acuoso obtenido de las hojas de *T. grandis* permiten conocer en alguna medida las potencialidades de uso que puede tener la especie, al mismo tiempo consiente nuevos retos en la investigación de esta planta. Se comprueba que el extracto evaluado posee actividad antioxidante, según los métodos utilizados, obteniendo resultados comparables con valores reportados para otras plantas medicinales en la literatura consultada.

Agradecimiento

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Loja (UNL) por el apoyo otorgado para la realización de esta investigación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

- Adeku, E., Osundahunsi, O. F., Malomo, S. A., Asasile, I. I., Owolabi, O. M. and Oyewole, G. (2022). Phytochemical constituents and assessment of crude extracts from *Boerhavia diffusa* L. and *Lonchocarpus sericeus* (Poir.) Kunth ex DC. leaves for antioxidant and antibacterial activities. *Meas Food*, 5, 100018. <https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2021.100018>
- Ammar, A.-F., Siddeeg, A. and Zhang, H. (2014) *In vitro* antioxidant activity and total phenolic and flavonoid contents of Alhydwani (*Boerhavia elegans* Choisy) seeds. *J. Food Nutr. Res.*, 2(5), 215-220. <https://doi.org/10.12691/jfnr-2-5-2>.
- Aware, C. B., Patil, D. N., Suryawanshi Suresh, S., Mali, P. R., Rane, M. R., Gurav, R. G. and Jadhav, J. P. (2022).

- Natural bioactive products as promising therapeutics: A review of natural product-based drug development. *South African J. Bot.*, 151, 512-528. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.05.028>
- Bhaskara Rao, K. V., Nidhi, H., Dipankar, D., Garima, D., Kumar, G. and Karthik, L. (2015). Phytochemical profile, *in vitro* antioxidant property and HPTLC analysis of methanol extract of *Bougainvillea glabra* (Nyctaginaceae). *Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res.*, 31(2), 235-241.
- Chintong, S., Phatvej, W., Rerk-Am, U., Waiprib, Y. and Klaypradit, W. (2019). *In vitro* antioxidant, antityrosinase, and cytotoxic activities of astaxanthin from shrimp waste. *Antioxidants*, 8(5), 128. <https://doi.org/10.3390/antiox8050128>
- de Vargas, F. S., Almeida, P. D. O., de Boleti, A. P. A., Pereira, M. M., de Souza, T. P., de Vasconcellos, M. C., Nunez, C. V., Pohlit, A. M. and Lima, E. S. (2016). Antioxidant activity and peroxidase inhibition of Amazonian plants extracts traditionally used as anti-inflammatory. *BMC Complement Altern. Med.* 16(1), 83. <https://doi.org/10.1186/s12906-016-1061-9>
- Gomathi, R., Anusuya, N., Chitravadivu, C. and, Manian, S. (2011). Antioxidant activity of lettuce tree (*Pisonia morindifolia* R.Br.) and tamarind tree (*Tamarindus indica* L.) and their efficacy in peanut oil stability. *Food Sci. Biotechnol.*, 20(6), 1669-1677. <https://doi.org/10.1007/s10068-011-0230-3>
- Gonçalves, S., Moreira, E., Grosso, C., Andrade, P. B., Valentão, P. and Romano, A. (2017). Phenolic profile, antioxidant activity and enzyme inhibitory activities of extracts from aromatic plants used in Mediterranean diet. *J. Food Sci. Technol.*, 54(1), 219-227. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2453-z>
- Gouveia-Figueira, S., Gouveia, C., Carvalho, M., Rodrigues, A., Nording, M. and Castilho, P. (2014). Antioxidant capacity, cytotoxicity and antimycobacterial activity of madeira archipelago endemic *Helichrysum* dietary and medicinal plants. *Antioxidants*, 3(4), 713-729. <https://doi.org/10.3390/antiox3040713>
- Govindan, P. and Muthukrishnan, S. (2013). Evaluation of total phenolic content and free radical scavenging activity of *Boerhavia erecta*. *J. Acute Med.*, 3(3), 103-109. <https://doi.org/10.1016/j.jacme.2013.06.003>
- Gu, C., Howell, K., Dunshea, F. R. and Suleria, H. A. R. (2019). LC-ESI-QTOF/MS characterization of phenolic acids and flavonoids in polyphenol-rich fruits and vegetables and their potential antioxidant activities. *Antioxidants*, 8(9), 405. <https://doi.org/10.3390/antiox8090405>
- Guo, X., Luo, Y., Chen, L., Zhang, B., Chen, Y. and Jia, D. (2022). Biomass antioxidant silica supported tea polyphenols with green and high-efficiency free radical capturing activity for rubber composites. *Compos. Sci. Technol.*, 220, 109290. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2022.109290>
- Haggag, M. I. and Elhaw, M. H. (2022). Phytochemical assay on leaves, bracts, and flowers of *Bougainvillea spectabilis* and isolation of phenolic materials from bracts. *Mater Today Proc.*, 60, 1530-1536. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.039>
- Krishna, M. S. and Nair, A. J. (2010). Antibacterial, cytotoxic and antioxidant potential of different extracts from leaf, bark and wood of *Tectona grandis*. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Drug Research*, 2(2), 155-158. <http://www.researchgate.net/publication/228503374>
- Lacret, R., Varela, R. M., Molinillo, J. M. G., Nogueiras, C. and Macías, F. A. (2012). Tectonoelins, new norlignans from a bioactive extract of *Tectona grandis*. *Phytochemistry Letters*, 5(2), 382-386. <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2012.03.008>
- Mama Sirou, A. I., Attakpa, S. E., Béhanzin Gbèssohélé, J., Amoussa, A. M., Lagnika, L., Guinnin, F., Akotègnon, R., Yédomonhan, H., Sezan, A., Baba-Moussa, F. and Baba-Moussa, L. (2018). Antioxidant and free radical scavenging activity of various extracts of *Boerhavia diffusa* Linn. (Nictaginaceae). *Pharm. Chem. J.*, 5(2), 62-71.
- Macías, F. A., Lacret, R., Varela, R. M., Nogueiras, C. and Molinillo, J. M. G. (2008). Bioactive apocarotenoids from *Tectona grandis*. *Phytochemistry*, 69(15), 2708-2715. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2008.08.018>
- Macías, F. A., Lacret, R., Varela, R. M., Nogueiras, C. and Molinillo, J. M. G. (2010). Isolation and phytotoxicity of terpenes from *Tectona grandis*. *Journal of Chemical Ecology*, 36(4), 396-404. <https://doi.org/10.1007/s10886-010-9769-3>
- Majumdar, M., Nayeem, N., Kamath, J. V. and Asad, M. (2007). Evaluation of *Tectona grandis* leaves for wound healing activity. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 20, 120-124. <http://europepmc.org/article/med/17416566>

- Micera, M., Botto, A., Geddo, F., Antonioti, S., Berte, C. M., Levi, R., Gallo, M. P. and Querio, G. (2020). Squalene: more than a step toward sterols. *Antioxidants*, 9(8), 688. <https://doi.org/10.3390/antiox9080688>
- Molole, G. J., Gure, A. and Abdissa, N. (2022). Determination of total phenolic content and antioxidant activity of *Commiphora mollis* (Oliv.) Engl. resin. *BMC Chem.*, 16(1), 48. <https://doi.org/10.1186/s13065-022-00841-x>
- Nayeem, N. and Karvekar, M. (2010). Isolation of phenolic compounds from the methanolic extract of *Tectona grandis*. *Research Journal of Pharmaceutical Biological and Chemical Sciences*, 1(2), 221-225. <http://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20103347397>
- Sharma, P., Bhardwaj, R., Yadav, A. and Sharma, R. A. (2014). Antioxidant properties of methanolic extracts of *Boerhavia diffusa*. *Res. J. Phytochem.*, 8, 119-126.
- USP38. (2015). Chemical Tests/<561> *Articles of Botanical Origin*. Rockville, M.D., United States: US Pharmacopeia.
- Vuolo, M. M., Lima, V. S. and Maróstica Junior, M. R. (2019). Chapter 2. Phenolic compounds: structure, classification, and antioxidant power. In: “*Bioactive compounds. Health benefits and potential applications*”. Campos, M. R. S. (Ed.). Woodhead Publishing, UK, pp. 33-50. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814774-0.00002-5>
- Xuan, Z. Iqbal, A., Li, J., Liu, C., Murtaza, A., Xu, X., Pan, S. and Hu, W. (2021). Changes in browning degree and reducibility of polyphenols during autoxidation and enzymatic oxidation. *Antioxidants*, 10(11), 1809. <https://doi.org/10.3390/antiox10111809>

Contribución de los autores

Autores	Contribución
Yamila Lazo-Pérez	Diseño de la investigación, análisis e interpretación de los datos, preparación y edición del manuscrito.
Arliet Morales-Moreno	Participó en la preparación de las muestras.
Nancy Narcisa Rodríguez-Almeida	Trabajo de laboratorio, revisión bibliográfica.





Tecnología IoT para el monitoreo de la salud animal en el sector ganadero

IoT technology for animal health monitoring in the livestock sector

Autores

- ✉ *Grace Katuska Viteri Guzmán
- ✉ Ignacio Hugo Monserrate Sánchez
- ✉ Alfredo Enrique Arrese Vilche

Universidad Tecnológica Empresarial de
Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.

*Autor de correspondencia.

Citación sugerida: Viteri Guzmán, G. K.,
Monserrate Sánchez, I. H. y Arrese Vilche, A.
E. (2024). Tecnología IoT para el monitoreo
de salud animal en el sector ganadero. *La
Técnica*, 14(1), 60-68. DOI: [https://doi.
org/10.33936/latecnica.v14i1.6234](https://doi.org/10.33936/latecnica.v14i1.6234)

Recibido: Noviembre 13, 2023
Aceptado: Marzo 29, 2024
Publicado: Abril 15, 2024

Resumen

El artículo destaca dos modelos de prototipos innovadores de collares de medición, equipados con sensores avanzados para prevenir y monitorear la salud animal, en el contexto de la Ganadería 4.0, a través de la Internet de las Cosas (IoT). Uno de los modelos utilizó la placa MKR-NB1500 con conectividad celular LTE-M, mientras que el otro empleó la placa ESP8266, con conectividad a través de su módulo WIFI. Ambos prototipos incorporaron sensores para controlar la temperatura corporal mediante el sensor DS18B20, la presión arterial con el MAX30102, la actividad del ganado con el MPU6050 y la geolocalización con el módulo GPS NEO-6M. El esquema integró a la plataforma Arduino Cloud para la recopilación de datos generados por los sensores. La metodología descriptiva se utilizó para realizar una revisión exhaustiva de artículos científicos y un análisis de la tecnología IoT adecuada para el control de cada aspecto del monitoreo. Se llevó a cabo una encuesta en Google Forms y entrevistas a veterinarios para identificar las variables de monitoreo prioritarias, como la temperatura corporal, geolocalización, actividad y pulso cardíaco. La muestra incluyó ganaderos representativos de las provincias de Manabí, Los Ríos y Guayas en la costa ecuatoriana. Con la participación de 12 ganaderos, el método proporcionó una comprensión profunda de las expectativas de los usuarios clave antes de la implementación del prototipo, brindando información valiosa para adaptar y mejorar el diseño del collar en el contexto de la Ganadería 4.0.

Palabras clave: ganadería 4.0; IoT; sensores avanzados; LTE-M; plataforma Cloud IoT; tecnología emergente.

Abstract

The article highlights two models of innovative prototypes of measuring collars equipped with advanced sensors to prevent and monitor animal health in the context of Livestock 4.0 through the Internet of Things (IoT). One of the models used the MKR-NB1500 board with LTE-M cellular connectivity, while the other used the ESP8266 board with connectivity through its WIFI module. Both prototypes incorporate sensors to monitor body temperature using the DS18B20 sensor, blood pressure with the MAX30102, livestock activity with the MPU6050 and geolocation with the NEO-6M GPS module. The scheme integrates the Arduino Cloud platform for the collection of data generated by the sensors. The descriptive methodology is used to conduct a comprehensive review of scientific articles and an analysis of the IoT technology suitable for the control of each aspect of monitoring. A survey is carried out in Google Forms and interviews with veterinarians to identify priority monitoring variables, such as body temperature, geolocation, activity and heart rate. The sample includes representative ranchers from the provinces of Manabí, Los Ríos and Guayas on the Ecuadorian coast. With the participation of 12 livestock farmers, the method provides a deep understanding of the expectations of key users before the implementation of the prototype, providing valuable information to adapt and improve the collar design in the context of Livestock 4.0.

Keywords: livestock 4.0; IoT; advanced sensors; LTE-M; Cloud IoT platform; emerging technology.



Introducción

La ganadería desempeña un papel fundamental en la industria agropecuaria. Esta actividad no solo provee alimentos de origen animal, como carne, leche y huevos, sino que también son fuentes de materias primas para la industria textil, farmacéutica y cosmética. Además, la ganadería contribuye significativamente a la economía global, generando empleo, ingresos y divisas en muchos países. Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2023), en Ecuador, en el año 2022 el sector del ganado vacuno predominó con un total de 3,9 millones de cabezas a nivel nacional, seguido del ganado porcino; y la producción diaria de leche a nivel nacional fue de 5,5 millones de litros, con un rendimiento de 6,8 litros·vaca⁻¹.

Por lo tanto, la ganadería, como columna vertebral de la producción de alimentos y recursos, se enfrenta a desafíos cada vez más complejos en la era moderna. Uno de los problemas fundamentales que obstaculiza la eficiencia y el bienestar en la cría de animales es la detección tardía de problemas de salud. La incapacidad para identificar rápidamente indicadores de enfermedades o malestar en el ganado no solo afecta la producción, sino que también compromete la salud de los animales, resultando en consecuencias económicas. La gestión ganadera tradicional se ve limitada por la dependencia de signos visibles de enfermedades, lo que conduce a intervenciones reactivas y a menudo tardías.

La falta de herramientas efectivas para monitorear continuamente la salud animal se agudiza en el contexto de la Ganadería 4.0, donde la automatización y la digitalización son esenciales para alcanzar niveles óptimos de eficiencia. La brecha actual entre las tecnologías emergentes y su implementación práctica en la gestión diaria de rebaños resalta la necesidad urgente de soluciones innovadoras que aborden directamente esta problemática.

Además de los desafíos relacionados con la salud animal, la industria ganadera se enfrenta a una amenaza persistente en muchas regiones: el abigeato. El robo de ganado no solo impacta directamente en las pérdidas económicas para los ganaderos, sino que también crea un entorno de inseguridad en la producción ganadera. Esta problemática se agrava por la falta de herramientas efectivas para rastrear y monitorear el movimiento del ganado de manera continua.

Es pertinente mencionar al Internet de las Cosas o IoT (Internet of Things) como solución a los temas presentados en el sector ganadero, debido a la alta aplicabilidad que ofrece esta tecnología en diversos sectores de la industria, la misma que se refiere a la conexión de objetos tecnológicos o que sean electrónicos a Internet, este concepto se deriva del avance de la tecnología y a

la necesidad de compartir y controlar las cosas que los rodean (Li et al., 2015). Sin duda, los avances en la tecnología de Internet de las Cosas (IoT) han brindado hoy en día una oportunidad única para abordar muchos desafíos. A partir de esto se puede mencionar a la Ganadería 4.0, que según el Centro de la Industria Láctea del Ecuador (CIL Ecuador, 2023), se refiere no solo a la automatización de los procesos de producción, sino que incluye máquinas industriales, electricidad, computación y robótica. Todas juntas contribuyen a una mayor eficiencia dentro de la ganadería usando herramientas como drones, sensores, chips entre otros dispositivos de la familia de IoT.

La tecnología del Internet de las Cosas (IoT) ofrece grandes ventajas en el ámbito ganadero, especialmente en países líderes de esta industria, donde se está experimentando un rápido desarrollo. Diversas investigaciones científicas destacan el uso de tecnologías innovadoras en distintos aspectos de la ganadería. Estas incluyen avances en localización y seguimiento del ganado, detección automática de enfermedades, gestión nutricional avanzada y la implementación de sistemas de ordeño robotizado. Este progreso en la aplicación de tecnologías IoT está contribuyendo significativamente a la modernización y eficiencia en el sector ganadero.

En esta investigación se resalta el surgimiento de la Ganadería 4.0 como un cambio paradigmático. La integración de tecnologías emergentes, en particular el Internet de las Cosas (IoT), ha inaugurado una era, donde el monitoreo continuo y en tiempo real de la salud del ganado, no solo es posible, sino imperativo. Aun ante el reconocimiento creciente de los beneficios potenciales asociados con la Ganadería 4.0, la implementación práctica de estas tecnologías en la gestión diaria del ganado sigue siendo un desafío. Por lo tanto, se exponen investigaciones previas que han establecido las bases teóricas, discutiendo los fundamentos teóricos de la IoT en la agricultura y el monitoreo animal.

Sin embargo, la traducción de estas teorías en soluciones prácticas, especialmente en el contexto de la detección temprana y prevención de problemas de salud, representa una brecha notable que esta investigación busca abordar. Para ello, en este artículo se identifican, con la colaboración de ganaderos y profesionales de la salud animal, las variables clave para el monitoreo y bienestar de los bovinos. Este proceso inicial permite determinar la tecnología IoT apropiada para diseñar un modelo tecnológico capaz de recopilar datos de estas variables y visualizarlos en tiempo real a través de una plataforma, lo que facilita la detección eficiente de anomalías en el ganado.

Arquitectura de Internet de las Cosas (IoT)

Martin (2019) indicó en su investigación que el Internet de las Cosas (IoT) constituye una red que conecta numerosos dispositivos, pero surge la pregunta de cómo se supervisan y administran estos dispositivos, así como el manejo de los datos que generan. Los dispositivos y objetos se vinculan a una plataforma específica de IoT, la cual recopila y procesa datos provenientes de sensores. Posteriormente, aplica herramientas de análisis y estadísticas para presentar información relevante. Estas plataformas están diseñadas para filtrar la información y seleccionar datos útiles según un patrón predefinido. Por ejemplo, en el caso de medir la contaminación en un lago, si todas las mediciones se encuentran dentro de un rango lógico, un valor extremadamente alto podría considerarse una lectura incorrecta del sensor. Considerar ese valor como preciso podría generar errores en las estadísticas. A estas plataformas se las conoce como centro de datos y se ubican en la nube, donde reciben y procesan datos. El origen de estos datos proviene del Edge.

El Edge es el lugar donde ocurren las actividades físicas e incluye todos los dispositivos que constantemente recopilan y envían datos. Estos dispositivos necesitan un destino para enviar los datos y ser recopilados. Inicialmente, la nube servía como este destino, pero debido al rápido aumento en el número de dispositivos conectados, ha surgido un espacio intermedio llamado niebla, conocido por su término en inglés, Fog.

Al principio, los centros de datos en el Edge se parecían a versiones en pequeña escala de los centros de datos de proveedores de servicios en la nube. A medida que aumenta el número de dispositivos, estos centros se alejan de los modelos tradicionales y se vuelven más abstractos: pasan de centralizados a distribuidos, de homogéneos a heterogéneos, de tener un solo dueño a innumerables propietarios. Los servidores descentralizados que actúan como intermediarios entre la nube y el Edge se conocen como Fog, que es un lugar donde los datos de un conjunto “pequeño” de sensores se preprocesan y preparan para su envío a la nube, donde se centralizan. Actúa como un “intermediario” entre el Edge y la Nube.

Siguiendo la arquitectura del Internet de las Cosas, es necesario en esta investigación definir a los dispositivos que estarán en la sección del “Edge”, para la cual se conceptualiza a los sensores de IoT. Tokio School (2022) los definió como chips electrónicos que tienen integrado un circuito compatible con los estándares de comunicación habituales en el mundo de IoT y que permiten extraer datos y tener información del mundo real a partir de lo físico. En otras palabras, son los “detectives” electrónicos que recolectan pistas sobre lo que está sucediendo en el mundo real y las comparten con el sistema IoT.

Tokio School (2022) indicó que los sensores son capaces de convertir una medida de entrada como la humedad, temperatura, presión, entre otros; en una señal medible e interpretada por dispositivos electrónicos. Después de esta conversión y transmisión de información, los datos recopilados pueden ser

almacenados en bases de datos para ser procesados y analizados. Los sensores son como traductores especializados en el lenguaje del entorno físico, por ejemplo, consideran variables como la humedad, temperatura o presión y las convierten en un código que los dispositivos electrónicos pueden entender. Después, transmiten ese código a través de la red para que los dispositivos y sistemas electrónicos lo puedan “leer”. Una vez que estos datos se reciben, se guardan en bases de datos para que se puedan estudiar y analizar más a fondo. Es como si los sensores fueron los intérpretes que permitieron que los dispositivos electrónicos comprendieran lo que estaba sucediendo en el mundo real.

PowerBank: es una batería externa o cargador portátil, que almacena energía eléctrica y se utiliza para cargar otros dispositivos electrónicos, como teléfonos móviles, relojes inteligentes y otros dispositivos que se cargan mediante un cable USB, muy necesario a considerar para el sistema de monitoreo de la salud de los bovinos.

Protoboard: Jiménez y González (2001), quienes citan a Blauvelt, indicaron que la protoboard consiste en un tablero con orificios que se encuentran conectados eléctricamente entre sí. Los orificios permiten el montaje de componentes electrónicos y cables para interconectarlos. La placa está hecha de un material aislante y un material conductor. Dicho de otra manera, es una herramienta utilizada en electrónica para realizar prototipos y experimentos con componentes electrónicos.

Conectividad: según lo mencionado por Pérez (2019), las redes en IoT por lo general son inalámbricas debido a la conveniencia de su despliegue, y las tecnologías usadas son 3G, 4G, Bluetooth y ZigBee. Las tecnologías inalámbricas se refieren a sistemas y dispositivos de comunicación que transmiten datos sin la necesidad de cables físicos. Estos sistemas utilizan ondas electromagnéticas, como radiofrecuencias o microondas, para la transmisión de información entre dispositivos. Las tecnologías inalámbricas son fundamentales en diversas aplicaciones, incluyendo comunicaciones móviles, redes Wi-Fi, Bluetooth, RFID, y tecnologías emergentes como 5G, permitiendo la conectividad sin restricciones geográficas y facilitando la movilidad y la interconexión de dispositivos en entornos diversos.

En el caso de la conectividad a la nube, se ha considerado mencionar a dos formas de comunicación, el uso de la tecnología LTE-M (Long-Term Evolution for Machines) la cual ofrece una conectividad confiable, eficiencia energética y seguridad de datos, lo que lo convierte en una tecnología poderosa para mejorar la productividad y sostenibilidad en las fincas ganaderas ecuatorianas. Hernández et al. (2022) indicaron que LTE-M, también llamada LTE-MTC y LTE Cat M, es una tecnología LPWAN de baja potencia que facilita la reutilización de infraestructuras LTE existentes, ofreciendo una cobertura ampliada. Desarrollada por 3GPP, LTE-M permite dispositivos y servicios diseñados para IoT. Otra alternativa es usar como medio de conectividad WIFI, por lo que, para brindar conexión con la plataforma IoT se debe adquirir un router LTE que “está basado en el protocolo IP, soportando tanto IPv4 e IPv6” (Radicelli-García et al., 2018).

Estos dos tipos de conectividad, se diferencian en que LTE (Long Term Evolution) es una tecnología de comunicaciones móviles de banda ancha de alta velocidad que proporciona acceso a internet móvil de alta velocidad para dispositivos como teléfonos inteligentes y tabletas. En cambio, LTE-M es una variante de LTE diseñada específicamente para dispositivos de IoT, que ofrece una conectividad más eficiente y de menor consumo de energía que LTE tradicional, lo que lo hace ideal para dispositivos IoT que requieren una larga duración de la batería y que pueden estar ubicados en áreas remotas.

Las plataformas de Internet de las Cosas (IoT) son entornos de software que facilitan el desarrollo, despliegue y gestión de aplicaciones y dispositivos IoT. Estas plataformas proporcionan una serie de herramientas y servicios que permiten la conectividad, recopilación de datos, análisis, seguridad y control remoto de dispositivos conectados a la red. Quintanilla y Cartagena (2019) indicaron que una plataforma IoT es la base para que dispositivos estén interconectados y se genere un ecosistema propio. Dicho de otra forma y según Link-labs, una plataforma web integrada al Internet of Things (IoT) es el software que conecta hardware, puntos de acceso y redes de datos a lo que generalmente suele ser la aplicación de la que disfruta el usuario.

Las plataformas de IoT deben tener las siguientes características para ser consideradas para un proyecto de esta naturaleza, como las que mencionaron Quintanilla y Cartagena (2019; p 8):

1. Conectividad y normalización: con diferentes protocolos y diferentes formatos de datos en una interfaz de “software”, garantiza la precisa transmisión de datos y la interacción con todos los dispositivos.
2. La gestión de dispositivos: asegura que todas las “cosas” conectadas están funcionando correctamente.
3. Base de datos: almacenamiento escalable de datos del dispositivo basados en la nube a un nuevo nivel en términos de volumen de datos, variedad, velocidad y veracidad.
4. Procesamiento y gestión de la acción: aporta datos basados en reglas de acción de evento-disparadores que permitan la ejecución de las acciones “inteligentes” basados en datos específicos del sensor.
5. Analítica: lleva a cabo una serie de análisis complejos de la agrupación de datos básicos y de aprendizaje automático.
6. Visualización: permite a los seres humanos observar las tendencias de cuadros de mando de visualización de datos, donde se retrata vívidamente a través de gráficos.

7. Herramientas adicionales: la IoT permite a los desarrolladores de prototipos, probar y comercializar para visualizar, gestionar y controlar los dispositivos conectados.

8. Interfaces externas: se integran con los sistemas de 3ª parte y el resto del ancho de TI en los ecosistemas a través de una función de interfaces de programación de aplicaciones (API), kits de desarrollo de software (SDK), y puertas de enlace.

Con fundamento en lo expuesto, se planteó diseñar un modelo de sistema basado en IoT que permitió monitorear la salud y bienestar del ganado vacuno.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló mediante la metodología descriptiva, que se empleó para realizar una revisión exhaustiva de artículos científicos y un análisis de la tecnología IoT adecuada para el control de cada monitoreo (Guevara et al., 2020; p. 171). Se llevó a cabo una encuesta en Google Forms que se centró en identificar las variables de monitoreo prioritarias según la perspectiva de los participantes, tales como la temperatura corporal, la geolocalización, la actividad o movimiento, y el pulso cardíaco, complementados con entrevista a un veterinario.

Este enfoque mixto y la observación directa, permitió recopilar datos detallados sobre las preferencias y necesidades específicas de los ganaderos en relación con la tecnología del collar inteligente. La muestra consistió en ganaderos representativos de la población objetivo, y la recopilación de datos se realizó a través de la encuesta estructurada.

La unidad de análisis correspondió a ganaderos de diferentes localidades de la costa ecuatoriana, en las provincias de Manabí, Los Ríos y Guayas. La muestra estuvo representada por 12 ganaderos. Para la cuantificación se aplicaron técnicas estadísticas para medir las respuestas por parte de los encuestados desde el software PSPP.

Este método proporcionó una comprensión profunda de las expectativas de los usuarios clave antes de la implementación del prototipo, proporcionando información valiosa para la adaptación y mejora del diseño del collar en el contexto de la Ganadería 4.0.

Existen algunas herramientas con mayor utilidad en el ámbito de IoT que facilitan su gestión, la recopilación de datos y el control remoto de dispositivos conectados. Cada una tiene sus propias características y enfoques específicos, en la tabla 1 se describen algunas de ellas.

Tabla 1. Plataformas IoT más utilizadas.

Plataforma	Descripción	Enlace
Arduino Cloud	Plataforma en línea de Arduino que facilita la conexión y gestión remota de proyectos basados en Arduino. Permite la recopilación y visualización de datos, así como el control remoto de dispositivos IoT.	https://create.arduino.cc/cloud
Google Cloud IoT	Ofrece una solución integral para las necesidades de IoT, desde la conexión y gestión de dispositivos hasta el procesamiento y análisis de datos, respaldado por la infraestructura y la experiencia de Google Cloud.	https://cloud.google.com/iot
Blynk	Plataforma IoT que proporciona una interfaz fácil de usar para la creación de aplicaciones para dispositivos Arduino, Raspberry Pi y otros. Permite la visualización de datos, control remoto de dispositivos y la creación de interfaces personalizadas a través de una aplicación móvil.	https://blynk.io/
AWS IoT	Servicio de Amazon Web Services que facilita la conexión y administración de dispositivos IoT. Ofrece funciones como la recopilación de datos, análisis y seguridad para proyectos de IoT a escala.	https://aws.amazon.com/iot-core/
IBM Watson IoT	Plataforma de Internet de las Cosas de IBM que proporciona servicios para la conectividad de dispositivos, la recopilación y análisis de datos IoT.	https://www.ibm.com/products/maximo/remote-monitoring
Microsoft Azure IoT	Servicio de Microsoft Azure diseñado para la creación, implementación y administración de soluciones IoT. Proporciona funciones para la recopilación de datos y el análisis en tiempo real.	https://azure.microsoft.com/en-us/services/iot-hub/

Resultados y discusión

Una vez efectuado el levantamiento de la información mediante las visitas *in situ*, entrevistas y encuestas, se presentan los resultados obtenidos. La entrevista permitió conocer datos para el monitoreo de temperatura y pulso cardíaco, y los síntomas más usuales de enfermedad que presentan los bovinos, la frecuencia con la que los dueños de ganado vacuno realizan chequeos a sus animales y, sobre el nivel de aceptación del collar de medición por parte del bovino, tal como lo detalla la tabla 2.

Tabla 2. Respuestas de las entrevistas realizadas a los veterinarios.

Criterio	Resumen de respuesta
Síntomas de malestar más usuales que sufre el ganado vacuno.	Inapetencia, fiebre y decaimiento (poca actividad física).
Rangos normales de temperatura corporal (°C) en el ganado vacuno.	Vaca adulta: 37,7 °C mínima/38,5 °C media/39,0 °C máxima. Ternera: 38,5 °C mínima/39,0 °C media/39,5 °C máxima.
Rangos normales de presión arterial (lpm) en el ganado.	Vaca adulta: 40 mínima/60 media/80 máxima. Ternera: 80 mínima/95 media/110 máxima.
Opinión sobre si los bovinos aceptarían un collar de medición.	Las vacas lecheras son más dóciles que las vacas de carne y serían ellas las que aceptarían sin inconvenientes.
Frecuencia de visitas para chequeo médico al ganado vacuno.	Ocasionalmente cada mes.

En la tabla 3 se presentan los resultados de la encuesta de aquellos criterios que permitieron identificar la importancia que tiene para el ganadero la salud y bienestar de sus bovinos, las variables a monitorear y el nivel de aceptación que tendría la implementación de un sistema de monitoreo del ganado con tecnología IoT en el sector ganadero.

Tabla 3. Respuestas de las encuestas realizadas a los ganaderos.

Criterio	Análisis
Importancia del bienestar y salud del ganado.	El ganadero considera muy importante el bienestar y la salud del ganado, porque el 92% de los encuestados se expresaron positivamente.
Forma de monitoreo de salud en los animales.	El 50% de los ganaderos monitorean la salud de su ganado mediante revisiones periódicas con el veterinario, mientras que el 25% lo hace por observación visual, y el otro 25% por pruebas específicas de laboratorio y eventualmente con veterinarios.
Aceptación de un sistema de medición con tecnología conectada a internet.	El 33% de los ganaderos indicaron que sería muy favorable el uso de esta tecnología en su ganado para monitorear la salud y bienestar del animal, mientras que el 67% indicaron que sería favorable.
Variables importantes a monitorear.	Para los ganaderos es muy importante medir la temperatura corporal con 67% de votos, seguido de otro aspecto como la geolocalización con un 58% de votos, la actividad o movimiento y el ritmo cardíaco del ganado también lo consideraron importante medir con un 50% de votos, y con respecto a la rumia el 41% lo consideraron importante medir, mientras que el 8% indicaron que también sería importante considerar medir el peso y consumo de alimentos.



Tabla 3. Respuestas de las encuestas realizadas a los ganaderos.

Criterio	Análisis
Ventajas de implementar un sistema de monitoreo tecnológico con acceso a internet.	El 50% de los ganaderos indicaron que el implementar un sistema les daría la ventaja de tener mayor eficiencia en la alimentación y cuidado del ganado, el 42% indicaron que mejoraría la detección temprana de enfermedades, y el 8% les beneficiaría controlar el asunto del abigeato.
Competitividad en el mercado.	El 50% indicó que el uso de un sistema tecnológico de medición en sus granjas, en cierta medida les permitirá ser más competitivos en el mercado, y el 42% consideró que en gran medida les permitirá ser más competitivos, mientras que el 8% estuvo en dudas.

La figura 1, presenta las cuatro variables que se consideraron para el proceso de monitoreo y recolección de datos, estas fueron seleccionadas tomando en cuenta aquellos criterios con 50% o más, por la que los ganaderos votaron: temperatura corporal 67%, geolocalización 58%, actividad o movimiento 50% y pulso cardíaco 50%. Estos controles dieron paso a determinar los dispositivos IoT para el modelo del sistema de monitoreo de salud y bienestar animal.

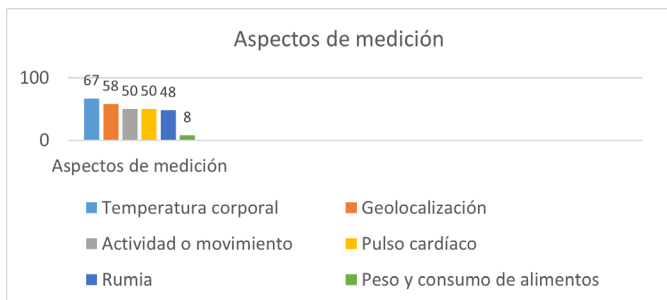


Figura 1. Variables de monitoreo.

Las variables de monitoreo que tuvieron prioridad por los encuestados fueron factores que influyeron en el bienestar del ganado vacuno. Como fue el caso de la exposición prolongada a condiciones climáticas extremas, como altas temperaturas ambientales, las cuales pueden causar estrés calórico y fiebre en el ganado y afectar el bienestar y producción ganadera. Sharma y Koundal (2018) mencionan que la exposición a altas temperaturas solares activa mecanismos termorreguladores en el ganado, pudiendo reducir el metabolismo, la ingesta y la productividad.

La fiebre en bovinos puede deberse a diversas causas, desde infecciones hasta la ingestión de sustancias tóxicas, siendo crucial

identificar la causa para un tratamiento adecuado y prevenir la propagación de enfermedades en el rebaño. Para esto, el sensor DS18B20 permitió medir la temperatura, y una de las ventajas que presentó fue la precisión, y su alto nivel de compatibilidad con las placas MKR-NB1500 y ESP8266.

Para Medina y López (2021), DS18B20 es un sensor para la medición de la temperatura corporal, el cual proporciona lecturas de 9 a 12 bits, y cuenta con tres pines los cuales son Vdd, GND y DATA. Dentro de esta familia de sensores se puede destacar la resistencia al agua y polvo. Según el trabajo realizado por Scozzina et al. (2023), el sensor DS18B20 fue elegido porque operó correctamente en el rango de temperatura necesaria y también evaluaron la compatibilidad con la placa que realizaron para el desarrollo del prototipo.

El movimiento del bovino es otra variable monitoreada con prioridad para los ganaderos con el fin de conocer sobre el bienestar o salud del ganado vacuno. Un bovino según, Guzmán (2021) cuando permanece acostado la mayor parte del día o que no está rumiando de 8 a 9 horas diarias puede, con alta probabilidad, estar siendo aquejado por una molestia, enfermedad o herida. La inmovilidad del ganado puede deberse a diversas razones como espacio limitado, enfermedades, lesiones, factores ambientales estresantes y problemas reproductivos. Una observación atenta del comportamiento permite abordar estas causas, asegurando el bienestar óptimo de los animales.

Por lo tanto, el sensor MPU6050 es el dispositivo ideal que combina un acelerómetro y un giroscopio, lo que le permite medir tanto la aceleración lineal como la velocidad angular en tres ejes, tal como lo indicó Muñoz (2021) que este sensor es una unidad de medición inercial, que combina un giroscopio de tres ejes X, Y, Z, que mide la aceleración dinámica, inclinación o vibración. Su uso ayuda a registrar movimientos inusuales o comportamientos anómalos del ganado. Por ejemplo, podría detectar señales de cojera o movimientos bruscos que podrían indicar problemas de salud, identificar la época de celo de las vacas, entre otros. Para Rojas (2019) la comunicación puede realizarse tanto por SPI como por bus I2C, por lo que es sencillo obtener los datos medidos.

En cuanto a la variable de la geolocalización del ganado vacuno es crucial para los ganaderos por algunas razones, ya que proporciona información valiosa sobre la ubicación de sus animales. La geolocalización en el ganado tiene múltiples utilidades, como prevenir robos al rastrear la ubicación, facilitar la gestión del pastoreo al supervisar la ubicación del ganado y prevenir conflictos dentro del hato. Esta herramienta es esencial para mejorar la gestión, bienestar y seguridad animal, además de contribuir a la eficiencia operativa y el cumplimiento de regulaciones en la industria ganadera.

El sensor que tiene esta funcionalidad es el GPS NEO-6M, porque brinda una ubicación geoespacial de alta precisión, y coincidió con lo que indicaron Ponce et al. (2018), que es un módulo que permite la obtención de la información de geolocalización y que cuenta con una antena de cerámica conectada a un receptor GPS Ublox NEO-6M, el cual recibe las señales enviadas por los Sistemas Globales de Navegación por Satélite GNSS.

Por otra parte, Loja y Naula (2022) sugirieron el uso del sensor por el uso del protocolo NMEA que contiene la cadena de datos \$GPRMC con tramas como la hora, longitud, orientación y fecha.

El monitoreo del ritmo cardíaco en el ganado vacuno también es una práctica valiosa en la gestión de la salud y el bienestar de los animales. La medición precisa de la frecuencia cardíaca proporciona información crucial sobre la salud cardiovascular de los bovinos, permitiendo detectar posibles problemas médicos o condiciones de estrés. El pulso cardíaco en el ganado varía según la edad, la actividad y el estado fisiológico, y su seguimiento constante puede ayudar a identificar signos tempranos de enfermedades o condiciones adversas. El dispositivo MAX30102, es el sensor que permite identificar los cambios en la frecuencia cardíaca y la saturación de oxígeno en la sangre, estos pueden indicar estrés o malestar en los animales.

Vélez (2020) igualmente menciona que es un módulo integrado destinado a medir ritmo cardíaco, incluye dos LEDs, un fotodetector, elementos ópticos y electrónica de bajo ruido con eliminación de la luz ambiental. Según el estudio de Wang et al. (2021), en el cual usaron este sensor porque puede obtener una lectura de frecuencia cardíaca de 20 a 200 y un 50 al 100% de lectura de saturación de oxígeno en sangre. La fuente de alimentación era de 3,3 a 5 v.

Por lo tanto, se propone el diseño de dos modelos de un sistema basado en IoT que monitoree la salud y el bienestar del ganado vacuno, como el control de la temperatura corporal usando el sensor DS18B20, la presión arterial con el MAX30102, el movimiento o actividad del bovino con el MPU6050 y la geolocalización con el módulo GPS NEO-6M. Para esto, se han elegido dos placas que interactuaron correctamente con los sensores descritos: la placa MKR-NB1500 y la ESP8266. Ambos productos usados en proyectos de IoT.

La placa MKR-NB1500 es una placa de desarrollo de Arduino, diseñada para aplicaciones del Internet de las Cosas (IoT) que requieren conectividad celular LTE-M. Además posee eficiencia energética, capacidad de integración de sensores y programación flexible. En Arduino (2023) se señaló que esta placa “puede comunicarse a través de las redes NB-IoT y LTE-M, y es excelente de usar para proyectos de baja potencia en áreas remotas”. Al usar esta placa, se permite una conexión directa de cada bovino, proporcionando total independencia de otros dispositivos de conexión de redes. Para asegurar su uso, se debe verificar la cobertura en la finca. En cambio, la placa ESP8266 tiene como medio de conectividad su módulo WIFI, por lo que, para brindar conexión con la nube Arduino, se necesitaría un router LTE.

Según TECmikro.com (2023), ESP8266 es una placa de desarrollo basada en el microcontrolador ESP8266, con capacidad de conectarse por WIFI, que permite crear aplicaciones de forma fácil y rápida, y se ha popularizado por su bajo costo y versatilidad. El módulo integra además una interfaz USB-serial y un regulador de voltaje de 3.3V, lo que facilita su conexión y programación.

El diseño del primer modelo utiliza la placa ESP8266, la cual estaría interconectada con el router 4G LTE (figura 2). El segundo modelo utilizó la placa MKR-NB1500 que manejó el chip con tecnología IoT LTE-M, como lo muestra la figura 3. La plataforma de IoT elegida fue Arduino Cloud porque los componentes electrónicos que se han seleccionado son compatibles con esta plataforma.

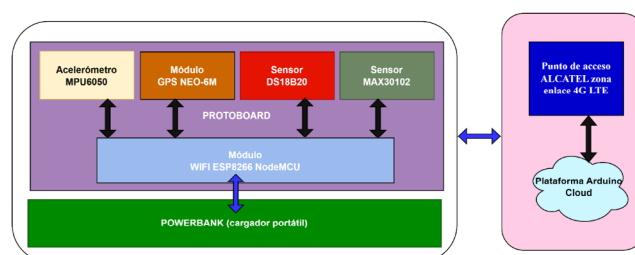


Figura 2. Modelo del sistema de monitoreo con placa ESP8266.

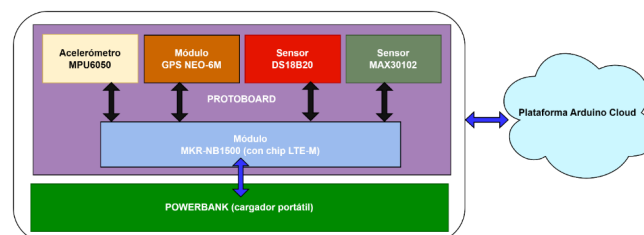


Figura 3. Modelo del sistema de monitoreo con placa MKR-NB1500.

Si bien es cierto que, los modelos propuestos incluyen monitorear las cuatro variables ya descritas para mantener el bienestar de los bovinos, existen investigaciones de desarrollos tecnológicos con menos funcionalidades de medición, como el que citan Aranda et al. (2021), que mediante el Internet de las Cosas (IoT) se emplean redes eficientes en consumo y alcance extendido para la supervisión animal. Un nodo específico recopila detalles sobre la ubicación y estado biológico del ganado. La solución integra LoRa y MQTT para gestionar eficazmente el almacenamiento y la transmisión de la información.

El estudio de Toledo (2022), en cambio, hace mención a un prototipo unifuncional que emplea GPS mediante una placa Arduino y un módulo SIM808 para rastrear en tiempo real la ubicación del ganado vacuno. Las coordenadas recibidas se transmiten a una plataforma web de IoT para visualización de los datos.

En esta investigación se pretendió monitorear la actividad del ganado, por ejemplo, si se alimentó o no, mediante los movimientos del cuello del bovino. En cambio, en otra investigación, para controlar si estaban alimentándose, se diseñó un sistema basado en IoT para diagnosticar la acidosis ruminal en bovinos y monitorear parámetros nutricionales. Se midieron los valores de pH y temperatura del rumen con un microcontrolador IoT, registrando datos en un servidor. Tras pruebas en laboratorio y en rumiantes, el dispositivo permitió la detección temprana de la acidosis, facilitando intervenciones reguladoras oportunas. El material del circuito demostró durabilidad al retirarlo del rumen. (Gündüz y Başçiftçi, 2022).

En fin, esta investigación destacó la importancia de monitorear múltiples factores para garantizar el bienestar del ganado vacuno, desde la exposición a condiciones climáticas extremas hasta el control de la geolocalización, actividad y el ritmo cardíaco. La comparación con otros desarrollos muestra la amplitud y eficacia de la propuesta, abarcando diversas funcionalidades para un monitoreo integral del ganado, diferenciándose de enfoques más limitados en la medición.

Conclusión

La implementación de un sistema tecnológico de monitoreo de salud y bienestar del ganado vacuno en el sector ganadero, sin lugar a dudas, permite tener más control sobre los bovinos, porque se previenen pérdidas por enfermedad o por abigeato. La industria ganadera, al adoptar un sistema tecnológico, tendrá en gran medida una ventaja competitiva en el mercado nacional e internacional.

Para este efecto, en este estudio, se identifican las variables para el monitoreo de salud y bienestar de los bovinos, que son establecidas por el veterinario y por los ganaderos que indican por medio de entrevistas y encuestas se dé prioridad en el chequeo a: la temperatura corporal, geolocalización, actividad física o movimiento y ritmo cardíaco como los controles con más prioridad.

Se ha realizado un análisis de las tecnologías de IoT disponibles en el mercado para su aplicación en sistemas de monitoreo ganadero. Este análisis ha abarcado aspectos como: la precisión de los sensores, la capacidad de conectividad inalámbrica y la integración con plataformas de gestión de datos. Este proceso ha permitido identificar la tecnología IoT más adecuada para mejorar el monitoreo y la gestión del ganado, sentando así las bases para futuras implementaciones tecnológicas en el sector ganadero.

Por lo tanto, se proponen dos modelos tecnológicos de IoT como solución al problema que enfrentan los ganaderos para cubrir las

cuatro variables de monitoreo. Se considera que el modelo con la placa MKR NB-1500 sería el adecuado porque cubre hasta los lugares en la cual no tienen muchas veces internet. Los dos modelos incluyen el uso de los sensores DS18B20, MAX30102, GPS NEO-6M, y el acelerómetro MPU6050. Estos dispositivos estarían conectados a la plataforma Arduino Cloud que recopila datos del monitoreo con el fin de visualizar las anomalías.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

- Aranda, M., Beltramini, P., Cano, J., Virragrán, L., Moreno, J., Gallina, S. y Herrera Conegliano, O. A. (2021). IoT aplicado a la ganadería extensiva. *Revista Argentina de Ingeniería*, 9(17), 106-113. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/10086>
- Arduino. (2023). *Documentación de Arduino*. <https://docs.arduino.cc/hardware/mkr-nb-1500/#compatibility>
- Centro de la Industria Láctea del Ecuador (CIL). (2023). *Ganadería 4.0: tendencia revolucionaria para el sector lácteo*. <https://www.cil-ecuador.org/post/ganader%C3%ADa-4-0-tendencia-revolucionaria-para-el-sector-l%C3%A1cteo>
- Guevara, G., Verdesoto, A., y Castro, N. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *Recimundo*, 4(3), 163-173. 10.26820/recimundo/4.(3).julio. 2020. 163-173
- Gündüz, K. A. y Başçiftçi, F. (2022). Monitoreo del pH basado en IoT para la detección de acidosis ruminal. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 74, 457-472.
- Guzmán Chaves, G. E. (2021). *Sistema basado en Internet de las Cosas para el monitoreo de ganado vacuno usando una red LoRAWAN*. Tesis de pregrado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. <http://hdl.handle.net/10554/61871>
- Hernández, S. A. C., Rico-Martínez, M., Jiménez-Agudelo, Y., Vesga, L. F. A. y López, J. L. C. (2022). *Métodos de evaluación y medición de redes móviles emergentes: Aplicación NB-IoT para transportar datos de calidad del aire*. En la Nueva Era, 341.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2023). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC 2022*. <https://aplicaciones3.ecuadorencifras.gob.ec/BIINEC-war/index.xhtml>

- Jiménez Rodríguez, W. C. and González Contreras, E. S. (2001). *Protoboard configurable por software, denominada "SOFTBOARD"*. <http://hdl.handle.net/11349/29055>
- Li, S., Xu, L.D. & Zhao, S. The internet of things: a survey. *Inf. Syst. Front.*, 17, 243-259 (2015). <https://doi.org/10.1007/s10796-014-9492-7>
- Loja Aguilar, A. F. y Naula Cedacero, E. M. (2022). *Diseño de un sistema de monitoreo de posicionamiento y de la temperatura del entorno para ganado bovino utilizando una red de área local*. Tesis de Pregrado. Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21620>
- Martin Iglesia, M. (2019). *Análisis de la simulación de dispositivos, circuitos y sistemas electrónicos para Internet de las Cosas (IoT)*. https://oa.upm.es/54136/1/TFG_MARIO_MARTIN_IGLESIA.pdf
- Medina, J. D. C. y López, L. J. R. (2021). Utilización de IoT en el diagnóstico temprano del Covid-19. *Desarrollo e Innovación en Ingeniería*, 2, 429-441.
- Muñoz Garnica, C. C. (2021). *Diseño de un sistema de escritura y dibujo virtuales, basado en un acelerómetro*. Departamento de Ingeniería Eléctrico. CINVESTAV, México. <https://www.vlsilab.cinvestav.mx/files/Munoz-Garnica-MC-ppt-marb.pdf>
- Pérez, M. R., Mendoza, M. A. y Suarez, M. J. (2019). Paradigma IoT: desde su conceptualización hacia su aplicación en la agricultura. *Paradigma*, 40(18), 1-8.
- Ponce, L. A. E., García, Y. R., Alonso, J. M. M., González, A. L. y Vargas, H. A. F. (2018). Dispositivo de rastreo gps para ganado bovino. *Pistas Educativas*, 39(127), 217-226.
- Quintanilla Padilla, R. E. y Cartagena Lobos, C. L. (2019). *Plataforma IoT para el control y monitoreo de variables físicas con tecnología Open Hardware: aplicación Área Académica*. 56 p. <http://redicces.org.sv/jspui/handle/10972/3989>
- Radicelli-García, C. D., Pomboza-Floril, M. y Cepeda-Astudillo, L. (2018). Conectividad a Internet en zonas rurales mediante tecnologías de TDT (DVB-RCT2), o telefonía móvil (4G-LTE). *DINA*, 85(204), 319-324. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n204.62690>
- Rojas Lozano, D. (2019). *Monitoreo del comportamiento ingestivo de bovinos de pastoreo mediante el desarrollo e implementación de modelos de Machine Learning*. Tesis de Pregrado. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia. <http://hdl.handle.net/1992/44640>
- Scozzina, M., Toledo, P., Roatta, S. and Sartorio, A. (2023). Cows communication system. *Memorias de las JAIIO*, 9(6), 18-27
- Sharma, B. and Koundal, D. (2018). Cattle health monitoring system using wireless sensor network: a survey from innovation perspective. *IET Wirel. Sens. Syst.*, 8, 143-151. <https://doi.org/10.1049/iet-wss.2017.0060>
- TECmicro.com. (2023). *Módulo WIFI ESP8266 NODEMCU*. <https://tecmikro.com/modulos-shields/598-modulo-wifi-esp8266-nodemcu.html>
- Tokio School. (2022). *Sensores IoT: qué son, para qué sirven, tipos, características y más*. <https://www.tokioschool.com/noticias/sensores-iot/>
- Toledo, M. A. (2022). Seguimiento y control de ganado vacuno mediante geoposicionamiento. *Project, Design and Management*, 4(1), 91-113. doi: 10.35992/pdm.4vi1.828
- Vélez, D. P. (2020). Diseño de un dispositivo wearable para el monitoreo de la oxigenación y ritmo cardíaco. In: *Memorias del Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica*, 7(1), 485-492).
- Wang, L., Zhang, M., Li, Y., Xia, J. and Ma, R. (2021). Wearable multi-sensor enabled decision support system for environmental comfort evaluation of mutton sheep farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 187, 1-13. 106302. doi:10.1016/j.compag.2021.106302

Contribución de los autores

Autores	Contribución
Grace Katiuska Viteri Guzmán	Diseño de la investigación; revisión bibliográfica, diseño de encuesta y entrevista, análisis e interpretación de los datos, resultados, discusión, conclusiones, preparación, edición del manuscrito y formato de la bibliografía.
Ignacio Hugo Monserrate Sánchez	Participó en la preparación y edición del manuscrito de la sección de conectividad y diseño de los gráficos, resumen, palabras clave, formato de la bibliografía.
Alfredo Enrique Arrese Vilche	Participó en la revisión del contenido del manuscrito referente a las placas de IoT y casos de uso de los sensores, refuerzo en la introducción, metodología y formato de la bibliografía.

