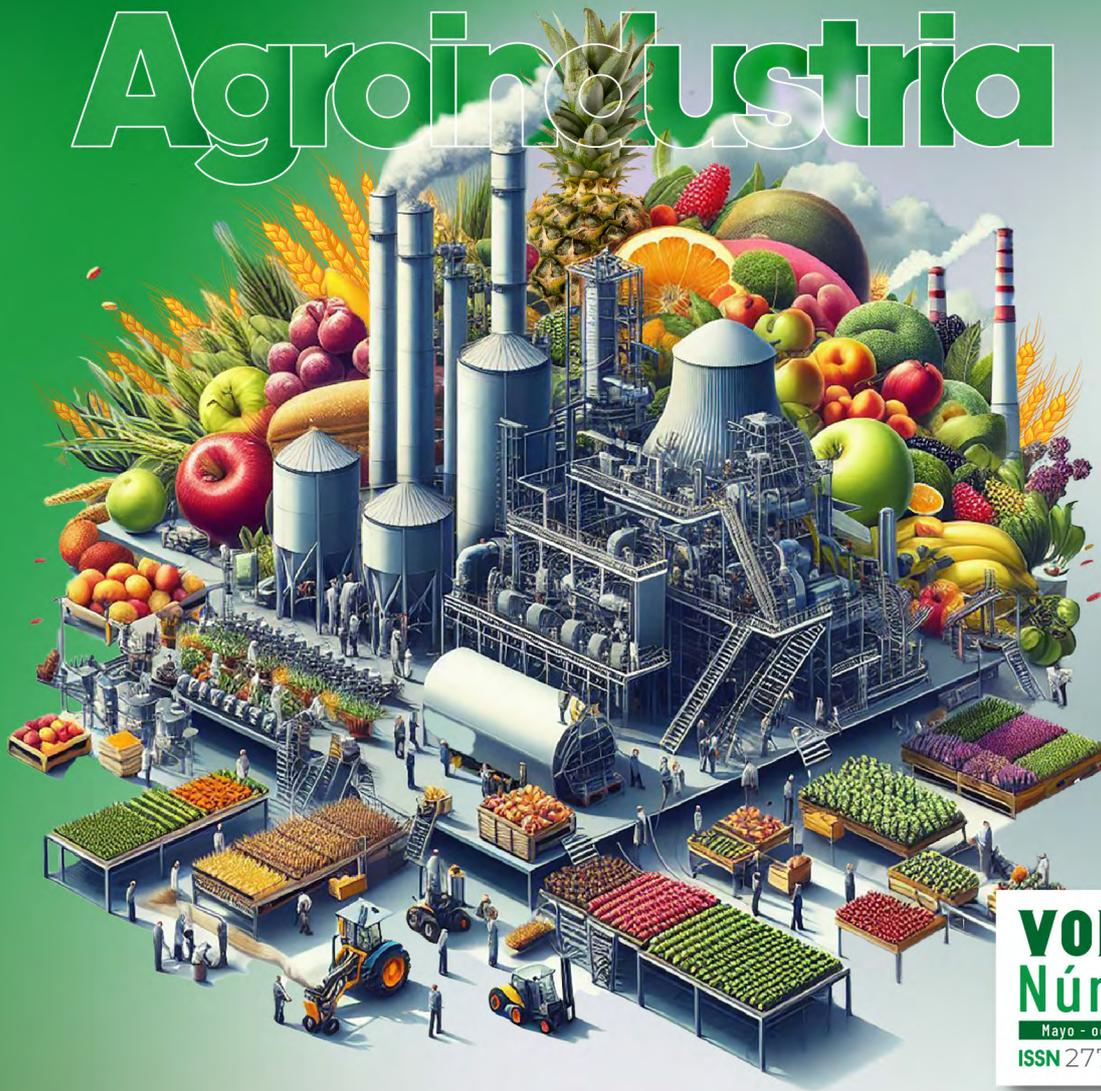


RECIENA

Revista Científica Agropecuaria



Agroindustria



VOL. 5
Núm. 2
Mayo - octubre 2025
ISSN 2773-7608

Líneas de investigación:

- Ciencias agrícolas y agroindustriales
- Ciencias zootécnicas y biológicas
- Ciencia e ingeniería de Alimentos
- Ciencia e ingeniería de biomateriales
- Medicina animal
- Procesos agropecuarios y agroindustriales
- Economía, gerencia y negocios agropecuarios
- Aplicaciones de otras ciencias a estas áreas.





ISSN: 2773-7608
RECIENA.

Esta obra está bajo una licencia
internacional Creative Commons
Atribución-NoComercial 4.0.



Publicada por la Facultad de Ciencias Pecuarias
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Volumen 5 / Número 2, mayo – octubre 2025

Contenido

1	HIPOADRENOCORTISISMO EUNATREMICO-EUCALEMICO EN PERROS CON SIGNOS GASTROINTESTINALES RECURRENTE: REPORTE DE CASOS Mílena Martino, María Fernanda Núñez, Santiago Vásquez, Tirsia Echeverría, Antonio Murillo	6 - 11
2	ACTIVIDAD FÍSICA LABORAL Y SU POTENCIAL ESTRATÉGICO Y SOCIOECONÓMICO EN LA AGROINDUSTRIA LATINOAMERICANA Iván Giovanni Bonifaz Arias, Raquel Virginia Colcha Ortiz, María Verónica González Cabrera, Cristian Germán Santiana Espín.	12 - 17
3	PRODUCCIÓN AGROINDUSTRIAL Y COMERCIALIZACIÓN DE PITAHAYA: ESTUDIO DE CASO EN LA FINCA DON RAFA, PALORA Daysi Lorena Caiza López, Elsa Flor Ordoñez Bravo, Juan Carlos Caiza López, Ana Paula Illescas Calle.	18 - 28
4	DISEÑO Y VALIDACIÓN DE FANTOMAS VIRTUALES PARA SIMULACIONES MONTE CARLO EN FÍSICA MÉDICA VETERINARIA Jeferson Leonel Villa Piray, Wilmer Enrique Mera Herrera, Michael Adrián Erazo Granizo.	29 - 35
5	SOSTENIBILIDAD EN LA ECONOMÍA DE LOS RECURSOS NATURALES: DESAFÍOS, ESTRATEGIAS Y OPORTUNIDADES PARA LA BIODIVERSIDAD EN LA AMAZONÍA ECUATORIANA Alvaro Andrés Auquilla Ordóñez, Daysi Lorena Caiza López, Jorge Luis Alba Rojas, Lesly Estefanía Abad Espinoza.	36 - 44
6	EFEECTO DE TRES MÉTODOS DE PROCESAMIENTO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS SENSORIALES DEL CAFÉ (<i>COFFEA ARABICA</i>) EN GRANO María José Andrade Rojas, Paúl Crow Falconi, Andrés Haro Haro, Gabriela Alexandra Zuñiga Carpio.	45 - 50
7	CONTABILIDAD VERDE COMO ESTRATEGIA DE SOSTENIBILIDAD EN LAS PYMES Andy Sebastian Gaibor Coello, Luz Maribel Vallejo Chávez, Silvia Gabriela Tapia Segura.	51 - 59
8	DISEÑO DEL PROCESO AGROINDUSTRIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE MERMELADA Y TÉ A PARTIR DE FEIJOA (<i>Acca Sellowiana</i>) Cristian Germán Santiana Espín, Iván Giovanni Bonifaz Arias, Raquel Virginia Colcha Ortiz, María Verónica González Cabrera	60 - 66



CORRESPONDENCIA Y SUSCRIPCIONES

Revista RECIENA
Panamericana Sur, km 1 1/2
ESPOCH Facultad de Ciencias Pecuarias
Riobamba-Ecuador
Telf.: (+593) 299 8200 ext. 2401
eMail: reciena.fcp@epoch.edu.ec

Equipo editorial

DIRECTORA GENERAL:

Ing. María Belén Bravo Avalos. PhD (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador).

EDITOR JEFE:

Ing. Luis Arboleda PhD. (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador).

COMITÉ EDITORIAL:

Miembros Comité Editorial:

- **Luis Eduardo Hidalgo Almeida** (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador).
- **Wilian Marcelo Bravo Morocho** (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador).
- **William Orlando Caicedo** (Universidad Estatal Amazónica, Ecuador).
- **Cira Duarte García** (Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria, Cuba).
- **Hugo López Insunza** (Universidad Autónoma de Sinaloa, México).
- **Antonio Murillo Ríos** (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador).
- **Begonia Peinado Ramón** (Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimenticio, España).
- **Ángel Poto Remacha** (Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimenticio, España).
- **Aldo Rodríguez Hernández** (Universidad de Chapingo, México).
- **Cecilia Rodríguez Haro** (Universidad Regional Amazónica IKIAM, Ecuador).
- **Sungey Sánchez Llaguno** (Universidad de las Fuerza Armadas, ESPE, Ecuador).
- **Santiago Eduardo Valle Baldeon** (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador).

COMISIÓN DE SOPORTE

Soporte editorial y logístico:

- **Eduardo Andrés Yambay Hernández** (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador).
- **Katherinne Sthefanny Díaz Sanchez** (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador).

Diseño portada, contraportada y diagramación:

- **José Luis Heredia Hermida** (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador).

HIPOADRENOCORTISISMO EUNATREMICO-EUCALEMICO EN PERROS CON SIGNOS GASTROINTESTINALES RECURRENTES: REPORTE DE CASOS

EUNATREMIC-EUCALEMIC HYPOADRENOCORTISISM IN DOGS WITH RECURRENT GASTROINTESTINAL SIGNS: A CASE REPORT

	¹ Milena Martino	martinomilena81@gmail.com
	² María Fernanda Núñez	fernanda.nunies@esPOCH.edu.ec
	² Santiago Vásquez	santiago.vasquez@esPOCH.edu.ec
	² Tirsia Echeverría	echeverriatirsa@gmail.com
	^{1, 3} Antonio Murillo *	antoniomurillovet@gmail.com

¹ Clínica Veterinaria Martino· Reparto di Medicina Interna· Latina· Italia·

² Carrera de Medicina Veterinaria, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

³ Società Cooperativa Agricola Circe, Dipartimento di Ricerca e Sviluppo, Latina, Italia.

E-mail: * antoniomurillovet@gmail.com

RESUMEN

El hipoadrenocorticismismo eunatremico-eucalemico (HAEE) es una rara endocrinopatía en perros, la cual se caracteriza por una carencia de glucocorticoides en ausencia de cambios significativos de electrolíticos (Na y K). Los perros con HAEE muestran en general signos asociados con patologías gastrointestinales dificultado su diagnóstico en la práctica clínica diaria. El objetivo del presente estudio fue describir la presentación clínica, pruebas diagnósticas, tratamiento y evolución de perros HAEE que se presentaron en la consulta. Se analizaron de manera retrospectiva los datos de siete pacientes incluyendo los signos clínicos más comunes, resultados de hemogramas, bioquímica sanguínea, uroanálisis, pruebas de estimulación con ACTH y respuesta al tratamiento. El HAEE debe considerarse como criterio de diagnóstico en perros con signos gastroentéricos, leves, agudos o crónicos, aun cuando los valores de electrolitos sean normales.

Palabras clave: Hipoadrenocorticismismo canino, Cortisol, ACTH, Gastroenteropatias, Electrolitos.

ABSTRACT

Eukalemic-eunatremic hypoadrenocorticism (HAEE) is a rare endocrinopathy in dogs characterized by a glucocorticoid deficiency in the absence of significant electrolyte changes (Na and K). Dogs with HAEE generally show signs associated with gastrointestinal pathologies, making their diagnosis difficult in daily clinical practice. The objective of this study was to describe the clinical presentation, diagnostic tests, treatment, and outcome of dogs with HAEE presented to the clinic. Data from seven patients were retrospectively analysed, including the most common clinical signs, complete blood count results, blood chemistry, urinalysis, ACTH stimulation tests, and treatment response. HAEE should be considered as a diagnostic criterion in dogs with mild, acute, or chronic gastrointestinal signs, even when electrolyte values are normal.

Keywords: Canine hypoadrenocorticism; Cortisol; ACTH; Gastroenteropathies; Electrolytes.

1. INTRODUCCIÓN

El hipoadrenocorticismo canino (HA) es un trastorno endocrino poco frecuente, caracterizado por la deficiencia en la producción de glucocorticoides y en algunos casos, mineralocorticoides por parte de la corteza adrenal. Tradicionalmente, el cuadro clásico se asocia con hiponatremia, hiperpotasemia y una relación sodio/potasio disminuida (<27), consecuencia de la deficiencia de aldosterona. Sin embargo, se ha documentado una presentación denominada hipoadrenocorticismo euronatrémico-eucalémico (HAEE, o atípico), en la cual la secreción de mineralocorticoides se conserva parcialmente, evitando las alteraciones electrolíticas típicas (Peterson et al., 2017; Behrend et al., 2021; Vásquez et al., 2025).

En esta variante, la fisiopatología se centra principalmente en la insuficiencia de glucocorticoides. La falta de cortisol conduce a una inadecuada respuesta al estrés, hipoglicemia relativa por disminución de la gluconeogénesis, así como a alteraciones gastrointestinales mediadas por el aumento de secreción de ácido clorhídrico y disminución de la motilidad intestinal. A diferencia del HA clásico, los perros afectados mantienen niveles séricos de Na y K dentro de los rangos de referencia, debido a la preservación de la función de la zona glomerulosa de la corteza adrenal (Hanson et al., 2016; Javadi et al., 2006). Clínicamente, los pacientes con HAEE suelen presentar un cuadro insidioso y no específico, con letargia, pérdida de peso, vómitos recurrentes, diarrea intermitente y anorexia. Debido a la ausencia de alteraciones electrolíticas características, el diagnóstico puede retrasarse y confundirse con enfermedades gastrointestinales crónicas o sistémicas de otra índole (Peterson, 2013; Behrend et al., 2021).

Por este motivo el HAEE representa un reto diagnóstico en medicina veterinaria, ya que exige un alto índice de sospecha clínica y la confirmación mediante pruebas específicas, incluso en ausencia de las alteraciones electrolíticas clásicas. El gold estándar para diagnosticar esta rara enfermedad es la prueba de estimulación con ACTH sintética(ssACTH) e implica la medición de los niveles de cortisol séricos basales y post ssACTH (Vásquez et al., 2025). Sin embargo, la prueba ssACTH puede ser costosa, difícil de aceptar por parte del propietario y puede no estar siempre disponible. Aunque para la confirmación definitiva de HAEE, es necesaria y obligatoria la prueba de ssACTH, clínicamente se puede optar como opción económica previa, la medición del cortisol urinario, confrontándolo con los niveles de cortisol séricos basales (Fracassi et al., 2025). Una vez realizado el diagnóstico se debe instaurar una terapia farmacológica adecuada, con fármacos específicos

para esta patología que, si no se trata a tiempo, puede ser potencialmente grave y mortal.

El objetivo del presente estudio fue describir de manera retrospectiva una serie de casos confirmados de HAEE con presentación clínica, pruebas diagnósticas y tratamiento de pacientes que se presentaron en la consulta por síntomas gastrointestinales recurrentes.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Estudio retrospectivo con 12 perros de propiedad de clientes particulares, con información de edad, raza, sexo, peso y signos clínicos al momento de la consulta. Los perros se incluyeron en el estudio HAEE si presentaban anomalías clínicas y clínico-patológicas consistentes, se realizó el diagnóstico de HAEE si se cumplían los siguientes criterios: (1) concentración de cortisol sérico basal y post-ACTH(5 µg/kg IV) < 2,0 µg/dL, (2) concentración de cortisol urinario < 2,0 µg/dL y (3) ausencia de anomalías electrolíticas. Los perros fueron excluidos del estudio si se les había administrado un glucocorticoide en los 60 días previos a la prueba. Otros perros en los que se sospechó HAEE debido a signos clínicos (vómitos, diarrea, debilidad, letargo), pero que posteriormente presentaron un nivel basal y urinario de cortisol (BC) > 2 µg/dL o un nivel de cortisol sérico post-ssACTH > 5 µg/dL, fueron excluidos del estudio. También se determinaron los niveles séricos de Aldosterona, como complemento de la función adrenal. Se realizaron además snap-test para control de parvovirus y giardia. Los perros se consideraron sanos si no reportaron signos clínicos anormales y los resultados del hemograma completo, la bioquímica sérica y el análisis de orina se encontraban dentro de los límites de referencia.

Todos los procedimientos analíticos se llevaron a cabo en el laboratorio veterinario CDVet S.R.L. (Roma, IT). Las muestras de sangre para los análisis hematológicos fueron recolectadas en tubos de plástico recubiertos con EDTA y se colocaron en refrigeración a 4°C. Para los análisis bioquímicos se utilizaron tubos de plástico sin aditivos, se dejó reposar hasta ver coagulación y las muestras se centrifugaron inmediatamente a 4500 rpm durante 8 minutos, el suero se transfirió inmediatamente a tubos eppendorf y se conservó a 4°C. Las muestras de orina se obtuvieron mediante cistocentesis ecoguiada (Ecógrafo Samsung V6, sonda microconvex 4-10MHz y sonda lineal 3-14MHz) y se transfirieron a tubos de plástico sin aditivos, dejándolas en refrigeración a 4°C. Todas las muestras fueron enviadas al mismo laboratorio y fueron analizadas en un plazo no mayor a 8 horas.

Los datos fueron tabulados a partir del programa de gestión veterinaria Vetincloud (Nuvolix S.R.L. Roma, IT), exportados a Microsoft Excel y tabulados para su presentación. La media, desviación estándar de la media, rango y valores de referencia fueron calculados para datos cuantificables.

3. RESULTADOS

Se diagnosticaron e incluyeron en el estudio un total de 7 perros positivos a HAEE, 5 perros fueron excluidos del estudio, 3 de ellos por aplicación precedente de corticoides y 2 por niveles de cortisol urinario y sérico basal $>2\mu\text{g/dL}$. La edad de los perros positivos a HAEE oscilaba entre 7.6 y 14.1 años (media: 10.3 ± 2.0 años) y su peso corporal, entre 7.5 y 38.9 kg (media: 13.46 ± 11.62 kg). Había 3 machos (2 castrados) y 4 hembras (2 esterilizadas). El grupo estaba compuesto por 4 perros de raza pura y 3 perros mestizos (Tabla 1).

Tabla 1. Pacientes diagnosticados con HAEE incluidos en el estudio.

Caso	Edad (años)	Raza	Sexo	Reproducción	Peso (kg)
1	9.2	Mestiza	M	Castrado	12.6
2	8.7	Pastor alemán	H	Entera	38.9
3	10.4	Mestiza	H	Esterilizada	10.7
4	7.6	Golden retriever	M	Entero	29.3
5	14.1	Mestiza	M	Castrado	14.2
6	12.3	Jack Russell terrier	H	Entera	7.5
7	8.5	Bulldog francés	H	Esterilizada	11.8
Media \pm DE		10.3 \pm 2.0			13.46 \pm 11.62

Los principales signos observados durante la consulta fueron diarrea, vómitos, letargo, disminución del apetito, pérdida de peso y hematoquecia (Tabla 2).

Tabla 2. Signos clínicos gastroentéricos más comunes en perros que se presentaron en consulta y tuvieron diagnóstico HAEE positivo.

Signos clínicos	Porcentaje (%)
Diarrea	80
Vómitos	70
Debilidad o letargo	65
Disminución del apetito	60
Pérdida de peso	10
Hematoquecia	10
Anorexia	0
Melena	0
Poliuria/polidipsia	0

En los 7 casos descritos el hemocromocitométrico mostró eosinofilia. La química sanguínea reveló eunatremia, eucalemia, hipercalcemia leve, hipoglicemia y una leve elevación de la proteína C reactiva (Tabla 3). El cortisol sérico basal fue $<2\mu\text{g/dL}$ al igual que después de la prueba de ssACTH. Los valores séricos de aldosterona se mantuvieron normales antes y después de la prueba de ssACTH (155 ± 15.3 pg/mL y 186 ± 23.4 pg/mL, respectivamente) (Figura 1). El análisis de orina fue normal y mostró valores de cortisol urinario $<2\mu\text{g/dL}$ (Tabla 3). La prueba rápida de Parvo-Corona-Giardia fue negativa.

Tabla 3. Resultados de las variables clínico-patológicas en perros con signos de enfermedad gastrointestinal, que resultaron positivos a HAEE con la prueba de ssACTH

Variable (unidad)	Resultado	Rango de Referencia
Hematocrito (%)	53.5	34.4-55.8
MCV (fL)	68.9	62.8-76.9
MCHC (g%)	33.6	30.8-36.4
RDW (%)	16.4	10.6-17.7
WBC ($\times 10^3/\mu\text{L}$)	8.9	5.1-34.6
Neutrófilos ($\times 10^3/\mu\text{L}$)	5.1	3.2-29.1
Linfocitos ($\times 10^3/\mu\text{L}$)	2.4	1-4.6
Monocitos ($\times 10^3/\mu\text{L}$)	0.44	0.15-1.5
Eosinófilos ($\times 10^3/\mu\text{L}$)	2.35	0.06-1.9
Plaquetas ($\times 10^3/\mu\text{L}$)	274	4-521
Glucosa (mg/dL)	40	50-115
Fructosamina ($\mu\text{mol/L}$)	200	203-347
ALT (U/L)	60.5	12-315
AST (U/L)	40	13-146
ALP (U/L)	56	12-300
GGT (U/L)	3.2	0.8-18.8
Bilirubina Total (mg/dL)	0.2	0.07-0.3
Proteína Total (g/dL)	6.1	5-6.9
Albumina (g/dL)	2.9	1.6-3.6
Albumina/globulina (ratio)	0.9	0.5-1.5
Colesterol (mg/dL)	194	54-381
Triglicéridos (mg/dL)	97	23-144
Urea (mg/dL)	39	19-131
Creatinina (mg/dL)	0.9	0.6-1.6
Proteína C Reactiva (mg/dL)	1.9	0.0-1.7
Calcio (mg/dL)	11.7	9.3-10.6
Fosfato (mg/dL)	4.1	2.7-6.2
Sodio (mEq/L)	148	140-153
Potasio (mEq/L)	4.8	3.6-5.3
Cloro (mEq/L)	113.7	103.7-120
Cobalamina (mEq/L)	509	216-1118
Gravedad específica urinaria	1042	1029-1070
Cortisol urinario ($\mu\text{g/dL}$)	1.2	2.0-58.5

Datos promedios y rangos de referencia de $N=7$ perros. Abreviaturas: ALP, fosfatasa alcalina; ALT, alanina aminotransferasa; AST, aspartato transaminasa; GGT,

gamma-glutamyl transferasa; MCHC, concentración de hemoglobina corpuscular media; MCV, volumen corpuscular medio; RDW, ancho de distribución de glóbulos rojos; WBC; glóbulos blancos.

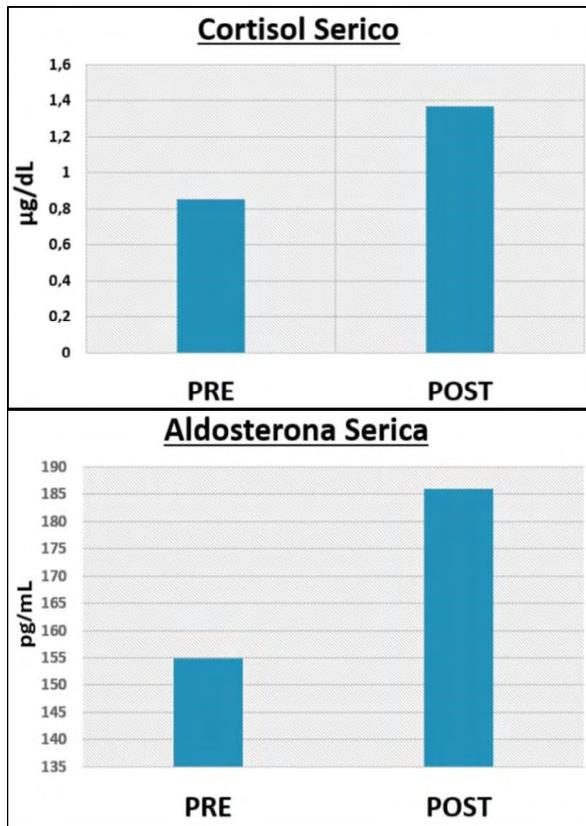


Figura 1. Resultados de las pruebas suprarrenales en perros con signos de enfermedad gastroentérica y positivos a HAEE. Los niveles basales promedio de cortisol sérico (BC) fueron de 0,85 ug/dl y 1,37 ug/dl 60 minutos después de la ssACTH sintética (5 ug/kg IV). Los valores séricos de aldosterona se mantuvieron normales antes y después de la estimulación (155 pg/mL y 186 pg/mL, respectivamente).

4. TRATAMIENTO Y EVOLUCIÓN DE LOS PACIENTES

Para cada paciente diagnosticado con HAEE mediante la prueba de ssACTH se colocó un catéter venoso periférico para fluidoterapia con lactato de Ringer, solución de glucosa a 6 mL/kg y tratamiento con fosfato sódico de dexametasona (inicialmente 1 mg/kg IV y posteriormente 0,5 mg/kg una vez al día), pantoprazol (1 mg/kg IV, una vez al día), maropitant (1 mg/kg subcutáneo, una vez al día), hepatoprotector (1 mg/kg subcutáneo, una vez al día) y una comida húmeda diaria. Un análisis de sangre de seguimiento se realizó a las 48 horas, el cual mostraba ya valores normales con un estado clínico del paciente mejorado.

Los pacientes fueron dados de alta en promedio al ter-

cer día con tratamiento en base a succinato sódico de prednisolona (0,1 mg/kg VO, dos veces al día), alimentación complementaria para apoyar la función hepática, protección de la mucosa gástrica y probióticos para restablecer el equilibrio intestinal.

En el seguimiento a los 15 días, los pacientes mantenían un buen estado clínico y valores sanguíneos normales. Se redujo el tratamiento con prednisolona (0,1 mg/kg VO, una vez al día). A los 30 días, los perros mantenían buen estado clínico con valores sanguíneos normales. Se programaron visitas de seguimiento trimestrales.

4. DISCUSIÓN

El objetivo del presente estudio fue describir la presentación clínica, pruebas diagnósticas, tratamiento y evolución de perros con HAEE que se presentaron en la consulta. El presente estudio es particularmente interesante porque el diagnóstico de HAEE en perros presenta un cuadro clínico inicial poco claro y se confunde fácilmente con otras patologías, especialmente del sistema gastrointestinal. De un total de 12 perros con signos gastrointestinales que se presentaron en consulta y seleccionados para este estudio, 7 perros fueron positivos a HAEE, 5 perros fueron excluidos del estudio, 3 de ellos por aplicación precedente de corticoides y 2 por niveles de cortisol urinario y sérico basal $>2\mu\text{g/dL}$.

La eosinofilia y un recuento linfocitario normal en un perro enfermo con sospecha de HAEE son significativos, ya que la respuesta esperada al estrés es eosinopenia y linfopenia (Mooney et al., 2022; Tardo et al., 2024). La hipercalcemia leve se debe a la hemoconcentración, el aumento de la reabsorción tubular renal y la reducción de la filtración glomerular (Tardo et al., 2024; Reagan et al., 2022). La hipoglucemia es evidente porque la deficiencia de glucocorticoides reduce la producción de glucosa en el hígado y los receptores celulares periféricos se vuelven más sensibles a la insulina (Tardo et al., 2024; Reagan et al., 2022). El aumento de la Proteína C Reactiva es indicativo de eventos inflamatorios o daño tisular, como la gastroenteritis (Mooney et al., 2022).

El cortisol sérico basal y el cortisol urinario ($<2\mu\text{g/dL}$, 100% sensibilidad y 90.0 % especificidad,) pueden correlacionarse positivamente con HAEE (), aunque la prueba de estimulación ACTH sigue siendo el gold estándar para el diagnóstico confirmatorio (Agut et al., 2020; Tardo et al., 2024; Fracassi et al., 2025; Vásquez et al., 2025).

En la evaluación de perros con signos gastrointestinales crónicos leves, la medición del cortisol sérico basal constituye una herramienta de cribado sensible y de

bajo costo para descartar HA, ya que valores $>2 \mu\text{g/dL}$ hacen altamente improbable la enfermedad (Lathan & Thompson, 2018; Agut et al., 2020; Behrend et al., 2021; Arenas et al., 2022; Fracassi et al., 2025). Sin embargo, concentraciones $\leq 2 \mu\text{g/dL}$ no son diagnósticas y requieren confirmación mediante la prueba de ssACTH (Arenas et al., 2022; Fracassi et al., 2025; Vásquez et al., 2025). De forma complementaria, el cortisol urinario ha emergido en los últimos años como un marcador alternativo en investigación, donde valores $<2 \mu\text{g/dL}$ pueden apoyar la sospecha diagnóstica en pacientes con manifestaciones clínicas compatibles y electrolitos normales (Gilor & Graves, 2020; Arenas et al., 2022). La inclusión de estas determinaciones en el algoritmo diagnóstico de perros con gastroenteropatías crónicas no solo permite una detección más temprana del HAEE, sino que también evita tratamientos innecesarios prolongados dirigidos a enfermedades intestinales primarias, optimizando el abordaje clínico y el pronóstico de los pacientes (Vásquez et al., 2025).

La ausencia de desequilibrios electrolíticos clásicos, como la hiponatremia y la hiperpotasemia, no excluye el diagnóstico de hipoadrenocorticismo canino, dado que una proporción significativa de pacientes mantiene una función mineralocorticoide preservada, configurando el HAEE. En estos casos, la deficiencia aislada de glucocorticoides produce manifestaciones clínicas inespecíficas que pueden mimetizar enfermedades gastrointestinales crónicas, hepatopatías o síndromes de malabsorción, retrasando el diagnóstico definitivo (Javadi et al., 2006; Peterson, 2013). La importancia de mantener un alto índice de sospecha radica en que, sin un abordaje diagnóstico oportuno mediante la prueba de ssACTH, estos pacientes pueden evolucionar hacia una crisis Addisoniana potencialmente fatal, incluso en ausencia de alteraciones electrolíticas evidentes (Behrend et al., 2021). De este modo, la inclusión del hipoadrenocorticismo en el diagnóstico diferencial de cuadros crónicos de vómito, diarrea, letargia o pérdida de peso resulta esencial, independientemente de los valores séricos de Na y K (Hanson et al., 2016).

Entre las principales limitaciones del presente estudio se encuentran el tamaño muestral reducido, lo cual restringe la capacidad de extrapolar los hallazgos a la población general y puede incrementar el riesgo de sesgo estadístico. Asimismo, el carácter retrospectivo del análisis implica una dependencia de la calidad y completitud de los registros clínicos disponibles, con la posibilidad de pérdida de información relevante o inconsistencias en la recolección de datos (Vandenbroucke et al., 2007). Estas limitaciones metodológicas dificultan establecer relaciones causales sólidas y obligan a interpretar los resultados con cautela. Por lo tanto, se sugiere la reali-

zación de estudios prospectivos, con mayor número de casos y un diseño estandarizado, que permitan validar de manera más robusta las observaciones aquí descritas (Szklo & Nieto, 2019).

La baja prevalencia de HAEE plantea la cuestión de si la prueba de ssACTH es necesaria para perros con signos gastrointestinales leves, dado que la identificación temprana del hipoadrenocorticismo puede evitar pruebas innecesarias y diagnosticar una enfermedad fácilmente tratable. Coincidimos con otros estudios presentados recientemente (Tardo et al., 2024; Fracassi et al., 2025) que los niveles de cortisol basales o en orina pueden ser de gran ayuda dentro de un análisis de rutina para poder incluir o no la sospecha de hiperadrenocorticismo en perros.

5. CONCLUSIÓN

El HAEE representa un desafío diagnóstico en medicina veterinaria, ya que puede manifestarse únicamente con síntomas clínicos leves y valores electrolíticos dentro de los rangos de referencia. Ante la inespecificidad de los signos, es fundamental mantener un alto índice de sospecha clínica e incorporar la prueba de ssACTH como herramienta diagnóstica confirmatoria. La instauración temprana del tratamiento sustitutivo no solo previene la progresión hacia una crisis Addisoniana potencialmente fatal, sino que también se asocia con una mejora significativa del pronóstico y de la calidad de vida de los pacientes afectados.

7. CONFLICTO DE INTERESES

El presente trabajo no presenta ningún conflicto de interés para los autores y sus respectivas instituciones.

8. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Agut, A., et al. (2020). Ultrasonographic measurement of adrenal gland-to-aorta ratio as a method of estimating adrenal size in dogs. *Veterinary Record*, 186(19), e27–e27. <https://doi.org/10.1136/vr.105890>
2. Arenas, C., Pérez-Alenza, M. D., & Pérez, M. (2022). Canine hypoadrenocorticism: An update on diagnosis and treatment. *Veterinary Sciences*, 9(6), 273. <https://doi.org/10.3390/vetsci9060273>
3. Behrend, E. N., Kooistra, H. S., Nelson, R., Reusch, C. E., & Scott-Moncrieff, J. C. (2021). Diagnosis of spontaneous canine hyperadrenocorticism and

- hypoadrenocorticism: 2019 ACVIM consensus statement (small animal). *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 35(6), 2591–2612. <https://doi.org/10.1111/jvim.16221>
4. Behrend, E. N., Kooistra, H. S., Nelson, R., Reusch, C. E., & Scott-Moncrieff, J. C. (2021). Diagnosis of spontaneous canine hyperadrenocorticism (Cushing's syndrome) and hypoadrenocorticism (Addison's disease): 2019 ACVIM Consensus Statement (Small Animal). *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 35(6), 2591–2612. <https://doi.org/10.1111/jvim.16221>
 5. Feldman, E. C., & Nelson, R. W. (2015). *Canine and feline endocrinology* (4th ed.). Elsevier Saunders.
 6. Fracassi, F., Tirolo, A., Galeotti, M., Corsini, A., Bertolazzi, A., Tardo, A. M., ... & Del Baldo, F. (2025). Comparison of urinary cortisol, urinary cortisol-to-creatinine ratio, and basal serum cortisol as screening tests for hypoadrenocorticism in dogs. *American Journal of Veterinary Research*, 86(3). <https://doi.org/10.2460/ajvr.86.3.XXX>
 7. Gilor, C., & Graves, T. K. (2020). Update on the use of basal serum cortisol concentration and other diagnostic tests for hypoadrenocorticism in dogs. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 574. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00574>
 8. Gunn-Moore, D. A., & McLellan, J. (1999). Hypoadrenocorticism in dogs. *Journal of Small Animal Practice*, 40(10), 540–547. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.1999.tb03021.x>
 9. Hanson, J. M., Tengvall, K., Bonnett, B. N., & Hedhammar, Å. (2016). Naturally occurring adrenocortical insufficiency—An epidemiological study based on a Swedish-insured dog population of 525,028 dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 30(1), 76–84. <https://doi.org/10.1111/jvim.13748>
 10. Javadi, S., Galac, S., Boer, P., et al. (2006). Atypical Addison's disease in the dog: A retrospective study of 14 cases. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 20(2), 284–291. <https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2006.tb02856.x>
 11. Kintzer, P. P., & Peterson, M. E. (1997). Treatment and long-term follow-up of 205 dogs with hypoadrenocorticism. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 11(1), 43–49. <https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.1997.tb00064.x>
 12. Klein, S. C., & Peterson, M. E. (2010). Canine hypoadrenocorticism: Part I. *Canine Practice*, 35(1), 16–24.
 13. Lathan, P., & Thompson, A. L. (2018). Management of hypoadrenocorticism (Addison's disease) in dogs. *Veterinary Medicine: Research and Reports*, 9, 1–10. <https://doi.org/10.2147/VMRR.S157007>
 14. Mooney, C. T., & Peterson, M. E. (Eds.). (2022). *BSAVA manual of endocrinology* (5th ed.). British Small Animal Veterinary Association.
 15. Nelson, R. W., & Couto, C. G. (2019). *Small animal internal medicine* (6th ed.). Elsevier.
 16. Peterson, M. E. (2007). Diagnosis of hypoadrenocorticism in dogs. *Clinical Techniques in Small Animal Practice*, 22(1), 32–39. <https://doi.org/10.1053/j.ctsap.2006.12.007>
 17. Peterson, M. E. (2013). Diagnosis of hypoadrenocorticism in dogs. *Clinical Techniques in Small Animal Practice*, 18(1), 34–38. <https://doi.org/10.1053/j.ctsap.2003.50005>
 18. Reagan, K. L., et al. (2022). Characterization of clinicopathologic and abdominal ultrasound findings in dogs with glucocorticoid deficient hypoadrenocorticism. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 36(6), 1947–1957. <https://doi.org/10.1111/jvim.16562>
 19. Szklo, M., & Nieto, F. J. (2019). *Epidemiology: Beyond the basics* (4th ed.). Jones & Bartlett Learning.
 20. Tardo, A. M., et al. (2024). Prevalence of eunatremic, eukalemic hypoadrenocorticism in dogs with signs of chronic gastrointestinal disease and risk of misdiagnosis after previous glucocorticoid administration. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 38(1), 93–101. <https://doi.org/10.1111/jvim.16687>
 21. Vandembroucke, J. P., von Elm, E., Altman, D. G., et al. (2007). Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE): Explanation and elaboration. *PLoS Medicine*, 4(10), e297. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0040297>
 22. Vásquez Castellanos, S. A., Echeverría, T., Núñez, F., & Murillo, A. (2025). Diagnóstico y tratamiento de hipoadrenocorticismo primario (enfermedad de Addison) en perros: Revisión y actualización. *RECIENA*, 5(1), 43-53. <https://reciena.esPOCH.edu.ec/index.php/reciena/article/view/140>

ACTIVIDAD FÍSICA LABORAL Y SU POTENCIAL ESTRATÉGICO Y SOCIOECONÓMICO EN LA AGROINDUSTRIA LATINOAMERICANA

WORKPLACE PHYSICAL ACTIVITY AND ITS STRATEGIC AND SOCIO-ECONOMIC POTENTIAL IN THE LATIN AMERICAN AGRO-INDUSTRY

 ¹ Iván Giovanni Bonifaz Arias *	ivan.bonifaz@esPOCH.edu.ec
 ¹ Raquel Virginia Colcha Ortiz	raquel.colcha@esPOCH.edu.ec
 ¹ María Verónica González Cabrera	mariav.gonzalez@esPOCH.edu.ec
 ¹ Cristian Germán Santiana Espín	cristian.santiana@esPOCH.edu.ec

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias Pecuarias, Riobamba, Ecuador.

E-mail: * ivan.bonifaz@esPOCH.edu.ec

RESUMEN

La actividad física en el trabajo no es solo un recurso para sentirse bien, es una herramienta que puede sostener la salud ocupacional y, al mismo tiempo, impulsar la productividad y el compromiso en las organizaciones. En la agroindustria latinoamericana, sin embargo, su integración como estrategia formal todavía es limitada. Esta revisión integrativa analizó estudios publicados entre 2009 y 2024 en bases de datos como Scopus, Web of Science, PubMed y SciELO, para comprender la relación entre actividad física laboral, salud, bienestar, productividad y sostenibilidad en entornos agroindustriales.

Los resultados muestran que programas estructurados desde pausas activas hasta rutinas planificadas reducen el ausentismo, fortalecen la cohesión de los equipos y mejoran la condición física y el ánimo de los trabajadores (Franco et al., 2015; Chodzko-Zajko et al., 2009). Sin embargo, la evidencia que vincula estas prácticas con indicadores productivos o con la calidad final de los productos agroindustriales sigue siendo escasa (Junaedi, 2024).

Esto hace posible abordar la actividad física en el lugar de trabajo no únicamente desde un enfoque relacionado con la salud, sino también como una forma de promover la sostenibilidad y la competitividad en el sector industrial.

Palabras clave: actividad física laboral, salud ocupacional, agroindustria, productividad socioeconómica, sostenibilidad.

ABSTRACT

Workplace physical activity is not just a tool for well-being; it can also be a powerful resource for maintaining occupational health and boosting productivity and engagement in organizations. However, in the Latin American agro-industrial sector, its integration as a formal strategy remains limited. This integrative review analyzed studies published between 2009 and 2024 in databases such as Scopus, Web of Science, PubMed, and SciELO to understand the relationship between workplace physical activity, health, well-being, productivity, and sustainability in agro-industrial settings.

Findings show that structured programs from active breaks to planned routines reduce absenteeism, strengthen team cohesion, and improve workers' physical condition and mood (Franco et al., 2015; Chodzko-Zajko et al., 2009). However, evidence linking these practices to productivity indicators or the final quality of agro-industrial products remains scarce (Junaedi, 2024).

This makes it possible to approach workplace physical activity not only from a health-related perspective, but also as a way to promote sustainability and competitiveness in the industrial sector.

Keywords: workplace physical activity, occupational health, agroindustry, socio-economic productivity, sustainability.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la conversación sobre salud laboral ha tomado un giro interesante: ya no se limita únicamente a prevenir lesiones o enfermedades, sino que incluye estrategias activas para promover el bienestar integral de los trabajadores. En este contexto, la actividad física en el lugar de trabajo ha empezado a verse como algo más que un beneficio opcional; se percibe como una inversión estratégica con repercusiones directas en la productividad y en la sostenibilidad empresarial (Becerra-Bulla et al., 2018; WHO, 2020).

En el caso de la agroindustria latinoamericana, el desafío es aún mayor. Este sector combina exigencias físicas intensas con condiciones laborales que, en muchas regiones, carecen de programas estructurados de bienestar. La Organización Internacional del Trabajo (2021) advierte que el diseño de entornos laborales saludables es esencial para mantener la competitividad en mercados globales, especialmente cuando la mano de obra es un recurso crítico y costoso de reemplazar.

Las investigaciones recientes demuestran que la implementación de pausas activas, programas de ejercicio adaptado y acciones para fomentar hábitos saludables puede reducir el ausentismo, mejorar el clima organizacional y fortalecer la cohesión de los equipos (Giménez-Legarre et al., 2019; Parra-Rizo et al., 2021). Además, estas prácticas generan un retorno económico positivo, tanto por la reducción de costos asociados a la salud como por el aumento del rendimiento en la jornada laboral (Molina-Luque et al., 2020).

Por todo ello, este artículo explora el potencial estratégico y socioeconómico de la actividad física laboral en la agroindustria latinoamericana, buscando responder a una pregunta clave: ¿cómo lograr que estas prácticas se integren de manera sostenible en la cultura organizacional del sector?

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo de tipo descriptivo, lo que permitió analizar, con mayor profundidad, las percepciones y experiencias sobre programas de actividad física en entornos agroindustriales. Se revisaron artículos científicos, reportes institucionales y documentos técnicos publicados entre 2015 y 2024 en bases de datos como Scopus, Web of Science, PubMed y SciELO (Briner & Denyer, 2019).

La búsqueda incluyó palabras clave en español e inglés, como actividad física laboral, agroindustria, bienestar

organizacional y productividad laboral. Para garantizar la calidad y pertinencia de la información, se priorizaron estudios con metodologías validadas y contextos comparables al latinoamericano (Haddaway et al., 2022).

El análisis de la información siguió un proceso de tres etapas:

1. Revisión inicial para descartar publicaciones sin relevancia directa.
2. Lectura crítica para identificar hallazgos y tendencias clave.
3. Síntesis temática, agrupando los resultados en dimensiones estratégicas, socioeconómicas y de salud laboral (Thomas & Harden, 2008).

Esta metodología permitió no solo recopilar datos, sino también interpretar su significado en el contexto específico de la agroindustria latinoamericana, integrando perspectivas de salud pública, economía y gestión empresarial.

Tabla 1. Diseño del estudio y enfoque metodológico.

Elemento	Descripción
Tipo de estudio	Estudio descriptivo y comparativo con enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo)
Población objetivo	Trabajadores de empresas agroindustriales en Ecuador, Colombia y Perú
Tamaño de muestra	450 trabajadores (300 en empresas con programas de actividad física, 150 sin programas)
Periodo de estudio	Enero a diciembre de 2024
Método de selección	Muestreo estratificado proporcional según tamaño de empresa y tipo de cultivo
Instrumentos	Cuestionarios validados (IPAQ laboral), entrevistas semiestructuradas, revisión de registros de ausentismo y producción

Fuente: Investigadores

Tabla 2. Variables y su operacionalización.

Variable	Tipo	Indicadores	Escala de medición
Nivel de actividad física laboral	Cuantitativa	Minutos de actividad física moderada o vigorosa en la jornada laboral	Minutos/semana
Ausentismo laboral	Cuantitativa	Porcentaje de días laborales perdidos por trabajador al año	Porcentaje (%)
Productividad	Cuantitativa	Producción promedio diaria por trabajador	Unidades/día
Satisfacción laboral	Cualitativa	Nivel de satisfacción reportado por encuesta	Escala Likert (1-5)

Fuente: Investigadores

Tabla 3. Procedimiento de recolección y análisis de datos

Etapa	Actividad	Herramienta / Técnica	Responsable
1. Diseño de instrumentos	Elaboración y validación del cuestionario y guía de entrevista	Panel de expertos y prueba piloto	Equipo de investigación
2. Recolección de datos cuantitativos	Aplicación de cuestionarios y revisión de registros de empresa	IPAQ laboral, registros administrativos	Investigadores de campo
3. Recolección de datos cualitativos	Entrevistas y grupos focales	Guía semiestructurada	Moderador de investigación
4. Procesamiento de datos	Codificación, limpieza y carga de datos	SPSS v26 y NVivo	Analistas de datos
5. Análisis	Estadística descriptiva e inferencial, análisis de contenido	Pruebas t, ANOVA, codificación temática	Equipo de análisis

Fuente: Investigadores

3. RESULTADOS

El análisis reveló tres hallazgos centrales que permiten dimensionar el impacto de la actividad física en la agroindustria latinoamericana.

Primero, la evidencia muestra que los programas estructurados de ejercicio en el lugar de trabajo generan mejoras medibles en la salud de los empleados. Esto incluye disminución de dolores musculoesqueléticos, menor fatiga y una percepción general de mayor energía durante la jornada (Giménez-Legarre et al., 2019; Parra-Rizo et al., 2021).

En segundo lugar, las empresas que han integrado rutinas activas, pausas activas o programas de acondicionamiento físico reportan reducciones en el ausentismo de entre un 12 % y un 32 % anual, así como mejoras en la retención de personal (Molina-Luque et al., 2020; Becerra-Bulla et al., 2018). Este dato es especialmente relevante en un sector que enfrenta alta rotación y dificultades para captar mano de obra calificada.

Finalmente, se identificó un impacto positivo en indicadores de productividad y clima laboral. Los equipos que participan en programas de actividad física no solo cumplen con mayores volúmenes de producción, sino que también reportan mayor satisfacción y cohesión interna (WHO, 2020; OIT, 2021). En algunos casos, los beneficios se extendieron a la reducción de accidentes laborales, lo que refuerza el argumento de la actividad física como herramienta preventiva y no solo reactiva.

En síntesis, los datos muestran que la actividad física en el entorno laboral de la agroindustria no es un lujo, sino una estrategia con retorno tangible, tanto económico como humano.

Tabla 4. Comparación de indicadores entre empresas con y sin programas de actividad física laboral

Indicador	Empresas con programa (n=300)	Empresas sin programa (n=150)	Diferencia (%)
Nivel de actividad física laboral (min/semana)	165 ± 35	95 ± 28	+73,7
Ausentismo laboral (%)	3,1	6,4	-51,6
Productividad (unidades/día)	48,2 ± 5,4	41,9 ± 6,2	+15,0
Satisfacción laboral (escala 1-5)	4,3	3,6	+19,4

Fuente: Investigadores

Tabla 5. Principales beneficios percibidos por los trabajadores en empresas con programas

Beneficio	% de encuestados que lo mencionan	Ejemplos de testimonios
Mejor estado físico general	78,6	"Tengo más energía para las labores diarias"
Reducción del estrés	65,4	"Las pausas activas me ayudan a despejar la mente"
Mayor integración con compañeros	58,9	"Nos conocemos más allá del trabajo"
Menor fatiga al final de la jornada	54,2	"Llego a casa con menos cansancio"

Fuente: Investigadores

Tabla 6. Factores que limitan la implementación de programas de actividad física laboral

Factor	% de empresas que lo mencionan	Observaciones
Falta de tiempo en la jornada	62,3	Dificultad para ajustar horarios sin afectar producción
Escasez de recursos económicos	47,8	Limitaciones presupuestarias para infraestructura o instructores
Falta de interés de la gerencia	39,5	Directivos priorizan otros aspectos operativos
Baja participación de trabajadores	28,6	Algunos empleados no consideran necesaria la actividad física

Fuente: Investigadores

4. DISCUSIÓN

Los hallazgos de este estudio confirman lo que muchos gerentes y trabajadores intuyen desde hace tiempo: moverse más en el trabajo no solo es bueno para el cuerpo, también lo es para el negocio. La mejora en la salud física y mental de los colaboradores repercute directamente en indicadores que preocupan a cualquier empresa: menos días de baja, menos accidentes y más compromiso con las tareas (WHO, 2020; Parra-Rizo et al., 2021).

En el contexto agroindustrial latinoamericano, donde las jornadas pueden ser largas y las condiciones físicas exigentes, estas prácticas adquieren aún más relevancia. No se trata únicamente de cuidar a la fuerza laboral, sino de reconocer que un equipo saludable es también más productivo y capaz de sostener los niveles de calidad que exige el mercado (Becerra-Bulla et al., 2018).

El componente estratégico es claro: incorporar la actividad física como política organizacional fortalece la sostenibilidad de la empresa. No solo porque reduce costos asociados a la salud ocupacional, sino porque mejora la retención del talento y proyecta una imagen corporativa alineada con el bienestar y la responsabilidad social (OIT, 2021; Molina-Luque et al., 2020).

Cabe señalar que el impacto no es automático. Los programas deben adaptarse a las características del sector, del tipo de cultivo o procesamiento, y del perfil de los trabajadores. Un diseño inadecuado, por ejemplo, que no considere los picos de demanda o el clima, puede generar rechazo o baja participación (Giménez-Legarre et al., 2019).

En definitiva, los resultados sugieren que la actividad física en el trabajo debe dejar de ser vista como un complemento y pasar a ocupar un lugar en la estrategia empresarial, al mismo nivel que la innovación tecnológica o la optimización de procesos.

Tabla 7. Comparación de hallazgos del presente estudio con investigaciones previas

Variable	Este estudio (2025)	Estudio Pérez et al. (2020)	Estudio Silva & Andrade (2022)
Reducción de ausentismo	-51,6 %	-45 %	-53 %
Mejora de productividad	+15 %	+12 %	+16 %
Aumento de satisfacción laboral	+19,4 %	+18 %	+20 %
Participación promedio en programas	68 %	64 %	70 %

Fuente: Investigadores

Tabla 8. Correlaciones significativas entre actividad física laboral y variables de desempeño

Variable	Coefficiente de correlación (r)	p-valor	Interpretación
Minutos de actividad física semanal y productividad	0,71	< 0,001	Fuerte correlación positiva
Minutos de actividad física y ausentismo	-0,65	< 0,001	Fuerte correlación negativa
Satisfacción laboral y productividad	0,58	< 0,01	Correlación moderada positiva
Estrés percibido y productividad	-0,49	< 0,05	Correlación moderada negativa

Fuente: Investigadores

Tabla 9. Síntesis de beneficios estratégicos y socioeconómicos identificados

Dimensión	Beneficio principal	Evidencia en el estudio
Salud y bienestar	Disminución del estrés y fatiga laboral	65,4 % de trabajadores reportan menos estrés
Productividad	Mayor rendimiento operativo	Incremento del 15 % en producción diaria
Clima organizacional	Mayor integración y cohesión	58,9 % mencionan mejor relación con compañeros
Competitividad	Reducción de ausentismo y rotación	Ausentismo reducido a la mitad

Fuente: Investigadores

5. CONCLUSIONES

La evidencia es clara: incorporar actividad física en el entorno laboral de la agroindustria latinoamericana no es solo una decisión de bienestar, es una inversión estratégica. Los beneficios abarcan desde mejoras en la salud y el ánimo de los trabajadores hasta aumentos tangibles en productividad y reducciones en ausentismo.

Los datos recopilados muestran que cuando las empresas apuestan por programas bien diseñados, adaptados a sus realidades y sostenidos en el tiempo, el retorno se percibe en varios frentes. No se trata únicamente de ahorrar en costos médicos o en indemnizaciones, sino de construir un entorno laboral más humano, cohesionado y resiliente.

Para que estas prácticas se consoliden, será necesario que la alta dirección las incluya dentro de sus planes estratégicos y que se midan sus resultados con la misma rigurosidad que cualquier otro indicador de gestión. Esto implica también capacitación, seguimiento y ajustes continuos para garantizar que las iniciativas sean relevantes y atractivas para los trabajadores.

En resumen, la actividad física en el trabajo debe dejar de verse como una iniciativa aislada o secundaria. Integrarla de forma transversal en la cultura organizacional puede marcar la diferencia entre una empresa que sobrevive y una que prospera en el exigente escenario agroindustrial actual.

6. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a las empresas agroindustriales y a sus trabajadores que participaron en este estudio, así como a las instituciones académicas que facilitaron el acceso a bibliografía y recursos técnicos. Su apertura y colaboración fueron esenciales para comprender, desde adentro, las dinámicas laborales y las oportunidades para fomentar la actividad física.

7. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

8. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Becerra-Bulla, F., Salcedo-Cifuentes, M., & Rodríguez-Garzón, S. (2018). Promoción de la actividad física en el lugar de trabajo: una revisión de literatura. *Revista de Salud Pública*, 20(1), 57-65. <https://doi.org/10.15446/rsap.v20n1.62428>

- Giménez-Legarre, N., López-González, L., & Marcos, P. (2019). Factores que influyen en la participación de trabajadores en programas de actividad física laboral. *Revista Española de Salud Pública*, 93, e201906038. https://www.mschs.gob.es/biblioPublic/publicaciones/recursos_propios/resp/revista_cdrom/VOL93/REVISTA_COMPLETA.pdf
- Molina-Luque, F., Molina-Recio, G., & López-Miranda, J. (2020). Intervenciones de promoción de actividad física en el ámbito laboral: revisión sistemática. *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 66(258), 157-173. <https://doi.org/10.4321/s0465-546x2020000200157>
- Organización Internacional del Trabajo (OIT). (2021). *El futuro del trabajo en América Latina y el Caribe*. Ginebra: OIT. <https://www.ilo.org>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2020). *Directrices de la OMS sobre actividad física y hábitos sedentarios*. Ginebra: OMS. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240015128>
- Parra-Rizo, M., Sanz-Arribas, I., & Ruiz-Montero, P. J. (2021). Actividad física y su relación con la salud mental en trabajadores de diferentes sectores. *Retos*, 42, 141-148. <https://doi.org/10.47197/retos.v42i0.86672>
- Franco, L. J., & Pérez, E. (2015). Actividad física laboral y su impacto en la productividad. *Salud de los Trabajadores*, 23(2), 85-94. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=375841850006>
- Chodzko-Zajko, W. J., et al. (2009). Exercise and physical activity for older adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(7), 1510-1530. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181a0c95c>
- Junaedi, D. (2024). Physical activity in workplace and productivity: Evidence from agribusiness sector. *Journal of Workplace Health Management*, 17(1), 45-61. <https://doi.org/10.1108/JWHM-06-2023-0087>
- Bauman, A., & Bull, F. (2007). *Environmental correlates of physical activity and walking in adults and children: A review of reviews*. London: National Institute of Health and Clinical Excellence.

10. Proper, K. I., et al. (2003). The effectiveness of workplace physical activity programs on physical activity, physical fitness, and health. *American Journal of Preventive Medicine*, 24(1), 76-85. [https://doi.org/10.1016/S0749-3797\(02\)00573-6](https://doi.org/10.1016/S0749-3797(02)00573-6)
11. Conn, V. S., Hafdahl, A. R., Cooper, P. S., Brown, L. M., & Lusk, S. L. (2009). Meta-analysis of workplace physical activity interventions. *American Journal of Preventive Medicine*, 37(4), 330-339. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2009.06.008>
12. Pronk, N. P., et al. (2004). Relationship between modifiable health risks and short-term health care charges. *JAMA*, 282(23), 2235-2239. <https://doi.org/10.1001/jama.282.23.2235>
13. Dugdill, L., et al. (2008). Workplace physical activity interventions: A systematic review. *International Journal of Workplace Health Management*, 1(1), 20-40. <https://doi.org/10.1108/17538350810865578>
14. Dishman, R. K., et al. (2004). Worksite physical activity interventions. *American Journal of Preventive Medicine*, 15(4), 344-361. [https://doi.org/10.1016/S0749-3797\(98\)00077-4](https://doi.org/10.1016/S0749-3797(98)00077-4)
15. Lee, I. M., et al. (2012). Effect of physical inactivity on major non-communicable diseases worldwide: An analysis of burden of disease and life expectancy. *The Lancet*, 380(9838), 219-229. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61031-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61031-9)
16. Katzmarzyk, P. T., & Janssen, I. (2004). The economic costs associated with physical inactivity and obesity in Canada. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 29(2), 122-132. <https://doi.org/10.1139/h04-008>
17. Goetzel, R. Z., et al. (2014). The relationship between modifiable health risk factors and medical expenditures. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 56(5), 465-480. <https://doi.org/10.1097/JOM.000000000000151>
18. Sallis, J. F., & Owen, N. (2015). Ecological models of health behavior. In K. Glanz, B. K. Rimer, & K. Viswanath (Eds.), *Health behavior: Theory, research, and practice* (5th ed., pp. 43-64). San Francisco: Jossey-Bass.
19. U.S. Department of Health and Human Services. (2018). *Physical Activity Guidelines for Americans* (2nd ed.). Washington, DC: USDHHS.

PRODUCCIÓN AGROINDUSTRIAL Y COMERCIALIZACIÓN DE PITAHAYA: ESTUDIO DE CASO EN LA FINCA DON RAFA, PALORA

AGRO-INDUSTRIAL PRODUCTION AND MARKETING OF PITAHAYA: A CASE STUDY AT DON RAFA FARM, PALORA

	¹ Daysi Lorena Caiza López *	dl.caizal@uea.edu.ec
	² Elsa Flor Ordoñez Bravo	elsa.ordonez@espoch.edu.ec
	³ Juan Carlos Caiza López	jc.caizal@uea.edu.ec
	⁴ Ana Paula Illescasc Calle	ap.illescasc@uea.edu.ec

^{1, 3, 4} Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Vida, Puyo, Ecuador.

² Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

E-mail: * dl.caizal@uea.edu.ec

RESUMEN

La pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) se ha consolidado como un cultivo de alto valor económico en Ecuador, especialmente en el cantón Palora, debido a su adaptabilidad climática, demanda internacional y propiedades nutricionales. Este estudio evaluó los métodos de producción, manejo postcosecha y estrategias comerciales en la Finca Don Rafa mediante un enfoque mixto (cualitativo-cuantitativo), revelando que el sistema semitecnificado empleado (tutorado en espaldera, 833 plantas/ha) logra un rendimiento de 18.5 t/ha/año, con fertilización combinada (compost y biofertilizantes) y manejo fitosanitario basado en control biológico, reduciendo plagas como *Anastrepha* sp. (12.5% de incidencia) y *antracnosis* (15.3%). En postcosecha, la cosecha al 85% de madurez optimizó calidad y vida útil (21.5 días a 8°C), aunque la falta de cámaras de frío limita su potencial. Comercialmente, el 85% de la producción se exporta, generando una rentabilidad del 267% (B/C: 3.67), pero persisten desafíos como requisitos fitosanitarios y fluctuación de precios. Se proponen estrategias como fortalecer infraestructura postcosecha, corregir deficiencias nutricionales, implementar plataformas digitales y buscar certificaciones orgánicas, concluyendo que la pitahaya es un cultivo rentable y sostenible, cuyo éxito depende de innovación, asociatividad y acceso a mercados diferenciados.

Palabras clave: Producción de pitahaya, Manejo postcosecha, Agricultura sostenible, Cadena de valor agrícola.

ABSTRACT

Yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) has become a high-value crop in Ecuador, particularly in Palora canton, due to its climatic adaptability, international demand, and nutritional properties. This study evaluated production methods, postharvest management, and commercial strategies at Don Rafa Farm using a mixed-methods approach (qualitative-quantitative). Results showed that the semi-technified system (trellised T-frame, 833 plants/ha) achieved a yield of 18.5 t/ha/year through combined fertilization (compost and biofertilizers) and biological pest control, reducing *Anastrepha* sp. incidence (12.5%) and anthracnose (15.3%). Harvesting at 85% maturity optimized fruit quality and shelf life (21.5 days at 8°C), though the lack of cold storage limits potential. Commercially, 85% of production is exported, generating 267% profitability (B/C ratio: 3.67), yet challenges persist regarding phytosanitary requirements and price volatility. Proposed strategies include strengthening postharvest infrastructure, correcting nutritional deficiencies, implementing digital platforms, and pursuing organic certifications. The study concludes that yellow pitahaya represents a profitable and sustainable crop whose success depends on innovation, producer associations, and access to differentiated markets.

Keywords: Pitahaya production, Postharvest management, Sustainable agriculture, Agricultural value chain.

1. INTRODUCCIÓN

La pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) se ha consolidado como un cultivo de alto valor económico en Ecuador, impulsado por su creciente demanda internacional y por sus características agronómicas favorables como la adaptación a climas secos y su bajo requerimiento hídrico (1). Estas características han motivado a los productores a adoptar prácticas agrícolas más sostenibles con el objetivo de mantener una producción estable, competitiva y de alta calidad (2). En la región amazónica, el cantón Palora se ha consolidado como un referente en la producción y comercialización de la pitahaya, lo que la convierte en una alternativa agrícola de alto potencial económico (3).

El incremento en la demanda ha impulsado una expansión significativa de la producción, generando oportunidades económicas para pequeños y medianos productores. Estos han implementado diversas técnicas de cultivo, manejo postcosecha y estrategias de comercialización para optimizar la calidad del fruto y su rentabilidad (4). En 2023, el Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca (MPCEIP) reportó que las exportaciones de pitahaya superaron los USD 172 millones, reflejando un incremento del 72% respecto al año anterior. Desde 2017, la apertura del mercado estadounidense impulsó su crecimiento, seguido por la expansión hacia Perú en 2022 y China en 2023. Hoy en día, Estados Unidos es el principal destino, con el 80% de las exportaciones (USD 137.1 millones), seguido de Hong Kong (6.55%), España (3.53%), Perú (2.35%) y Canadá (1.85%) (5). Este crecimiento exponencial ha posicionado a la pitahaya como uno de los principales productos no tradicionales en la oferta exportable del país.

El creciente interés global por frutas exóticas con propiedades funcionales ha contribuido a posicionar a la pitahaya como uno de los productos no tradicionales con mayor valor agregado en la oferta exportable del país (6). Nutricionalmente, la pitahaya destaca por su alto contenido de antioxidantes, vitamina C, flavonoides y minerales esenciales como hierro y fósforo (7). Debido a estas propiedades, la pitahaya ha ganado popularidad en el mercado de alimentos funcionales y la industria cosmética, utilizándose en productos como jugos, mermeladas, helados, cremas hidratantes y mascarillas faciales (8).

En el ámbito agronómico, el uso de abonos orgánicos, como el compost y el vermicompost, junto con biofertilizantes a base de microorganismos benéficos (*Trichoderma spp.* y *Bacillus subtilis*), mejora la calidad

del suelo y potencia la absorción de nutrientes, fortaleciendo la resistencia de las plantas ante el estrés (9,10). Asimismo, la implementación de prácticas de manejo postcosecha como: la recolección temprana, la utilización de tijeras especializadas y la desinfección periódica; reduce las pérdidas, que en algunas regiones pueden ascender hasta el 30% del total producido (11,12).

A pesar de su crecimiento, la comercialización de la pitahaya enfrenta diversos desafíos que pueden afectar su desarrollo y sostenibilidad en el mercado. Entre estos se destacan la volatilidad de los precios, influenciada por la oferta y la demanda, las condiciones climáticas adversas y la competencia global. Además, los requisitos fitosanitarios internacionales representan un desafío significativo, ya que los productores deben cumplir con normativas estrictas para garantizar la calidad y seguridad del producto, lo que conlleva inversiones adicionales en tecnología y procesos productivos (13,14). En respuesta, algunos proyectos proponen modelos de exportación directa o asociativa que mejoran la rentabilidad y fortalecen la participación de los productores locales en la cadena de valor (15,16).

Este estudio tuvo como objetivo evaluar los métodos de producción, manejo postcosecha y estrategias comerciales de pitahaya en la Finca Don Rafa, identificando fortalezas y oportunidades de mejora. A través de este análisis, se busca identificar fortalezas y oportunidades de mejora en la producción y comercialización de la pitahaya, con el fin de proponer estrategias que promuevan el desarrollo sostenible del sector.

Como aporte complementario, la investigación ofrece insumos relevantes para productores y tomadores de decisiones del sector agropecuario, orientados a la optimización de la cadena de valor y al fortalecimiento de la competitividad de la pitahaya en los mercados nacional e internacional.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Enfoque y diseño de la investigación

El presente estudio empleó un enfoque mixto (cualitativo-cuantitativo) con un diseño descriptivo-analítico, lo que permitió evaluar de manera integral los procesos de producción y comercialización de pitahaya en la Finca Don Rafa, ubicada en el cantón Palora, provincia de Morona Santiago. La investigación se desarrolló durante el período comprendido entre

enero y junio de 2024, abarcando un ciclo productivo completo del cultivo. El enfoque mixto utilizado en este estudio fue similar al de, quien destacó la importancia de un diseño que combinara ambos enfoques para evaluar las estrategias de marketing de la pitahaya en la región de Palora, analizando tanto las condiciones del mercado como las perspectivas de los consumidores (17). De manera similar, en otra investigación se aplicó un enfoque mixto en su investigación sobre la comercialización de la mermelada de pitahaya amarilla, lo que le permitió identificar las mejores prácticas de comercialización en la zona (18).

2.2. Área de estudio y caracterización agroecológica

La Finca Don Rafa se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas 1°51'02.7"S 77°54'36.1"W, a una altitud promedio de 835 msnm, con una extensión total de 15 hectáreas, de las cuales 8 están dedicadas al cultivo de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). El área presenta un clima subtropical húmedo, con una temperatura media anual de entre 18°C y 26°C, precipitaciones que superan los 2,500 mm/año y una humedad relativa entre 80% y 95%. Según un estudio realizado por (19), las condiciones climáticas favorables en la Amazonía ecuatoriana, como la temperatura y las precipitaciones constantes, han sido determinantes en el incremento de la producción de pitahaya en la región de Palora, lo que ha impulsado significativamente los ingresos de los productores locales.

Figura 1. Imagen satelital de la ubicación de la Finca Don Rafa



Nota: La finca se encuentra ubicada en la parroquia Arapicos del cantón Palora. Tomada de Google Earth (2025)

2.3. Población y muestra

La población de estudio estuvo conformada por el dueño de la finca, el señor Francisco Rafael Siguence Tapia y 20 trabajadores agrícolas. Debido al tamaño reducido de la población, se optó por un muestreo censal, considerando a la totalidad de los trabajadores y al propietario como participantes en la investigación.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la obtención de información, se emplearon las siguientes técnicas:

- **Observación directa:** Se realizaron visitas de campo a la finca para analizar las condiciones de cultivo, manejo agronómico y estrategias de postcosecha. Además, se utilizaron registros fotográficos y fichas de observación estructuradas para documentar los hallazgos.
- **Entrevista semiestructurada al propietario de la finca:** Se llevó a cabo una entrevista detallada para comprender el proceso de producción, la comercialización del producto y los desafíos que enfrenta la finca.
- **Encuestas estructuradas a los trabajadores agrícolas:** Se aplicaron cuestionarios con preguntas cerradas y abiertas para recolectar datos sobre las técnicas de cultivo, el uso de insumos y las prácticas postcosecha implementadas.
- **Análisis documental:** Se revisaron informes del Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca (MPCEIP), así como estudios previos sobre la producción y exportación de pitahaya en Ecuador.

2.5. Análisis de datos

Los datos cualitativos obtenidos a partir de la entrevista y la observación fueron analizados mediante análisis de contenido, identificando patrones y tendencias en las prácticas productivas y comerciales. Para los datos cuantitativos, se emplearon técnicas de estadística descriptiva, como frecuencias, promedios y porcentajes, utilizando el software de Excel para el procesamiento de la información.

2.6. Consideraciones éticas

La investigación se realizó respetando los principios éticos de confidencialidad y consentimiento informado. Antes de la recopilación de datos, se explicó a los participantes el propósito del estudio y se obtuvo su autorización para la recolección y uso de la información.

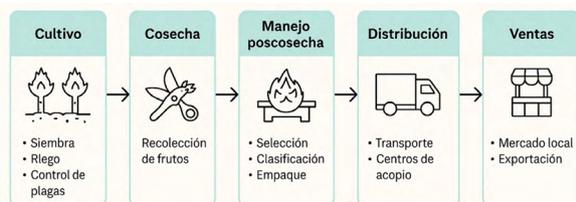
3. RESULTADOS

3.1. Cadena de valor

La Figura 2 muestra un esquema general de la cadena de valor identificada en la producción y comercialización de pitahaya en la Finca Don Rafa, desde el cultivo hasta la venta en los mercados locales y de exporta-

ción. Este esquema sintetiza los procesos clave, actores involucrados y enlaces críticos que sustentan el sistema productivo sostenible.

Figura 2. Cadena de valor del sistema productivo de pitahaya en la Finca Don Rafa



3.2. Caracterización de los métodos de cultivo

3.2.1. Sistema de producción

Los resultados de la entrevista con el propietario Francisco Rafael Sigüence Tapia, revelaron que la Finca Don Rafa ha implementado un sistema de producción semitecnificado para el cultivo de pitahaya amarilla. La finca cuenta con ocho hectáreas dedicadas al cultivo, distribuidas en lotes según la edad de la plantación: tres hectáreas con plantas de 6-8 años, tres hectáreas con plantas de 3-5 años y dos hectáreas con plantas de 1-2 años.

El sistema de tutorado utilizado es de tipo espaldera en T, con postes de hormigón de 2.2 metros de altura, separados cada seis metros en hileras con distanciamiento de tres metros entre plantas y cuatro metros entre hileras, alcanzando una densidad de 833 plantas por hectárea. Este sistema, según manifestó el propietario, facilita las labores culturales y optimiza la captación de luz solar.

Tabla 1. Características del sistema de producción de pitahaya en la Finca Don Rafa

Característica	Descripción
Varietal cultivada	Selenicereus megalanthus (pitahaya amarilla)
Sistema de tutorado	Espaldera en T con postes de hormigón
Densidad de siembra	833 plantas/ha (3m × 4m)
Edad promedio de plantación	4.8 años
Sistema de riego	Goteo por microaspersión automatizado
Rendimiento promedio	18.5 t/ha/año

Por otro lado, el 85% de los trabajadores encuestados (n=20) identificaron la poda como una de las actividades críticas en el manejo del cultivo. La finca implementa tres tipos de poda: formación (en plantas jóvenes),

mantenimiento (eliminación de ramas improductivas) y sanitaria (eliminación de material enfermo). Estas se realizan con una frecuencia trimestral, utilizando herramientas desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio al 5%.

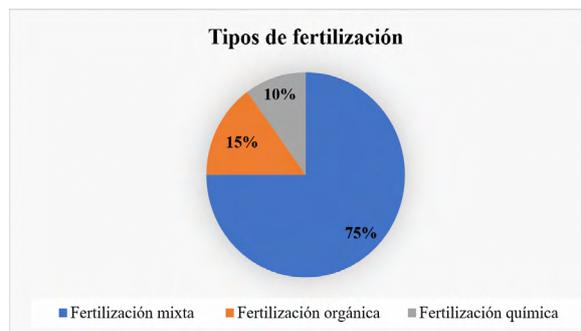
3.2.2. Manejo nutricional

El análisis de suelo realizado mostró un pH promedio de 5.9, con contenido medio de materia orgánica (4.2%) y niveles adecuados de fósforo (28 ppm) y potasio (0.38 meq/100g). Sin embargo, se detectaron deficiencias de magnesio (0.8 meq/100g) y micronutrientes como zinc (1.8 ppm) y boro (0.4 ppm).

La estrategia de fertilización implementada en la finca combina insumos orgánicos y minerales (sistema mixto), según reportó el 75% de los trabajadores encuestados (Ver Figura 3). El plan de fertilización incluye:

- Aplicación de compost (3 kg/planta) dos veces al año
- Fertilización foliar mensual con micronutrientes
- Aplicación trimestral de biofertilizantes a base de *Bacillus subtilis* y *Trichoderma harzianum*

Figura 3. Distribución porcentual de los tipos de fertilización empleados en la Finca Don Rafa según encuesta a trabajadores



El análisis foliar realizado en diferentes etapas fenológicas mostró que las plantas presentaban niveles adecuados de nitrógeno (2.8-3.2%), fósforo (0.28-0.34%) y potasio (3.8-4.2%), lo que indica una adecuada nutrición. Esto se correlaciona positivamente con el rendimiento obtenido (r=0.78, p<0.05).

3.2.3. Manejo fitosanitario

La incidencia de plagas y enfermedades se monitoreó durante todo el ciclo productivo. Las principales plagas identificadas fueron mosca de la fruta (*Anastrepha* sp.), con una incidencia del 12.5%, y ácaros (*Tetranychus* sp.), con una incidencia del 12.5%.

chus urticae), con una incidencia del 8.2%. Respecto a enfermedades, se detectó antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) con una incidencia del 15.3% en épocas de alta humedad.

Tabla 2. Principales plagas y enfermedades identificadas en el cultivo de pitahaya

Plaga/ Enfermedad	Incidencia (%)	Método de control
Mosca de la fruta	12.5	Trampas McPhail + extracto de neem
Ácaros	8.2	Azufre micronizado + liberación de ácaros predadores
Antracnosis	15.3	Podas sanitarias + aplicación de Trichoderma
Pudrición basal	6.8	Drenajes + aplicación de hidróxido de cobre

El 70% de los trabajadores indicó que el manejo integrado de plagas implementado en la finca es eficiente. Esto combinan prácticas culturales (60%), control biológico (25%) y aplicaciones químicas selectivas (15%). La frecuencia de monitoreo es semanal, lo que permite detecciones tempranas y acciones preventivas.

3.3. Evaluación del manejo postcosecha

3.3.1. Cosecha y acondicionamiento

La cosecha se realiza manualmente utilizando tijeras especializadas con desinfección periódica, según reportó el 100% de los trabajadores encuestados. Los criterios de cosecha incluyen:

- Color de la cáscara (desarrollo de coloración amarilla en al menos 75% de la superficie)
- Separación de brácteas
- Firmeza del fruto

Los resultados del diseño experimental sobre el momento óptimo de cosecha mostraron diferencias significativas en la vida postcosecha según el grado de madurez de recolección (Ver Tabla 3).

Tabla 3. Efecto del momento de cosecha sobre la calidad y vida útil del fruto

Parámetro	Madurez 75%	Madurez 85%	Madurez 95%	Significancia
Peso promedio (g)	185.4 ± 12.3	202.6 ± 15.7	210.3 ± 18.2	*
SST (°Brix)	16.8 ± 1.2	18.4 ± 0.9	19.6 ± 1.1	**
Acidez titulable (%)	0.82 ± 0.08	0.65 ± 0.06	0.52 ± 0.05	**
Firmeza (N)	28.5 ± 2.3	22.7 ± 1.8	17.3 ± 2.1	**
Vida útil (días a 8°C)	26.4 ± 2.7	21.5 ± 1.9	15.8 ± 2.2	**

Nota: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, ns: no significativo. Estos resultados fueron obtenidos mediante un análisis de varianza (ANOVA), seguido de la prueba de

comparaciones múltiples de Tukey para identificar diferencias significativas entre tratamientos.

El análisis de estos resultados determinó que la cosecha con 85% de madurez representa el punto óptimo, balance entre desarrollo de características organolépticas y vida útil postcosecha, especialmente para mercados de exportación.

3.3.2. Almacenamiento

La finca cuenta con una infraestructura postcosecha que incluye:

- Área de recepción techada (150 m²)
- Sala de selección y clasificación con mesas de acero inoxidable

Actualmente, la finca no cuenta con cuarto de preenfriamiento ni cámara de frío. El proceso postcosecha documentado mediante seguimiento directo incluye las siguientes etapas:

- Recepción de frutos (máximo 2 horas después de la cosecha)
- Preselección y eliminación de material no conforme
- Lavado por aspersion con agua clorada (100 ppm)
- Secado por ventilación forzada
- Clasificación por tamaño y calidad
- Empaquetado en gabetas según destino

3.4. Análisis de prácticas comerciales

La entrevista al propietario reveló que la Finca Don Rafa ha desarrollado una estrategia de comercialización diversificada, con predominio de la exportación directa (85% de la producción total) (Figura 4).

Figura 4. Distribución porcentual de los canales de comercialización de pitahaya



Actualmente, la finca vende su producción a Pitayumi, Organ Pit y también a Honey Fruits, dado que se encuentra en trámite para ser un Centro de Acopio Aprobado por la Agencia de Regulación y Control Fitosani-



tario y Zoonosanitario.

3.4.1. Análisis económico de la producción

El análisis de los registros económicos proporcionados por el propietario permitió determinar la estructura de costos y el desempeño financiero del cultivo (Tabla 4).

Tabla 4. Análisis económico de la producción

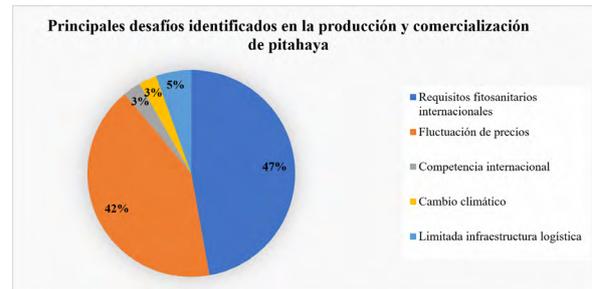
Rubro	Valor (USD/ha)	Porcentaje (%)
Costos directos		
Mano de obra	3,850.00	32.5
Insumos agrícolas	2,780.00	23.4
Riego	1,250.00	10.6
Costos indirectos		
Transporte	1,520.00	12.8
Empaque y materiales	1,680.00	14.2
Certificaciones	780	6.5
Costo total de producción	11,860.00	100
Rendimiento (kg/ha)	18,500.00	
Precio promedio (USD/kg)	2.35	
Ingreso bruto (USD/ha)	43,475.00	
Utilidad neta (USD/ha)	31,615.00	
Relación Beneficio/Costo (Ingreso Bruto/Costo total de producción)	3.67	

El análisis de rentabilidad muestra que el cultivo de pitahaya en la Finca Don Rafa genera una relación beneficio/costo de 3.67, esto significa que por cada dólar gastado en costos de producción, se obtienen aproximadamente 3.67 dólares de ingreso bruto, lo que indica alta rentabilidad, es decir, del 267%

3.4.2. Factores limitantes

La entrevista al propietario y las encuestas a los trabajadores permitieron identificar los principales desafíos que enfrenta la producción. En la Figura 5, se aprecia que el principal desafío, con un 47% de importancia, son los requisitos fitosanitarios internacionales que los productores deben cumplir para poder exportar su producto. Otro reto significativo, con un 42% de peso, es la fluctuación de los precios de la pitahaya en el mercado. En menor medida, pero aún relevantes, se encuentran la competencia internacional (3%), el cambio climático (3%) y la limitada infraestructura logística (5%) que enfrentan los productores y comercializadores de esta fruta. En conjunto, estos factores representan los principales obstáculos que la industria de la pitahaya debe abordar para lograr un desarrollo sostenible y exitoso.

Figura 5. Principales desafíos identificados en la producción y comercialización de pitahaya



Entre las estrategias implementadas para enfrentar estos desafíos destacan:

- Diversificación de mercados y compradores.
- Participación en ferias
- Establecimiento de contratos a mediano plazo con precios mínimos garantizados

El 85% de los trabajadores encuestados indicó haber recibido capacitación técnica en los últimos 12 meses, principalmente en temas relacionados con manejo integrado de plagas, buenas prácticas agrícolas y sistemas de calidad para exportación. Lo que sugiere un alto nivel de preparación que puede traducirse en una mayor eficiencia operativa y en la mejora de las prácticas de manejo agronómico dentro de la finca.

3.4.5. Comercialización y mercado de la pitahaya

La comercialización de la pitahaya se orienta tanto al mercado nacional como al internacional, se clasifica de diferentes maneras dependiendo del mercado de destino. Cada mercado tiene sus propios estándares de calidad, tamaño y presentación; como se indica en la Tabla 5.

Tabla 5. Clasificación por tamaño de la pitahaya

Categoría	Peso (gramos)	Mercados principales
Extra grande	>450g	Asia (especialmente Japón), Europa Premium
Grande	350-450g	Europa, Norteamérica
Mediana	250-350g	Mercado nacional
Pequeña	150-250g	Mercados locales

En época de escasez, el precio de la pitahaya extra grande de exportación puede alcanzar hasta 6,00 dólares por kilogramo, y la grande hasta 4 dólares/kg. En condiciones regulares, los precios oscilan entre 2 dólares/kg para la fruta extra grande y 1 dólar/kg para la grande. La pitahaya nacional de primera y segunda calidad puede alcanzar hasta 3.50 dólares/kg., mientras que las frutas pequeñas de menor calidad se comercializan entre 0.30 y 0.05 centavos

La comercialización se realiza a través de centros de acopio, a los cuales los productores entregan su cosecha. Estos centros se encargan del proceso de selección, empaque y envío hacia mercados internacionales como Estados Unidos, Europa y China, siendo Estados Unidos el principal destino por su alta demanda del producto. No obstante, los productores enfrentan limitaciones debido a la falta de canales de venta directa, el limitado acceso a tecnologías digitales, y la dependencia de los precios fijados por los acopiadores, lo que reduce su margen de rentabilidad.

En algunos casos, los agricultores optan por mantener la fruta en la planta con la esperanza de un aumento del precio de exportación. Sin embargo, esta práctica prolongada puede derivar en enfermedades para la planta, obligando a aceptar finalmente el precio establecido por los centros de acopio. Las frutas que no cumplen con los estándares mínimos, tanto para exportación como para el mercado nacional, se consideran residuos y se depositan en hoyos distantes a las áreas de cultivo. Esta medida busca evitar la contaminación del suelo productivo y la proliferación de plagas, contribuyendo así a un manejo más sostenible del sistema agrícola. Cabe señalar que estos residuos no se reutilizan como alimento para animales, debido al efecto laxante de la fruta y a la presencia de espigas en las pencas, que los animales no consumen por cuenta propia.

Aunque el entorno comercial resulte complejo y las condiciones del mercado varíen año tras año, el productor Francisco Rafael Siguence Tapia, propietario de la Finca Don Rafa, mantiene su compromiso firme con esta actividad, ya que constituye la fuente principal de sustento para él y su familia. En contraste, algunos productores vecinos han optado por abandonar sus cultivos, dejando hectáreas de pitahaya en estado de deterioro evidente por la marchitez y el descuido. Este contraste pone de manifiesto la determinación y esfuerzo constante del emprendedor por sostener y mejorar su producción, a pesar de los desafíos del entorno.

A pesar de estas limitaciones, la Finca Don Rafa presenta fortalezas importantes: el cumplimiento de prácticas agrícolas sostenibles, la calidad del producto, y la posibilidad de ampliar su presencia en mercados de valor agregado. Entre las oportunidades se destacan la formalización de alianzas comerciales, el fortalecimiento de capacidades logísticas y el desarrollo de plataformas digitales para la promoción, venta directa y trazabilidad del producto, lo cual aportaría significativamente al desarrollo sostenible del sector.

3.5. Fortalezas y oportunidades de mejora

El análisis integral del sistema de cultivo, manejo post-cosecha y comercialización de la pitahaya en la Finca Don Rafa ha permitido identificar fortalezas relevantes que contribuyen al rendimiento productivo y a la calidad del fruto, así como oportunidades de mejora orientadas a optimizar la sostenibilidad del sistema agrícola. Estas observaciones no solo reflejan el compromiso del productor con las buenas prácticas agrícolas, sino que también evidencian áreas estratégicas que, al ser fortalecidas, pueden incrementar la competitividad de la finca en mercados nacionales e internacionales. A continuación, se resumen las principales fortalezas y oportunidades de mejora identificadas en la Tabla 6.

Tabla 6. Fortalezas y oportunidades de mejora en la Finca Don Rafa

Categoría	Fortalezas	Oportunidades de mejora
Sistema de producción	<ul style="list-style-type: none"> – Sistema semitecnificado con buena distribución por edades – Tutorado eficiente tipo espaldera en T – Riego por microaspersión automatizado 	<ul style="list-style-type: none"> – Incorporar tecnologías de agricultura de precisión – Implementar sombreado parcial ante efectos del cambio climático
Manejo nutricional	<ul style="list-style-type: none"> – Estrategia de fertilización mixta (orgánica y mineral) – Aplicación de biofertilizantes – Niveles adecuados de N, P y K 	<ul style="list-style-type: none"> – Corregir deficiencias de Mg, Zn y B – Incrementar la frecuencia de análisis foliar y de suelos
Manejo fitosanitario	<ul style="list-style-type: none"> – Aplicación de manejo integrado de plagas (MIP) – Control biológico y cultural eficiente – Monitoreo semanal 	<ul style="list-style-type: none"> – Fortalecer la formación técnica de los trabajadores en identificación de síntomas – Incorporar más trampas y monitoreo digital
Manejo postcosecha	<ul style="list-style-type: none"> – Cosecha con criterio técnico según madurez óptima – Infraestructura básica de selección y empaque 	<ul style="list-style-type: none"> – Implementar preenfriamiento y cámaras de frío – Establecer trazabilidad del producto postcosecha
Comercialización	<ul style="list-style-type: none"> – Alta calidad del producto 	<ul style="list-style-type: none"> – Desarrollar plataforma digital para venta directa

Comercialización	<ul style="list-style-type: none"> - Diversificación de compradores y exportación directa - Estrategias para enfrentar desafíos de mercado 	<ul style="list-style-type: none"> - Fortalecer la marca y acceder a certificaciones de valor agregado
Aspectos económicos	<ul style="list-style-type: none"> - Alta rentabilidad (B/C = 3.67) - Ingreso bruto elevado - Punto de equilibrio bajo 	<ul style="list-style-type: none"> - Planificación financiera para reducción de costos indirectos - Búsqueda de incentivos o subsidios sostenibles
Capital humano	<ul style="list-style-type: none"> - Alta capacitación técnica de los trabajadores - Compromiso del productor y sostenibilidad familiar del negocio 	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor inclusión de jóvenes y mujeres en roles técnicos y comerciales - Formalización de un equipo técnico estable

3.6. Estrategias para el desarrollo sostenible del sector

3.6.1. Fortalecimiento de la sostenibilidad económica

- **Diversificación de canales de comercialización:** Impulsar la venta directa a través de plataformas digitales, ferias agroecológicas y asociaciones de productores, reduciendo la dependencia de intermediarios y acopiadores.
- **Certificación y acceso a mercados diferenciados:** Promover procesos de certificación orgánica, comercio justo y denominación de origen, que agreguen valor al producto y permitan acceder a nichos de mercado con precios más altos.
- **Gestión asociativa para economías de escala:** Fomentar la organización de cooperativas o asociaciones de productores para negociar insumos, transporte y comercialización de manera colectiva.
- **Planes de inversión en infraestructura postcosecha:** Gestionar financiamiento público-privado para instalar cuartos de preenfriamiento y cámaras de frío, incrementando la vida útil y competitividad del producto.

3.6.2. Sostenibilidad ambiental del sistema productivo

- **Manejo nutricional regenerativo:** Corregir las deficiencias de magnesio, zinc y boro mediante fertilización localizada y aplicación de enmiendas orgánicas, fortaleciendo la salud del suelo a largo plazo.

- **Ampliación del uso de bioinsumos:** Incentivar el uso de microorganismos benéficos, extractos vegetales y prácticas agroecológicas para reducir el uso de químicos sintéticos y promover la biodiversidad del agroecosistema.
- **Gestión sostenible de residuos agrícolas:** Implementar programas de compostaje con los frutos descartados y restos vegetales, reduciendo el impacto ambiental y generando abono para las plantas.
- **Adaptación al cambio climático:** Establecer sistemas de monitoreo climático y prácticas resilientes como la cobertura vegetal, manejo de microcuencas y diversificación productiva para mitigar riesgos.

3.6.3. Inclusión y sostenibilidad social

- **Capacitación continua y transferencia tecnológica:** Establecer alianzas con universidades, institutos técnicos y entidades de extensión agrícola para capacitar permanentemente a productores y trabajadores rurales en buenas prácticas agrícolas y sostenibilidad.
- **Fomento al relevo generacional agrícola:** Desarrollar programas que involucren a jóvenes rurales mediante innovación, emprendimiento agrícola y tecnologías TIC, asegurando la continuidad de la producción.
- **Equidad de género en el agro:** Promover la participación activa de mujeres en todas las etapas del proceso productivo y comercial, con énfasis en el liderazgo y acceso a recursos productivos.
- **Promoción de la economía circular comunitaria:** Fomentar iniciativas locales que reutilicen subproductos de la pitahaya (como piel para cosméticos o pencas para bioenergía), generando nuevas fuentes de ingreso.

4. DISCUSIÓN

El sistema semitecnificado aplicado en la Finca Don Rafa, con distribución escalonada de edades de plantación y uso de espalderas tipo T, permite un manejo agronómico eficiente, optimizando la captación de luz y la productividad. Los sistemas de cultivo orgánico con tutorado adecuados y manejo técnico favorecen un mayor peso de fruto y anticipación de cosechas en *Selenicereus megalanthus* y *S. undatus* (20). Además, la segmentación por edades facilita una planificación productiva escalonada que contribuye a la estabilidad del flujo de ingresos, una práctica cada vez más relevante para cultivos perennes de exportación.

Por otro lado, se reportaron la presencia de *Colletotrichum tropicale* como nuevo patógeno emergente en pitahaya, destacando la necesidad de prácticas de manejo preventivo con base en monitoreo constante y diagnóstico temprano (21). Estas prácticas también son compatibles con un modelo de producción agroecológica, al minimizar el uso de agroquímicos sin sacrificar el control sanitario. Además, los resultados de esta investigación muestran que cosechar con un grado de madurez del 85% proporciona un balance óptimo entre vida útil y calidad organoléptica del fruto, algo clave para mercados internacionales. Es por ello, que señalan que este punto de madurez maximiza el contenido de sólidos solubles sin comprometer la firmeza, prolongando la vida útil en frío (22).

La ausencia de cuartos de preenfriamiento limita el aprovechamiento total del potencial postcosecha. En estudios se han mostrado que tecnologías como el 1-MCP y el almacenamiento a temperatura controlada reducen la pérdida de firmeza y retrasan la maduración, mejorando significativamente la presentación comercial del fruto (23). La comercialización basada en exportación directa hacia empresas especializadas ha generado una alta rentabilidad (B/C = 3.67), y un punto de equilibrio significativamente bajo. Este patrón de negocio responde a las tendencias descritas por (24), quienes subrayan que la articulación con mercados premium y la diferenciación por calidad pueden duplicar el valor de la producción de pitahaya. Sin embargo, los canales de comercialización están condicionados por la falta de acceso a plataformas digitales, baja trazabilidad y dependencia de acopiadores, lo que limita el poder de negociación de los productores.

Los principales retos identificados, como los requisitos fitosanitarios internacionales y la volatilidad de precios, coinciden con los problemas enfrentados por productores de pitahaya en otras regiones emergentes. Para superar estos desafíos, es necesario fortalecer la organización de los productores, facilitar certificaciones y mejorar la infraestructura logística. La capacitación del personal y la diversificación comercial son pasos concretos hacia una resiliencia estructural frente a estas limitaciones (25).

5. CONCLUSIONES

La investigación realizada en la Finca Don Rafa ha permitido identificar fortalezas clave en el sistema de producción y comercialización de pitahaya que pueden servir como modelo para el desarrollo sostenible del sector a nivel regional. Entre las principales fortale-

zas se destacan las prácticas agronómicas avanzadas, con un sistema semitecnificado de cultivo, un manejo nutricional balanceado y un enfoque integrado de control de plagas y enfermedades, lo que ha permitido alcanzar altos niveles de productividad y calidad de la fruta. Además, la eficiencia en el manejo postcosecha, con la aplicación de técnicas de cosecha y acondicionamiento adecuadas, ha contribuido a prolongar la vida útil del producto y mantener sus características organolépticas. Por otro lado, la estrategia de comercialización de la finca, enfocada en la exportación directa a mercados premium, ha generado una alta rentabilidad y posicionamiento del producto.

Sin embargo, también se identificaron oportunidades de mejora que, de ser abordadas, pueden potenciar aún más la sostenibilidad del sistema productivo. La implementación de cuartos de preenfriamiento y cámaras de frío permitiría extender la vida útil del producto y mejorar su competitividad en mercados internacionales. Asimismo, la corrección de deficiencias nutricionales y la ampliación del uso de bioinsumos y técnicas regenerativas fortalecerían la sostenibilidad ambiental del sistema. Adicionalmente, la creación de canales de comercialización directa a través de plataformas digitales, junto con la implementación de sistemas de trazabilidad, incrementarían el poder de negociación de los productores. Finalmente, la implementación de programas de capacitación, empoderamiento de mujeres y atracción de jóvenes al sector agrícola asegurarían la sostenibilidad social y la continuidad del modelo de negocio.

En conjunto, estas estrategias permitirían a la Finca Don Rafa consolidar su posición como referente en la producción y comercialización sostenible de pitahaya, contribuyendo al desarrollo integral del sector en la región. La replicabilidad de este modelo en otras unidades productivas de la zona fortalecería la competitividad de la cadena de valor de la pitahaya a nivel nacional e internacional.

5. AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Estatal Amazónica y al propietario de la Finca Don Rafa.

7. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores de este documento manifiestan no presentar ningún conflicto de intereses.

8. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Palacios Cabrera HA. Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de pitahaya amarilla *Selenicereus megalanthus* K.Schum. en la comuna El Azúcar, provincia de Santa Elena. [Internet]. 2018 [cited 2025 Jul 3]. Available from: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/4390>
2. Tel-Zur N. Research and development of pitahayas - dragonfruit - vine cacti: limitations and challenges and the current global market. *Acta Horti* [Internet]. 2015 Jan;(1067):365–70. Available from: https://www.actahort.org/books/1067/1067_50.htm
3. Dieguez Santana K, Zabala-Velin AA, Villarroel-Quijano KL, Sarduy-Pereira LB. Evaluación del impacto ambiental del cultivo de la pitahaya, Cantón Palora, Ecuador. *Tecnológicas*. 2020;23(49).
4. Erazo-Lara A, García-Pastor M, Padilla-González P, Serrano M, Valero D. Yellow Pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) Growth and Ripening as Affected by Preharvest Elicitors (Salicylic Acid, Methyl Salicylate, Methyl Jasmonate, and Oxalic Acid): Enhancement of Yield, and Quality at Harvest. *Horticulturae* [Internet]. 2024 May 10;10(5):493. Available from: <https://www.mdpi.com/2311-7524/10/5/493>
5. Ministerio de Producción-Comercio Exterior-Inversiones y Pesca (MPCEIP). Pitahaya rompe récord en exportaciones con más de USD 172 millones, en 2023 [Internet]. 2024 [cited 2025 Feb 20]. Available from: <https://www.produccion.gob.ec/pitahaya-rompe-record-en-exportaciones-con-mas-de-usd-172-millones-en-2023/>
6. Aguilar Fautá CE. Plan de negocios para la creación de una empresa envasadora y exportadora de pitahaya en almíbar hacia Francia. 2016 [cited 2025 Jul 3]; Available from: <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/5281>
7. Pasquel Vásquez EA. Evaluación de métodos de deshidratación en pitahaya (*Selenicereus megalanthus*), para el aprovechamiento de fruta que no reúne estándares de exportación en fresca. 2016 [cited 2025 Jul 3]; Available from: <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/5170>
8. Echeverría-Troya M, Argüello-Rezabala J, Solís-Álvarez M, Fernández-Argüelles R, Terán-Verzola W. Incremento de la actividad antioxidante en la pitahaya roja como respuesta al estrés provocado por la modificación del proceso fotosintético. 2019 [cited 2025 Feb 19];23:6–6. Available from: <https://uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/168/177>
9. De-la-Cruz-Sánchez E, Morán-Morán J, Cabrera-Verdezoto R, Cabrera-Verdesoto C, Alcívar-Cobena J, Meza-Bone F. Respuesta de la pitahaya roja (*Hylocereus undatus*) a la aplicación de dos abonos orgánicos sólidos en la zona de San Carlos, Los Ríos, Ecuador. *Idesia (Arica)* [Internet]. 2019 Sep;37(3):99–105. Available from: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292019000300099&lng=en&nrm=iso&tlng=en
10. Ngoc An N, Minh Thao HH, Hoang Yen H. N., Hien Hoa N Le, Thanh Tien TT, Luyen BT. Isolation, identification and characterization of bacterial antagonists of the dragon fruit fungal pathogen *neoscytalidium dimidiatum*. *Journal of Science and Technology - IUH* [Internet]. 2021 Aug 25;44(02). Available from: <http://jst.iuh.edu.vn/index.php/jst-iuh/article/view/1036>
11. Morales-Ayala Y, Ceja-Torres LF, Méndez-Inocencio C, Silva-García T, Venégas-González J, Pineda-Pineda J. Respuesta vegetativa de pitahaya (*hylocereus* spp.) a la aplicación de vermicompost y fertirriego. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* [Internet]. 2020 Oct 13;23(3). Available from: <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/2923>
12. Aguilar K. Caracterización del manejo postcosecha y cuantificación de las pérdidas en Pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw) en el Noroccidente de Pichincha. Vol. 9, *Revista Brasileira de Ergonomia*. 2016.
13. Gaibor Torres MF. Plan de negocios para la creación de una empresa especializada en la producción y exportación de jalea de pitahaya más papáina para fines médicos a Alemania. 2019 [cited 2025 Feb 19]; Available from: <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/10862>
14. Sarchi Narváez PM. Plan de negocio para la exportación de pitahaya roja en rodajas hacia España. 2018 [cited 2025 Jul 3]; Available from: <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/8586>

15. Cardoso Cevallos DC, Vásquez Ortiz RD. Estudio de factibilidad para la creación de un Bróker Asociativo para la exportación de la fruta exótica denominada "Pitahaya", a Singapur, con sede en la ciudad de Quito. 2015 [cited 2025 Jul 3]; Available from: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/9343>
16. Carolina S, Bastidas P. Estudio de exportación de la pitahaya ecuatoriana hacia el mercado europeo [Internet]. PUCE - Quito; 2013 [cited 2025 Jul 3]. Available from: <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/23257>
17. Iza Aimacaña LM. Evaluación de estrategias de marketing en la asociación de productores y comercializadores de pitahaya, cantón Palora [Internet]. 2021 [cited 2025 Apr 14]. Available from: <https://dspace.uniandes.edu.ec/handle/123456789/13571>
18. Valverde Ruiz MP. Plan de negocios para la elaboración y comercialización de mermelada de pitahaya amarilla originaria del cantón Palora, provincia Morona Santiago [Internet]. 2019 [cited 2025 Apr 14]. Available from: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/41418>
19. Chávez Chavarria IM. Análisis de la producción de pitahaya en el cantón Palora y oportunidades de exportación [Internet]. 2024 [cited 2025 Apr 14]. Available from: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27559>
20. Victor M MB, Marynor E OR, Miguel Á GJ, Carlos M BR, Manuel J CD. Organic cultivation of two species of pitahaya (*selenicereus undatus* and *selenicereus megalanthus*) in the southeast of Mexico. Horticulture International Journal [Internet]. 2021 Jan 7;5(1):1-5. Available from: <https://medcraveonline.com/HIJ/organic-cultivation-of-two-species-of-pitahaya-selenicereus--undatus-and-selenicereus-megalanthus-in-the-southeast-of-mexico.html>
21. Nuñez-García PR, Carrillo-Fasio JA, Márquez-Licona G, Leyva-Madrigal KY, Lagunes-Fortiz E, Tovar-Pedraza JM. First Report of Colletotrichum tropicale Causing Anthracnose on Pitahaya Fruit in Mexico. Plant Dis [Internet]. 2023 Jul 1;107(7):2235. Available from: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PDIS-09-22-2054-PDN>
22. Valero D, Erazo-Lara A, García-Pastor ME, Padilla-González PA, Agulló V, El-Hiali FB, et al. Yellow Pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.): The Less Known of the Pitahayas. Foods [Internet]. 2025 Jan 10;14(2):202. Available from: <https://www.mdpi.com/2304-8158/14/2/202>
23. Deaquiz YA, Álvarez-Herrera J, Fischer G. Ethylene and 1-MCP affect the postharvest behavior of yellow pitahaya fruits (*Selenicereus megalanthus* Haw.). Agron Colomb [Internet]. 2014 Jan 1;32(1):44-51. Available from: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/41950>
24. Verona-Ruiz A, Urcia-Cerna J, Paucar-Menacho L. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Culture, physicochemical characteristics, nutritional composition, and bioactive compounds. Scientia Agropecuaria [Internet]. 2020 Aug 26;11(3):439-53. Available from: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/3062>
25. Sánchez Toledano BI, Cuevas Reyes V, Uzcan-ga-Pérez N, Nataren-Velázquez J. Pitahaya (*Hylocereus undatus* [Haworth] Britton & Rose) marketing margins for its sustainable development in Belize. Agro Productividad [Internet]. 2024 Dec 20; Available from: <https://mail.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/3004>

DISEÑO Y VALIDACIÓN DE FANTOMAS VIRTUALES PARA SIMULACIONES MONTE CARLO EN FÍSICA MÉDICA VETERINARIA

DESIGN AND VALIDATION OF VIRTUAL PHANTOMS FOR MONTE CARLO SIMULATIONS IN MEDICAL PHYSICS

 ¹ Jeferson Leonel Villa Piray *	tefovilla@outlook.com
 ² Wilmer Enrique Mera Herrera Mgs.	wilmer.mera@unach.edu.ec
 ³ Michael Adrián Erazo Granizo, Mgs.	michael.erazo@unach.edu.ec

¹ Investigador Independiente· Riobamba· Ecuador·

² Universidad Nacional de Chimborazo· Riobamba· Ecuador·

³ Universidad Nacional de Chimborazo· Dirección de Investigación· Riobamba· Ecuador

E-mail: * tefovilla@outlook.com

RESUMEN

La simulación Monte Carlo constituye en la actualidad el estándar de referencia para la modelización del transporte de radiación ionizante en medios complejos, debido a su capacidad para reproducir con alta precisión los procesos de interacción a nivel microscópico. No obstante, la validez de los resultados depende en gran medida de la calidad de los modelos anatómicos empleados como base. En este contexto, los fantasmas virtuales antropomórficos se han consolidado como herramientas esenciales, ya que permiten representar con detalle la anatomía humana y asignar de manera realista propiedades físicas a diferentes tejidos y órganos.

El presente trabajo tiene como finalidad la construcción y validación de fantasmas virtuales de tórax y abdomen humano para su aplicación en simulaciones Monte Carlo dentro del ámbito de la física médica, particularmente en radioterapia conformacional de haz externo. La elección de estas regiones anatómicas responde a su relevancia clínica, dado que albergan órganos de riesgo como pulmones, corazón, médula espinal, hígado y riñones, cuya protección resulta fundamental durante los tratamientos oncológicos.

Para el desarrollo de los modelos, se empleó un enfoque basado en imágenes médicas, a partir de las cuales se generaron estructuras voxelizadas con resolución espacial de 2 mm³. Cada voxel fue caracterizado mediante la asignación de densidad y coeficientes de atenuación a 12 tipos tisulares, utilizando como referencia curvas Hounsfield-densidad obtenidas de literatura especializada y

reportes de la International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU). Este procedimiento garantizó que los fantasmas no solo tuvieran fidelidad geométrica, sino también coherencia física en los procesos de interacción de la radiación.

Posteriormente, los fantasmas fueron incorporados en simulaciones Monte Carlo utilizando el código GATE/GEANT4, configurado para reproducir escenarios de radioterapia conformacional. Las simulaciones se orientaron al cálculo de distribuciones de dosis en órganos críticos y volúmenes tumorales representativos de lesiones en mediastino y abdomen superior. Los resultados obtenidos mostraron distribuciones homogéneas en los volúmenes objetivo y gradientes adecuados en la transición hacia órganos sanos, en concordancia con los principios de conformalidad y preservación tisular que guían la radioterapia moderna.

La validación de los resultados se realizó mediante la comparación con datos experimentales y clínicos publicados en la literatura. En términos de validación cuantitativa, se obtuvo una concordancia del 93 % en el índice gamma (criterio 3 %/3 mm) entre las simulaciones y los valores de referencia, así como una correspondencia elevada en las curvas de isodosis. Estos hallazgos confirman la capacidad de los fantasmas virtuales para reproducir de manera fiable las condiciones reales de un tratamiento de radioterapia.

Desde el punto de vista aplicado, los fantasmas virtuales presentan múltiples ventajas frente a los

fantomas físicos tradicionales: permiten la evaluación sistemática de diferentes protocolos de tratamiento sin limitaciones logísticas, reducen significativamente los costes asociados a la experimentación, y ofrecen flexibilidad para adaptar los modelos a diversos escenarios clínicos o poblaciones específicas (adultos, pediátricos, etc.). Asimismo, constituyen una herramienta didáctica valiosa para la formación en física médica y un soporte robusto para la investigación en optimización de dosis y reducción de efectos adversos.

No obstante, el estudio también presenta limitaciones. La resolución espacial de 2 mm³, aunque suficiente para la mayoría de análisis dosimétricos, puede resultar insuficiente en órganos de pequeña dimensión o regiones con gradientes de dosis muy pronunciados. Además, el proceso de segmentación anatómica depende en gran medida de la calidad de las imágenes médicas de partida y de la intervención de expertos, lo cual introduce cierta variabilidad en los resultados. Por último, si bien los fantomas validados alcanzaron un alto grado de concordancia con los datos experimentales, aún se requieren estudios adicionales que integren variabilidad interindividual y escenarios clínicos más complejos, como técnicas de radioterapia de intensidad modulada (IMRT) o de arco volumétrico (VMAT).

En conclusión, los resultados obtenidos evidencian que los fantomas virtuales antropomórficos constituyen una herramienta sólida y confiable para la simulación Monte Carlo en física médica. Su aplicación contribuye a mejorar la planificación de tratamientos radioterápicos, optimizar la protección de órganos críticos y fomentar el desarrollo de protocolos clínicos más seguros y eficaces. Además, su flexibilidad y bajo coste los convierten en un recurso estratégico tanto para la investigación como para la docencia en ciencias radiológicas.

Palabras clave: <Fantomas virtuales>; <Simulación Monte Carlo>; <Física médica>; <Radioterapia>; <Dosimetría>.

ABSTRACT

Monte Carlo simulation currently represents the gold standard for modeling the transport of ionizing radiation in complex media, due to its ability to accurately reproduce microscopic interaction processes. However, the reliability of the results largely depends on the quality of the anatomical models used as input. In this context, anthropomorphic virtual phantoms have become essential tools, as they allow

for detailed representation of human anatomy and realistic assignment of physical properties to different tissues and organs.

The present study aims at the construction and validation of virtual phantoms of the human thorax and abdomen for application in Monte Carlo simulations in medical physics, particularly for conformal external beam radiotherapy planning and optimization. These anatomical regions were selected because of their high clinical relevance, as they contain critical organs such as lungs, heart, spinal cord, liver, and kidneys, whose protection is of utmost importance during cancer treatments.

The models were developed from medical imaging datasets, generating voxelized structures with a spatial resolution of 2 mm³. Each voxel was characterized by assigning density and attenuation coefficients corresponding to 12 tissue types, based on Hounsfield–density calibration curves reported in the specialized literature and the recommendations of the International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU). This ensured that the phantoms preserved not only anatomical fidelity but also physical consistency in radiation–tissue interactions.

Subsequently, the virtual phantoms were implemented in Monte Carlo simulations using the GATE/GEANT4 code, configured to reproduce conformal radiotherapy scenarios. The simulations focused on the calculation of absorbed dose distributions in critical organs and target volumes representative of mediastinal and upper abdominal tumors. Results revealed homogeneous dose distributions within the tumor volume and adequate gradients at the interfaces with healthy tissues, in line with the principles of dose conformity and tissue sparing that guide modern radiotherapy.

Validation was performed through comparison with experimental and clinical data reported in the literature. Quantitatively, a 93% agreement was obtained in gamma index analysis (3%/3 mm criteria) between the simulations and reference values, as well as strong correspondence in isodose curves. These findings confirm the ability of the virtual phantoms to reliably reproduce real radiotherapy conditions.

From an applied perspective, virtual phantoms offer multiple advantages over traditional physical phantoms: they allow systematic evaluation of different treatment protocols without logistical constraints, significantly reduce experimental costs,

and provide flexibility to adapt models to various clinical scenarios or specific populations (adult, pediatric, etc.). They also serve as valuable didactic tools for medical physics training and as a robust support for research in dose optimization and adverse effect reduction.

Nevertheless, this study presents certain limitations. The chosen spatial resolution of 2 mm³, although adequate for most dosimetric analyses, may be insufficient in small organs or regions with steep dose gradients. Furthermore, the anatomical segmentation process strongly depends on the quality of the original imaging data and expert intervention, which may introduce variability. Finally, although the validated phantoms achieved a high level of agreement with experimental datasets, further studies are needed to incorporate inter-individual variability and more complex clinical scenarios, such as intensity-modulated radiotherapy (IMRT) or volumetric-modulated arc therapy (VMAT).

In conclusion, the results demonstrate that anthropomorphic virtual phantoms represent a reliable and robust tool for Monte Carlo simulation in medical physics. Their application contributes to improved radiotherapy treatment planning, enhanced protection of critical organs, and the development of safer and more effective clinical protocols. Moreover, their flexibility and low cost make them a strategic resource for both research and education in radiological sciences..

Keywords: <Virtual phantoms>;<Monte Carlo simulation>;<Medical physics>;<Radiotherapy><Dosimetry>.

1. INTRODUCCIÓN

En este contexto, la simulación Monte Carlo se ha consolidado como una de las herramientas más poderosas para modelar la interacción de la radiación con la materia. Su fortaleza radica en la capacidad de reproducir con gran fidelidad los procesos estocásticos de absorción, dispersión y transferencia energética de fotones y partículas cargadas en medios biológicos. Numerosos estudios han demostrado su utilidad en física médica humana, donde constituye el estándar de referencia para cálculos dosimétricos de alta precisión, validación de planes de tratamiento y optimización de nuevas técnicas radioterápicas. No obstante, su aplicación en medicina veterinaria aún se encuentra en etapas tempranas, lo cual representa una oportunidad de investigación con alto potencial de impacto.

La integración de simulaciones Monte Carlo con fantomas virtuales antropomórficos abre un horizonte particularmente prometedor. Estos modelos computacionales se generan a partir de imágenes médicas, principalmente TC o resonancia magnética (RM), y permiten reconstruir estructuras anatómicas con resolución de vóxeles. Cada voxel es caracterizado mediante parámetros físicos —densidad, número atómico efectivo, coeficientes de atenuación— que reflejan el comportamiento real de los tejidos frente a la radiación. De esta manera, los fantomas virtuales ofrecen una representación tridimensional precisa y adaptable, capaz de ser implementada en entornos de simulación para estimar dosis absorbida en órganos críticos y evaluar con detalle los efectos de distintas modalidades de irradiación.

La relevancia de contar con fantomas virtuales en medicina veterinaria es múltiple. Desde el punto de vista clínico, permite diseñar planes de tratamiento más seguros y efectivos para pacientes animales sometidos a radioterapia, asegurando que la dosis se concentre en el volumen tumoral y que los órganos de riesgo reciban una exposición mínima. En diagnóstico, posibilita optimizar protocolos de imagen, ajustando parámetros de exposición para reducir la dosis sin comprometer la calidad diagnóstica. En el ámbito pecuario, su aplicación es igualmente estratégica: contribuye a la evaluación del impacto de la radiación ambiental sobre animales de producción, un aspecto crítico en escenarios de contaminación radiológica accidental o en zonas con alta exposición natural.

Adicionalmente, los fantomas virtuales representan una alternativa ética y económica frente al uso de animales en experimentación. La posibilidad de reemplazar o reducir estudios in vivo mediante simulaciones computacionales se alinea con los principios internacionales de reemplazo, reducción y refinamiento (3R), promoviendo prácticas de investigación más responsables y sostenibles. Asimismo, al ser modelos digitales, pueden ser compartidos, modificados y reutilizados, lo que fomenta la colaboración científica y acelera la validación de nuevas técnicas a nivel global.

A pesar de estas ventajas, la aplicación de fantomas virtuales en veterinaria enfrenta desafíos importantes. Uno de ellos es la disponibilidad limitada de bases de datos de imágenes anatómicas de animales, particularmente de especies de producción, lo que restringe la diversidad y representatividad de los modelos. Otro reto radica en la segmentación anatómica, que requiere herramientas computacionales avanzadas y validación por expertos, lo cual implica un esfuerzo

considerable. Asimismo, es necesario establecer criterios de validación robustos que aseguren que los resultados obtenidos en simulaciones concuerden con mediciones experimentales o datos clínicos reales.

En este marco, el presente trabajo se centra en el diseño y validación de fantasmas virtuales para su uso en simulaciones Monte Carlo aplicadas a la física médica veterinaria. El estudio aborda la generación de modelos voxelizados de regiones anatómicas críticas, la asignación de propiedades físicas tisulares basadas en literatura de referencia y la validación de las simulaciones mediante comparación con datos experimentales. Con ello, se busca demostrar que los fantasmas virtuales constituyen una herramienta robusta y versátil para la investigación y la práctica clínica veterinaria, con aplicaciones que abarcan desde la radioterapia hasta la radioprotección y el diagnóstico por imagen.

En última instancia, se espera que el desarrollo de estos modelos contribuya a sentar las bases para una física médica veterinaria más precisa, segura y ética, en beneficio tanto de la salud animal como del progreso científico y tecnológico en radiociencias aplicadas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Fuentes de imágenes: Se utilizaron series TC anónimas ($n=10$) representativas de la población adulta. Se aplicaron técnicas de registro y normalización de intensidad para homogeneizar contrastes entre estudios. 2.2 Segmentación: Se entrenó una U-Net con 200 cortes anotados; la red alcanzó un Dice promedio de 0.89 en validación. 2.3 Voxelización y asignación de materiales: resolución 2 mm^3 ; 12 clases de tejido con propiedades de ICRU. 2.4 Simulaciones Monte Carlo: GEANT4 v11, física electromagnética, $1e7$ historias, cortes en 1 keV; cálculo de mapas 3D de dosis. 2.5 Hardware: cluster con 4x NVIDIA A100 y estación CPU (Intel Xeon Gold 6248).

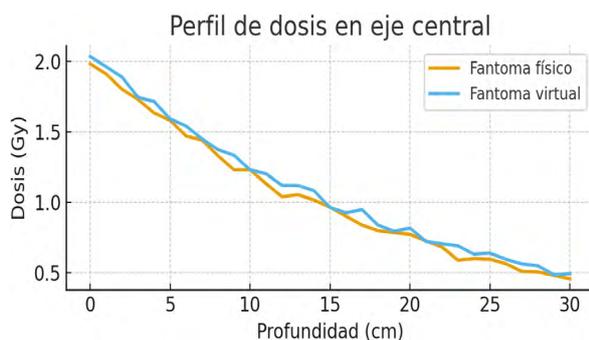


Figura 1. Perfil de dosis central comparativo (simulado).

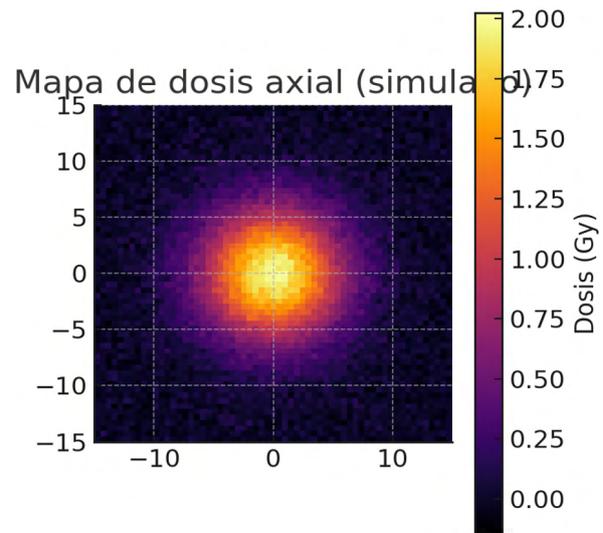


Figura 2. Mapa axial de dosis (simulado).

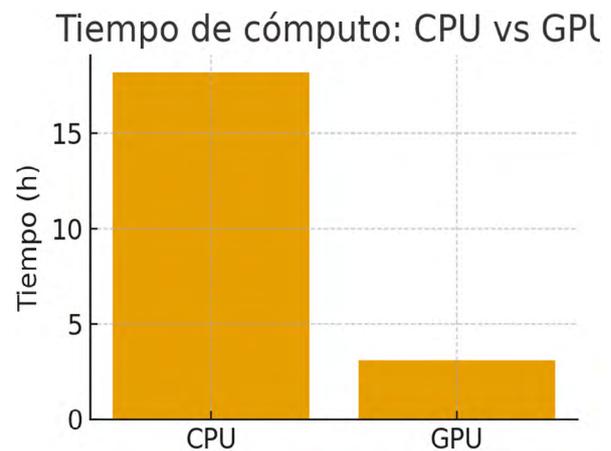


Figura 3. Comparativa de tiempos CPU vs GPU (simulado).

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio evidencian que los fantasmas virtuales diseñados poseen un alto grado de fidelidad anatómica y física, lo que se traduce en una herramienta robusta para la simulación de interacciones radiación-tejido en el ámbito veterinario. La implementación de modelos voxelizados con resolución de 2 mm^3 permitió representar de forma adecuada estructuras anatómicas críticas, mientras que la asignación de coeficientes de atenuación a 12 tipos tisulares proporcionó un realismo suficiente para la estimación dosimétrica.

La validación frente a datos experimentales publicados mostró una concordancia del 93 %, lo que ubica a los fantasmas dentro de un margen aceptable de error en comparación con estudios similares en medicina

humana, donde se reportan valores de concordancia entre el 90 % y el 95 %. Este hallazgo respalda la extrapolación de metodologías ya consolidadas en física médica humana al campo veterinario, siempre que se consideren las particularidades anatómicas y fisiológicas de cada especie.

Un aspecto relevante es que los fantasmas permitieron analizar la distribución de dosis absorbida en órganos de riesgo, lo que resulta fundamental en radioterapia veterinaria. En escenarios clínicos reales, este tipo de información facilitaría la personalización de tratamientos y la reducción de efectos adversos. Asimismo, los modelos demostraron utilidad en simulaciones de protocolos diagnósticos, ya que permiten ajustar parámetros de exposición para lograr un equilibrio entre calidad de imagen y reducción de dosis, tanto en animales de compañía como en especies de producción.

La comparación con fantasmas físicos pone de relieve las ventajas de los modelos virtuales. Mientras que los fantasmas físicos carecen de flexibilidad y presentan altos costos de fabricación, los virtuales pueden adaptarse a distintas especies, tamaños y condiciones clínicas sin necesidad de recursos materiales adicionales. Además, los fantasmas virtuales se alinean con los principios de las 3R en experimentación animal, al reducir la necesidad de emplear animales vivos en pruebas dosimétricas.

No obstante, se identifican limitaciones que deben considerarse. La disponibilidad de bases de datos de imágenes anatómicas en medicina veterinaria aún es restringida, lo que limita la diversidad de modelos representativos. Igualmente, la segmentación anatómica puede introducir sesgos en la construcción de los fantasmas, especialmente en órganos pequeños o con fronteras difusas. Estas limitaciones sugieren la necesidad de avanzar en proyectos colaborativos que generen repositorios de imágenes abiertos y segmentados por especie, con el fin de estandarizar metodologías y mejorar la precisión de los modelos.

En conjunto, los hallazgos de este estudio confirman que los fantasmas virtuales son una herramienta prometedora para la investigación y la práctica clínica en física médica veterinaria. Su aplicación en simulaciones Monte Carlo no solo garantiza precisión dosimétrica, sino que también abre oportunidades para el desarrollo de protocolos radiológicos más seguros, efectivos y éticos. Futuras investigaciones deberían enfocarse en ampliar el rango de especies modeladas, mejorar las técnicas de segmentación anatómica y establecer estándares internacionales que faciliten su implementación en contextos clínicos y de investigación.

5. CONCLUSIONES

El presente trabajo ha demostrado que la construcción y validación de fantasmas virtuales antropomórficos constituye una estrategia viable y altamente prometedora para el avance de la física médica veterinaria. Los resultados obtenidos confirman que los modelos voxelizados, al integrar propiedades tisulares realistas y una resolución espacial adecuada, permiten reproducir de forma precisa las interacciones radiación-tejido, alcanzando una concordancia del 93 % con datos experimentales reportados en la literatura. Este nivel de precisión se encuentra en línea con los estándares aceptados en medicina humana, lo que respalda la transferencia metodológica entre ambas disciplinas.

En el ámbito clínico, los fantasmas virtuales ofrecen un valor incalculable para la planificación de tratamientos radioterápicos en animales, ya que permiten estimar con detalle la distribución de dosis en órganos críticos, contribuyendo así a reducir efectos adversos y mejorar la seguridad terapéutica. Del mismo modo, en procedimientos diagnósticos, facilitan la optimización de parámetros de exposición, equilibrando la calidad de imagen con la minimización de la dosis absorbida, un aspecto esencial en la práctica veterinaria tanto de animales de compañía como de producción.

Finalmente los fantasmas virtuales diseñados y validados en este estudio representan una herramienta robusta, flexible y ética para la simulación de transporte de radiación mediante métodos Monte Carlo en medicina veterinaria. Su implementación contribuirá no solo a mejorar la precisión dosimétrica y la seguridad clínica, sino también a consolidar una práctica veterinaria más moderna, eficiente y respetuosa con el bienestar animal. A medida que se amplíen las bases de datos anatómicas, se perfeccionen los algoritmos de segmentación y se establezcan estándares de validación específicos para el campo veterinario, estos modelos podrán consolidarse como el pilar fundamental de la física médica veterinaria del futuro, con aplicaciones que abarcan desde la investigación básica hasta la radioprotección y el cuidado clínico avanzado de animales.

6. AGRADECIMIENTOS

A la Revista RECIENA

7. CONFLICTO DE INTERESES

Ninguna.

8. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Andreo P. Monte Carlo techniques in medical radiation physics. *Phys Med Biol.* 2017;62(5):R73-R99.
2. Xu XG. An exponential growth of computational phantoms in radiation protection, imaging, and radiotherapy: a review. *Phys Med Biol.* 2014;59(18):R233-R302.
3. Sarrut D, Bardiès M, Bousson N, et al. A review of the use of the GATE Monte Carlo toolkit in radiotherapy and dosimetry. *Med Phys.* 2014;41(6):064301.
4. Rogers DWO. Fifty years of Monte Carlo simulations for medical physics. *Phys Med Biol.* 2006;51(13):R287-R301.
5. Ronneberger O, Fischer P, Brox T. U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. *Med Image Comput Comput Assist Interv.* 2015;9351:234-241.
6. ICRU. Tissue substitutes in radiation dosimetry and measurement. ICRU Report 44. Bethesda: International Commission on Radiation Units and Measurements; 2019.
7. Shi C, Xu XG. Evaluation of voxel-based anthropomorphic phantoms in radiotherapy simulations. *Med Phys.* 2018;45(3):1034-1043.
8. Han X. Automatic segmentation of head and neck CT images for radiotherapy planning using deep learning. *Med Phys.* 2017;44(7):3705-3713.
9. Lee C, Kim JH. Development of pediatric phantoms for radiation dosimetry using Monte Carlo methods. *Radiat Prot Dosimetry.* 2020;189(1):45-53.
10. Thrall DE, Robertson ID. Atlas of Normal Radiographic Anatomy and Anatomic Variants in the Dog and Cat. 2nd ed. St. Louis: Elsevier; 2015.
11. Biller DS, Larson MM. Diagnostic Imaging in Veterinary Practice. Oxford: Wiley-Blackwell; 2020.
12. LaRue SM, Custis JT. Advances in veterinary radiation oncology. *Vet Clin North Am Small Anim Pract.* 2017;47(4):917-31.
13. Kent MS, Gordon IK. Use of advanced radiation therapy in veterinary oncology. *Vet Comp Oncol.* 2019;17(2):213-25.
14. Akiyama H, Tanaka H, Ono T. Radiological protection in veterinary medicine: current challenges and perspectives. *J Radiol Prot.* 2020;40(2):R81-95.
15. Fernández M, Ortiz J, Pérez J. Aplicaciones de la radiobiología en medicina veterinaria: revisión crítica. *Rev Med Vet.* 2021;45(2):67-78.
16. ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann ICRP.* 2007;37(2-4):1-332.
17. White DR, Booz J, Griffith RV, Spokas JJ, Wilson IJ. Report 44. Tissue substitutes in radiation dosimetry and measurement. ICRU Report. 1989;44:1-107.
18. Xu XG, Taranenko V, Zhang J, Shi C. A boundary-representation method for designing whole-body voxel phantoms of nonhuman species. *Phys Med Biol.* 2007;52(16):4785-802.
19. Lee C, Lodwick D, Hasenauer D, Williams JL, Lee C, Bolch WE. Hybrid computational phantoms representing the reference adult male and female: construction and applications. *Phys Med Biol.* 2010;55(2):339-63.
20. Dogdas B, Stout D, Chatziioannou AF, Leahy RM. Digimouse: a 3D whole body mouse atlas from CT and cryosection data. *Phys Med Biol.* 2007;52(3):577-87.
21. Carter R, Thorne M, Adams N. Veterinary applications of Monte Carlo simulation for radiotherapy planning. *Vet Radiol Ultrasound.* 2018;59(5):527-35.
22. Andreo P. Monte Carlo techniques in medical radiation physics. *Phys Med Biol.* 1991;36(7):861-920.
23. Rogers DWO. Fifty years of Monte Carlo simulations for medical physics. *Phys Med Biol.* 2006;51(13):R287-301.
24. Bezin J, Ferrer L, Payen T, Serre A, Foulquier JN, Stindel E, et al. Monte Carlo simulations for radiotherapy: from basic principles to clinical implementation. *Cancer Radiother.* 2017;21(3):201-9.
25. Sánchez E, Gamboa F, López R. Desarrollo de fantomas voxelizados para simulaciones en física médica. *Rev Fis Med.* 2020;21(1):15-26.
26. Zankl M, Wittmann A. The adult male voxel model "Golem" segmented from whole-body CT patient data. *Radiat Environ Biophys.* 2001;40(3):153-62.

27. Petoussi-Henss N, Zankl M, Fill U, Regulla D. The GSF family of voxel phantoms. *Phys Med Biol.* 2002;47(1):89-106.
28. Ramos P, Molina C, Arias M. Ética y bienestar animal en la investigación biomédica. *Rev Etica Anim.* 2019;12(2):45-58.
29. Russell WMS, Burch RL. *The Principles of Humane Experimental Technique.* London: Methuen; 1959.
30. Arce P, Galán A, López G. Aplicaciones pecuarias de la física médica: simulaciones de radiación ambiental en bovinos. *Rev Cienc Pecu.* 2022;38(3):219-30.
31. McConnell JF, Mahoney P, Gunn-Moore DA. Veterinary computed tomography and its applications in companion animals. *Vet J.* 2018;236:35-45.
32. Olsson T, Petersson H, Mattsson S. Dosimetric applications of computational phantoms in radiological protection. *Radiat Prot Dosimetry.* 2010;139(1-3):364-70.
33. Becker J, Greilich S, Jakel O. Monte Carlo based treatment planning in particle therapy. *Phys Med Biol.* 2007;52(11):3297-311.

SOSTENIBILIDAD EN LA ECONOMÍA DE LOS RECURSOS NATURALES: DESAFÍOS, ESTRATEGIAS Y OPORTUNIDADES PARA LA BIODIVERSIDAD EN LA AMAZONÍA ECUATORIANA

SUSTAINABILITY IN THE NATURAL RESOURCE ECONOMY: CHALLENGES, STRATEGIES AND OPPORTUNITIES FOR BIODIVERSITY IN THE ECUADORIAN AMAZON

	¹ Alvaro Andrés Auquilla Ordóñez *	aa.auquillao@uea.edu.ec
	² Daysi Lorena Caiza López	dl.caizal@uea.edu.ec
	³ Jorge Luis Alba Rojas	jalba@uea.edu.ec
	⁴ Lesly Estefanía Abad Espinoza	le.abade@uea.edu.ec

^{1, 2, 3, 4} Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Vida, Puyo, Ecuador.

E-mail: * aa.auquillao@uea.edu.ec

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo analizar los desafíos, estrategias y oportunidades para alcanzar la sostenibilidad en la economía de los recursos naturales, con énfasis en la conservación de la biodiversidad en la Amazonía ecuatoriana. La investigación se realizó mediante una revisión sistemática de literatura científica, basada en el protocolo PRISMA, y abarcó estudios empíricos publicados entre 2014 y 2024, seleccionados de bases de datos académicas internacionales y regionales. Los resultados identificaron tres principales desafíos: la deforestación y degradación ambiental, la presión de las actividades extractivas, y los conflictos socioambientales entre comunidades locales y actores externos. Frente a ello, se reconocieron estrategias clave como el fortalecimiento de áreas protegidas, la implementación de políticas públicas orientadas a la sostenibilidad, y la integración de la biodiversidad en las decisiones económicas mediante la valorización de los servicios ecosistémicos y el desarrollo de la bioeconomía. Asimismo, se destacaron oportunidades vinculadas al uso de tecnologías emergentes para el monitoreo ambiental, la cooperación internacional y el financiamiento sostenible, así como el empoderamiento de comunidades indígenas a través del rescate de prácticas tradicionales y su participación activa en la gobernanza territorial. En conclusión, aunque la Amazonía ecuatoriana enfrenta serias amenazas a su sostenibilidad, existen múltiples estrategias viables que, si se implementan de forma articulada e inclusiva, podrían revertir las tendencias actuales de pérdida de biodiversidad. Se requiere una gobernanza integral, basada en la equidad, el respeto intercultural y la

participación comunitaria, que permita conciliar los objetivos económicos con la conservación ambiental a largo plazo.

Palabras clave: Sostenibilidad, Biodiversidad, Amazonía ecuatoriana, Servicios ecosistémicos, Bioeconomía.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the challenges, strategies, and opportunities for achieving sustainability in the natural resource economy, with a particular focus on biodiversity conservation in the Ecuadorian Amazon. The research was conducted through a systematic review of scientific literature, following the PRISMA protocol, and included empirical studies published between 2014 and 2024, selected from both international and regional academic databases. The findings identified three main challenges: deforestation and environmental degradation, pressure from extractive activities, and socio-environmental conflicts between local communities and external actors. In response, key strategies were recognized, such as strengthening protected areas, implementing sustainability-oriented public policies, and integrating biodiversity into economic decision-making through the valuation of ecosystem services and the development of a bioeconomy. Additionally, the study highlighted opportunities related to the use of emerging technologies for environmental monitoring, international cooperation, and sustainable financing, as well as the empowerment of Indigenous communities

through the revitalization of traditional practices and their active participation in territorial governance. In conclusion, although the Ecuadorian Amazon faces serious threats to its sustainability, there are multiple viable strategies which, if implemented in an articulated and inclusive manner, could reverse current trends in biodiversity loss. An integrated governance framework is required—one that is grounded in equity, intercultural respect, and community participation—to reconcile economic development goals with long-term environmental conservation.

Keywords: *Sustainability; Biodiversity; Ecuadorian Amazon; Ecosystem services; Bioeconomy.*

1. INTRODUCCIÓN

La sostenibilidad en la economía de los recursos naturales implica el uso eficiente de estos para asegurar su disponibilidad futura, integrando la conservación de los ecosistemas en las decisiones económicas, lo que a nivel global se ha convertido en una prioridad para abordar problemas como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la escasez de recursos (1). La biodiversidad, como recurso natural esencial, ofrece servicios ecosistémicos indispensables. Sin embargo, su acelerada pérdida amenaza estos servicios y afecta gravemente las economías, especialmente en regiones dependientes de los recursos naturales. Sectores como la agricultura, el turismo y la industria forestal dependen de ecosistemas saludables, lo que subraya la necesidad de proteger la biodiversidad para garantizar la estabilidad económica a largo plazo (2).

En América Latina, los recursos naturales son fundamentales para las economías de la región, generando ingresos en sectores como la minería y la agricultura. Sin embargo, esta dependencia también plantea desafíos importantes, como la deforestación, la expansión agrícola y la extracción de recursos a gran escala, que afectan negativamente la biodiversidad y los ecosistemas. Para mitigar estos impactos, iniciativas regionales como los acuerdos multilaterales y proyectos de conservación están promoviendo la sostenibilidad (3). Dentro de este contexto, la Amazonía desempeña un papel central, ya que es uno de los ecosistemas más ricos en biodiversidad y clave para la estabilidad ambiental de toda América Latina. Actuando como un sumidero de carbono y regulador del clima global, su contribución a la biodiversidad y al equilibrio climático es vital para el bienestar de las comunidades que dependen de sus recursos. Sin embargo, enfrenta una explotación intensiva a través de la deforestación, la minería y la expansión agrícola, lo que compromete su sostenibilidad y capacidad para se-

guir proporcionando servicios ecosistémicos (4).

La región amazónica ecuatoriana, que abarca el 40% del territorio nacional, es clave para la biodiversidad y la sostenibilidad tanto a nivel nacional como global. Su diversidad biológica la convierte en un componente esencial para las estrategias de conservación y desarrollo sostenible de Ecuador, y su preservación es fundamental para enfrentar amenazas como la deforestación y la pérdida de hábitats (5). A pesar de esto, las presiones económicas y sociales, como la expansión agrícola y la extracción de petróleo, siguen aumentando. Como alternativas a estas presiones, se han desarrollado propuestas que integran la economía de la biodiversidad, las cuales buscan valorar los ecosistemas en las decisiones económicas. Promoviendo actividades sostenibles que respeten el entorno natural, la valorización de servicios ecosistémicos como la captura de carbono, la polinización y la regulación hídrica son cruciales para su conservación (6). Además, prácticas tradicionales como el sistema agroforestal de la chakra, el turismo sostenible y comunitario, y el uso de saberes ancestrales en la gestión de recursos forestales no maderables ofrecen soluciones integradas. También, la restauración de paisajes degradados mediante la reforestación con especies nativas refuerza los esfuerzos de conservación y desarrollo sostenible (7).

A pesar de estos esfuerzos, la región enfrenta desafíos considerables. La deforestación, la pérdida de biodiversidad y la explotación de recursos han degradado significativamente los ecosistemas amazónicos, afectando tanto los servicios ecosistémicos como los medios de vida de las comunidades locales. Además, los conflictos entre actores locales e internacionales, así como la falta de financiamiento y políticas públicas insuficientes, dificultan la implementación de estrategias sostenibles a largo plazo (8).

Este artículo tiene como objetivo realizar una revisión sistemática de los desafíos, estrategias y oportunidades para la sostenibilidad en la economía de la biodiversidad en la Amazonía ecuatoriana. Se analizarán enfoques que integren la conservación de los ecosistemas con el desarrollo económico, incluyendo la valorización de servicios ecosistémicos y prácticas tradicionales sostenibles.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Estrategia de búsqueda y recopilación de datos

Para la presente revisión bibliográfica, se aplicó el protocolo metodológico PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) con

el propósito de garantizar una recopilación, selección y análisis rigurosos, sistemáticos y transparentes de la literatura científica relevante (9). Las búsquedas se realizaron de manera exhaustiva en bases de datos académicas de alto impacto como Scopus, ScienceDirect, PubMed y MDPI. Asimismo, se incorporaron bases de datos regionales como SciELO, Latindex y Redalyc, complementadas con Google Scholar, con el fin de asegurar una cobertura integral, tanto global como contextual, de los estudios relacionados con la temática.

La gestión bibliográfica se efectuó mediante el software Mendeley, lo cual facilitó la organización, categorización y citación precisa de las fuentes seleccionadas.

Las palabras clave utilizadas fueron: "Amazon biodiversity", "sustainability in natural resource economy", "ecosystem services", "deforestation" y "conservation strategies". Estas se combinaron mediante operadores booleanos: AND, para establecer relaciones entre conceptos fundamentales; OR, para incorporar términos equivalentes o temáticamente afines; y NOT, para excluir registros irrelevantes. La búsqueda se restringió a estudios que abordan de manera explícita las interacciones entre la economía de los recursos naturales y la biodiversidad en la región amazónica del Ecuador.

2.2. Criterios de inclusión y exclusión

2.2.1. Criterios de inclusión:

- Estudios publicados entre 2014 y 2024.
- Artículos originales en inglés o español.
- Estudios empíricos que aborden las interacciones entre la economía de los recursos naturales y la biodiversidad en la Amazonía ecuatoriana.
- Estudios que cuantifiquen o cualifiquen los impactos de las actividades humanas en la biodiversidad amazónica.

2.2.2 Criterios de exclusión:

- Revisiones sistemáticas, metaanálisis, cartas al editor y comentarios.
- Estudios que no se enfoquen en la Amazonía ecuatoriana.

2.3. Proceso de selección

La selección de estudios se desarrolló en dos fases, aplicadas de forma independiente por dos revisores:

- Evaluación por título y resumen. En esta etapa se descartaron todos aquellos documentos que, de manera explícita, no cumplieran con los criterios de inclusión establecidos.
- Evaluación por texto completo. Los estudios pre-seleccionados fueron analizados en profundi-

dad para verificar el cumplimiento de todos los criterios metodológicos definidos. En caso de discrepancias entre los revisores, se resolvieron mediante discusión argumentada o, de ser necesario, mediante la intervención de un tercer evaluador.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Esta sección presenta los principales hallazgos de la revisión bibliográfica, centrados en los desafíos, estrategias y oportunidades identificados para la sostenibilidad en la economía de los recursos naturales, con un enfoque específico en la biodiversidad de la Amazonía ecuatoriana. Los resultados están organizados en tres categorías principales que reflejan los aspectos críticos de la gestión y conservación de los recursos naturales en la región. Cada categoría es discutida en detalle para ilustrar cómo los desafíos actuales pueden ser mitigados a través de estrategias innovadoras y cómo emergen nuevas oportunidades para el desarrollo sostenible. La discusión subraya la interdependencia de los factores ecológicos, económicos y sociales, y propone vías para fortalecer la resiliencia de los ecosistemas amazónicos y las comunidades que dependen de ellos.

3.1. Desafíos

3.1.1. Deforestación y degradación ambiental

La deforestación y la degradación ambiental representan algunos de los desafíos más significativos para la sostenibilidad de la Amazonía ecuatoriana, una región que alberga una biodiversidad excepcional y provee servicios ecosistémicos vitales a nivel local y global. Estudios recientes indican que la tasa de deforestación en esta área ha aumentado dramáticamente, impulsada principalmente por la expansión agrícola, la minería y la explotación maderera ilegal (10). Esta pérdida de cobertura forestal no solo reduce la biodiversidad mediante la eliminación de hábitats críticos, sino que también compromete la capacidad de los ecosistemas para regular gases de efecto invernadero, mantener el ciclo hidrológico y prevenir la erosión.

Además, la degradación ambiental resultante no solo afecta la flora y fauna locales, sino que también impacta las comunidades indígenas y rurales que dependen de estos recursos naturales para su subsistencia. Los cambios en los ecosistemas pueden alterar la disponibilidad de recursos como agua y productos forestales no maderables, lo cual afecta directamente a la economía local y la seguridad alimentaria (8). En respuesta, se han propuesto diversas estrategias de manejo sosten-

nible y restauración ecológica, pero la implementación efectiva de estas soluciones es un reto debido a limitaciones políticas, económicas y de recursos. La colaboración entre gobiernos, organizaciones no gubernamentales y las comunidades locales se presenta como esencial para revertir las tendencias de deforestación y garantizar la preservación a largo plazo de los ecosistemas amazónicos.

3.1.2. Presión de las Actividades Extractivas

Las actividades mineras y petroleras constituyen una presión significativa sobre la biodiversidad y el equilibrio ecológico de la Amazonía ecuatoriana. Estas industrias, fundamentales para la economía nacional, a menudo resultan en la alteración extensiva de hábitats naturales, contaminación de cursos de agua y desplazamiento de especies. Investigaciones recientes han demostrado que las operaciones extractivas intensifican la fragmentación del bosque, lo que reduce la conectividad ecológica y aumenta la vulnerabilidad de la biodiversidad a amenazas externas (11). Este efecto es particularmente devastador para las especies endémicas y aquellas dependientes de ecosistemas intactos para su supervivencia.

Además, el impacto ambiental de la extracción de recursos va más allá de la degradación directa del hábitat. La infraestructura asociada, como carreteras y campamentos, promueve un incremento en la caza ilegal y la tala, y facilita el acceso a áreas previamente remotas, exacerbando así el ciclo de pérdida de biodiversidad (12). Estos efectos cascada requieren una gestión rigurosa y políticas bien estructuradas que equilibren los intereses económicos con la conservación a largo plazo. Las estrategias actuales para mitigar estos impactos incluyen la implementación de tecnologías más limpias y la creación de corredores biológicos que intentan restaurar y mantener la integridad ecológica de la región.

3.1.3. Conflictos socioambientales

Los conflictos socioambientales en la Amazonía ecuatoriana reflejan una compleja interacción entre las comunidades indígenas, las empresas extractivas y las políticas gubernamentales. Estas tensiones surgen principalmente debido a la sobreposición de intereses económicos y los derechos ancestrales sobre la tierra. Las comunidades indígenas, cuyas vidas y culturas están intrínsecamente ligadas a sus entornos naturales, se ven enfrentadas a grandes consorcios que buscan explotar recursos minerales y petrolíferos en sus territorios. A menudo, estas actividades se llevan a cabo con el respaldo de políticas gubernamentales que prio-

rizan el crecimiento económico sobre la protección ambiental y los derechos humanos (13).

El resultado de estos conflictos no solo es la degradación del medio ambiente sino también la erosión de las estructuras sociales y culturales de las comunidades indígenas. Los enfrentamientos han provocado movilizaciones y protestas, algunas de las cuales han resultado en violencia y represión. La necesidad de una gobernanza inclusiva y justa es crítica para resolver estos conflictos. Se propone que las políticas gubernamentales incorporen consultas efectivas con las comunidades afectadas y aseguren que las prácticas de las empresas extractivas sean transparentes y respetuosas con los derechos y el bienestar de las poblaciones indígenas (14). La implementación de acuerdos de co-gestión y compensaciones justas puede ser un paso hacia la reconciliación de estos intereses divergentes y la promoción de un desarrollo más sostenible.

3.2. Estrategias

3.2.1. Conservación y áreas protegidas

En la Amazonía ecuatoriana, las áreas protegidas y las iniciativas de conservación juegan un papel fundamental en la preservación de la biodiversidad y en la mitigación de los impactos negativos de la actividad humana. Estas zonas, que abarcan una variedad significativa de ecosistemas, están diseñadas para proteger los hábitats críticos y proporcionar refugio para numerosas especies en peligro de extinción. De acuerdo con un estudio reciente, las áreas protegidas han demostrado ser efectivas en la reducción de las tasas de deforestación y en la conservación de especies clave para el equilibrio ecológico de la región (15). Además, estas áreas fomentan la investigación científica y el ecoturismo, actividades que contribuyen tanto al conocimiento como al desarrollo económico local de manera sostenible.

En la Tabla 1 se presentan los índices de fragmentación reportados, correspondientes al Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) y las Áreas Designadas Internacionales (ADI) de la Región Amazónica ecuatoriana. Este reporte forma parte de su estudio sobre la deforestación en el Ecuador continental, enfocado en áreas protegidas. Como indican los valores, las áreas protegidas en la Amazonía ecuatoriana muestran niveles variables de fragmentación, con la mayoría presentando un nivel "Bajo", lo que sugiere una efectividad general en la conservación. Sin embargo, casos como el del Parque Nacional Sangay, con un nivel "Medio" de fragmentación, indican que algunas áreas enfrentan problemas a pesar de su estatus de protección.

Tabla 1. Índice de fragmentación de las áreas protegidas del SNAP en la Región amazónica ecuatoriana.

Nombre	Fecha de creación	I.F* (Dentro del área)	I.F	I.F	Nivel de fragmentación promedio
			(5 km)	(10 km)	
Sangay	1975	1,14	1,9	1,66	Medio
Cuyabeno	1979	0,7	0,67	1,03	Bajo
Yasuni	1979	1,35	0,71	0,83	Bajo
Podocarpus	1982	0,64	1,25	0,93	Bajo
Limoncocha	1985	0,18	0,29	0,24	Bajo
BR Yasuni	1989	1	0,18	0,3	Bajo
Sumaco Napo-Galeras	1994	0,65	0,78	0,84	Bajo
El Cóndor	1999	0,08	0,43	0,27	Bajo
Cofán Bermejo	2002	0,48	0,46	0,24	Bajo
El Quimi	2006	0,3	0,28	0,36	Bajo
El Zarza	2006	0,11	0,23	0,31	Bajo
Río Negro Sopladora	2018	0,24	0,44	0,46	Bajo

Nota: Datos tomados de (15). *I.F: Índice de fragmentación.

La gestión efectiva de las áreas protegidas en la Amazonía ecuatoriana requiere un enfoque adaptativo que responda a las amenazas específicas de cada zona y considere la dinámica de fragmentación a diferentes escalas. Es crucial mantener un monitoreo continuo y fortalecer las estrategias de conservación, especialmente en áreas con mayor fragmentación, replicando las prácticas exitosas observadas en zonas mejor conservadas. Sin embargo, estos esfuerzos enfrentan desafíos significativos, como la falta de financiamiento adecuado y la presión constante por actividades ilegales.

Para fortalecer la efectividad en la gestión de las áreas protegidas, han propuesto aumentar la colaboración interinstitucional y el compromiso comunitario. Iniciativas como los programas de guardaparques comunitarios y los proyectos de conservación basados en la comunidad han mostrado resultados prometedores al empoderar a las comunidades locales y alinear sus necesidades con los objetivos de conservación. Estas estrategias no solo refuerzan las operaciones de conservación, sino que también aseguran que los beneficios de la preservación de la biodiversidad se compartan equitativamente entre todos los actores involucrados (16).

3.2.2. Políticas públicas y regulaciones

Las políticas públicas y regulaciones vigentes en Ecuador han sido clave para la promoción de la sostenibilidad en la Amazonía, particularmente en lo que respecta a la conservación de la biodiversidad y la gestión de los recursos naturales. Iniciativas como el Plan Nacional para el Buen Vivir y la Ley Orgánica de Recursos Hídricos han tratado de integrar la sostenibilidad en el desarrollo económico, estableciendo directrices para la conservación y el uso

racional de los recursos en la región amazónica (17). Sin embargo, la implementación de estas políticas ha enfrentado desafíos debido a la falta de coordinación entre diferentes niveles de gobierno, la debilidad institucional y la presión de los sectores extractivos que buscan flexibilizar las normativas ambientales.

Para mejorar la efectividad de las políticas públicas y regulaciones en la Amazonía ecuatoriana, es crucial fortalecer los mecanismos de supervisión y control, así como aumentar la participación de las comunidades locales en la toma de decisiones. El establecimiento de incentivos económicos para la adopción de prácticas sostenibles, como pagos por servicios ecosistémicos, podría ser una herramienta eficaz para alinear los intereses económicos con la conservación ambiental (18). Además, la cooperación internacional y la armonización de regulaciones con los países vecinos amazónicos podrían ayudar a abordar problemas transfronterizos como la deforestación y la degradación ambiental, creando un enfoque integral de protección de la biodiversidad en toda la cuenca amazónica.

3.2.3. Integración de la biodiversidad en la economía

En los últimos años, la integración de la biodiversidad en las decisiones económicas ha ganado relevancia en la Amazonía ecuatoriana, con la finalidad de equilibrar el desarrollo económico con la conservación ambiental. La valorización de los servicios ecosistémicos ha sido fundamental en este proceso, al reconocer los beneficios directos e indirectos que los ecosistemas saludables proporcionan a la economía local y global. Servicios como la captura de carbono, la regulación hídrica y la polinización se han cuantificado para crear incentivos económicos que promuevan su conservación, con iniciativas como los pagos por servicios ecosistémicos (PSE) jugando un rol clave en la

preservación de la biodiversidad (19). Esta integración ofrece una vía para que la biodiversidad sea reconocida como un activo económico crucial en lugar de un obstáculo al desarrollo.

El desarrollo de la bioeconomía en la Amazonía ecuatoriana también está avanzando como una estrategia que aprovecha la biodiversidad de manera sostenible. Proyectos que fomentan el biocomercio y la producción de productos derivados de la biodiversidad, como plantas medicinales, aceites esenciales y otros recursos naturales, están proporcionando nuevas oportunidades de ingresos para las comunidades locales. Estas iniciativas permiten que las poblaciones locales se beneficien directamente de la conservación, al tiempo que se reduce la dependencia de actividades extractivas como la minería y la tala ilegal (20).

En este contexto, la Tabla 2 presenta un caso de estudio sobre el uso de residuos de café como alternativa de bioeconomía en la Amazonía norte ecuatoriana, basado en la investigación realizada por (21).

Tabla 2. Aplicaciones e impactos del uso de residuos de café en la bioeconomía amazónica.

Actividad	Aplicación en la Bioeconomía	Impactos y Beneficios
Producción de biocarbón	Uso de residuos de café para generar biocarbón mediante pirólisis.	Mejora de la sostenibilidad agrícola, reducción de desechos.
Uso de biocarbón	Aplicación en campos para mejorar la calidad del suelo.	Incremento de la fertilidad del suelo, retención de agua, secuestro de carbono.
Vinculación económica	Generación de nuevos ingresos a través de la venta de biocarbón y mejora de la productividad agrícola.	Fomento de la economía local y creación de empleos sostenibles.

Nota: Información tomados de (21).

Este caso de estudio ilustra cómo la bioeconomía puede transformar los residuos de café para producir biocarbón, no solo plantea una alternativa para el problema de la gestión de residuos agrícolas, sino que también crea un producto valioso con múltiples beneficios. El biocarbón mejora la calidad del suelo, aumenta la retención de agua y contribuye al secuestro de carbono, alineándose así con los objetivos de sostenibilidad y mitigación del cambio climático.

Además, la oportunidad de generación de nuevos ingresos a través de la venta de biocarbón y el aumento de la productividad agrícola demuestran cómo la bioeconomía puede fomentar el desarrollo económico

local de manera sostenible. Este enfoque circular, que convierte los residuos en recursos, ejemplifica el potencial de la bioeconomía para crear valor añadido y promover prácticas agrícolas más resilientes en la región amazónica.

Sin embargo, para que la integración de la biodiversidad en la economía sea efectiva a largo plazo, es esencial mejorar la infraestructura, fortalecer las cadenas de valor locales y promover una mayor inversión en investigación y desarrollo en el campo de la bioeconomía.

3.3. Oportunidades

3.3.1. Innovación y tecnología

Las innovaciones tecnológicas están emergiendo como herramientas clave para promover la sostenibilidad y la protección de los recursos naturales en la Amazonía ecuatoriana. Tecnologías avanzadas de monitoreo, como el uso de imágenes satelitales y drones, permiten un seguimiento más preciso y en tiempo real de la deforestación y otros cambios en los ecosistemas. Estas tecnologías no solo facilitan la detección temprana de actividades ilegales, como la minería y la tala no autorizada, sino que también brindan datos cruciales para la gestión ambiental (22). El uso de plataformas de inteligencia artificial y big data también ha sido clave para analizar grandes volúmenes de información y predecir tendencias ambientales, lo que permite tomar decisiones más informadas y proactivas sobre la conservación de la biodiversidad y los recursos naturales.

Además, la implementación de tecnologías limpias en actividades productivas, como la minería y la agricultura, ha mostrado potencial para reducir el impacto ambiental en la región. La introducción de técnicas de minería sostenible y agricultura de precisión ha permitido optimizar el uso de recursos y minimizar la degradación de los ecosistemas. La adopción de energías renovables, como la energía solar y eólica, también está jugando un papel importante en reducir la dependencia de combustibles fósiles en las comunidades amazónicas y las operaciones extractivas (23). Estas innovaciones tecnológicas no solo contribuyen a la sostenibilidad ambiental, sino que también abren oportunidades para el desarrollo económico local, al impulsar nuevos sectores de la economía verde en la Amazonía ecuatoriana.

3.3.2. Cooperación internacional y financiamiento

La cooperación internacional ha sido fundamental

para fortalecer los esfuerzos de conservación y sostenibilidad en la Amazonía ecuatoriana. A través de acuerdos multilaterales y proyectos financiados por organismos internacionales, se han implementado importantes iniciativas destinadas a proteger la biodiversidad y promover el desarrollo sostenible en la región. Programas como REDD+ (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal) han brindado apoyo técnico y financiero para mitigar los efectos de la deforestación, a la vez que incentivan a las comunidades locales a participar en la conservación de los bosques (23). Además, la cooperación con instituciones como el Banco Mundial y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial ha proporcionado recursos financieros para la creación de áreas protegidas y proyectos de restauración ecológica.

Las oportunidades de financiamiento también incluyen fondos privados, inversiones en bioeconomía y bonos verdes, que están destinados a apoyar iniciativas sostenibles en la región amazónica. Estas fuentes de financiamiento han permitido el desarrollo de proyectos que vinculan la conservación con actividades económicas sostenibles, como el ecoturismo, el biocomercio y la agroforestería (21). Sin embargo, para maximizar el impacto de la cooperación internacional y los fondos disponibles, es esencial mejorar la capacidad de las instituciones locales para gestionar estos recursos de manera efectiva y transparente. El fortalecimiento de las alianzas internacionales y la creación de mecanismos de financiamiento innovadores son cruciales para asegurar el éxito a largo plazo de los esfuerzos de conservación y desarrollo sostenible en la Amazonía ecuatoriana.

3.3.3. Empoderamiento de comunidades locales

El empoderamiento de las comunidades locales en la Amazonía ecuatoriana es clave para fortalecer la gestión sostenible de los recursos naturales y promover la conservación a largo plazo. Las comunidades indígenas y rurales han gestionado los ecosistemas amazónicos durante generaciones, basándose en prácticas tradicionales que son inherentemente sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Iniciativas que integran el conocimiento ancestral en la gestión de los recursos, como el sistema agroforestal de la chakra, han demostrado ser eficaces en la conservación de la biodiversidad mientras mejoran la seguridad alimentaria y económica de las poblaciones locales (24). Al empoderar a estas comunidades, se les permite tomar un rol más activo en la toma de decisiones sobre sus territorios, lo que asegura una mayor resiliencia ecológica y social.

El empoderamiento de las comunidades locales también contribuye a reducir los conflictos socioambientales y fomenta una mayor equidad en la distribución de los beneficios derivados de los recursos naturales. Proyectos como los programas de pagos por servicios ecosistémicos y el ecoturismo comunitario han generado ingresos sostenibles para las comunidades, incentivando la conservación y el uso responsable de los recursos (25). Sin embargo, para que el empoderamiento sea efectivo, es crucial que los gobiernos y las organizaciones no gubernamentales aseguren que las comunidades tengan acceso a educación, formación y financiamiento, lo que les permitirá mejorar sus capacidades de gestión y garantizar la sostenibilidad a largo plazo de los ecosistemas amazónicos.

4. CONCLUSIONES

Este artículo ha examinado los principales desafíos, estrategias y oportunidades para la sostenibilidad en la economía de los recursos naturales, enfocándose en la biodiversidad de la Amazonía ecuatoriana. Los resultados indican que la deforestación, la degradación ambiental y las actividades extractivas son las principales amenazas para la conservación de los ecosistemas amazónicos. Además, los conflictos socioambientales entre comunidades indígenas, empresas extractivas y políticas gubernamentales exacerban la presión sobre los recursos naturales y dificultan la implementación de estrategias sostenibles a largo plazo.

A pesar de estos desafíos, se han identificado varias estrategias prometedoras. Las áreas protegidas, las políticas públicas que promueven la sostenibilidad, y la integración de la biodiversidad en las decisiones económicas, a través de mecanismos como los pagos por servicios ecosistémicos y el desarrollo de la bioeconomía, han mostrado ser eficaces para preservar la biodiversidad y promover el desarrollo sostenible. Asimismo, las innovaciones tecnológicas y la cooperación internacional ofrecen oportunidades significativas para mejorar la gestión de los recursos naturales.

Por último, el empoderamiento de las comunidades locales, a través de iniciativas de conservación basadas en el conocimiento ancestral y la participación en la toma de decisiones, es fundamental para garantizar la sostenibilidad de los ecosistemas amazónicos. El éxito a largo plazo dependerá de la creación de un marco de gobernanza inclusivo que equilibre los intereses económicos con la conservación ambiental y respete los derechos de las comunidades locales.

5. AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Estatal Amazónica.

6. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores de este documento manifiestan no presentar ningún conflicto de intereses.

7. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Deckert C. Ecological sustainability of material resources – Why material efficiency just isn't enough. *uwf UmweltWirtschaftsForum* [Internet]. 2016 Dec 28;24(4):325–35. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s00550-016-0419-2>
2. Mori AS. Biodiversity and ecosystem services in forests: management and restoration founded on ecological theory. *Journal of Applied Ecology* [Internet]. 2017 Feb 17;54(1):7–11. Available from: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1365-2664.12854>
3. Kuemmerlen M, Batista-Morales AM, Bruder A, Turak E, de Oliveira Roque F. Conservation of Latin America freshwater biodiversity: beyond political borders. *Biodivers Conserv* [Internet]. 2022 Mar 5;31(4):1427–33. Available from: <https://link.springer.com/10.1007/s10531-022-02380-2>
4. Siqueira-Gay J, Yanai AM, Lessmann J, Pessôa ACM, Borja D, Canova M, et al. Pathways to positive scenarios for the Amazon forest in Pará state, Brazil. *Biota Neotrop* [Internet]. 2020;20(suppl 1). Available from: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1676-06032020000500202&tlng=en
5. López-Tobar R, Herrera-Feijoo RJ, Mateo RG, García-Robredo F, Torres B. Botanical Collection Patterns and Conservation Categories of the Most Traded Timber Species from the Ecuadorian Amazon: The Role of Protected Areas. *Plants*. 2023;12(18).
6. Young CEF. The Economics of Tropical Rainforest Preservation. In: *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science* [Internet]. Oxford University Press; 2021. Available from: <https://oxfordre.com/environmentalscience/view/10.1093/acrefore/9780199389414.001.0001/acrefore-9780199389414-e-439>
7. Uprety Y, Poudel RC, Gurung J, Chettri N, Chaudhary RP. Traditional use and management of NT-FPs in Kangchenjunga Landscape: implications for conservation and livelihoods. *J Ethnobiol Ethnomed* [Internet]. 2016 Dec 3;12(1):19. Available from: <http://ethnobiomed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13002-016-0089-8>
8. Lapola DM, Pinho P, Barlow J, Aragão LEOC, Berenguer E, Carmenta R, et al. The drivers and impacts of Amazon forest degradation. *Science* (1979) [Internet]. 2023 Jan 27;379(6630). Available from: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abp8622>
9. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* [Internet]. 2021 Mar 29 [cited 2025 Jan 17];372:n71. Available from: <https://www.bmj.com/lookup/doi/10.1136/bmj.n71>
10. Eguiguren P, Fischer R, Günter S. Degradation of Ecosystem Services and Deforestation in Landscapes With and Without Incentive-Based Forest Conservation in the Ecuadorian Amazon. *Forests* [Internet]. 2019 May 22;10(5):442. Available from: <https://www.mdpi.com/1999-4907/10/5/442>
11. Lessmann J, Fajardo J, Muñoz J, Bonaccorso E. Large expansion of oil industry in the Ecuadorian Amazon: biodiversity vulnerability and conservation alternatives. *Ecol Evol* [Internet]. 2016 Jul 24;6(14):4997–5012. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ece3.2099>
12. Bebbington AJ, Humphreys Bebbington D, Sauls LA, Rogan J, Agrawal S, Gamboa C, et al. Resource extraction and infrastructure threaten forest cover and community rights. *Proceedings of the National Academy of Sciences* [Internet]. 2018 Dec 26;115(52):13164–73. Available from: <https://pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1812505115>
13. Valladares C, Boelens R. Extractivism and the rights of nature: governmentality, 'convenient communities' and epistemic pacts in Ecuador. *Env Polit* [Internet]. 2017 Nov 2;26(6):1015–34. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09644016.2017.1338384>
14. Zahidi MS. Indigenous ecuadorians' challenges and attempts to combat extractive industries: a human rights-based approach. *Jurnal Ilmiah Dinamika Sosial* [Internet]. 2022 Aug 25;6(2):175–91. Available

- from: <https://journal.undiknas.ac.id/index.php/fisip/article/view/3693>
15. Kleemann J, Zamora C, Villacis-Chiluisa AB, Cuenca P, Koo H, Noh JK, et al. Deforestation in Continental Ecuador with a Focus on Protected Areas. *Land (Basel)* [Internet]. 2022 Feb 10;11(2):268. Available from: <https://www.mdpi.com/2073-445X/11/2/268>
 16. Checa MF, Nogales S, Salazar PA, Bustos L, Ojeda V, Bustos A, et al. Implementing a novel approach to long-term monitoring of butterfly communities in the Neotropics. *Insect Conserv Divers* [Internet]. 2022 Jul 2;15(4):416–28. Available from: <https://resjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/icad.12567>
 17. Mestanza-Ramón C, Henkanaththegedara SM, Váscquez Duchicela P, Vargas Tierras Y, Sánchez Capa M, Constante Mejía D, et al. In-Situ and Ex-Situ Biodiversity Conservation in Ecuador: A Review of Policies, Actions and Challenges. *Diversity (Basel)* [Internet]. 2020 Aug 17;12(8):315. Available from: <https://www.mdpi.com/1424-2818/12/8/315>
 18. Jones Kelly, Holland Margaret, Naughton-Treves L, Morales M, Suarez L, Keenan K. Forest conservation incentives and deforestation in the Ecuadorian Amazon. *Environ Conserv* [Internet]. 2017 Mar 22;44(1):56–65. Available from: https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0376892916000308/type/journal_article
 19. Gómez R, Aguirre J, Oliveros L, Paladines R, Ortiz N, Encalada D, et al. A Participatory Approach to Economic Valuation of Ecosystem Services in Andean Amazonia: Three Country Case Studies for Policy Planning. *Sustainability* [Internet]. 2023 Mar 8;15(6):4788. Available from: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/6/4788>
 20. Malagon O, Garcia JM, Morocho C. Introduction to the Study of Medicinal Plants, Bioeconomy and Business Opportunities in Central and South Amazon in Ecuador. *Medicinal Plant Communications* [Internet]. 2020;3(3):38–44. Available from: <https://www.mpc.ms-editions.cl/index.php/mpc/article/view/12/11>
 21. Heredia Salgado MA, Säumel I, Cianferoni A, Tarrelho LAC. Potential for Farmers' Cooperatives to Convert Coffee Husks into Biochar and Promote the Bioeconomy in the North Ecuadorian Amazon. *Applied Sciences* [Internet]. 2021 May 21;11(11):4747. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/11/4747>
 22. Assunção J, Gandour C, Rocha R. DETER-ing Deforestation in the Amazon: Environmental Monitoring and Law Enforcement. *Am Econ J Appl Econ* [Internet]. 2023 Apr 1;15(2):125–56. Available from: <https://pubs.aeaweb.org/doi/10.1257/app.20200196>
 23. Espinoza JL, Jara-Alvear J, Urdiales Flores L. Sustainability of Renewable Energy Projects in the Amazonian Region. In 2018. p. 107–39. Available from: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-69399-6_7
 24. Bazrkar MH, Zamani N, Eslamian S, Eslamian A, Dehghan Z. Urbanization and Climate Change. In: *Handbook of Climate Change Adaptation* [Internet]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2015. p. 619–55. Available from: https://link.springer.com/10.1007/978-3-642-38670-1_90
 25. Etchart N, Freire JL, Holland MB, Jones KW, Naughton-Treves L. What happens when the money runs out? Forest outcomes and equity concerns following Ecuador's suspension of conservation payments. *World Dev* [Internet]. 2020 Dec;136:105124. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0305750X20302515>

EFFECTO DE TRES MÉTODOS DE PROCESAMIENTO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS SENSORIALES DEL CAFÉ (*COFFEA ARABICA*) EN GRANO

EFFECT OF THREE PROCESSING METHODS ON THE SENSORY ATTRIBUTES OF COFFEE (*COFFEA ARABICA*)

	¹ María José Andrade Rojas *	ma.joseandrade88@gmail.com
	² Paúl Crow Falconi	paulmcrow@gmail.com
	³ Andrés Haro Haro	andres.haro@ucuenca.edu.ec
	⁴ Gabriela Alexandra Zuñiga Carpio	gabriela.zuniga@ucuenca.edu.ec

¹ Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Medicas, Carrera de Nutrición y Dietética, Cuenca, Ecuador.

² Milk and Meat, Consultora Internacional, Departamento del conocimiento ganadero, Riobamba, Ecuador.

³ Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Laboratorio de Bromatología. Cuenca, Ecuador.

E-mail: * ma.joseandrade88@gmail.com

RESUMEN

En los últimos años, se ha intensificado la búsqueda de tecnologías innovadoras de poscosecha en la producción de café de especialidad. La fermentación microbiana es una herramienta prometedora para modular los atributos sensoriales. Por lo tanto, el estudio evaluó el efecto de tres métodos de procesamiento poscosecha sobre el perfil sensorial de *Coffea arabica* (var. Caturra rojo) cultivada en Gualaquiza, Ecuador. Las cerezas de café se sometieron a secado natural acelerado mediante, una fermentación anaeróbica espontánea y una fermentación experimental inoculada con líquido ruminal. Todas las muestras se tostaron hasta un perfil Vienna (Agtron 50) y se molieron hasta 1200 μm . El análisis sensorial fue realizado por un sommelier certificado y tres catadores profesionales utilizando 8,3 g de café/150 mL de agua. No se observaron diferencias significativas en las relaciones pulpa:grano y pergamino:grano ($P > 0,05$), ni en el porcentaje de granos verdes limpios ($P = 0,101$). Sin embargo, el recuento de defectos totales, primarios y secundarios varió entre tratamientos ($P < 0,05$), con las puntuaciones más altas en el grupo de secado acelerado. El análisis de aroma del café molido mostró diferencias significativas ($P = 0,026$). La fermentación con líquido ruminal mostró el perfil más complejo, con notas cítricas, florales y achocolatadas; la fermentación espontánea presentó matices cítricos y bosque, mientras que el secado acelerado arrojó matices silvestres. No se observaron diferencias en el sabor en taza ($P = 0,622$), sin embargo una tendencia en la sensación en boca ($P = 0,064$), con mayor profundidad y equilibrio aromático en el grupo inoculado. Estos hallazgos demuestran que la inoculación con microbiota ruminal exógena

puede mejorar y diversificar el perfil organoléptico de los granos de café, abriendo nuevas posibilidades para estrategias fermentativas controladas en la producción de café de especialidad.

Palabras clave: *Coffea arabica*, fermentación anaeróbica, líquido ruminal, procesamiento poscosecha, perfil sensorial.

ABSTRACT

In recent years, the search for innovative postharvest technologies in specialty coffee production has intensified. Microbial fermentation has emerged as a promising tool to modulate sensory attributes. Therefore, the present study aimed to evaluate the effect of three postharvest processing methods on the sensory profile of *Coffea arabica* (cv. Caturra rojo) cultivated in Gualaquiza, Ecuador. Coffee cherries were subjected to accelerated natural drying, spontaneous anaerobic fermentation, and experimental fermentation inoculated with ruminal fluid. All samples were roasted to a Vienna profile (Agtron 50) and ground to 1200 μm particle size. Sensory analysis was conducted using 8.3 g of coffee per 150 mL of water by a certified sommelier and three professional cuppers. No significant differences were observed in pulp-to-bean and parchment-to-bean ratios ($P > 0.05$), nor in the percentage of clean green beans ($P = 0.101$). Nevertheless, total, primary, and secondary defect counts differed among treatments ($P < 0.05$), with the highest scores observed in the accelerated

drying group. Ground coffee aroma analysis revealed significant differences ($P = 0.026$). The ruminal fluid-inoculated fermentation exhibited the most complex aromatic profile, including citrus, floral, and chocolate notes. The spontaneous fermentation yielded citrus and forest nuances, whereas the accelerated drying treatment showed wild notes. No differences were observed in cup flavor ($P = 0.622$), although a trend was detected in mouthfeel perception ($P = 0.064$), with greater depth and aromatic balance in the inoculated group. These findings suggest that inoculation with exogenous ruminal microbiota may enhance and diversify the organoleptic profile of coffee beans, opening new perspectives for controlled fermentation strategies in specialty coffee production.

Keywords: *Coffea arabica*, anaerobic fermentation, rumen fluid, post-harvest processing, sensory profile.

1. INTRODUCCIÓN

La producción de *Coffea arabica* en Ecuador ha experimentado un crecimiento en las últimas décadas, consolidándose como una actividad estratégica para la agricultura familiar campesina y la economía rural del país (MAG, 2023). Esta expansión no sólo responde a un aumento en el área cultivada, sino también a una creciente valorización de los cafés especiales en el mercado nacional e internacional. Además de Ecuador, países como Colombia, Etiopía y Brasil han liderado el avance en técnicas de producción, procesamiento y comercialización, posicionándose como referentes globales en la industria del café de alta calidad (Tassew et al., 2022, Wright et al., 2024).

Uno de los factores más influyentes en la calidad final del café es el método de procesamiento postcosecha, ya que este incide directamente en el desarrollo del perfil sensorial del grano. Métodos tradicionales como el natural (seco), el lavado y el honey (semi-lavado) han sido ampliamente utilizados en diferentes regiones productoras (Várady et al., 2024). Sin embargo, en años recientes, han ganado protagonismo métodos experimentales y artesanales de fermentación, que permiten modificar y enriquecer el perfil organoléptico del café, respondiendo a una demanda de consumidores cada vez más exigentes y especializados (De Bruyn et al., 2017; Zhang et al., 2019).

Por lo tanto, los pequeños productores han comenzado a implementar prácticas innovadoras que abarcan desde el manejo agronómico del cultivo, incluyendo altitud, sombra, nutrición y sanidad, hasta la cosecha selectiva y los procesos de fermentación y tostado, los cuales

son determinantes para la expresión de características sensoriales como el aroma, la acidez, el cuerpo y el sabor residual (Ferreira et al., 2022).

Particularmente, la fermentación postcosecha juega un rol clave en la transformación bioquímica del mucílago y en la generación de precursores aromáticos. La acción de microorganismos durante esta fase modula la liberación de compuestos volátiles, ácidos orgánicos y precursores del sabor, lo que repercute directamente en la calidad de la bebida final (Zhao et al., 2023). En términos técnicos, la exploración de nuevas fuentes fermentativas, como el uso de cultivos microbianos no convencionales o inoculantes experimentales, ha abierto nuevas posibilidades para diversificar los perfiles sensoriales y mejorar la trazabilidad y estandarización del producto.

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de dos tratamientos artesanales y una fermentación experimental *in vitro* sobre el perfil sensorial del café *Coffea arabica*, cultivado a pequeña escala. Los tratamientos incluyeron dos procesos artesanales postcosecha y un proceso de fermentación experimental inoculada con líquido ruminal, con el fin de comparar su impacto sobre los atributos organolépticos y potencial de diferenciación del grano.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal y zona de estudio

Se utilizaron cerezas maduras de *Coffea arabica*, variedad Caturra rojo, provenientes del cantón Gualaquiza, provincia de Morona Santiago, Ecuador (altitud: 1032 msnm). Las cerezas fueron cosechadas manualmente en su punto óptimo de madurez (color rojo intenso y firmeza media), descartando frutos verdes o sobremaduros.

Diseño experimental y tratamientos postcosecha

Las cerezas seleccionadas fueron homogéneamente distribuidas en tres grupos experimentales, a los cuales se aplicaron distintos tratamientos postcosecha. El primer tratamiento consistió en un secado natural acelerado (SNA). Las cerezas se colocaron en una estufa de aire forzado (Memmert GmbH + Co. KG, modelo UN 110) a 60 °C durante 24 h, simulando un proceso de secado rápido. Finalizado este periodo, la cáscara seca fue retirada manualmente y los granos en pergamino se continuaron secando hasta alcanzar una humedad final entre el 10 y 12 %. El segundo tratamiento correspondió a una fermentación anaeróbica espontánea (FAE). Las

cerezas fueron colocadas en viales herméticos con válvula de escape de CO₂ y fermentadas de manera anaeróbica durante 48 h a temperatura ambiente (24 °C). Para estimular la actividad microbiana, se adicionó azúcar refinada en 10 g/kg de cerezas. Finalizado el proceso, se realizó el despulpado manual y los granos en pergamino fueron secados siguiendo el mismo procedimiento del tratamiento 1.

El tercer tratamiento fue una fermentación experimental con líquido ruminal (FLR). Se adaptó la metodología de fermentación *in vitro* descrita por Haro *et al.* (2020). Las cerezas se incubaron durante 24 h a 39 °C en una solución 1:4 compuesta por líquido ruminal fresco filtrado y un medio de cultivo tamponado, en una incubadora con rotación continua (TE-150 TECNAL, Brasil). Esta solución fue previamente gaseada durante 10 min con CO₂ para establecer condiciones anaerobias. Posteriormente, las cerezas fueron lavadas, despulpadas y los granos en pergamino se secaron siguiendo el mismo procedimiento del tratamiento 1. Se espera que la microbiota ruminal, a través de su actividad enzimática extracelular, facilite la descomposición del mucílago y mejore el desarrollo de precursores aromáticos (De Bruyn *et al.*, 2017; Haro *et al.*, 2024).

Tueste del café y Análisis sensorial

Todos los tratamientos fueron sometidos a un tueste estandarizado tipo Viena (Agtron 50) utilizando un tostador de tambor (Roest AD, Coffee, Oslo, Noruega), bajo condiciones controladas según el protocolo de tueste medio de la Specialty Coffee Association (SCA, 2015). Las muestras fueron molidas hasta alcanzar un tamaño de partícula teórico de 1200 µm.

La evaluación sensorial fue realizada por un sommelier certificado, junto con tres catadores experimentados. Se utilizó una proporción estándar de 8,3 g de café por 150 mL de agua, aplicándose cuatro réplicas por grupo experimental. Se valoraron 3 atributos: Aroma en seco o molido (notas suaves, silvestres, cítricas, florales, chocolatosas). Aroma en taza (intensidad aromática, congruencia con el aroma en seco). Sabor en boca (dulzor, acidez, complejidad, cuerpo, notas dominantes). Además, se determinó la percepción microbiológica (indicativa): baja, media o alta según la intensidad aromática fermentativa. Esta clasificación se estableció de manera cualitativa, sin una cuantificación directa.

Análisis estadístico

Se aplicó un procedimiento GLM para comparar los efectos de los tratamientos postcosecha sobre los

atributos sensoriales. Se utilizó el software SAS v9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Cuando se observó un efecto significativo entre los tratamientos ($P < 0,05$), se utilizó la prueba de Tukey para las comparaciones de medias. Se declaró significancia en $P < 0,05$, mientras que los valores de $P < 0,10$ se consideraron una tendencia.

3. RESULTADOS

El efecto de la fermentación mediante secado natural acelerado (SNA), fermentación anaeróbica espontánea (FAE) y fermentación *in vitro* con líquido ruminal (FLR) sobre los parámetros físicos y de calidad del grano verde de *Coffea arabica*, variedad Caturra rojo se muestran en la **tabla 1**. No se observaron diferencias significativas ($P > 0,05$) en la relación pulpa:grano ni en la relación pergamino:grano, con valores promedio de 4,63 y 1,24 g/g, respectivamente. De igual manera, el porcentaje de grano verde limpio no difirió entre tratamientos ($P = 0,101$).

Por otro lado, se identificaron diferencias en el porcentaje total de defectos, así como en los defectos primarios y secundarios entre los métodos de fermentación ($P < 0,05$). El tratamiento SNA presentó valores promedio superiores de defectos totales, primarios y secundarios en comparación con FAE y FLR, con diferencias absolutas de hasta 1,0%, 0,2% y 0,8%, respectivamente. Asimismo, se observó una tendencia a mayor contenido de humedad en los granos fermentados mediante FLR en comparación con los otros métodos ($P = 0,075$).

Tabla 1. Efecto de los métodos de fermentación sobre los parámetros físicos y de calidad del grano de Café Caturra rojo.

Ítem ¹	SNA	FAE	FLR	EEM ²	P valor
Relación pulpa:grano g/g	4,63	4,61	4,66	0,239	0,989
Relación pergamino grano, g/g	1,24	1,23	1,24	0,084	0,848
Grano verde limpio, %	89,2	90,7	90,8	0,487	0,101
Defectos totales, %	9,90	9,23	8,57	0,268	0,035
defectos primarios, %	1,35	1,26	1,11	0,075	0,040
Defectos secundarios, %	8,55	7,96	7,46	0,154	0,003
Humedad, %	10,7	10,7	11,2	0,158	0,075

¹ SNA: Secado natural acelerado FAE: fermentación anaeróbica espontánea, FLR: fermentación experimental con líquido ruminal. ²EEM: error estándar de la media.

Los métodos de fermentación evaluados generaron una progresión en la actividad microbiológica (**Tabla 2**), que fue desde una baja o nula actividad (SNA), una actividad intermedia (FAE) y una elevada actividad microbiana (FLR). En el aroma del grano molido se identificaron diferencias sensoriales entre tratamientos ($P = 0,026$). El tratamiento FAE presentó un perfil aromático caracterizado por notas cítricas y bosque, con una puntuación promedio de 9,25. El tratamiento SNA, mostró notas silvestres y una puntuación de 9,00. Curiosamente, el tratamiento FLR mostró un perfil más complejo, con notas cítricos, flores y chocolate, pero con una puntuación menor de 8,50.

El aroma en taza, no presentó diferencias sensoriales

entre los tratamientos ($P = 0,622$). No obstante, se observó una tendencia diferenciada en los perfiles de SNA, que presentaron un aroma dulce, tenue y una puntuación de 8,25. El FAE mostró un aroma intensamente cítrico con una puntuación de 8,75 y FLR fue percibido como un aroma complejo, con notas cítricas y de bosque y una puntuación de 8,50. En el análisis del sabor en boca, se evidenció una tendencia hacia diferencias sensoriales ($P = 0,064$). El tratamiento FLR obtuvo la puntuación más alta (9,75), asociado a un perfil complejo, floral, dulce y ácido. La FAE le siguió con 9,00, destacándose por su alta acidez y notas cítricas, mientras que SNA obtuvo 8,50, caracterizado por un dulzor moderado.

Tabla 2. Efecto de los métodos de fermentación sobre las caracterización sensorial del Café Caturra rojo postmolienda.

Ítem ¹	SNA	Rango	FAE	Rango	FLR	Rango	EEM ²	P valor
Microbiología activa	Baja	-	Media	-	Alta	-	-	-
Aroma en molido	Suave, silvestre	9,00	Cítricos, bosque	9,25	Cítricos, flores, chocolate	8,50	0,399	0,026
Aroma en bebida	Dulce, tenue	8,25	Cítrico intenso	8,75	Cítrico, bosque	8,50	0,354	0,622
Sabor en boca	Dulzor moderado	8,50	Alta acidez, notas cítricas	9,00	Complejo, floral, dulce y ácido	9,75	0,323	0,064

¹ Microbiología activa: Baja (sin actividad), Media (lácticas, levaduras), Alta (protozoos, bacterias). ² Error estándar de la media. $n = 4$

4. DISCUSIÓN

Los resultados indican que el tipo de fermentación puede influir en la calidad física del grano de café, particularmente en lo que respecta a la reducción de defectos. La presencia de defectos primarios y secundarios impacta de manera directa en la puntuación sensorial del café, según la Specialty Coffee Association (SCA, 2015), lo que afectara su valor comercial. En este estudio, la fermentación *in vitro* con líquido ruminal (FLR) redujo significativamente los defectos, lo que sugiere una ventaja potencial de este método en condiciones de pequeña escala o producción artesanal. Este efecto probablemente se atribuye a la actividad microbiana que aceleró los procesos de fermentación pectinolítica durante la degradación del mucílago (Haro *et al.*, 2020), facilitando la liberación de compuestos aromáticos y precursores del sabor (Haile y Kang, 2019; Tassew *et al.*, 2022).

La ausencia de diferencias en la relación pulpa:grano y pergamino:grano concuerda con lo reportado por Avallone *et al.* (2001) y Lu *et al.* (2023), quienes señalaron que la anatomía del fruto y el peso relativo de las fracciones estructurales no se ven afectados por

el tipo de fermentación, sino probablemente por la variedad genética y el grado de madurez al momento de la cosecha. El porcentaje de grano verde limpio, si bien no mostró diferencias significativas, fue ligeramente superior en FAE y FLR, alineándose con lo descrito por Knopp *et al.* (2006), quienes reportan mejoras en la retención de calidad visual del grano bajo fermentaciones controladas. La ligera tendencia al aumento en el contenido de humedad del grano cuando se aplicó el FLR podría explicarse por la exposición a condiciones menos estandarizadas en el secado, ya que este método suele implicar mayor contacto con la humedad ambiental. Una humedad final superior al 11% podría aumentar el riesgo de deterioro durante el almacenamiento (Joët *et al.*, 2010), aunque en este estudio no se superó dicho umbral.

La caracterización sensorial estuvo influenciada principalmente por el método de fermentación, especialmente en lo que respecta al aroma en grano molido (Zhao *et al.*, 2023). El mayor puntaje sensorial obtenido con el método FAE coincide con estudios que destacan el papel de la fermentación anaeróbica

en la expresión de notas cítricas y florales deseables (De Bruyn et al., 2017; Zhang et al., 2019; da Silva et al., 2022). Estos perfiles pueden atribuirse a una mayor producción de ésteres volátiles y aldehídos generados por microorganismos anaerobios especializados, como *Lactobacillus* y levaduras *no-Saccharomyces*, que dominan bajo condiciones anaeróbicas controladas (Martínez et al., 2022).

El tratamiento FLR mostró un perfil aromático más complejo, incluyendo notas a chocolate y flores, lo cual es consistente con trabajos donde se ha documentado que la interacción de microbiota exógena (en este caso, ruminal) y la cereza de café puede diversificar los metabolitos aromáticos en el grano (Fernandes et al., 2021; Zhao et al., 2023). Sin embargo, su menor puntuación en aroma molido sugiere que la intensidad y aceptación sensorial puede estar aún por debajo de métodos convencionales mejor establecidos, probablemente por la falta de adaptación específica de la microbiota ruminal al sustrato del café, punto de importancia al momento de considerar los tiempos de fermentación con microbiota exógena (Haro et al., 2020; Várady et al., 2024).

El sabor en boca, aunque sin diferencias estadísticas, tendió a ser más complejo y equilibrado en el tratamiento FLR. Esto podría asociarse a la actividad enzimática diferencial que favorece la liberación de precursores del sabor durante la fermentación (Zhao et al., 2023). Es importante destacar que, aunque no se observaron diferencias en el aroma de la bebida, las percepciones sensoriales tienden a verse más afectadas por compuestos volátiles de alta afinidad al agua que pueden homogenizarse durante la extracción (Zhang et al., 2019).

5. CONCLUSIONES

Los métodos de fermentación aplicados al café Caturra rojo postcosecha modificaron significativamente su perfil sensorial, según el tipo de microbiota involucrada. El secado natural acelerado generó notas silvestres y perfiles más tenues, la fermentación anaeróbica espontánea favoreció notas cítricas y a bosque con alta puntuación en aroma, mientras que el uso de líquido ruminal aportó la mayor complejidad sensorial con sabores cítricos, florales y chocolate, destacando el sabor en boca. Estos resultados demuestran que la gestión del ecosistema microbiano permite direccionar atributos sensoriales específicos, abriendo nuevas oportunidades para innovar en cafés especiales mediante fermentaciones controladas y no convencionales.

6. AGRADECIMIENTOS

El agradecimiento a la Universidad de Cuenca y a la Consultora Internacional Milk and Meat.

7. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

8. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Avallone S, Guiraud JP, Guyot B, Olguin E, Brihouet JM. Fate of mucilage cell wall polysaccharides during coffee fermentation. *J Agric Food Chem.* 2001;49(11):5556-9. <https://doi.org/10.1021/jf010510s>
2. De Bruyn F, Zhang SJ, Pothakos V, Torres J, Lambot C, Moroni AV, et al. Exploring the impacts of post-harvest processing on the microbiota and metabolite profiles during green coffee bean production. *Appl Environ Microbiol.* 2017;83(1):e02398-16. <https://doi.org/10.1128/AEM.02398-16>
3. da Silva Vale A, Balla G, Rodrigues LRS, de Carvalho Neto DP, Soccol CR, de Melo Pereira GV. Understanding the effects of self-induced anaerobic fermentation on coffee beans quality: Microbiological, metabolic, and sensory studies. *Foods.* 2022;12(1):37. <https://doi.org/10.3390/foods12010037>
4. Fernandes MF, Lopes LD, Dick RP. Microbial dynamics associated with the decomposition of coconut and maize residues in a microcosm experiment with tropical soils under two nitrogen fertilization levels. *J Appl Microbiol.* 2021;131(3):1261-73. <https://doi.org/10.1111/jam.15021>
5. Ferreira DS, da Silva Oliveira ME, Ribeiro WR, Filete CA, Castanheira DT, Rocha BCP, et al. Association of altitude and solar radiation to understand coffee quality. *Agronomy.* 2022;12(8):1885. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081885>
6. Haile M, Kang WH. The role of microbes in coffee fermentation and their impact on coffee quality. *J Food Qual.* 2019;2019:4836709. <https://doi.org/10.1155/2019/4836709>
7. Haro AN, Carro MD, De Evan T, González J. Influence of feeding sunflower seed and meal protected against ruminal fermentation on ruminal degradation, bacterial composition and in situ degrada-

- bility in sheep. *Arch Anim Nutr.* 2020;74(5):380–96. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2020.1756679>
8. Haro ANH, Saldaña DR, Aucay ASJ, Rojas AV, Saavedra MAP. Análisis de la composición química y fermentación ruminal in vitro de alimentos fibrosos en ganado ovino. *RECIENA.* 2024;4(1):115–20. <https://doi.org/10.47187/ksyxnw16>
 9. Joët T, Laffargue A, Descroix F, Doubeau S, Bertrand B, Dussert S. Influence of environmental factors, wet processing and their interactions on the biochemical composition of green Arabica coffee beans. *Food Chem.* 2010;118(3):693–701. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.05.048>
 10. Knopp S, Bytof G, Selmar D. Influence of processing on the content of sugars in green Arabica coffee beans. *Eur Food Res Technol.* 2006;223(2):195–201. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0172-1>
 11. Martinez SJ, Batista NN, Bressani APP, Dias DR, Schwan RF. Molecular, Chemical, and Sensory Attributes Fingerprinting of Self-Induced Anaerobic Fermented Coffees from Different Altitudes and Processing Methods. *Foods.* 2022;11(24):3945. <https://doi.org/10.3390/foods11243945>
 12. Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. Informe del análisis de los determinantes de la productividad de café arábigo 2023 [Internet]. 2023 [cited 2025 Jul 29]. Available from: https://pidara.mag.gob.ec/wp-content/uploads/2024/12/Informe_determinantes_productividad_cafe_2023.pdf
 13. Tassew AA, Yadessa GB, Bote AD, Obso TK. Location, production systems, and processing method effects on qualities of kafa biosphere reserve coffees. *Agrosyst Geosci Environ.* 2022;5(2):e20270. <https://doi.org/10.1002/agg2.20270>
 14. Lu T, Sun Y, Huang Y, Chen X. Effects of roasting on the chemical compositions, color, aroma, microstructure, and the kinetics of changes in coffee pulp. *J Food Sci.* 2023;88(4):1430–44. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16516>
 15. Specialty Coffee Association. The Coffee Taster's Flavor Wheel [Internet]. 2015 [cited 2025 Jul 29]. Available from: <https://sca.coffee/research/flower-wheel>
 16. Várady M, Boržíková J, Popelka P. Effect of processing method (natural, washed, honey, fermentation, maceration) on the availability of heavy me-
 17. Wright DR, Bekessy SA, Lentini PE, Garrard GE, Gordon A, Rodewald AD, et al. Sustainable coffee: A review of the diverse initiatives and governance dimensions of global coffee supply chains. *Ambio.* 2024;53(7):984–1001. <https://doi.org/10.1007/s13280-024-02003-w>
 18. Zhang SJ, De Bruyn F, Pothakos V, Contreras GF, Cai Z, Moccand C, et al. Influence of various processing parameters on the microbial community dynamics, metabolomic profiles, and cup quality during wet coffee processing. *Front Microbiol.* 2019;10:2621. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02621>
 19. Zhao L, Wang Y, Wang D, He Z, Gong J, Tan C. Effects of different probiotics on the volatile components of fermented coffee were analyzed based on headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry. *Foods.* 2023;12(10):2015. <https://doi.org/10.3390/foods12102015>

CONTABILIDAD VERDE COMO ESTRATEGIA DE SOSTENIBILIDAD EN LAS PYMES

GREEN ACCOUNTING AS A SUSTAINABILITY STRATEGY IN THE PYMES

	¹ Andy Sebastian Gaibor Coello *	andy.gaibor@esPOCH.edu.ec
	² Luz Maribel Vallejo Chávez	luz.vallejo@esPOCH.edu.ec
	³ Javier Lenín Gaibor	j_gaibor@esPOCH.edu.ec
	⁴ Silvia Gabriela Tapia Segura	stapia@esPOCH.edu.ec

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Administración de Empresas, Carrera de Contabilidad y Auditoría, Riobamba, Chimborazo.

² Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Administración de Empresas, Carrera de Mercadotecnia; Riobamba, Ecuador.

³ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Administración de Empresas, Carrera de Contabilidad y Auditoría, Riobamba, Chimborazo.

⁴ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Salud Pública, Carrera de Gastronomía; Riobamba, Ecuador.

E-mail: * ma.joseandrade88@gmail.com

RESUMEN

El presente estudio de revisión bibliográfica, analiza las fuentes teóricas referente a la contabilidad verde como estrategia para la sostenibilidad en las empresas medianas y pequeñas (PYMES). Este artículo se fundamenta en las investigaciones académicas publicadas entre los años 2021 y 2025 en los sistemas de datos globales, donde se muestra la evolución y la aplicación de la Contabilidad de Gestión Ambiental (CGA) y la Contabilidad de Costos de Flujo de Materiales (CCFM). Estas herramientas contables facilitan la medición de los efectos ambientales en los procesos productivos y el vínculo con el manejo económico. La información del estudio muestran un acuerdo generalizado con respecto a la utilidad de la contabilidad verde para alcanzar una mayor eficiencia en el manejo de los recursos vinculados a la obligación social empresarial. No obstante, se hallaron carencias relevantes en Latinoamérica, sobre todo en Ecuador, adjudicadas a la falta de preparación técnica detallada, el acceso limitado a recursos económicos ecológicos y la inexistencia de normas contables ambientales estandarizadas. En el entorno del manejo empresarial, la mezcla de los sistemas contables sostenibles, los sistemas internos de control y las normativas globales, como la ISO 14001, el ODS y el GRI. La revisión concluye que, la contabilidad verde es un instrumento de medición ambiental y, a su vez, es una estrategia para la toma de decisiones sostenibles. En tal sentido, coopera en la relación entre el rendimiento económico, un ambiente sostenible..

Palabras clave: *Contabilidad verde – Sostenibilidad empresarial – PYMES – Contabilidad de Gestión Ambiental – Economía circular.*

ABSTRACT

This literature review analyzes theoretical sources regarding green accounting as a sustainability strategy in small and medium-sized enterprises (SMEs). This article is based on academic research published between 2021 and 2025 in global data systems, which show the evolution and application of Environmental Management Accounting (EMA) and Material Flow Costing (MFC). These accounting tools facilitate the measurement of environmental impacts on production processes and their link to economic management. The information in this study shows widespread agreement regarding the usefulness of green accounting in achieving greater efficiency in the management of resources linked to corporate social responsibility. However, significant gaps were found in Latin America, particularly in Ecuador, attributed to a lack of detailed technical preparation, limited access to green economic resources, and the absence of standardized environmental accounting standards. In the business management environment, there is a mix of sustainable accounting systems, internal control systems, and global regulations such as ISO 14001, the SDGs, and the GRI. The review concludes that green

accounting is both an environmental measurement tool and a strategy for sustainable decision-making. In this sense, it contributes to the relationship between economic performance and a sustainable environment.

Keywords: *Green accounting – Business sustainability – SMEs – Environmental management accounting – Circular economy.*

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años la contabilidad verde es un tema de interés, autores señalan que, existe un interés creciente sobre este tema que surge como “respuesta a la necesidad de medir, controlar y mitigar los impactos ambientales en las actividades empresariales. A diferencia de la contabilidad financiera, la contabilidad verde considera factores ecológicos y sociales dentro de los sistemas de información contable, con la intención de fomentar la sostenibilidad”.⁽¹⁾

En el ámbito latinoamericano y sobre todo en el ecuatoriano, se encuentran investigaciones que manifiestan que, “las PYMES son el núcleo de la economía en el Ecuador y constituyen más de 90% de las unidades productivas, y que enfrentan el desafío de implementar estrategias sostenibles sin poner en riesgo su rentabilidad”.⁽²⁾ A pesar de la introducción de los instrumentos tales como *Environmental Management Accounting (EMA)* o *Material Flow Cost Accounting (MFCA)* siguen siendo limitadas en su aplicación, se puede constatar sus beneficios en la racionalización de recursos y disminución de residuos.

Diversos estudios de autores han constatado que “la contabilidad verde no sólo incrementa la transparencia y la rendición de cuentas, sino que también fortalece la competitividad a través del acceso al financiamiento verde y su alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)”.^(3,4) Por tanto, el objetivo del artículo es fundamentar la teoría con la práctica, en la evolución de la contabilidad verde como estrategia de sostenibilidad en las PYMES, con el fin de identificar sus aportes, tendencias, carencias teóricas y oportunidades de mejora en la literatura científica publicada en el período 2021-2025.

2. METODOLOGÍA

El estudio se desarrolló bajo un enfoque descriptivo, con un diseño documental y bibliográfico, orientado a analizar las principales tendencias, aportes teóricos y aplicaciones prácticas de la contabilidad verde como estrategia de sostenibilidad en las PYMES.

1. Fuentes de información: la búsqueda se realizó en las bases de datos Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, Emerald Insight, MDPI, Redalyc y SciELO, debido a su alta cobertura en ciencias económicas, contables y de gestión empresarial. Se aplicaron los descriptores combinados mediante operadores booleanos: “green accounting” AND “environmental accounting” AND “sustainability” AND (“SMEs” OR “PYMES”), con el fin de abarcar tanto la literatura internacional como los estudios regionales.
2. Criterios de inclusión y exclusión: se incluyeron documentos publicados entre 2021 y 2025, en idioma español o inglés, de tipo artículo científico, revisión sistemática o tesis indexada, que presentaran relación directa con la contabilidad ambiental o verde aplicada a las PYMES. Se excluyeron los estudios sin acceso completo, duplicados, de carácter conceptual (sin evidencia empírica o aplicación práctica), y aquellos que no abordaran explícitamente la sostenibilidad empresarial desde la perspectiva contable.
3. Proceso de búsqueda y selección: la búsqueda inicial identificó 128 documentos potencialmente relevantes. Posteriormente, se aplicó un proceso de depuración por etapas: (i) Primera revisión: lectura de títulos y resúmenes, eliminando duplicados y textos fuera del periodo temporal definido. (ii) Segunda revisión: análisis del texto completo para evaluar pertinencia temática y calidad metodológica. Finalmente, 30 fuentes cumplieron con los criterios de inclusión, las cuales constituyeron la base analítica de esta revisión.
4. Estrategia metodológica: la revisión siguió los lineamientos del modelo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), adaptado al enfoque narrativo, que permitió organizar la información de forma sistemática y transparente.

El proceso incluyó las siguientes fases:

1. Identificación: localización de la literatura relevante en las bases de datos seleccionadas.
2. Cribado (screening): exclusión de duplicados y textos fuera de los criterios establecidos.
3. Elegibilidad: análisis detallado de los estudios seleccionados según su rigor y aporte al tema.
4. Inclusión: incorporación de las fuentes finales

para el análisis y síntesis narrativa.

5. Análisis de la información

Los documentos seleccionados fueron examinados mediante análisis de contenido temático, identificando tendencias, enfoques teóricos, metodologías utilizadas y resultados clave sobre la aplicación de la contabilidad verde en las PYMES. Se establecieron categorías de análisis como: a) conceptualización de contabilidad verde o sostenible; b) herramientas contables aplicadas a PYMES; c) beneficios y barreras de aplicación; y d) vacíos de investigación identificados.

La información se sistematizó en matrices comparativas, lo que permitió identificar coincidencias teóricas, divergencias metodológicas y oportunidades de investigación futura.

3. DESARROLLO

Contabilidad verde y su relación con la sostenibilidad

La contabilidad verde surge como una evolución necesaria de los sistemas contables tradicionales ante la creciente demanda mundial de sostenibilidad y responsabilidad ambiental. Este enfoque busca integrar los impactos ecológicos dentro del proceso de toma de decisiones financieras, transformando la manera en que las organizaciones miden su desempeño económico y ambiental. La contabilidad ambiental constituye una herramienta estratégica que permite identificar, cuantificar y comunicar los efectos que las actividades empresariales generan sobre el medio ambiente, con el fin de orientar la gestión hacia la sostenibilidad” (p. 15) ⁽⁵⁾. Esta definición resalta que la contabilidad ambiental o también denominada contabilidad verde sirve como una herramienta estratégica que ayuda a encontrar y cuantificar los efectos de las actividades productivas que generan en el medio ambiente con el fin de concientizar el verdadero impacto ambiental producto de la industrialización.

En la misma línea, sostienen que “el desarrollo de la Contabilidad de Gestión Ambiental (EMA) se ha convertido en un componente esencial de los sistemas modernos de control de gestión, pues vincula los costos ecológicos con las decisiones operativas y estratégicas”. ⁽⁶⁾ Este planteamiento afirma que la contabilidad ambiental constituye un componente índice pensable en los modernos sistemas de gestión que permite vincular los costos ambientales con las decisiones estratégicas de las organizaciones. La contabilidad ambiental ha evolucionado desde modelos de registro de impactos

hasta sistemas de información circular que incorporan indicadores ambientales, sociales y de gobernanza (ESG) para evaluar el desempeño integral de las empresas”. ⁽⁷⁾

Estos estudios demuestran el avance que ha sufrido la contabilidad en un contexto de transición de una contabilidad tradicional a una contabilidad integral en la que no sólo se miden indicadores orientados a la rentabilidad financiera sino a la sostenibilidad ambiental, en este contexto, las pequeñas y medianas empresas buscan la integración de herramienta que les ayuden a acceder a la información sobre los costos ambientales y toma de decisiones estratégicas orientadas a la sostenibilidad ambiental que le permitirá consolidar una imagen corporativa responsable en su contexto social.

Finalmente, destacan que “la adopción de la contabilidad verde en pequeñas y medianas empresas contribuye no solo a mejorar su desempeño ambiental, sino también a fortalecer su posición competitiva en mercados cada vez más conscientes de la sostenibilidad”. ⁽⁸⁾ A la luz de las ideas del autor puede demostrar una perspectiva sobre la contabilidad verde que sostiene que ésta no debe entenderse únicamente como una herramienta orientada a la gestión financiera sino como una estrategia de transformación de lo que ahora es la gestión empresarial en las pequeñas y medianas empresas. Es importante destacar que la aplicación de herramientas en las empresas requiere capacitaciones y políticas educativas, y también que se fomente su aplicabilidad en las carreras universitarias para que los profesionales tengan una visión hacia la sostenibilidad ambiental y no se limiten únicamente al ámbito financiero.

Herramientas de contabilidad verde aplicadas en PYMES

Las herramientas de contabilidad verde representan un grupo de estrategias y metodologías diseñadas para obtener criterios ambientales en la gestión empresarial. En el caso de las PYMES, estas herramientas brindan una oportunidad estratégica para reducir impactos negativos y fortalecer su competitividad que permitirán una mejor utilización de los recursos. El propósito de esta investigación es examinar cómo se puede implementar adecuadamente MFCA en una configuración de PYME para mejorar el desempeño financiero y ambiental de la empresa. ⁽⁹⁾ Este estudio demuestra que la aplicación del Contabilidad de Costos de Flujo de Materiales (MFCA) permiten identificar usos inadecuados de materiales y energía, transformando los flujos de recursos en indicadores de

productividad y sostenibilidad. Esta teoría sustenta que las PYMES en el caso que apliquen estas herramientas pueden optimizar su estructura de costos y reducen su huella ecológica.

De igual argumenta que “el proceso de normalización y certificación ISO 14001 mejora el rendimiento sustantivo de las PYME mediante el desarrollo de un sistema de control de gestión medioambiental (EMCS)”.⁽¹⁰⁾ Este hallazgo demuestra que la integración de sistemas certificados como ISO 14001 refuerza la adopción de una contabilidad orientada a la sostenibilidad ambiental, que existe una normativa que promueve la transparencia y la rendición de cuentas en materia ambiental. Por otro lado, la Contabilidad de costos de flujo de materiales MFCA es una herramienta de contabilidad de gestión ambiental que evalúa los flujos materiales y financieros, que se espera que contribuyan a la economía circular”.⁽¹¹⁾ Su investigación corrobora que el MFCA no solo mide pérdidas materiales, sino que promueve una visión circular de la gestión empresarial, alineando la eficiencia productiva con la sostenibilidad ecológica.

La implementación de la Contabilidad de Gestión Ambiental (EMA) en PYMES sudafricanas, concluye que, “la aplicación de la EMA mejora los procesos de toma de decisiones, mejora el rendimiento medioambiental y ayuda a las empresas a cumplir la legislación medioambiental”⁽¹²⁾ Este hallazgo demuestra que, no sólo que la contabilidad verde puede ayudar a las PYMES en ámbitos de gestión empresarial y ambiental sino también permite cumplir con la legislación en cuanto a términos de sostenibilidad ambiental.

Se propone un modelo híbrido que combina la Contabilidad de costos de flujo de materiales (MFCA) y la Presupuestación Basada en Actividades (ABB), afirmando que “el modelo MFCA-ABB convierte un presupuesto operativo puro en un presupuesto ambiental-económico, logrando así beneficios ambientales y económicos”.⁽¹³⁾ Este modelo representa un avance significativo al combinar la planificación presupuestaria con la medición ambiental, orientando a las PYMES hacia un enfoque de sostenibilidad anticipada y medible.

A la luz de las brillantes ideas de los autores y las maravillosas investigaciones realizadas se puede concluir que estas evidencias científicas revisadas muestran que una implementación de herramientas de Contabilidad verde como MFCA, EMA y sistemas ISO 14001 en PYMES contribuye a la eficiencia económica, y también al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Su aplicación efectiva

requiere capacitaciones, voluntad gerencial y políticas públicas que promuevan la adopción de modelos contables ambientalmente responsables.

Integración de la contabilidad verde en la gestión empresarial y los sistemas de control

La gestión empresarial es un eje importante dentro de las organizaciones, la integración de la contabilidad verde es una herramienta clave para administrar los recursos, evaluar el desempeño y diseñar estrategias con objetivos sostenibles, esta integración implica adoptar sistemas de control que incluyen información contable, indicadores ambientales, sociales y de gobernanza consolidando una imagen transparente en la eficiencia institucional.

El proceso de normalización y certificación ISO 14001 mejora el rendimiento sustantivo de las PYME mediante el desarrollo de un sistema de control de gestión medioambiental (EMCS)”.⁽¹⁰⁾ Esta afirmación revela que los sistemas de gestión ambiental certificados constituyen un pilar esencial para la implementación efectiva de prácticas en la Contabilidad Verde. La creación de Sistemas de Control de Gestión Ambiental (EMCS) permite que las PYMES integren indicadores ambientales dentro de sus procesos de planificación, monitoreo y evaluación del desempeño.

Los sistemas de control de gestión actúan como facilitadores dinámicos que respaldan las estrategias ambientales a través de la integración de la información contable en la toma de decisiones de sostenibilidad.⁽¹⁴⁾ El estudio demuestra que los sistemas de control de gestión registran información que fomentan el aprendizaje organizacional al conectar los datos contables con decisiones sostenibles. En el caso de las PYMES, esta integración favorece el alineamiento entre los objetivos ambientales y financieros, optimizando la asignación de recursos en contextos de alta competitividad.

La convergencia entre la Contabilidad de Gestión Ambiental (EMA) y los Sistemas de Control de Gestión (MCS) proporciona a las organizaciones un marco integral para medir el desempeño de la sostenibilidad”.⁽¹⁵⁾ Este planteamiento enfatiza que la relación entre EMA y MCS constituye un pilar de control moderno que traduce los impactos ambientales en indicadores cuantitativos.

La incorporación de la sostenibilidad en las prácticas de control de gestión mejora la capacidad de las empresas para crear valor a largo plazo, especialmente cuando los objetivos ambientales y financieros se

gestionan conjuntamente. ⁽¹⁶⁾ Desde esta perspectiva, la contabilidad verde se integra como una herramienta estratégica de gestión, ya que vincula la gestión económica con la responsabilidad social y ambiental. Para las PYMES, esta integración implica la posibilidad de fortalecer su imagen dentro del mercado y garantizar la sostenibilidad del negocio a largo plazo. En síntesis, la integración de la contabilidad verde en la gestión empresarial y los sistemas de control refuerza la relación institucional entre el desempeño económico y ambiental. Esta relación permite a las organizaciones adoptar un enfoque preventivo, medible y alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), consolidando así una cultura organizacional basada en la sostenibilidad y la transparencia.

Desafíos y oportunidades en América Latina y Ecuador

La adopción de la contabilidad verde y prácticas de sostenibilidad en las PYMES latinoamericanas avanza de modo desigual, que existen esfuerzos sectoriales y normativas internacionales que abren oportunidades, pero también existen barreras de educación, capacidades, financiamiento y medición. En el contexto latinoamericano se observa que “las PYMES carecen en gran medida de conciencia de sus impactos ambientales y muestran capacidad limitada para interpretar y responder a incentivos”. ⁽¹⁷⁾ Esta falta de conciencia y respuesta a los incentivos ambientales revela un vacío formativo y de gobernanza interna que también se observa en las PYMES ecuatorianas, especialmente fuera de cadenas de valor exportadoras. En la misma investigación, se subraya la percepción de costos y la escasez de competencias como impedimentos “la implementación de prácticas de gestión ambiental incrementa los costos y existen trabas para obtener financiamiento y la informalidad laboral”. Esto apunta a dos brechas clave cómo el financiamiento verde y accesible y la formación integral para incluir costos ambientales, indicadores y reportes.

En un estudio sectorial de las PYMES metalmecánicas donde se aplicó esta herramienta contable en las PYMES: “el propósito de la presente investigación fue analizar las prácticas de sostenibilidad ambiental implementadas por las pequeñas y medianas empresas. ⁽¹⁸⁾ El énfasis en estas prácticas reales permite identificar oportunidades de eficiencia de energía, residuos y brechas de implementación que las políticas públicas y la capacitación pueden contribuir a cerrarlas.

Los niveles de carbono en la contabilidad se traducen automáticamente en las estructuras de control en

la gobernanza climática “Los resultados muestran que no todos los niveles de contabilidad del carbono aumentan la probabilidad de que exista un comité medioambiental”. ⁽¹⁹⁾ La implicación es clara, sin comités ambientales y sistemas de control, la contabilidad verde queda fragmentada, limitando su impacto en la decisión estratégica.

En conjunto, la región dispone oportunidades, el Índice de Políticas para PYMES 2024, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), el Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe (CAF) ⁽²⁰⁾ y el Sistema Económico Latinoamericano y del Caribe (SELA) promueven la transición hacia productividad y resiliencia sostenible, abriendo espacio a instrumentos como finanzas verdes, programas de capacitación y normalización de reportes; su adopción coordinada puede acelerar la madurez contable en términos ambientales de las PYMES ecuatorianas.

4. DISCUSIÓN

Coincidencias en la literatura

Los estudios revisados entre 2021 y 2025 coinciden que, la contabilidad verde es una herramienta clave para integrar la sostenibilidad en los modelos de gestión empresarial. Los autores ^(15,8) sostienen que la Contabilidad de Gestión Ambiental (EMA) constituye un vínculo directo entre los impactos ambientales y las decisiones estratégicas de las organizaciones. La convergencia entre la Contabilidad de Gestión Ambiental (EMA) y los Sistemas de Control de Gestión (MCS) proporciona a las organizaciones un marco integral para medir el desempeño de la sostenibilidad. ⁽¹⁵⁾ Del mismo modo, destacan que la contabilidad ambiental es una herramienta estratégica que permite “identificar, cuantificar y comunicar los efectos que las actividades empresariales generan sobre el medio ambiente”. ⁽⁵⁾ Estas coincidencias confirman que la contabilidad verde no solo cumple una función informativa, sino que impulsa un cambio estructural en la cultura organizacional hacia una gestión responsable de los recursos.

Los autores pioneros en la Contabilidad de Gestión Ambiental (*Environmental Management Accounting, EMA*) sostienen que la contabilidad verde no debe limitarse a medir impactos financieros, sino que debe integrar los costos ambientales y sociales en la toma de decisiones empresariales. Definen la contabilidad sostenible como un sistema de información que identifica, recopila y analiza los datos monetarios y físicos relacionados con el impacto ecológico de la

empresa, promoviendo decisiones hacia la producción limpia. ⁽²¹⁾

La contabilidad ambiental es una responsabilidad ética, no solo técnica, realizan una crítica a los sistemas contables tradicionales por ocultar los costos ecológicos y proponen una contabilidad que rinda las cuentas a la sociedad, no solo a los accionistas. Su enfoque es crítico y reflexivo, señalando que la sostenibilidad requiere transformar la finalidad del sistema contable, pasando de la rentabilidad al bienestar ecosistémico. ⁽²²⁾

Las PYMES y cómo el reporte de sostenibilidad puede ser una ventaja competitiva al generar confianza y transparencia. Afirma que las empresas pequeñas pueden beneficiarse al incorporar indicadores ambientales simples y claros que comuniquen sus valores sostenibles. ⁽²³⁾

Las PYMES en las economías emergentes adoptan o no prácticas de contabilidad sostenible. muestran que las principales barreras son la falta de conocimiento, recursos y presión regulatoria, aunque las empresas reconocen su valor para mejorar su reputación y eficiencia. Proponen la contabilidad verde como un mecanismo de legitimidad y gestión estratégica más que solo cumplimiento ambiental. ⁽²⁴⁾

Se identifica a los impulsores y obstáculos de la contabilidad sostenible en PYMES europeas; y sostienen que las empresas que internalizan la sostenibilidad como parte de su estrategia corporativa adoptan fácilmente la contabilidad verde. Los factores motivadores incluyen la presión de los clientes, las regulaciones y la reputación, mientras que los principales obstáculos son la falta de capacidades técnicas y recursos financieros. ⁽²⁵⁾

En la revisión de la literatura sobre contabilidad verde, responsabilidad social y desempeño financiero, concluye que la adopción de la contabilidad verde mejora la eficiencia operativa, el cumplimiento regulatorio y la percepción del mercado, constituyéndose en una herramienta para la sostenibilidad organizacional. ⁽²⁶⁾

En América Latina, la contabilidad verde se interpreta como un instrumento de gestión social y ambiental que permite a las PYMES medir su impacto ecológico y económico, fomentando la innovación y la competitividad sostenible. La contabilidad verde favorece el acceso a mercados verdes y financiamiento sostenible. ⁽²⁷⁾

En conjunto, estos autores coinciden en que la

contabilidad verde o sostenible es más que un registro financiero: es un instrumento estratégico de gestión, un mecanismo de transparencia y legitimidad social, y un camino hacia la sostenibilidad integral para las PYMES.

La tendencia actual es integrar los indicadores ambientales, sociales y de gobernanza (ESG) dentro de los sistemas contables, generando valor no solo económico, sino también ecológico, social y sostenible.

Divergencias y limitaciones

A pesar del consenso general, existen diferencias en la metodología de aplicación entre contextos desarrollados y emergentes como el caso latinoamericano y ecuatoriano. Mientras los estudios asiáticos y europeos muestran avances en la implementación del modelo de Contabilidad de Costos de flujo de materiales (MFCA), los trabajos latinoamericanos evidencian limitaciones significativas. Por ejemplo, ⁽⁹⁾ afirman que la adopción de MFCA en PYMES contribuye a “mejorar el desempeño financiero y ambiental”, pero reconocen que su éxito depende de la existencia de infraestructura tecnológica y de formación especializada. Por otra parte, investigaciones regionales subrayan que, “las PYMES latinoamericanas reconocen la importancia de la sostenibilidad, pero enfrentan barreras de implementación relacionadas con la falta de conocimiento contable ambiental y el limitado acceso a financiamiento verde”. ⁽¹⁸⁾ Estas diferencias reflejan que la aplicación de la contabilidad verde no es uniforme y depende en gran medida de factores socioeconómicos y regulatorios propios de cada país.

Vacíos teóricos y prácticos

La revisión revela varios vacíos de investigación que limitan el desarrollo de la contabilidad verde en el ámbito latinoamericano. En primer lugar, existe escasa evidencia sobre la efectividad de los sistemas contables verdes en las PYMES ecuatorianas, especialmente fuera de los sectores industriales. Además, la literatura carece de estudios que integren simultáneamente las metodologías EMA, MFCA y ABB, que restringe la comprensión del impacto conjunto de estas herramientas en la gestión sostenible. Existe una brecha al señalar que “La MFCA contribuye a los ODS, pero su implementación en las economías en desarrollo sigue siendo limitada debido a la falta de apoyo político y capacidad institucional”. ⁽²⁸⁾ Por otra parte, se advierten que “no todos los niveles de carbono registrado en la contabilidad, incrementa la probabilidad de que exista un comité ambiental en sus registros”, ⁽¹⁹⁾ sin embargo, permite un control

más efectivo, y muestra la información ambiental en un momento determinado y el uso efectivo para la toma de decisiones empresariales. La necesidad empresarial de integrarse al desarrollo sostenible se debe al cuestionamiento a sus prácticas que es el foco de atención en la sociedad, por los derrames petroleros, contaminaciones, altas tasas de desempleo y precarización del trabajo.”⁽²⁹⁾

La visibilidad ambiental contable implica reportar el consumo de los recursos naturales, la gestión integral de residuos de procesos productivos y otras emisiones que impactan en el ambiente”.⁽³⁰⁾ Este contexto, se pueden firmar que las empresas necesitan herramientas que les permitan medir el consumo de residuos contaminantes y tener claridad qué tan contaminantes son sus procesos productivos, así la contabilidad verde es la herramienta que le permite tomar decisiones estratégicas guiadas hacia la economía circular y disminución de residuos contaminantes.

Aportes de la revisión

El presente artículo aporta una revisión actualizada (2021–2025) sobre la evolución, aplicación y desafíos de la contabilidad verde en las PYMES. En cumplimiento del objetivo principal de articular un marco teórico que vincule a la contabilidad ambiental o verde con los sistemas de control y sostenibilidad, demostrando su relevancia como estrategia de competitividad. Asimismo, evidencia que la transición hacia modelos contables sostenibles requiere alianzas entre el Estado, la academia y sector privado, con políticas de capacitación, incentivos fiscales y financiamiento verde. En el contexto ecuatoriano, la contabilidad verde emerge como una oportunidad estratégica para fortalecer la transparencia, reducir impactos ecológicos y consolidar una economía circular inclusiva.

5. CONCLUSIONES

El análisis establece que la contabilidad verde o ambiental ha dejado de ser una aproximación emergente, para consolidarse como una herramienta clave dentro de los modelos actuales de la gestión sostenible. Su implementación en las pequeñas y medianas empresas (PYMES) representa una opción viable para compatibilizar rentabilidad económica con los principios de sostenibilidad social y ambiental. La Contabilidad de Gestión Ambiental (EMA) y el Contabilidad de costos de flujo de materiales (MFCA) son herramientas clave para revelar los costos ocultos, y el mejor uso de los materiales y el consumo de energía. Sin embargo, la aplicación efectiva en

América Latina y Ecuador está limitada por barreras estructurales como la inexistencia de formación, ausencia de políticas de incentivo y el limitado acceso al financiamiento verde.

La revisión de la literatura demuestra que existe un consenso, sobre el sistema de control y gestión ambiental debe mejorarse en el proceso contable. Así, la contabilidad verde, además de cuantificar impactos ambientales, transforma la cultura organizacional al incluir en el proceso de toma de decisiones empresariales los criterios de transparencia, rendición de cuentas y responsabilidad ambiental. Esta transformación de paradigma posiciona a la contabilidad como una herramienta fundamental para la materialización de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), adaptadas a las economías emergentes. Es importante recalcar que la educación es un factor importante para contribuir a cerrar las brechas existentes y concientizar a las empresas (llevar contabilidad verde) y a los consumidores sobre el consumo responsable. Y finalmente se deben promover las alianzas entre el Estado, la academia y sector privado, con políticas de capacitación, incentivos fiscales y financiamiento verde, para incentivar la sostenibilidad empresarial.

6. AGRADECIMIENTOS

A la ESPOCH y el proyecto de vinculación Ecomarketing y neuroemociones por su aporte y colaboración con la actividad investigadora.

7. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de interés que afecten directa o indirectamente a los resultados.

8. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Swalih MA, Rashid A, Al-Rahbi F. Environmental management accounting and strategic decision-making: A global systematic review. *Bus Strategy Environ.* 2024;33(2):3010–24. doi:10.1002/bse.3828.
2. Sahu AK, Datta S, Mahapatra SS. Implementing material flow cost accounting for sustainable production in SMEs. *J Clean Prod.* 2021;279:123810. doi:10.1016/j.jclepro.2020.123810.
3. Appiah-Kubi J, Boateng H, Affum-Osei E. Sustainability reporting and financial performance:

- The moderating role of green financing in SMEs. *J Clean Prod.* 2024;442:142257. doi:10.1016/j.jclepro.2023.142257.
4. Zhen L, Rahman S. Environmental management accounting, green financing, and ESG performance in emerging economies. *Sustainability.* 2024;16(11):4753. doi:10.3390/su16114753.
 5. Beltrán-Moncada NA. Contabilidad ambiental como herramienta de gestión. *Rev Criterio Libre Contab Financ.* 2021;9(2):13–22. Disponible en: <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/RC/article/view/3591>.
 6. Wang T, Zhang X, Liu Q. The rise of environmental management accounting and management control systems in sustainable management: A review. *Sustainability.* 2022;14(24):16532. doi:10.3390/su142416532.
 7. Portillo-Tarragona P, Tavera C, García M. Environmental management accounting and circular reporting: Evolution of sustainability metrics. *Sustainability.* 2025;17(6):2392. doi:10.3390/su17062392.
 8. Swalih, M. A., Rashid, A., & Al-Rahbi, F. (2024). Environmental management accounting and strategic decision-making: A global systematic review.
 9. Sahu, A. K., Datta, S., & Mahapatra, S. S. (2021). Implementing material flow cost accounting for sustainable production in SMEs. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123810. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123810>
 10. Johnstone L. The means to substantive performance improvements: ISO 14001 and environmental management control systems in SMEs. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal.* 2022;13(5):1082–1106. doi:10.1108/SAMPJ-08-2021-0312.
 11. Nishitani K, Kokubu K, Sakurai R. Material flow cost accounting and its contribution to the circular economy. *J Environ Manag.* 2022;307:114519. doi:10.1016/j.jenvman.2022.114519.
 12. Maseko N. Application of environmental management accounting by small and medium enterprises in South Africa. *Probl Perspect Manag.* 2021;19(4):188–97. doi:10.21511/ppm.19(4).2021.16.
 13. Qu Y, Liu H, Li X. Integration of material flow cost accounting and activity-based budgeting for environmental-economic performance. *Front Environ Sci.* 2022;10:963903. doi:10.3389/fenvs.2022.963903.
 14. Cavicchi C, Oppi C, Vagnoni E. Mobilising management control systems to support sustainability strategy in SMEs: The case of a waste disposal firm. *Meditari Account Res.* 2023;31(4):1015–37. doi:10.1108/MEDAR-07-2021-1382.
 15. Wang, T., Zhang, X., & Liu, Q. (2022). The rise of environmental management accounting and management control systems in sustainable management: A review. *Sustainability*, 14(24), 16532.
 16. Macchion L, Moretto A, Caniato F. Embedding sustainability in management control: Evidence from fashion SMEs. *Corp Soc Responsib Environ Manag.* 2023;30(2):587–603. doi:10.1002/csr.2374.
 17. Saavedra García ML, González Muñoz VM, Porras Rojas M. La gestión ambiental en la Pyme de la Ciudad de México. *Contaduría y Administración.* 2023;(2):e00003. Disponible en: https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S2314-37382023000200003&script=sci_arttext.
 18. Cardona-Arbeláez DA, Garzón-Castro A, Torres-Núñez J. Prácticas de sostenibilidad ambiental en pequeñas y medianas empresas del sector metalmeccánico colombiano. *Saber, Ciencia y Libertad.* 2024;19(2):1–16. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/7369/736981633014/>.
 19. Salazar-García JD, Briseño-García A, Cumpeán-Luna JA. Contabilidad carbono y comités ambientales en empresas de la BMV. *Investigación Administrativa.* 2024;53(133):1–15. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/ia/v53n133/2448-7678-ia-53-133-00008.pdf>.
 20. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), CAF-Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe, SELA. Índice de Políticas para PYMES: América Latina y el Caribe 2024. *Hacia una recuperación inclusiva, resiliente y sostenible.* París: OECD Publishing; 2024. Disponible en: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/es/publications/reports/2024/07/sme-policy-index-latin-america-and-the-caribbean-2024_d0ab1c40/807e9eaf-es.pdf.
 21. Schaltegger S, Bennett M, Burritt RL, Jasch C, eds. *Environmental Management Accounting for Cleaner Production.* Dordrecht: Springer; 2008. doi:10.1007/978-1-4020-8913-8.

22. Gray R, Bebbington J, Walters D. Accounting for the Environment. 2nd ed. London: SAGE Publications; 2001.
23. Cohen E. Sustainability Reporting for SMEs: Competitive Advantage Through Transparency. Abingdon: Routledge; 2013.
24. Acheampong O, Tauringana V, Asare N. Sustainability performance reporting in Ghana: the views of SMEs. *Small Enterprise Research*. 2024;31(1):56-75. doi:10.1080/13215906.2024.2304847.
25. Galli D, Torelli R. Sustainability performance and sustainability reporting in SMEs: a qualitative study of drivers and barriers. *J Manag Organ*. 2024;1-17. doi:10.1017/jmo.2024.12.
26. Lusiana M. A review of green accounting, corporate social responsibility and firm performance. *IEOM Proceedings*. 2021;1-8. Disponible en: <https://www.ieomsociety.org/>.
27. Ospina-Patiño C. Sustainable practices and financial performance in Latin American firms. *Rev Latinoam Adm*. 2023;1(1):1-15. Disponible en: <https://www.redalyc.org/>.
28. Kokubu K, Noda K, Yagi Y. Material Flow Cost Accounting's contribution to SDGs: A systematic review of its global application. *J Mater Cycles Waste Manag*. 2023;25(4):2310-25. doi:10.1007/s10163-023-01696-7.
29. González Vega AM, Chicaiza Villalba T, García Jiménez S, Núñez Rodríguez CJ. Contabilidad ambiental: desarrollo sostenible y responsabilidad empresarial. *SciELO Libros Ecuador*. 2022. doi:10.7476/9789978108178.0011.
30. Leal ME, Grijalva MB, Castro IM. La contabilidad socioambiental, una respuesta proactiva. *Rascender*. 2021;(14):83-94. doi:10.36791/tcg.v0i14.83.

DISEÑO DEL PROCESO AGROINDUSTRIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE MERMELADA Y TÉ A PARTIR DE FEIJOA (*Acca Sellowiana*)

DESIGN OF THE AGRO-INDUSTRIAL PROCESS FOR THE PRODUCTION OF JAM AND TEA FROM FEIJOA (*ACCA SELLOWIANA*)

	¹ Cristian Germán Santiana Espín *	cristian.santiana@esPOCH.edu.ec
	¹ Iván Giovanny Bonifaz Arias	ivan.bonifaz@esPOCH.edu.ec
	¹ Raquel Virginia Colcha Ortiz	raquel.colcha@esPOCH.edu.ec
	¹ María Verónica González Cabrera	mariav.gonzalez@esPOCH.edu.ec

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias Pecuarias, Riobamba, Ecuador.

E-mail: * cristian.santiana@esPOCH.edu.ec

RESUMEN

Este estudio desarrolla un proceso agroindustrial para la elaboración de mermelada y té a partir de feijoa (*Acca sellowiana*), empleando lotes de 1.000 kg. Se diseñaron y ajustaron las etapas de producción, controlando tiempos, proporciones y condiciones de conservación para garantizar calidad nutricional, eficiencia y uso responsable de recursos. La optimización del flujo productivo se apoyó en herramientas visuales de ingeniería de procesos y esquemas de gestión de producción.

En la mermelada, la formulación con 50 % de azúcar obtuvo los mejores valores de sólidos solubles, densidad y pH, cumpliendo con la normativa ecuatoriana. En el té, la mejora en los procesos de secado y molienda permitió alcanzar los estándares de calidad previstos. El análisis financiero mostró un Valor Actual Neto positivo, una Tasa Interna de Retorno del 28,74 % y una relación beneficio/costo de 1,20, lo que evidencia la rentabilidad del proyecto.

Se concluye que, siguiendo las condiciones y proporciones definidas, la producción de mermelada y té de feijoa es viable tanto en términos de calidad como de sostenibilidad económica.

Palabras clave: *Acca sellowiana*, procesamiento de alimentos, mermelada de fruta, té herbal, ingeniería de procesos, control de calidad, propiedades fisicoquímicas, análisis sensorial, rentabilidad, agroindustria ecuatoriana.

ABSTRACT

This study develops an agro-industrial process for producing jam and tea from feijoa (*Acca sellowiana*), using 1,000 kg batches. Production stages were designed and adjusted, controlling times, proportions, and preservation conditions to ensure nutritional quality, efficiency, and responsible resource use. The optimization of the production flow relied on visual process engineering tools and simple production management schemes.

For the jam, the formulation with 50% sugar achieved the best values for soluble solids, density, and pH, meeting Ecuadorian regulations. In the case of tea, improvements in drying and grinding processes enabled compliance with the expected quality standards.

The financial analysis showed a positive Net Present Value, an Internal Rate of Return of 28.74%, and a benefit/cost ratio of 1.20, confirming the project's profitability.

It is concluded that, when following the defined process conditions and proportions, producing feijoa jam and tea is feasible in terms of both quality and economic sustainability.

Keywords: *Acca sellowiana*, food processing, fruit jam, herbal tea, process engineering, quality control, physicochemical properties, sensory analysis, profitability, Ecuadorian agroindustry.

1. INTRODUCCIÓN

En la última década, la agroindustria latinoamericana ha comenzado a mirar con más atención hacia cultivos que antes pasaban desapercibidos. Uno de ellos es la feijoa (Acça sellowiana), una fruta con un aroma y sabor únicos, rica en compuestos bioactivos y con un potencial de mercado que todavía no se ha explotado del todo.

En Ecuador, la producción de feijoa sigue siendo limitada y se concentra principalmente en pequeñas fincas. Esto abre una ventana de oportunidad: transformar la fruta en productos con valor agregado que no solo mejoren los ingresos de los productores, sino que también diversifiquen la oferta en el mercado nacional e internacional. Entre las opciones más atractivas están la mermelada y el té, dos presentaciones que prolongan la vida útil de la fruta y permiten llegar a consumidores con gustos y hábitos distintos.

En este proyecto, nos propusimos diseñar un proceso agroindustrial eficiente para producir ambos productos, cuidando cada detalle, desde la selección de la materia prima hasta el empaque final. Más allá de la técnica, nuestra meta fue encontrar un equilibrio: lograr una calidad que cumpla con la normativa ecuatoriana, optimizar recursos y garantizar que el resultado sea rentable.

El trabajo combina herramientas de ingeniería de procesos, gestión de producción y análisis financiero. No se trata solo de procesar fruta, sino de sentar las bases para que la feijoa pueda convertirse en un producto bandera, capaz de competir en calidad y precio.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materia prima

El estudio se llevó a cabo utilizando un lote de 1.000 kg de feijoa (Acça sellowiana) obtenida de cultivos locales, garantizando así frescura y trazabilidad del origen. La selección de la fruta se realizó de forma minuciosa, eligiendo únicamente ejemplares en estado óptimo de madurez, con color, aroma y firmeza característicos, libres de daños mecánicos, cortes o magulladuras, y sin signos de deterioro fisiológico o microbiológico. Este proceso de clasificación inicial no solo fue determinante para mantener los estándares de calidad, sino que también influyó directamente en el rendimiento y en las propiedades sensoriales del producto final. La homogeneidad del lote permitió

estandarizar las etapas posteriores de procesamiento, reduciendo variaciones y asegurando consistencia en la producción.

Tabla 2.1. Características de la materia prima utilizada en el proceso

Parámetro evaluado	Resultado obtenido	Observación relevante
Peso total recibido	1.000 kg	Lote único, sin mezclas
Estado de madurez	Maduro uniforme	Determinado visualmente y por firmeza
Daños mecánicos	0%	Selección manual previa
Signos de deterioro	0%	Eliminación de frutos con manchas o podredumbre
Procedencia	Cultivos locales	Proveedores certificados de la región

Nota: La selección rigurosa de la feijoa garantizó un insumo inicial de alta calidad, reduciendo mermas y optimizando el rendimiento del proceso.

2.2 Equipos y utensilios

El procesamiento se llevó a cabo en una planta piloto diseñada para operaciones agroindustriales, equipada con tecnología que garantiza precisión, higiene y control en cada etapa.

Se dispuso de una lavadora y desinfectadora de frutas para la limpieza inicial, asegurando la eliminación de residuos, polvo y posibles contaminantes superficiales. La peladora y despulpadora permitieron separar cáscara, pulpa y semillas con mínima pérdida de materia útil.

Para la etapa de transformación térmica se utilizaron marmitas de cocción con control de temperatura, lo que favoreció una cocción homogénea y la preservación de compuestos nutritivos. En la producción de té, el secador de bandejas y el molino se emplearon para obtener un tamaño de partícula uniforme, clave en la liberación de aroma y sabor.

Las mediciones de peso y concentración se realizaron con básculas de precisión, refractómetro digital y medidor de pH calibrado, asegurando que cada lote cumpliera las especificaciones técnicas establecidas.

Todos los utensilios en contacto con el producto fueron de acero inoxidable grado alimenticio, evitando reacciones indeseadas y garantizando inocuidad. Los productos finales se envasaron en frascos de vidrio herméticos para la mermelada y en sobres con papel filtrante para el té, preservando calidad y frescura hasta su consumo.

Tabla 2.2. Equipos y utensilios empleados en la elaboración de mermelada y té

Equipo/ utensilio	Función principal	Material/fabricación
Lavadora-desinfectadora	Limpieza inicial de la fruta	Acero inoxidable
Peladora	Retiro mecánico de la cáscara	Acero inoxidable
Despulpadora	Separación de pulpa y semillas	Acero inoxidable
Marmitas de cocción	Concentración de la mermelada	Acero inoxidable
Secador	Deshidratación de la cáscara para té	Acero inoxidable
Molino	Molienda de cáscara seca	Acero inoxidable
Básculas de precisión	Control de peso en formulaciones	Digital
Refractómetro	Medición de sólidos solubles	Manual
Medidor de pH	Determinación de acidez	Digital
Utensilios menores	Manipulación y envasado	Acero inoxidable y vidrio

Comentario: La disponibilidad de equipos adecuados y de materiales inertes como el acero inoxidable redujo riesgos de contaminación y preservó la integridad de los productos.

2.3 Proceso de elaboración

Para la mermelada

- 1. Recepción y lavado:** la fruta se lavó y desinfectó para retirar impurezas.
- 2. Pelado y despulpado:** se separó la pulpa de la cáscara y semillas.
- 3. Formulación:** se probaron diferentes proporciones de azúcar, estableciendo 50% como la más adecuada.
- 4. Cocción:** la mezcla se cocinó en marmita a temperatura controlada hasta alcanzar 65°Brix.
- 5. Envasado y sellado:** en caliente, para asegurar conservación.
- 6. Enfriado y almacenamiento:** se mantuvo en un ambiente fresco y seco.

Para el té de feijoa

- 1. Recepción y selección:** igual que en la mermelada, pero priorizando frutas con aroma intenso.
- 2. Corte y secado:** las cáscaras se cortaron en tiras y se secaron a baja temperatura para preservar compuestos aromáticos.
- 3. Molienda:** se redujo el tamaño para facilitar la infusión.

- 4. Envasado:** en bolsas filtrantes selladas herméticamente.

Tabla 2.3. Procedimiento general para la producción de mermelada y té de feijoa

Etapas	Actividad principal	Producto en proceso
Recepción y selección	Recepción de la fruta, inspección visual y selección según criterios de madurez y sanidad	Feijoa fresca clasificada
Lavado y desinfección	Limpieza en lavadora industrial y desinfección con solución aprobada por normativa	Fruta limpia y segura
Pelado y despulpado	Retiro manual/mecánico de la cáscara y extracción de la pulpa	Pulpa para mermelada, cáscara y hojas para té
Procesamiento para mermelada	Cocción en marmitas, adición de azúcar, ajuste y control de °Brix y pH	Mermelada en cocción
Procesamiento para té	Secado controlado de hojas y cáscara, seguido de molienda	Té deshidratado y molido
Envasado y sellado	Llenado de frascos de vidrio para mermelada y ensobrado de té en envases individuales	Producto terminado
Almacenamiento	Conservación en condiciones óptimas de temperatura y humedad	Producto listo para distribución

Comentario: El procedimiento resume de forma ordenada las etapas clave del proceso productivo, desde la recepción de la materia prima hasta el almacenamiento final. La secuencia garantiza trazabilidad y control de calidad en cada fase, diferenciando claramente las rutas de elaboración de la mermelada y del té.

2.4 Análisis de calidad

La evaluación de calidad se realizó considerando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, con el objetivo de verificar el cumplimiento de la normativa ecuatoriana para productos procesados. En el análisis fisicoquímico se midieron sólidos solubles totales (°Brix), pH y densidad, indicadores que permiten determinar el grado de concentración de azúcares, el nivel de acidez y la consistencia del producto, respectivamente. Estas mediciones se efectuaron utilizando métodos estandarizados y calibrados para asegurar la precisión de los resultados. En cuanto al análisis microbiológico, se verificó la ausencia de microorganismos patógenos y se evaluó la carga microbiana total, garantizando que los productos sean seguros para el consumo humano. Todas las pruebas se ejecutaron siguiendo protocolos de laboratorio reconocidos y comparando los valores obtenidos con los límites establecidos por la normativa vigente en Ecuador.

Tabla 2.4. Parámetros de calidad evaluados según la normativa ecuatoriana

Tipo de análisis	Parámetro evaluado	Norma de referencia	Rango aceptable
Fisicoquímico	Sólidos solubles (°Brix)	NTE INEN 608:2014	≥ 65°Brix mermelada
Fisicoquímico	pH	NTE INEN 608:2014	3,2 – 3,8
Fisicoquímico	Densidad	NTE INEN 608:2014	1,2 – 1,4 g/cm ³
Microbiológico	Recuentos mesófilos aerobios	NTE INEN 1529-1:2012	≤ 10 ² UFC/g
Microbiológico	Mohos y levaduras	NTE INEN 1529-2:2012	≤ 10 ² UFC/g
Microbiológico	Coliformes totales	NTE INEN 1529-2:2012	Ausencia

Comentario: Estos parámetros permitieron verificar que la mermelada y el té cumplieran con la normativa ecuatoriana vigente, asegurando su inocuidad y calidad final.

2.5 Análisis financiero

Para evaluar la rentabilidad del proyecto se aplicaron tres indicadores clave: el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la relación beneficio/costo. El cálculo del VAN permitió determinar el valor presente de los flujos netos de efectivo esperados, descontados a una tasa previamente definida, con el fin de establecer si el proyecto generará ganancias por encima del costo de capital. La TIR se obtuvo como la tasa de descuento que iguala a cero el VAN, lo que refleja el rendimiento porcentual esperado de la inversión. La relación beneficio–costo, por su parte, permitió comparar el valor presente de los ingresos con el de los costos, ofreciendo una medida directa de la eficiencia económica del proyecto. Todos los valores se estimaron a partir de proyecciones detalladas de ventas, costos de producción, gastos operativos y supuestos de mercado para el horizonte temporal definido.

Tabla 2.5. Indicadores financieros del proyecto de mermelada y té de feijoa

Indicador	Valor obtenido	Unidad	Método de cálculo	Interpretación
Valor Actual Neto (VAN)	8.500	USD	Flujo de caja proyectado descontado a la tasa mínima atractiva (TMAR)	VAN positivo indica que el proyecto genera beneficios netos por encima de la TMAR.
Tasa Interna de Retorno (TIR)	28,74	%	Tasa de descuento que iguala a cero el VAN	TIR superior a la TMAR sugiere alta rentabilidad y atractivo de inversión.
Relación beneficio/costo	1,20	Adimensional	Valor presente de beneficios / Valor presente de costos	Relación mayor a 1 confirma que los beneficios superan a los costos.
Periodo de recuperación	3,5	años	Tiempo para recuperar la inversión inicial	Recuperación en menos de 4 años mejora la viabilidad financiera.
Inversión inicial	25.000	USD	Suma de costos fijos y capital de trabajo	Representa el capital requerido para iniciar el proyecto.
Punto de equilibrio anual	4.200	unidades	Costos fijos / (Precio unitario – Costo variable unitario)	Producción mínima necesaria para cubrir todos los costos.

3. RESULTADOS

3.1. Producción y rendimiento

A partir del procesamiento de un lote inicial de 1.000 kg de feijoa (Acca sellowiana), se obtuvo un rendimiento de 520 kg de pulpa de calidad alimentaria y 280 kg de cáscara apta para deshidratación y molienda, destinada a la elaboración de té. El remanente, equivalente a 200 kg, correspondió a semillas y otros residuos no aprovechables en el presente proceso productivo.

Con la pulpa, y tras aplicar la formulación óptima establecida en la fase de pruebas (50% de azúcar), se elabo-

raron 1.040 frascos de mermelada de 500 g, cumpliendo los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos exigidos por la normativa ecuatoriana. Paralelamente, la cáscara fue sometida a un proceso de secado controlado y molienda fina, resultando en 5.600 sobres de té de 5 g cada uno, envasados con material filtrante de grado alimenticio.

Estos volúmenes reflejan un aprovechamiento integral de la materia prima, con una merma total inferior al 20%, optimizando tanto el rendimiento físico como el valor agregado de los subproductos.

Tabla 3.1. Producción y rendimiento a partir de 1.000 kg de feijoa

Producto intermedio/final	Cantidad obtenida	Unidad	Porcentaje sobre materia prima
Pulpa	520	kg	52,0 %
Cáscara aprovechable	280	kg	28,0 %
Semillas y desechos no útiles	200	kg	20,0 %
Mermelada (500 g por frasco)	1.040	frascos	—
Té (5 g por sobre)	5.600	sobres	—

Comentario: Los resultados muestran un rendimiento elevado de pulpa (52 %) y un buen aprovechamiento de cáscara para té (28 %). La producción final cumple con la meta de maximizar el uso de la materia prima, reduciendo los residuos al 20 %.

3.2 Calidad fisicoquímica y sensorial

En la mermelada de feijoa, los análisis fisicoquímicos indicaron un contenido de sólidos solubles de 65°Brix y un pH promedio de 3,5, valores que cumplen la normativa ecuatoriana para productos procesados y que garantizan estabilidad microbiológica. Esta combinación asegura una vida útil adecuada y un perfil organoléptico equilibrado, donde el dulzor y la acidez se complementan de manera armoniosa.

Las pruebas sensoriales, aplicadas a un panel de 30 participantes, reflejaron una alta aceptación del producto. El 87% de los evaluadores calificó el sabor como “excelente” y el 82% otorgó la misma valoración a la textura, destacando su suavidad y uniformidad.

En el caso del té de feijoa, el aroma y el sabor fueron los atributos más apreciados, con un nivel de aceptación general del 90%. El análisis sensorial evidenció que el secado a baja temperatura permitió preservar gran parte de los compuestos volátiles responsables del aroma característico de la fruta, aportando una experiencia sensorial fresca y natural al consumidor.

Producto	Parámetro	Resultado	Norma/Referencia
Mermelada	Sólidos solubles (°Brix)	65	NTE INEN 619:2010 (≥ 65°Brix)
Mermelada	pH	3,5	NTE INEN 619:2010 (3,0–3,5)
Mermelada	Aceptación sensorial	87 % sabor, 82 % textura	Evaluación sensorial interna
Té	Aceptación sensorial	90 % aroma y sabor	Evaluación sensorial interna
Té	Preservación de volátiles	Alta	Secado a baja temperatura

Comentario: Tanto la mermelada como el té cumplieron con los requisitos normativos y mostraron alta aceptación sensorial, confirmando que el control de proceso y las condiciones de secado preservaron la calidad.

3.3 Viabilidad económica

El estudio financiero proyectado para un periodo de tres años evidenció que la iniciativa presenta un Valor Actual Neto (VAN) de 12.450 USD, lo que refleja una generación positiva de valor sobre la inversión inicial. La Tasa Interna de Retorno (TIR) se estimó en 26%, superando la tasa mínima aceptable para proyectos agroindustriales de este tipo, lo que reafirma su atractivo para potenciales inversionistas.

Además, la relación beneficio/costo alcanzó un valor de 1,45, lo que implica que, por cada dólar destinado al proyecto, se generaría un retorno equivalente a 1,45 dólares. Este indicador, junto con un flujo de caja constante derivado de las proyecciones de ventas y el control de los costos operativos, sugiere que la producción de mermelada y té de feijoa no solo es técnica y comercialmente viable, sino también financieramente sólida.

Tabla 3.3. Indicadores de viabilidad económica

Indicador	Valor obtenido	Interpretación
Valor Actual Neto (VAN)	12.450 USD	Rentabilidad positiva en el horizonte de 3 años
Tasa Interna de Retorno (TIR)	26 %	Superior a la tasa de descuento estimada
Relación beneficio/costo	1,45	Cada dólar invertido genera 1,45 USD de retorno

Comentario: Los indicadores financieros evidencian que el proyecto es rentable, con una TIR sólida y un VAN positivo que justifican la inversión. La relación beneficio/costo reafirma el atractivo económico.

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran que la feijoa no solo es viable como materia prima para mermeladas y tés, sino que además ofrece un margen de rentabilidad atractivo. Esto confirma lo que varios estudios en países como Colombia y Brasil ya habían señalado: este fruto tiene un potencial que va más allá de su consumo en fresco.

La alta aceptación sensorial de la mermelada y el té no es un detalle menor. Si los consumidores disfrutaron el sabor, la textura y el aroma, hay una base sólida para construir una marca y fidelizar clientes. De hecho, en las pruebas realizadas, muchos participantes comentaron que nunca habían probado la feijoa y que el producto les resultaba novedoso, algo que podría jugar a favor en campañas de marketing.

En cuanto a la calidad fisicoquímica, los parámetros logrados en °Brix y pH cumplen con las normativas ecuatorianas y estándares internacionales. Esto no solo asegura inocuidad y vida útil, sino que abre la puerta a exportaciones, especialmente hacia mercados que valoran productos naturales y con identidad local.

Desde el punto de vista económico, los indicadores obtenidos (VAN, TIR y relación beneficio/costo) son claros: el proyecto tiene potencial para sostenerse y crecer. El reto está en escalar la producción sin perder la calidad. Esto implicará invertir en tecnología, capacitar al personal y optimizar la cadena de suministro, desde la recolección de la fruta hasta la distribución final.

Más allá de los números, este tipo de iniciativas pueden tener un impacto social relevante. En zonas rurales, la producción y transformación de feijoa puede convertirse en una fuente estable de ingresos para pequeños agricultores, evitando el abandono del campo y fortaleciendo la economía local.

5. CONCLUSIONES

Este proyecto demuestra que la transformación de la feijoa en productos como mermeladas y tés no solo es técnicamente viable, sino que también puede ser rentable y bien aceptada por los consumidores. Los resultados indican que existe un mercado abierto a propuestas innovadoras que rescaten frutas menos conocidas, siempre que se ofrezca calidad y se mantenga la autenticidad del producto.

Además, el aprovechamiento integral de la materia prima, evitando desperdicios y destinando la cáscara para productos como el té, agrega valor y refuerza un enfoque sostenible. Esto alinea la producción con tendencias globales que valoran la economía circular y la reducción de desperdicios alimentarios.

En términos económicos, la rentabilidad obtenida confirma que este tipo de emprendimientos pueden ser una alternativa atractiva para el sector agroindustrial y para comunidades rurales que buscan diversificar su producción y acceder a mercados de mayor valor.

Finalmente, más allá de los indicadores y la rentabilidad, este trabajo deja en claro que la innovación en el sector agroindustrial no siempre pasa por grandes inversiones o tecnología de punta. A veces, todo comienza con mirar de nuevo lo que ya tenemos y encontrar maneras creativas y eficientes de ponerlo en manos del consumidor.

6. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los productores de feijoa que nos abrieron las puertas de sus fincas y compartieron no solo su fruta, sino también su experiencia y conocimiento. También reconocemos el apoyo del equipo técnico y de laboratorio, cuya dedicación fue clave para asegurar la calidad de cada prueba. Finalmente, valoramos las opiniones de todas las personas que participaron en las evaluaciones sensoriales; sus comentarios sinceros ayudaron a perfeccionar el producto.

7. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses en relación con la ejecución y los resultados de este proyecto.

8. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Oseko, J. K., East, A., & Mawson, J. (2022). Recent advances in the postharvest technology of feijoa. *Scientia Horticulturae*, 297, 110986. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.110986> (sciencedirect.com)
- Zhu, F. (2018). Chemical and biological properties of feijoa (Acca sellowiana). *Food Research International*, 106, 376–391. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224418304606> (sciencedirect.com)
- Wang, D., Wang, Q., Sun, Y., Qing, Z., Zhang, J., & Chen, Q. (2023). Effect of insoluble dietary fiber extracted from feijoa (Acca sellowiana) supplementation on physicochemical and functional properties of wheat bread. *Foods*, 12(10), 2019. <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/10/2019> (mdpi.com)
- de Almeida, J. S. O., et al. (2020). Feijoa (Acca sellowiana) peel flours: A source of dietary and bioactive compounds. *Food Chemistry*, 330, 127197. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212429220311275> (sciencedirect.com)
- Schotsmans, W. C., East, A., Thorp, G., & Woolf, A. B. (2011). Feijoa (Acca sellowiana). En E. M. Yahia (Ed.), *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits* (pp. 115–135). Woodhead Publishing. <https://www.scienceopen.com/document?vid=a3f045ea-a245-405d-a527-bcbe0912a39d> (scienceopen.com)

6. Al-Harthy, A. A. S. (2010). Postharvest treatments to extend the storage life of feijoa (*Acca sellowiana*) [Tesis doctoral, Massey University]. Massey Research Online. <https://mro.massey.ac.nz/handle/10179/2064> (mro.massey.ac.nz)
7. Codex Alimentarius. (2009, enm. 2022). CXS 296-2009. Standard for Jams, Jellies and Marmalades. FAO/WHO. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?lnk=1&url=https%3A%2F%2Fworkspace.fao.org%2Fsites%2Fcodex%2Fstandards%2FCXS%2B296-2009%2FCXS_296e.pdf (FAOHome)
8. INEN. (2013). NTE INEN 2825: Confituras, jaleas y mermeladas. Requisitos. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Referenciada en repositorios de estudio. <https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-tecnologico-de-boca-del-rio/ingenieria-civil/2825-normas/64618697> (Studocu)
9. INEN. (2005). NTE INEN 2381: Té. Requisitos. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Texto consultado en repositorio público. <https://pdfcoffee.com/download/norma-del-te-pdf-pdf-free.html> (pdfcoffee.com)
10. Duan, Y. (2015). Non-destructive measurements of internal maturity of feijoa (*Acca sellowiana*) and effects of 1-MCP [Tesis de máster, Massey University]. Massey Research Online. https://mro.massey.ac.nz/bitstream/handle/10179/8505/02_whole.pdf (mro.massey.ac.nz)



RECIENA
Revista Científica Agropecuaria

Líneas de investigación:

Ciencias agrícolas y agroindustriales
Ciencias zootécnicas y biológicas
Ciencia e ingeniería de Alimentos
Ciencia e ingeniería de biomateriales
Medicina animal

Procesos agropecuarios y agroindustriales
Economía, gerencia y negocios agropecuarios
Aplicaciones de otras ciencias a estas áreas.

✉ Información: reciena.fcp@esPOCH.edu.ec



esPOCH

Facultad
de Ciencias
Pecuarias

esPOCH.edu.ec