



AGROCIENCIA

Cultivando el conocimiento para un mejor futuro

Año X, Número 29

Enero-Junio 2026

Facultad de Ciencias Agronómicas

Universidad de El Salvador

<https://www.agronomia.ues.edu.sv/agrociencia>





AGROCIENCIA

Cultivando el conocimiento para un mejor futuro



REVISTA AGROCIENCIA

E - ISSN 2522-6509

AÑO X, NÚMERO 29

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTROAMÉRICA

ENERO-JUNIO 2026

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

Final Avenida Mártires del 30 de Julio de 1975, Ciudad Universitaria

"Dr. Fabio Castillo Figueroa", San Salvador, El Salvador.

TEL (503) 2225-1506, E-mail: revista.agrociencia@ues.edu.sv

URL: <https://www.agronomia.ues.edu.sv/agrociencia>

Revista Agrociencia es el medio oficial de difusión científica de la Facultad de Ciencias Agronómicas, gestionada con apoyo de la Secretaría de Investigaciones Científicas de la Universidad de El Salvador (SIC-UES).

OBJETIVO

Difundir investigaciones inéditas y originales, de calidad científica, elaboradas por los miembros de la comunidad académica y profesional nacional e internacional sobre las diferentes ramas relacionadas a las ciencias agropecuarias, forestales, veterinarias, agroindustria, medio ambiente, geología y seguridad alimentaria.

PERIODICIDAD

Su periodicidad es semestral a partir de 2022, con dos números anuales correspondientes a los períodos de enero-junio y julio-diciembre.

PÚBLICO

La Revista se encuentra dirigida a un público académico que comprenden docentes y estudiantes tanto a nivel nacional como internacional, con interés en las áreas relacionadas a las ciencias agropecuarias, forestales y veterinarias, entre otras similares.

ALCANCE

Es gratuita, pues Agrociencia no cobra a los autores tarifas de envío y procesamiento editorial de los artículos que se publican.

COBERTURA TEMÁTICA

Acepta manuscritos de las ciencias agropecuarias, forestales, veterinarias, agroindustria, medio ambiente, geología y seguridad alimentaria de forma continua.

Los autores son los únicos responsables de las opiniones expresadas

en sus textos, que no necesariamente reflejan la opinión o política de la Universidad.

Los trabajos enviados serán inéditos (salvo excepciones especialmente consideradas por el editor en jefe).

FORMATOS ACEPTADOS

Los textos académicos que la revista admite son artículos científicos, notas técnicas, estudio de casos y revisiones bibliográficas.

GARANTÍAS Y CESIÓN DE DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

De manera general las publicaciones de la revista se acoplan a una política de propiedad intelectual de acuerdo a los términos de licenciamiento estándar: CC BY. Esta licencia permite que otros mezclen, adapten y construyan sobre su trabajo para cualquier propósito, incluso comercialmente, y aunque sus nuevos trabajos también deben reconocerlo a usted, no tienen que licenciar sus trabajos derivados en los mismos términos. (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

DECLARACIÓN DE PRIVACIDAD

Los nombres y las direcciones de correo electrónico introducidos en esta revista se usarán exclusivamente para los fines establecidos en ella y no se proporcionarán a terceros o para su uso con otros fines.

DIRECTRICES PARA AUTORES

<https://www.agronomia.ues.edu.sv/agrociencia/index.php/agrociencia/about/submissions>





AGROCIENCIA
Cultivando el conocimiento para un mejor futuro



AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Ing. Agr. M.Sc. Juan Rosa Quintanilla Quintanilla
Rector

Dra. Evelyn Beatriz Farfan Mata
Vicerrectora Académica

M. Sc. Roger Armando Arias Alvarado
Vicerrector Administrativo

Lic. Pedro Rosalío Escobar Castaneda
Secretario General

Lic. Carlos Amilcar Serrano Rivera
Fiscal General

Ing. Agr. M.Sc. Carlos Armando Villalta
Presidente Asamblea General Universitaria (AGU)

MVZ. M. Sc. Rosy Francis Alvarenga Artiga
Decana Interina y Vicedecana, Facultad de Ciencias Agronómicas

Ing. Agr. M. Sc. Edgar Geovany Reyes Melara
Secretario de la Facultad de Ciencias Agronómicas

EQUIPO EDITORIAL

Director de la Revista

Ing. Agr. M. Sc. Ever Alexis Martínez Aguilar
Coordinador de la Unidad de Investigación,
Facultad de Ciencias Agronómicas
<https://orcid.org/0000-0001-8719-4597>

Comité Editorial

M. Sc. Emerson Gustavo Martínez
Coordinador de la Unidad de Desarrollo Académico,
Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador
<https://orcid.org/0009-0005-1130-7838>

MVZ. Rudy Anthony Ramos Sosa
Departamento de Química Agrícola,
Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador
<https://orcid.org/0009-0001-7158-8839>

Editor Adjunto

M. Sc. Isidro Galileo Romero Castro
Secretario de Investigaciones Científicas,
Universidad de El Salvador
<https://orcid.org/0000-0001-5023-9130>

Corrección de Texto

Lic. Saúl A. Vega
Director del Instituto de Estudios Históricos, Antropológicos y
Arqueológicos (IEHAA),
Universidad de El Salvador
<https://orcid.org/0009-0002-2954-4103>

Diseño y Fotografía

M. Sc. Lilian Xiomara Arévalo Benítez
Facultad de Ciencias Agronómicas
<https://orcid.org/0009-0004-0409-6529>

SOPORTE TECNOLÓGICO E INFORMÁTICO

Ing. José Adán Núñez Abarca
Facultad de Ciencias Agronómicas

Tec. William Rafael Valdez Mejía
Facultad de Ciencias Agronómicas

COMITÉ CIENTÍFICO

INTERNOS A LA INSTITUCIÓN

M. Sc. José Miguel Sermeño Chicas
Departamento de Protección Vegetal,
Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de El Salvador
<https://orcid.org/0000-0002-0139-0771>

EXTERNOS A LA INSTITUCIÓN

Dr. Juan Carlos Valdez Sandoval
Universidad de San Carlos de Guatemala
<https://orcid.org/0000-0002-8742-1320>

Dr. Anthony Valverde Abarca
Tecnológico de Costa Rica
<https://orcid.org/0000-0002-3191-6965>

Dr. Randy Atencio Valdespino
Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá
<https://orcid.org/0000-0002-8325-9573>

Dr. Belisario Domínguez Mancera
Universidad Veracruzana
<https://orcid.org/0000-0002-6695-4793>

Dr. Cesar Orlando Pozo Santiago
Universidad Autónoma de Chiapas
<https://orcid.org/0000-0002-2557-1155>

Dr. Carlos Manuel Ulloa
Universidad Nacional de Agricultura de Honduras
<https://orcid.org/0009-0009-6696-8085>

CONTENIDO

Artículos Científicos

Determinación del estatus zoonosario de grandes felinos mantenidos bajo el cuidado humano en la Fundación Refugio Salvaje, El Salvador

Determination of the animal health status of large cats kept in human care at the Refugio Salvaje Foundation, El Salvador
Nadia Guadalupe Aguilar-Henríquez, David Alejandro Alfaro-Corpeño, Carlos David López-Salazar,
José Miguel Chopin-Rodríguez, Gustavo Adolfo González-González..... 5

Evaluación de la Embriogénesis Somática en genotipos salvadoreños de cacao (*Theobroma cacao* L.)

Evaluation of Somatic Embryogenesis in salvadoran cocoa (Theobroma cacao L.) genotypes
Dora Antonia Villeda-Castillo, Julio César Ortiz-Pavón..... 11

Nota Técnica

Inventario de especies arbóreas en el Polígono Centro Urbano Libertad, San Salvador

Inventory of tree species in the Libertad Urban Center, San Salvador
Diana Iris Gómez-Sánchez, Rigoberto Antonio Urías-Fernández, Ingrid Altagracia Alfaro-López..... 19

Importancia de la alimentación balanceada desde el parto en bovinos bajo sistemas tropicales de Guatemala: implicaciones en sistemas doble propósito y lechería especializada

The Importance of a Balanced Diet Starting at Birth for Cattle in Tropical Systems in Guatemala: Implications for Dual-Purpose and Specialized Dairy Systems
Juan Fernando Contreras-Morales 25

Revisión Bibliográfica

Presencia e impactos de los microplásticos en sistemas ganaderos bovinos: una revisión bibliográfica

Presence and impacts of microplastics in bovine livestock systems: a literature review
Pablo Acuña-Fuentes, José Leyton, Matías Betancur-López, Sergio Moraga-Bustos, Daniela Valencia-Orge, Carla Sobarzo-Palma, Constanza Garcia-Castillo, Andrés Pinto-Poblete 29



Determinación del estatus zoonosanitario de grandes felinos mantenidos bajo el cuidado humano en la Fundación Refugio Salvaje, El Salvador

Determination of the animal health status of large cats kept in human care at the Refugio Salvaje Foundation, El Salvador

Nadia Guadalupe Aguilar-Henríquez¹, David Alejandro Alfaro-Corpeño¹, Carlos David López-Salazar^{2,5}, José Miguel Chopin-Rodríguez^{3,6}, Gustavo Adolfo González-González⁴

- 1 Tesista Departamento de Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador
- 2 Docente Departamento de Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador
- 3 Docente Universidad Salvadoreña Alberto Masferrer
- 4 FURESA
- 5 ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9364-3838>
- 6 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7980-257X>



ACCESO ABIERTO

REVISTA AGROCIENCIA

Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de El Salvador

ISSN 2522-6509
Enero-Junio 2026
Año X, Número 29
pp.5-9

DOI:
[10.66778/RA.a10n29.01](https://doi.org/10.66778/RA.a10n29.01)

Correspondencia:

david.salazar@ues.edu.sv

Presentado:

30 de noviembre de 2025

Revisado:

1 de febrero de 2026

Aceptado:

15 de junio de 2026

Este es un artículo de acceso
abierto bajo licencia CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



RESUMEN

La investigación se realizó en la Fundación Refugio Salvaje, ubicada en el municipio de Jayaque, departamento de La Libertad, El Salvador, teniendo una duración de 24 semanas, durante los meses de abril-octubre 2024. El objetivo fue determinar el estatus zoonosanitario de grandes felinos (*Panthera leo*, *P. onca*, *P. tigris* y *P. pardus*) mantenidos bajo el cuidado humano, a través de las pruebas de laboratorio: hemograma, bioquímicas sanguíneas, frotis sanguíneo, inmunocromatografía rápida para detección del virus de inmunodeficiencia felina (VIF) o del virus de leucemia felina (VILEF) y examen coproparasitológico, las cuales fueron procesadas en el Hospital Veterinario Chivo Pets. Los resultados se analizaron a través de cuadros resúmenes ya que la investigación fue de tipo descriptivo, se estimó el nivel de prevalencia, no se realizó muestreo ya que se tomó el 100% de la población. Se concluyó que los grandes felinos padecen de mycoplasmosis sub clínica, a causa de su antecedente de permanecer en lugares de vida semi libres y están expuestos a pulgas.

Palabras claves: *Panthera leo*, *Panthera onca*, *Panthera tigris*, *Panthera pardus*, mycoplasmosis.

ABSTRACT

The research was carried out at the Refugio Salvaje, Foundation located in the municipality of Jayaque, department of La Libertad, El Salvador, lasting 24 weeks, during the months of April-October 2024. The purpose was to determine the zoonosanitary status of big cats (*Panthera leo*, *P. onca*, *P. tigris* and *P. pardus*) kept under human care, through the following the laboratory tests: complete blood count, blood biochemistry, blood smear, rapid immunochromatography for detection of feline immunodeficiency virus (FIV) or feline leukemia virus (FeLV) and coproparasitological examination, which were processed at the Chivo Pets Veterinary Hospital. The results were analyzed through summary tables since the research was descriptive, the level of prevalence was estimated, no sampling was carried out since 100% of the population was taken. It is concluded that big cats suffer from subclinical mycoplasmosis due to their history of living in semi-free living areas and being exposed to fleas.

Keywords: *Panthera leo*, *Panthera onca*, *Panthera tigris*, *Panthera pardus*, mycoplasmosis

INTRODUCCIÓN

Debido a los reportes de exposición de grandes felinos silvestres a enfermedades virales como Leucemia viral felina o Inmunodeficiencia viral felina, o a infecciones bacterianas como Mycoplasmosis según Fletcher (2017), es que el conocimiento de la circulación de estos agentes es prioritario para la conservación in situ y ex situ de estas especies. La investigación fue orientada a la determinación del estatus zoonosanitario de los grandes felinos mantenidos bajo el cuidado humano en FURESA-El Salvador, a través de interpretación de resultados de laboratorio, para confirmar o descartar enfermedades virales (Inmunodeficiencia viral felina o Leucemia viral felina), enfermedades metabólicas (Insuficiencia hepática o renal), enfermedades bacterianas (Mycoplasmosis) o enfermedades parasitarias (internas o externas), con la finalidad de dar a conocer el estado de salud actual de los ejemplares, identificar posibles patologías y establecer prevalencia de las enfermedades estudiadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación, dirección y unidades experimentales

La investigación se realizó en la Fundación Refugio Salvaje, ubicada en El Salvador, C.A., La Libertad, municipio de Jayaque, carretera a 36.5 km del mismo, entre las coordenadas geográficas siguientes: 13°41'17"N 89°26'57"W, a 636 m sobre el nivel del mar. La Investigación se realizó en el periodo de abril 2024 – octubre 2024. Se tomó la población de los grandes felinos (Tabla 1).

Metodología de campo

Métodos de captura

Para la inmovilización de la mayoría de los ejemplares se utilizaron dardos disparados por cerbatana desde afuera de los recintos, los cuales son jeringas de doble cámara separadas por un émbolo. Según Tobo (2020) son dispositivos especializados en la administración de sustancias sedantes o anestésicas a animales, y están diseñados con un sistema de dos cámaras para garantizar la eficiencia y seguridad en su uso.

Contención química

Se administraron anestésicos a los animales en el tren posterior vía intramuscular, combinaciones de ketamina (2mg/kg) y de xilacina (2mg/kg) como anestésicos disociativos y sedante no narcótico, respectivamente, usando la misma dosis en todas las especies a excepción del tigre (xilacina 0.8 mg/kg, ketamina 2.5 mg/kg). También se usó midazolam (0.1 mg/kg) como relajante muscular. Y al terminar los procedimientos en los ejemplares, se aplicó yohimbina (0.125mg/kg) para revertir efectos de la xilacina.

Tabla 1
Población de grandes felinos FURESA

Especie	Cantidad	Machos	Hembras
León africano (<i>Panthera leo</i>)	4 ejemplares seniles	1	3
Jaguar (<i>Panthera onca</i>)	4 ejemplares seniles	2	2
Leopardo (<i>Panthera pardus</i>)	1 ejemplar senil	1	0
Tigre (<i>Panthera tigris</i>)	7 ejemplares adultos y seniles	3	4
TOTAL	16 ejemplares	7	9

Contención física

Se utilizaron jaulas de contención para manejar los grandes felinos, que son estructuras fabricadas con materiales resistentes y diseñadas para realizar procedimientos médicos sin comprometer su bienestar ni la seguridad de los cuidadores (Tobo 2020).

Toma de muestra sanguínea

Fueron colectadas mediante muestreo por oportunidad, en aquellos animales manipulados por razones ajenas al estudio en diferentes días. Posterior a la inmovilización del ejemplar, la toma de muestra se hizo en: la vena yugular, vena safena y vena femoral. El método de extracción consistió en desinfectar la zona de venopunción con alcohol étílico, se usaron jeringas de 5 ml y aguja de 21 G, se introdujo la aguja con el bisel hacia arriba en el mismo sentido que el flujo sanguíneo, se aspiró hasta obtener 5 ml, se retiró la aguja y se introdujo el volumen necesario en los tubos. Posteriormente se enviaron las muestras rotuladas al laboratorio para su análisis.

Toma de muestra fecal

Posterior a la inmovilización del ejemplar, se recolectaron 2 gr de heces vía rectal, con excepción en pocos casos que se optó por recolectar material fecal del piso de las jaulas. Se depositaron en un frasco limpio y rotulado para ser enviadas al laboratorio para su análisis.

Metodología de laboratorio

Transporte y entrega de muestras

Las muestras sanguíneas y fecales se transportaron en una hielera portátil hasta el laboratorio del hospital veterinario Chivo pets a una temperatura de 8°C, siendo el tiempo de 1-4 horas entre la recolección de la muestra y la entrega al laboratorio para ser procesada y analizada.

Metodología estadística

La investigación fue de tipo descriptivo, esto comprende el uso de cuadros, gráficas y figuras para presentar la información. Se estimó la prevalencia de las enfermedades, no se realizó muestreo ya que se tomó el 100% de la población de los grandes felinos (Martín, et al. 1997).

RESULTADOS DISCUSIÓN

El El objetivo de esta investigación fue la determinación del estatus zoonosanitario de los grandes felinos de FURESA. Se realizó examen físico-clínico y muestreo sanguíneo y fecal en 16 ejemplares, las muestras se procesaron y analizaron, los resultados obtenidos se interpretaron y presentaron separado por especie en cuadros.

Panthera leo

De los cuatro ejemplares, considerados seniles, de edades de 15 a 20 años, presentaron en los hemogramas una eosinofilia (0.85 – 1.17 10e3/ μ L) en tres de los cuatro ejemplares. Según Gómez (2019), podría asociarse a una posible parasitosis, lo cual se descartó ya que no se reportó ningún hallazgo en los exámenes generales de heces, por lo que se asocia a estrés en los ejemplares previo a la toma de la muestra. A nivel de la línea roja se observaron alteraciones como aumentos de la amplitud

de distribución eritrocitaria (RDW-CV) (20-20.6 %) y de la concentración de hemoglobina corpuscular media (CHCM) (39.5-41.4 g/dL) que según Tseliou (2014), está relacionado con hemólisis de la muestra (Tabla 2).

A nivel renal, la urea (87.7 – 107 mg/dL) se aumentó en dos individuos, Díaz (2019), menciona que podría asociarse al tipo de alimentación el cual, al ser rico en proteínas, exige un mayor aporte de aminoácidos. Los demás valores del perfil renal y hepático no presentaron alteraciones según Teare (2013) (Tabla 3). Un individuo presentó inclusiones eritrocitarias de *Mycoplasmosis sp.* en el frotis sanguíneo (Tabla 11). En la prueba de inmunocromatografía de enfermedades virales se obtuvieron resultados negativos en todos los individuos (Tabla 10), al mismo tiempo en el examen general de heces no se reportaron alteraciones relevantes asociadas a alguna parasitosis.

Panthera tigris

Cuatro considerados adultos de cuatro años y cinco considerados seniles de 13 a 16 años, presentaron en el hemograma un aumento de la hemoglobina (17.8 g/dL) en un individuo, que según Gómez (2019) está asociado al nivel de estrés al cual fue sometido al momento de la pre medicación previo a su toma de muestra sanguínea. A nivel de la línea blanca no se reportaron alteraciones, a su vez todos los tigres presentaron disminución del volumen plaquetario medio (11.5-14.2 fL) que según Gómez (2019), lo considera un indicativo de hiperesplenismo, el cual se asocia directamente a la presencia de Mycoplasmosis, lo cual podría estar influenciado a que dos de los siete ejemplares presentan inclusiones eritrocitarias de Mycoplasmosis en el frotis sanguíneo (Tabla 4).

En la biometría hemática a nivel hepático y renal todos estos valores se encontraron dentro de sus parámetros normales según Teare (2013) (Tabla 5). En la prueba de inmunocromatografía de enfermedades virales se obtuvieron resultados negativos en todos los individuos (Tabla 10).

En el examen general de heces se reportó una posible infestación de quistes de *Endolimax sp.* y *Blastocystis sp.* en el individuo llamado Papo, dichas estructuras podrían provenir de agua de pozos y acequias, así como en alimentos crudos. Sin embargo no se descarta la posibilidad que pueda deberse a artefactos, ya que la prevalencia de parásitos intestinales está relacionada con muchos factores según Qi, et al. (2023), por lo que en este caso aislado se considera hallazgo accidental por artefacto; también en un individuo llamado Lili, hembra de 16 años se reportó la presencia

Tabla 2
Hematología en Panthera leo

		Unidad	Rangos (Teare, 2013)	Trilliza	Tencha	Luna	Tembo
Serie blanca	Leucocitos	10e3/µL	6.1-21.4	10.9	13.2	13.7	19.3
	Neutrofilos	10e3/µL	3.5-17.2	9.3	11.35	11.53	16.96
	Linfocitos	10e3/µL	0.4-4.3	0.97	0.56	0.69	1.21
	Monocitos	10e3/µL	0.0-0.4	0.28	0.42	0.33	0.28
	Eosinofilos	10e3/µL	0.0-0.5	0.29	0.85	1.17	0.85
	Basofilos	10e3/µL	0.0-0.1	0.02	0.01	0.01	0.01
	RDW-CV	%	14.8-19.0	18.4	16.5	20	20.6
	RDW-SD	fL	30.0-33.0	33	33	31	31
	Eritrocitos	10e6/µL	5.5-10.4	7.77	5.98	8.12	9.08
	Hemoglobina	g/dL	9-16.5	13.9	10.2	14.2	15.4
Serie roja	Hematocrito	%	27.5-51.7	35.2	28.3	34.3	38
	VCM	fL	41.9-60.2	45.3	47.3	42.2	41.9
	HCM	pg	14.1-18.7	17.9	17.1	17.5	17
	CHCM	g/dL	27.3-37.5	39.5	36	41.4	40.5
	Plaquetas	10e3/µL	68-552	205	295	268	210
	VPIM	fL	7.1-24.0	11.7	11.4	11.3	11.7

Tabla 3
Bioquímica sanguínea en Panthera leo Panthera leo

Química	Unidad	Rangos (Teare, 2013)	Trilliza	Tencha	Luna	Tembo
BUN	mg/dL	19-57	30	50	32	41
Bili. total	mg/dL	0.1-0.5	0.1	0.11	0.11	0.13
Bili. directa	mg/dL	0-0.3	0.02	0.02	0.03	0.04
Bili. indirecta	mg/dL	0-0.3	0.08	0.09	0.08	0.09
(TGO)	U/L	15-82	31	79	45	33
(TGP)	U/L	21-112	46	94	72	73
Urea	mg/dL	52.2-70.2	64.2	107	68.5	87.7
Amilasa	U/L	191-2526	1838.1	2433	1833	1446.5
Albumina	g/dL	2.2-4.1	2.93	2.91	2.89	2.96
Creatinina	mg/dL	0.6-4.0	2.05	3.58	2.81	2.33
Ácido úrico	mg/dL	0-0.7	0.16	0.07	0.07	0.18
Sodio	mEq/L	142-161	147	152	146	149
Cloro	mEq/L	109-127	117	125	116	119
Potasio	mEq/L	3.7-5.4	4.2	4.2	4.4	4.3
Fosforo	mEq/L	3.9-8.9	4.36	5.02	5.27	4.23
F.A.	U/L	4.0-112.0	11	8	7	6

Tabla 4
Hematología en Panthera tigris

	Unidad	Rangos (Teare, 2013)	Margarita	Carino	Nina	6041	7020	Lili	Papo
Serie blanca	Leuco	10e3/µL	5.6-18.6	7.9	7.9	7.2	7.8	10.1	11.9
	Neutro	10e3/µL	3.5-14.4	6.69	7.07	5.67	6.09	8.65	9.93
	Linfo	10e3/µL	0.4-4	0.94	0.86	1.07	1.12	0.93	0.96
	Mono	10e3/µL	0.0-1.5	0.13	0.11	0.14	0.18	0.11	0.15
	Eosino	10e3/µL	0.0-1.0	0.14	0.09	0.33	0.37	0.39	0.89
	Baso	10e3/µL	0.0-0.2	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03
	RDW-CV	%	13.0-20.0	17.8	17.3	18.6	17.3	17.1	17.9
	RDW-SD	fL	29.0-48.0	37	34	34	31	32	36
	Eritro	10e6/µL	4.5-8.9	6.73	6.96	8.87	7.21	6.54	6.87
	Hemoq	g/dL	8.2-16.6	14.2	13.7	17.8	13.7	12.8	13.9
Serie roja	Hemat	%	24.5-51.8	35	34.8	44.4	33.2	30.9	34.6
	VCM	fL	45-69.1	52	50	50.1	46	47.2	50.4
	HCM	pg	15.8-21.9	21.1	19.7	20.1	19	19.6	20.2
	CHCM	g/dL	28.1-37.5	40.6	39.4	40.1	41.3	41.4	40.2
	Plaquet	10e3/µL	78-511	182	179	117	90	125	151
	VPIM	fL	16.0-24.0	11.7	11.5	11.7	12.1	11.9	11.5

Tabla 5
Bioquímica sanguínea en Panthera tigris

Química	Unidad	Rangos (Teare, 2013)	Margarita	K-rifo	Nina	6041	7020	Lili	Papo
BUN	mg/dL	16-51	33	30	33	35	32	24	33
Bili. total	mg/dL	0-0.5	0.13	0.13	0.1	0.15	0.17	0.12	0.17
Bili. directa	mg/dL	0-0.1	0.03	0.02	0.01	0.03	0.02	0.03	0.01
Bili. indirecta	mg/dL	0-0.3	0.1	0.11	0.09	0.12	0.15	0.09	0.16
(TGO)	U/L	11 - 63	24	29	20	23	16	26	24
(TGP)	U/L	18-159	92	75	88	68	59	73	73
Urea	mg/dL	37.0-114.0	70.6	64.2	70.6	74.9	60.5	51.4	70.6
Amilasa	U/L	182-2737	1143.9	1094	1139	1097	1000	1371	1179.7
Album	g/dL	2.5-4.4	3.95	3.64	3.5	3.81	3.84	3.77	4.33
Crea	mg/dL	0.6-4.2	2.08	2.14	2.1	1.94	1.81	2.47	2.92
Ácido úrico	mg/dL	0-1.0	0.15	0.17	0.1	0.14	0.1	0.13	0.35
Sodio	mEq/L	143-159	150	148	149	150	150	150	151
Cloro	mEq/L	110-128	119	118	120	119	118	110	110
Potasio	mEq/L	3.5-5.3	4.3	4.1	4.1	4	4.1	3.7	4.3
Fosforo	mEq/L	3.7-9.4	5.68	4.97	6.1	4.86	5.08	4.61	6.95
F.A.	U/L	6.0-84	16	18	14	11	13	12	10

de quistes de *Lodomoeba sp.*, provenientes de agua de pozos, acequias o alimentos crudos según Iglesias (2018), por lo que también en este caso aislado sin síntomas gastrointestinales se considera hallazgo accidental por artefacto, y en los cinco individuos restantes no se reportó ninguna alteración asociada a parasitosis o infestación en el examen general de heces.

Panthera pardus

El macho senil de 13 años, presentó en el hemograma a nivel de la línea roja un aumento (21.6 %) de RDW-CV que según Tseliou (2014), está relacionado con hemolisis de la muestra. A nivel de la serie blanca no se reportaron alteraciones. Paralelamente se observó una disminución del volumen plaquetario medio (11.3 fL), que según Gómez (2019) es indicador del hipersplenismo, en relación al curso de Mycoplasmosis (Tabla 6 y 11).

En la biometría hemática a nivel renal se presentó un aumento de la urea (77 mg/dl) que según Zhu et al. (2021) podría asociarse al tipo de alimentación el cual al ser rico en proteínas exige un mayor aporte de aminoácidos. Los demás parámetros del perfil renal y hepático no presentan alteraciones (Tabla 7). El ejemplar presentó inclusiones eritrocitarias de Mycoplasmosis en el frotis sanguíneo (Cuadro 11). En la prueba rápida de inmunocromatografía de enfermedades virales no se obtuvo resultados positivos (Tabla 10). En el examen general de heces no se reportaron alteraciones relevantes asociadas a alguna parasitosis o infestación bacteriana.

Panthera onca

De los cuatro ejemplares considerados seniles de 14 a 18 años, dos presentaron en el hemograma a nivel de la línea roja un aumento de la amplitud de distribución eritrocitaria (RDW-CV) (19.5-19.8 %) que según

Tseliou (2014), se asocia a hemolisis de la muestra o un posible daño hepático, así como el aumento de la CHCM (39.7 – 40 g/dL) en dos de los individuos que según Gómez (2019) está relacionado a hemólisis de la muestra. A su vez todos los individuos presentaron una disminución en el volumen plaquetario medio el cual es un indicador de hipersplenismo según Gómez (2019), y se relaciona a la presencia de Mycoplasmosis (Tabla 8).

En la biometría hemática a nivel hepático, se reportaron aumentos de las transaminasas oxalacética (121 – 125 UI/L) y pirúvica (150 – 540 UI/L) en tres de los cuatro ejemplares, asociado a un daño hepático según Roelke et al. (2009), tomando en consideración la avanzada edad de los individuos. A nivel renal, en un individuo se observó un aumento de la urea (77 mg/dL) que según Díaz (2019) puede asociarse al tipo de alimentación el cual al ser rico en proteínas exige un mayor aporte de aminoácidos. Los demás valores del perfil renal y hepático no presentaron alteraciones según Teare (2013) (Tabla 9). Los cuatro ejemplares presentaron inclusiones eritrocitarias de Mycoplasmosis en el frotis sanguíneo (Tabla 11). En la prueba de inmunocromatografía de enfermedades virales no se obtuvo resultados positivos (Tabla 10). En el examen general de heces no se reportaron alteraciones relevantes.

Tabla 8*Hematología en Panthera onca*

		Unidad	Rangos (Teare, 2013)	Lucky	Lola	Negrito	Rico
Serie blanca	Leucocitos	10e3/ μ L	5.5-19.3	10.1	12.4	14.1	10.2
	Neutrófilos	10e3/ μ L	3-14.8	8.69	10.73	12.49	8.46
	Linfocitos	10e3/ μ L	0.4-4-5	1.08	0.73	0.99	1.35
	Monocitos	10e3/ μ L	0.0-0.3	0.13	0.19	0.34	0.15
	Eosinófilos	10e3/ μ L	0.0-0.5	0.19	0.45	0.26	0.23
	Basófilos	10e3/ μ L	0.0-0.1	0.01	0.01	0.01	0.01
	RDW-CV	%	14.8-19.1	18.5	18.6	19.8	19.6
	RDW-SD	fL	29.0-34.0	29	31	36	34
Serie roja	Eritrocitos	10e6/ μ L	4.5-10	8.07	7.71	8.39	7.96
	Hemoglobina	g/dL	7.8-15.9	13.2	13.1	15.8	13.7
	Hematocrito	%	23.5-49.1	34.6	33	39.5	36.9
	VCM	fL	37.6-59.2	42.9	42.8	47.1	46.4
	HCM	pg	12.4-19.3	16.4	17	18.8	17.2
	CHCM	g/dL	28.7-39.1	38.2	39.7	40	37.1
	Plaquetas	10e3/ μ L	76-448	145	185	161	101
	VPM	fL	16.0-24.0	11.4	11	11.3	11.1

Tabla 6*Hematología en Panthera pardus*

	Unidad	Rangos (Teare, 2013)	Masall	
Serie blanca	Leucocitos	10e3/ μ L	6.1-21.5	9.7
	Neutrófilos	10e3/ μ L	3.2-16.9	7.82
	Linfocitos	10e3/ μ L	0.4-4.1	1.09
	Monocitos	10e3/ μ L	0.0-0.3	0.15
	Eosinófilos	10e3/ μ L	0.0-0.5	0.50
	Basófilos	10e3/ μ L	0.0-0.1	0.01
	RDW-CV	%	14.8-17.0	21.6
	RDW-SD	fL	29.0-34.0	32
Serie roja	Eritrocitos	10e6/ μ L	5.1-11.4	9.44
	Hemoglobina	g/dL	7.6-16.0	14
	Hematocrito	%	24.4-50.1	37.3
	VCM	fL	34-55	39.5
	HCM	pg	11.0-18.1	14.8
	CHCM	g/dL	27.6-38.2	37.5
	Plaquetas	10e3/ μ L	124-829	357
	VPM	fL	16.0-24.0	11.3

Tabla 7*Bioquímica sanguínea en Panthera pardus*

Química	Unidad	Rangos (Teare, 2013)	Messai
Nitrógeno ureico	mg/dL	21-64	36
Bilirrubina total	mg/dL	0.1-0.5	0.12
Bilirrubina directa	mg/dL	0-0.2	0.03
Bilirrubina indirecta	mg/dL	0-0.3	0.1
TGO	UI/L	14-69	50
TGP	UI/L	18-99	78
Urea	mg/dL	52.2-70.2	77
Amilasa	UI/L	162-1876	1079
Albumina	g/dL	2.6-4.3	3.33
Creatinina	mg/dL	0.6-3.9	2.08
Ácido úrico	mg/dL	0-0.6	0.12
Sodio	mEq/L	143-162	147
Cloro	mEq/L	109-128	117
Potasio	mEq/L	3.2-4.9	4
Fósforo	mEq/L	3.7-8.1	5.05
Fosfatasa alcalina	UI/L	5.0-66.0	9

Tabla 9*Bioquímica sanguínea en Panthera onca.*

Química	Unidad	Rangos (Teare, 2013)	Lucky	Lola	Negrito	Rico
Nitrógeno ureico	mg/dL	14-45	29	32	30	36
Bilirrubina total	mg/dL	0-0.5	0.11	0.15	0.14	0.19
Bilirrubina directa	mg/dL	0-0.3	0.01	0.02	0.02	0.03
Bilirrubina indirecta	mg/dL	0-0.3	0.1	0.13	0.12	0.16
(TGO)	UI/L	13-72	125	62	125	121
(TGP)	UI/L	26-145	105	253	150	540
Urea	mg/dL	52.2-70.2	62.1	68.5	64.2	77
Amilasa	UI/L	247-3589	2563	2058.3	2468	2021.4
Albumina	g/dL	0.9-4.3	3.47	3.28	3.45	3.44
Creatinina	mg/dL	0.8-3.0	1.59	1.89	1.89	2.62
Ácido úrico	mg/dL	0-0.7	0.03	0.1	0.07	0.1
Sodio	mEq/L	142-163	147	150	154	151
Cloro	mEq/L	112-131	118	120	125	121
Potasio	mEq/L	3.3-5.1	4	3.7	3.7	4
Fósforo	mEq/L	3.2-7.7	3.69	3.2	3.94	3.64
Fosfatasa alcalina	UI/L	3.0-60.0	12	6	11	7

Tabla 10

Resultados de inmunocromatografía rápida para el diagnóstico de enfermedades Leucemia viral felina e Inmunodeficiencia viral felina

Especies	Leucemia viral felina	Inmunodeficiencia viral felina
<i>Panthera leo</i>	Negativos	Negativos
<i>Panthera tigris</i>	Negativos	Negativos
<i>Panthera pardus</i>	Negativos	Negativos
<i>Panthera onca</i>	Negativos	Negativos

Tabla 11

Resultados de frotis sanguíneo para el diagnóstico de Mycoplasmosis

Especie	Individuo	Resultado
<i>Panthera leo</i>	Trilliza	Presencia de Mycoplasmosis
	Luna	Negativo
	Tombo	Negativo
	Tencha	Negativo
	Margarita	Negativo
<i>Panthera tigris</i>	K-rino	Presencia de Mycoplasmosis
	6041	Negativo
	7020	Negativo
	Papo	Negativo
	Nina	Presencia de Mycoplasmosis
<i>Panthera pardus</i>	Lili	Negativo
	Massai	Presencia de Mycoplasmosis
	Negrito	Presencia de Mycoplasmosis
<i>Panthera onca</i>	Lola	Presencia de Mycoplasmosis
	Rico	Presencia de Mycoplasmosis
	Lucky	Presencia de Mycoplasmosis

CONCLUSIONES

Las alteraciones reportadas están directamente relacionadas a la edad de los individuos estudiados, tanto jóvenes como seniles, se demostró que la avanzada edad es un factor de riesgo a la predisposición de disfunciones preclínicas asociadas a daños hepáticos, lo cual se refleja en las alteraciones de la bioquímica sanguínea.

La Mycoplasmosis fue la enfermedad que mostro mayor prevalencia (50%) en los grandes felinos, más no se descarta que el resto de los individuos estén cursando la enfermedad de manera subclínica, ya que, en los hallazgos de los hemogramas como la disminución del volumen plaquetario, son indicios de hiperesplenismo que es un indicativo del curso de Mycoplasmosis.

A pesar de que las pruebas rápidas de inmunocromatografía realizadas para la Inmunodeficiencia viral felina y Leucemia viral felina dieron negativas, no se elimina la posibilidad de que los ejemplares puedan contraer estas enfermedades ya que es necesario realizar diagnósticos más específicos para estas especies animales.

Al momento del examen físico-clínico en busca de evidencia ectoparasitos no se evidencio la presencia de pulgas y/o garrapatas, al mismo tiempo no se observaron infestaciones parasitarias, lo que demuestra la efectividad del plan profiláctico implementado con los especímenes de la colección.

Algunos valores en la hematología presentaron alteraciones asociadas al estrés resultante del manejo antes y durante el examen físico-clínico y tomas de muestras.

REFERENCIAS

Díaz, F. (2019). Introducción a bioquímica clínica veterinaria (1.^a ed.). Universidad de los Llanos. https://www.ufrgs.br/lacvet/site/wp-content/uploads/2022/07/Introd_Bioq_ClinEdunillanos-2019.pdf

Fletcher, S. (2017). Diagnóstico de agentes infecciosos de común presentación en felinos [Tesis, Universidad CES]. Repositorio Institucional Universidad CES. <https://repository.ces.edu.co/bitstream/handle/10946/2848/Diagn%C3%B3stico%20Agentes%20Infecciosos.pdf?sequence=1>

Gómez, R. (2019). Manual de interpretación de exámenes laboratoriales de rutina en caninos. Universidad Nacional Agraria. <https://repositorio.una.edu.ni/3931/>

Iglesias, S. (2018). *Iodamoeba bütschlii*. *Revista Chilena de Infectología*, 35(6), 669. <https://doi.org/10.4067/S0716-10182018000600669>

Martín, S., Meek, A., & Willeberg, P. (1997). Epidemiología veterinaria: Principios y métodos. Medida de frecuencia de la enfermedad y de la producción. Acribia.

Qi, T., Zheng, W., Guo, L., Sun, Y., Li, J., & Kang, M. (2023). First description of *Blastocystis* sp. and *Entamoeba* sp. infecting zoo animals in the Qinghai-Tibet Plateau area, China. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 13, Article 1212617. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2023.1212617>

Roelke, M., Brown, M., Troyer, J., Winterbach, H., Winterbach, C., & Hemson, G. (2009). Pathological manifestations of feline immunodeficiency virus infection in wild African lions. *Virology*, 394(1), 1–7. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0042682209002426>

Teare, J. A. (2013). ISIS physiological reference intervals for captive wildlife: *Panthera leo*, gender not selected, all ages combined, conventional US units 2013. International Species Information System.

Tobo, D. (2020). Manual de contención química de felinos silvestres alojados en la Fundación Botánica y Zoológica de Barranquilla [Trabajo de grado]. Universidad Cooperativa de Colombia. <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/b8760e41-34f2-4253-9655-f1483c71019a/content>

Tseliou, E. (2014). Red cell distribution width is a significant prognostic marker in advanced heart failure, independently of hemoglobin levels. *Hellenic Journal of Cardiology*, 55(6), 457–464. https://www.hellenicjcardiol.org/archive/full_text/2014/6/2014_6_457.pdf

Zhu, L., Wu, Q., Deng, C., Zhang, M., Zhang, C., Chen, H., & Wei, F. (2018). Adaptive evolution to a high purine and fat diet of carnivorans revealed by gut microbiomes and host genomes. *Environmental Microbiology*, 20(9), 3145–3159. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.14096>

Evaluación de la Embriogénesis Somática en genotipos salvadoreños de cacao (*Theobroma cacao* L.)

Evaluation of Somatic Embryogenesis in salvadoran cocoa (*Theobroma cacao* L.) genotypes

Dora Antonia Villeda-Castillo¹, Julio César Ortiz-Pavón^{1,2}

¹ Departamento de Fitotecnia, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador

² ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9758-1910>



ACCESO ABIERTO

REVISTA AGROCIENCIA

Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de El Salvador

ISSN 2522-6509
Enero-Junio 2026
Año X, Número 29
pp.11-18

DOI:
[10.66778/RA.a10n29.02](https://doi.org/10.66778/RA.a10n29.02)

Correspondencia:
dora.villeda@ues.edu.sv

Presentado:
28 de enero de 2026

Revisado:
26 de febrero de 2026

Aceptado:
29 de mayo de 2026

Este es un artículo de acceso
abierto bajo licencia CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



RESUMEN

La presente investigación se realizó durante los meses de abril de 2018 a marzo de 2019, en el laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ubicada en el departamento de San Salvador, con el objetivo de determinar el potencial embriogénico de los cacaos criollos de El Salvador. La metodología utilizada consistió en evaluar las condiciones óptimas para establecer embriones somáticos primarios en cuatro genotipos y un clon internacional de interés para los investigadores (THS-539, CPS1-23, Rojo, Amarillo y Verde). Fueron evaluados dos protocolos, dos condiciones ambientales y dos tipos de explantes. Para los cinco genotipos en estudio, los mayores valores de inducción a formación de callo embriogénico se representarán en los medios que contenían 2,4D -TDZ como balance hormonal y glucosa como fuente de carbono. Los estaminodios presentaron una mejor formación de callo, sin embargo, en los pétalos se obtuvo un mayor número de embriones somáticos y un mejor desarrollo de estos. La combinación Kinetina-2,4 D favorece la Embriogénesis Somática de baja frecuencia para genotipo Verde. Los resultados mostraron una alta dependencia del genotipo, por lo cual las condiciones ambientales, los balances hormonales y la frecuencia embriogénica son diferentes para cada uno de los clones, siendo TSH-539, verde amarillo y CPS1-23 los que presentaron mejor comportamiento, y Rojo mostró una menor respuesta en los tratamientos evaluados.

Palabras claves: Embriones somáticos, callos, estaminodios, cultivo *in vitro*.

ABSTRACT

This research was conducted between April 2018 and March 2019 at the Biotechnology Laboratory of the Faculty of Agricultural Sciences at the University of El Salvador, located in the department of San Salvador, with the aim of evaluating the somatic embryogenic potential of promising native cocoa genotypes from El Salvador. The methodology used consisted of evaluating the optimal conditions for establishing primary somatic embryos in four genotypes and an international clone of interest to the researchers (THS-539, CPS1-23, Red, Yellow, and Green). Two protocols, two environmental conditions, and two types of explants were evaluated. For the five genotypes under study, the highest values of induction to embryogenic callus formation occurred in media containing 2,4D-TDZ as a hormonal balance and glucose as a carbon source. Stamens show better callus formation, however, petals yield a greater number of somatic embryos and better development of the same. The Kinetin-2,4 D combination favors low-frequency somatic embryogenesis for the green genotype. The results showed a high dependence on genotype, which is why environmental conditions, hormonal balances, and embryogenic frequency are different for each of the clones, with TSH-539, green-yellow, and CPS1-23 showing the best performance, and red showing a lower response.

Keywords: Somatic embryos, calluses, stamens, *in vitro* culture.

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un cultivo originario del trópico húmedo mesoamericano, continúa manteniendo enorme importancia económica a nivel mundial. Un promedio de tres millones de toneladas de cacao se produce anualmente, utilizándose un aproximado del 90 % como materia prima para la elaboración del chocolate. De este cultivo depende la subsistencia de muchos pequeños agricultores para los que genera trabajo (Mejía y Palencia, 2000).

En el 2012, el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) planteó en el Primer Seminario Taller Internacional del cultivo de cacao: El rescate del denominado cacao fino y de aroma, debido a la importancia de este cultivo durante la época prehispánica y colonial en El Salvador. Actualmente existen dos principales zonas productoras de cacao y están ubicadas en los departamentos de Sonsonate y Usulután, este cultivo se ha venido propagando sin una visión de mejoramiento genético, por lo que en las dos zonas cacaoteras del país, se mantienen plantaciones muy viejas con un manejo tecnológico bajo, y con influencia de enfermedades como moniliasis que afectan seriamente la producción, siendo estos materiales no deseables agrónomicamente. Además, la práctica más común es la utilización de semilla para la propagación, lo que presenta un alto nivel de segregación y baja producción (Castañeda et al., 2015).

Lo anterior obligó a buscar otros sistemas de propagación que garanticen la estabilidad genética de las plantaciones con características conocidas. La propagación “*in vitro*”, o cultivo de tejidos, consiste en utilizar pequeños órganos o piezas de tejido de una planta (denominados explantes), que bajo condiciones asépticas en un medio nutritivo adecuado y en un ambiente controlado; puedan expresar un nuevo individuo, este tipo de propagación puede ser una alternativa para superar estos problemas (Villalobos y Aguilar, 1991).

Desde la década de los 70, se ha trabajado con embriogénesis somática en cacao, se han utilizado diferentes tipos de explantes (florales y foliares), genotipos y mezclas de medios de cultivo para lograr regenerar clones que mantengan las características en el tiempo (Esan, 1977; Aguilar, 1990; López-Báez et al., 2000).

En la actualidad, el empleo de la embriogénesis somática (ES) para la propagación clonal de plantas de cacao es de gran importancia (Yang y Zhang, 2010). Este es un proceso en el que una estructura bipolar parecida a un embrión cigótico se desarrolla a partir de un tejido somático, sin conexión vascular con el tejido original (Zahid et al., 2013). Las células atraviesan por una serie de cambios morfológicos y bioquímicos que dan como resultado la formación de embriones somáticos y la regeneración de nuevas plantas (Komamine et al., 2005). Por eso la presente investigación justifica el uso del potencial embriogénico de los cacaos criollos de El Salvador, como una metodología de micropropagación de individuos con características genéticas superiores.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó durante los meses de abril de 2018 a marzo de 2019, en el laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ubicada en el departamento de San Salvador a 700 msnm, con coordenadas geográficas de 13°41'24" latitud norte, 89°11'24.01" longitud oeste.

Actividad 1. Selección de genotipos promisorios

Los experimentos se realizaron con cinco genotipos de interés para los investigadores: CPS1-23, Rojo, Amarillo, Verde y el clon internacional TSH-539 escogidos por sus características de productividad, adaptabilidad y tolerancia a enfermedades. Los primeros cuatro materiales corresponden a un germoplasma propagado por semilla, el quinto material tiene su pedigrí reportado como ICS 1 x SCA 6 (Perea et al., 2013).

Los materiales seleccionados forman parte del Banco de Germoplasma de Cacao de la Facultad de Ciencias Agronómicas ubicado al costado oeste de la Facultad en el Campus Universitario en San Salvador a 700 msnm, con coordenadas geográficas de 13°41'24" latitud norte, 89°11'24.01" longitud oeste.

Actividad 2. Establecimiento del protocolo de desinfección

Se realizaron diversas pruebas preliminares para el establecimiento del protocolo definitivo de desinfección de los explantes. A continuación, se describe el procedimiento final de desinfección de botones florales utilizado en la investigación.

Selección de botones florales

Se colectaron los botones florales de los genotipos seleccionados antes de las 9:00 a. m. en frascos de plástico tipo tubos Falcon que contenían 25 mL de suero sin colorante con el fin de mantener hidratados y protegidos los botones florales. Los botones florales que se utilizaron consistieron en aquellos con un desarrollo de 4-5 mm de longitud, completamente cerrados, con una apariencia hinchada, sin manchas ni ataque de insectos o enfermedades (Figura 1).

Desinfección superficial de los botones florales

Posterior a su recolección, los botones florales se llevaron al Laboratorio de Biotecnología Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas y en el Área de Cultivo de Tejidos Vegetales se procedió a su desinfección. Para ello, en la cámara de flujo laminar se decantó el suero y se lavaron tres veces con agua desmineralizada estéril. Los botones florales se transfirieron a una solución con fungicida comercial (Azoxystrobin) (0.1g/250 ml) durante 30 minutos en agitación manual constante y se enjuagaron con agua destilada estéril. Después, se lavaron con una solución de 5 % de hipoclorito de calcio (CaOCl, 5g/100 mL) con agitaciones manuales constantes durante 15 minutos. Transcurrido este tiempo, los botones florales se lavaron tres veces con agua destilada estéril).

Figura 1

Colecta de botones florales de cinco genotipos a evaluar



Actividad 3. Establecimiento de los protocolos de embriogénesis somática

Se utilizaron los protocolos publicados por García et al. (2018) y Guillou et al. (2018) (tabla 1). Los pasos que se realizaron en la presente investigación basados en los protocolos mencionados fueron los siguientes:

Establecimiento de los medios de inducción y crecimiento de callo

El medio de inducción a callo (PCG) se estableció como se señala en la tabla 1.

Seguido del periodo inicial de la inducción de callo a partir de los explantes, se determinó utilizar el medio de crecimiento de callo secundario (SCG). Éste se llamó SCG1 al descrito por García et al. (2018) y SSG2 al publicado por Guillou et al. (2018) (Tabla 2)

Establecimiento de los medios de expresión y desarrollo de embriones

Posterior a la inducción de callo a partir de los explantes, se determinó utilizar el medio de expresión (CC2) propuesto por Guillou et al. (2018) y el medio de desarrollo de embriones (ED4) descrito por García et al. (2018) (Tabla 3).

Establecimiento de los medios de desarrollo secundario de embriones

Los embriones formados en los medios descritos anteriormente se subcultivaron en medios de desarrollo secundario de embriones denominado ED3 por García et al. (2018) (Tabla 4) y en el medio CC2. Cabe resaltar que el medio CC2 propuesto por Guillou et al. (2018) para esta etapa debería contener el regulador de crecimiento 2,4,5-T (1mg/L),

Tabla 1

Composición del medio de inducción de callo (PCG) modificado a partir de García et al. (2018) y Guillou et al. (2018)

Componentes	Cantidad (mg/L)
Macronutrientes DKW	100 %
Micronutrientes DKW	100 %
Vitaminas	
Inositol	200
Tiamina	0.2-2.0
Ácido nicotínico	1.0
Aminoácidos	
Glicina	2.0
Triptófano	1.0
Glutamina	250
Reguladores de crecimiento	
2,4-D	2.0
TDZ	0.005
Otros (g/L)	
Glucosa	20
Fitagel	2.5
pH	5.6-5.8

Tabla 2

Composición del medio de crecimiento de callo secundario (SCG) modificado a partir de García et al. (2018) (SCG1) y Guillou et al. (2018) (SCG2)

Componentes	mg/L	
	SCG1 García et al. (2018)	SCG2 Guillou et al. (2018)
Macronutrientes	WPM (100%)	WPM (100%)
Micronutrientes	WPM (100%)	WPM (100%)
Vitaminas		
Inositol	100	100
Tiamina	10	10
Ácido Nicotínico	1	1
Piridoxina	1	1
Aminoácidos		
Glicina	---	2
Reguladores de crecimiento		
2,4-D	2	2
BA	0.05	--
Kinetina	---	0.25
Otros (g/L)		
Leche de coco	---	50mL
Glucosa	20	20
Fitagel	2.2	3
pH	5.8	5.6

Tabla 3

Composición del medio de expresión (CC2) modificado a partir de Guillou et al. (2018) y medio de desarrollo de embriones (ED4) modificado de García et al. (2018)

Componentes	mg/L	
	ED4 García et al. (2018)	CC2 Guillou et al. (2018)
Macronutrientes	DKW (100%)	MS (100%)
Micronutrientes	DKW (100%)	DKW (100%)
Vitaminas		
Inositol	100	100
Tiamina	2	2
Ácido Nicotínico	1	1
Piridoxina	1	1
Aminoácidos		
Glicina	2	2
Lisina	---	0.4
Leucina	---	0.4
Arginina	---	0.4
Triptófano	---	0.2
Reguladores de crecimiento		
Adenina	---	0.025
Otros (g/L)		
Glucosa	40	30
Fitagel	2	3
pH	5.8	5.6

Tabla 4

Composición del medio de desarrollo secundario de embriones (ED3) modificado de García et al. (2018)

Componentes	mg/L
	García et al. (2018)
Macronutrientes	DKW (100%)
Micronutrientes	DKW (100%)
Vitaminas	
Inositol	100
Tiamina	2
Ácido Nicotínico	1
Piridoxina	1
Aminoácidos	
Glicina	2
Lisina	---
Leucina	---
Arginina	---
Triptófano	---
Reguladores de crecimiento	
Adenina	---
Otros (g/L)	
Glucosa	30
Fitagel	2
pH	5.8

pero que debido a la ausencia de este reactivo en el Laboratorio se decidió seguir utilizando el medio CC2).

Actividad 4: Establecimiento de ensayos

Se realizaron diferentes ensayos para la evaluación del potencial embriogénico de los genotipos de cacao salvadoreño.

Disección y siembra de explantes

En la cámara de flujo laminar y mediante el uso de pinzas y bisturís estériles se disectó un tercio de la longitud de los botones florales para exponer los órganos internos como los estaminodios y los pétalos (Figura 2).

Se diseccionaron los cinco pétalos (específicamente la base de los pétalos) y se transfirieron separadamente en placas de Petri de 100x15 mm que contenían 30 mL de medio PCG (medio de inducción de callo).

La siembra se realizó asegurando un buen contacto del explante con el medio y con una distribución uniforme de 25 estaminodios o 25 pétalos por placa de Petri.

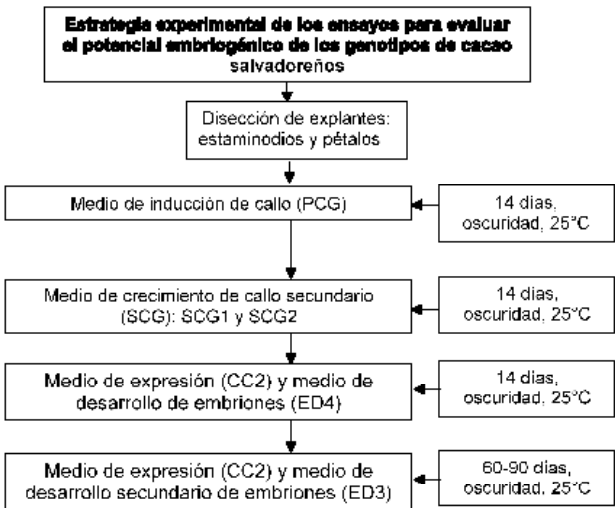
Posteriormente, se les colocó doble capa de plástico PlasticWrap para sellarlas e identificarlas. Las placas se dejaron en completa oscuridad a una temperatura de 25 °C durante 14 días.

Actividad 5: Evaluación preliminar de la embriogénesis somática

Los embriones somáticos producidos fueron evaluados mediante la observación y descripción del número de embriones por callo, color, tamaño, tipo de callo productor de embriones y las diferencias de los callos originados a partir de estaminodios y pétalos.

Figura 2

Estrategia experimental de los ensayos desarrollados para evaluar el potencial embriogénico de los genotipos de cacao salvadoreños



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Etapa 1, el objetivo es inducir en los explantes la expresión embriogénica, la cual se comprueba con la formación de callos embriogénicos en la etapa siguiente.

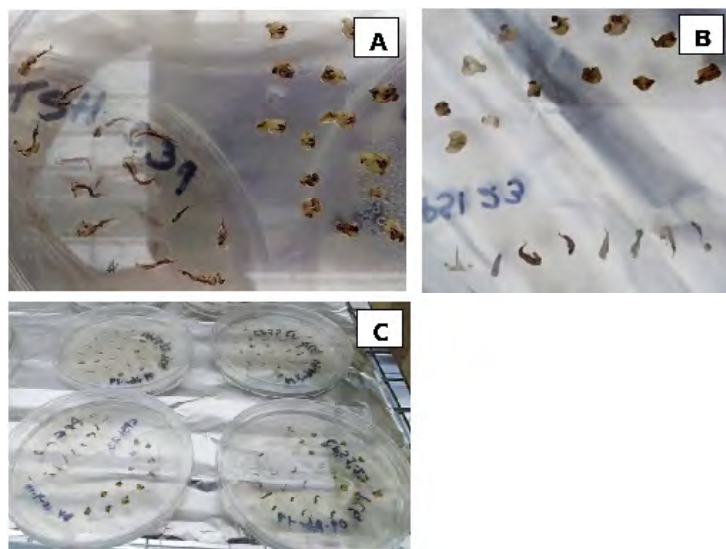
Los explantes cultivados en los medios PCG incrementaron dos veces su tamaño original y posteriormente sobre su superficie se formó un callo compacto blanco de forma granular, después de 14 días en el cultivo (Figura 3), la cual se comprueba con la formación de callos embriogénicos en la etapa siguiente. Varios autores afirman que las diferencias en la respuesta callogénica y embriogénica en cacao dependen del genotipo, las condiciones de cultivo y el tipo de explante (López Báez et al., 2001; Maximova et al., 2002; Chantásig, 2004). Con base en los estudios de García et al., (2018), mencionan que las bajas concentraciones de TDZ usadas en esta etapa afectan positivamente el crecimiento del callo, la frecuencia de embriogénesis y el número de embriones somáticos producidos por cada explante sensible.

Las variables evaluadas en el ensayo fueron determinadas a partir de botones florales inmaduros en medios de inducción de callo (Figura 3). El Genotipo Verde (E) presentó cualitativamente la mayor formación de callo, de consistencia friable y color amarillo crema y el de menor resultado fue el genotipo Rojo (D) con una coloración rojiza debido a la presencia de antocianinas la consistencia es friable; los genotipos CPS1-23 y TSH-539 presentaron un comportamiento intermedio y consistencia seca y color blanquecino. El clon TSH-539, presentó mayor tamaño de callo y diferencias en tamaño en los medio SCG1 y SCG2 mientras que los demás genotipos mostraron menor crecimiento en el mismo medio (Figura 4).

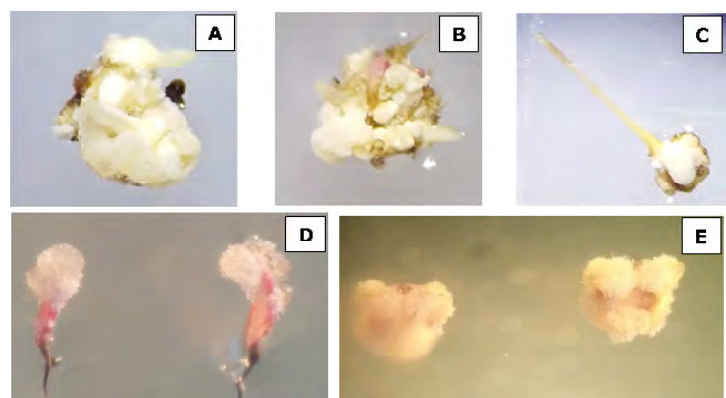
Li et al. (1998), reportaron que durante los explantes permanecieron en el medio de cultivo SCG, observaron al final del subcultivo estructuras similares a embriones somáticos en etapa globular en la superficie del callo; aunque no llegaron a desarrollarse.

Figura 3

nducción de formación de callo en medios PCG después de 14 días en completa oscuridad a 25 °C. A: Estaminodios y pétalos del clon TSH-539; B: Estaminodios y pétalos del material CPS1-23; C: Placas Petri con medios PCG conteniendo explantes de los genotipos Rojo, Amarillo y Verde-21

**Figura 4**

Crecimiento de callo secundario en medios SCG a los 14 días de cultivo. Callos formados a partir de pétalos de TSH-539 en medio SCG1 (A) y SCG2 (B). (C) Callo y raíz a partir de pétalos de CPS1-23 en medio SCG1. Inicio de formación de callo a partir de estaminodios (D) y pétalos (E) siete días después de iniciado el cultivo

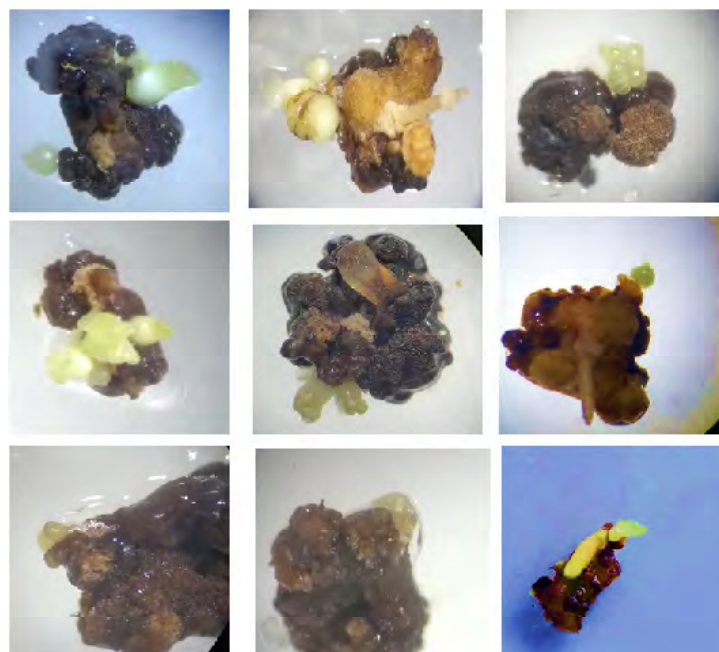


En general se observa que para todos los genotipos el mejor medio fue el SCG-1, que contenía TDZ y glucosa, favoreciendo el crecimiento y apariencia del callo friable; mientras que en el medio SCG-2, siempre favoreció, pero fue menor el crecimiento. Estos resultados concuerdan con lo obtenido por Guiltinan et al. (2000), ellos confirman que usar bajas concentraciones de TDZ al medio de cultivo (0.005mg-1 mg/L) favorece la formación y la apariencia del callo friable a partir de explantes florales de cacao.

En la Etapa 2, se busca el desarrollo de callo embriogénico y la formación de embriones en estado globular, pero en diferentes grados según el genotipo. Respuesta embriogénica en dos genotipos nacionales de cacao presentes en el banco de germoplasma de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador (Figura 5).

Figura 5

Respuesta positiva a la embriogénesis somática en callos regenerados de pétalos de dos genotipos: TSH 539 y accesión verde-21



Se observó que todos los genotipos presentan un alto índice de fenoles, este proceso de fenolización afecta los tejidos vegetales in vitro, El cultivo en completa oscuridad puede ayudar a controlar el proceso de oxidación de fenoles, es por ello por lo que estos genotipos tienen más contenido fenólico que muestran mejores respuestas cuando son sometidos a oscuridad total (García et al., 2018).

Otra condición que se observó en el medio de cultivo con el Clon TSH-539 fue una necrosis no sincronizada que se mantuvo durante todo el subcultivo. Los estaminodios no experimentaron esta necrosis y continuaron su crecimiento sin la formación de embriones somáticos. Cuando se realizó el segundo subcultivo de los explantes para la formación de embriones, se observó la presencia de estos en los pétalos y estaminodios del Clon TSH-539 y la accesión verde en diferentes etapas de desarrollo globular (figura 5), corazón y torpedo. Así lo menciona Díaz-López et al., (2015) en estudios similares.

En cuanto al medio de cultivo se afirma que el medio con balance hormonal de 2,4-D dio mejor resultado dependiendo del genotipo en condiciones de oscuridad; comparado con el medio con balance hormonal Kinetina y 2,4-D para la variable en estudio. Al respecto Taiz y Zeiger (1998), menciona que la respuesta de los tejidos a la adición externa de reguladores de crecimiento, puede deberse a la interacción con los contenidos endógenos de otros reguladores presentes en el tejido vegetal.

Resultados similares obtuvo Guiltinan et al. (2000), en cuanto observaron en algunos callos la presencia de raíces, embriones cuyas partes radical y apical no se desarrollaron normalmente, así como la ocurrencia de embriogénesis secundaria en uno de los embriones somáticos primarios.

Según Guillou et al. (2018), plantean que el potencial embriogénico se da en diferentes periodos de un ciclo de multiplicación contando el número

de embriones producidos después de cuatro semanas de su transferencia al medio de expresión CC2. En este estudio cuando los callos de pétalo fueron subcultivados cada 14 días en el medio CC2 que contenía la auxina adenina 0.25 mg-1, el número total de embriones somáticos fue de 27, después de 28 días fueron 40 embriones de los dos genotipos estudiados.

Es importante destacar que los estaminodios no experimentaron necrosis y continuaron su crecimiento y conservaron su coloración amarillo crema en la mayoría de los genotipos en estudio, pero sin la formación de embriones somáticos (Tabla 5).

Después de realizar el segundo subcultivo para la formación de embriones y transferirlos al medio CC2, por 14 días en oscuridad, se observó la presencia de estos en pétalos y estaminodios en algunos genotipos; después de 28 días fueron transferidos al medio ED3 y ED4 para su desarrollo. La mayor cantidad de embriones por explante se obtuvo con ED3 utilizando glucosa como fuente de energía. En general se produjeron callos rizogénicos cuando fueron cultivados en ED4 (Li et al.,1998; Maximova et al., 2002 y Guillou et al., 2018) reportan similares resultados.

Los estaminodios siempre mostraron mejor formación de callo que los pétalos, esto puede deberse a la naturaleza de las células que los conforman; el cojinete floral donde los estaminodios se encuentran fundidos en la base con los estambres y cerca de la zona meristemática floral, su parte basal es un área pequeña menor que la de los pétalos,

Tabla 5

Respuesta a la inducción de embriones a partir de callos de cinco genotipos de cacao y dos tipos de explante. Los datos fueron colectados entre 70-80 días después de iniciado el cultivo en medios CC2 y ED3

Genotipos de cacao evaluados	Tipo de explante	
	Pétalo	Estaminodio
CPS1-23		
Rojo		
Verde-21		
Amarillo		
TSH-539		

a medida que las células se alejan de la zona meristemática adquieren gradualmente un estado de diferenciación (Pérez-Núñez, 2006).

Al momento de la siembra, en el medio de cultivo la mayor parte de la superficie del estaminodio queda en contacto con el medio debido a su estructura recta y alargada, a diferencia de los pétalos que tienen una curva en forma de cuello de cisne entre la capucha y la lígula, que dificulta un mayor contacto con el medio. Por lo anterior, los estaminodios pueden ser un tejido más apto para la formación de callo, producido por una división mitótica temprana y la dediferenciación de las células somáticas. (Urrea et al., 2011).

García et al. (2018), identificaron dos tipos de embriones somáticos: el tipo I permanecen latentes o sin raíces son lentos o no se producen; los de tipo II son de color blanco, con un eje embrionario definido, su color verde es rápido y las hojas se producen de dos a tres semanas; lo que contrasta con los hallazgos de esta investigación.

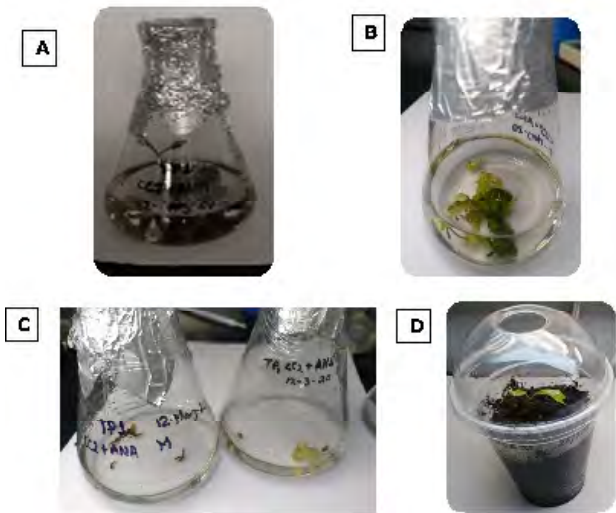
Etapa 3 Conversión de embriones somáticos en medio líquido (EDL) y Endurecimiento de plántulas (Figura 6).

Los embriones maduros del clon TSH-539 y de la accesión Verde-21 fueron seleccionados para conversión de plántula, se observó una variación en la conversión entre los dos genotipos de cacao. El TSH 539 mostró más altas conversiones que el genotipo Verde-21 esta variación puede estar relacionada con las características morfológicas de los embriones. Además, el genotipo Verde-21 presentó embriones normales, mientras que la mayoría de los embriones producidos por TSH-539 se presentan fusionados y poco desarrollados al igual que Ribeiro et al. (2008).

Marino y Berardi (2004) definen que dióxido de carbono y el etileno son producidos por los tejidos de las plantas cultivadas in vitro, estos gases pueden acumularse a niveles altos dentro de los frascos; además la baja luminosidad y reducido intercambio de gas dentro de los frascos puede

Figura 6

Germinación de embriones somáticos TSH-539 y conversión en planta (A); Embrión somático CPS1-23 en etapa globular (B);Embriones genotipos -Rojo y Amarillo en etapa globular (C); Endurecimiento de planta de cacao en vaso plástico con suelo genotipo Verde-21(D)



ser perjudicial para el crecimiento y regeneración celular; al mismo tiempo las tapaderas de microporo permiten un mejor intercambio gaseoso con el medio ambiente externo reduciendo los compuestos mencionados. Este dato es muy similar en los resultados obtenidos en esta etapa, donde las plántulas del clon TSH-539 murieron y solo una plántula del genotipo Verde-21 paso a la fase de endurecimiento.

CONCLUSIONES

El clon TSH-539 y los genotipos verde-21, amarillo y CPS1-23 mostraron respuesta embriogénica en diferentes grados, a excepción del genotipo rojo que produjo un callo granular translúcido muy friable, afirmando la alta dependencia del genotipo, medios de cultivo, reguladores de crecimiento y el tipo de explante.

En todos los genotipos los estaminodios cultivados en TDZ y glucosa son los explantes con mejor respuesta para la inducción de callo embriogénico y friable, pero una vez formados los callos, los pétalos son más aptos para la formación de embriones somáticos primarios.

El balance Hormonal 2,4 D (2,4 - diclorofenoxiacético) y Kinetina (6-furfuril adenina), dio el mejor resultado para el desarrollo de estructuras pro embriogénicas.

En este trabajo se obtuvieron embriones somáticos del clon internacional TSH-539 y un genotipo salvadoreño identificado como Verde-21, solo estos dos genotipos se desarrollaron hasta la etapa cotiledonar. Posteriormente se desarrollaron hasta plántulas en el medio ED3 y ED4. Un tiempo prolongado en este medio favoreció buen desarrollo en altura y raíz, aspecto que permitió la adaptación *ex vitro* exitosa. Por otro lado, los pobres resultados obtenidos con los otros genotipos CPS1-23, genotipo rojo y genotipo amarillo que reafirman el fuerte efecto genotípico en la embriogénesis somática de *Theobroma cacao*. Este es el primer reporte de conversión a plántula y adaptación *ex vitro* exitosa en un genotipo salvadoreño de cacao, sin embargo, se requiere más investigación al respecto para superar la recalcitrancia asociada a otros genotipos de cacao.

AGRADECIMIENTO

Al Consejo de Investigaciones Científicas de la Universidad de El Salvador (CIC-UES), por el apoyo financiero proporcionado a esta investigación, donde se ha fortalecido el conocimiento y las instalaciones del Laboratorio de Biotecnología en el área de Cultivo de Tejidos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

REFERENCIAS

Aguilar, M. (1990). Obtención de plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) a partir del microinjerto de embriones somáticos [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza].

Castañeda, V., Hernández, L., Quintanilla, G., Morán, A., Morazán, I., & Gómez, M. (2015). La bioprospección del cacao criollo de El Salvador: Redescubriendo la riqueza de un centro de domesticación de cacao prehispánico en Mesoamérica. *Revista El Salvador Ciencia y Tecnología*, 20(29).

Chanatásig, C. (2004). Inducción de la embriogénesis somática en clones superiores de cacao (*Theobroma cacao* L.) con resistencia a enfermedades fungosas [Tesis de maestría, Escuela de Posgrado del Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza].

Díaz López, A., Sánchez, D., Valera Leal, J., & Vegas García, A. L. (2015). Formación de embriones somáticos en cinco cultivares de *Theobroma cacao* L. cultivados en Venezuela. *Biotechnología Vegetal*, 15, 27–34.

Esan, E. (1977). Tissue culture studies on cacao (*Theobroma cacao* L.): A supplementation of current research. En *Proceedings of the 5th International Cacao Research Conference* (pp. 116–125). Cocoa Research Institute of Nigeria.

García, C., Marelli, J., Motamayor, J., & Villela, C. (2018). Somatic embryogenesis in *Theobroma cacao* L. *National Institute of Health*, 1815, 227–245.

Guillou, C., Fillodeau, A., Brulard, E., Verdier, D., Simon, M., & Ducos, J. P. (2018). Indirect somatic embryogenesis of *Theobroma cacao* L. in liquid medium and improvement of embryo-to-plantlet conversion rate. *In Vitro Cellular & Developmental Biology Plant*, 54, 377–391.

Guiltinan, M., Alemanno, A., Young, A., & Maximova, S. (2000). Method and tissue culture media for inducing somatic embryogenesis and efficient regeneration of plant cacao (U.S. Patent No. 6,150,587). United States Patent and Trademark Office.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2012). Diagnóstico y caracterización de la cadena agroproductiva de cacao en El Salvador. IICA.

Komamine, A., Murata, N., & Nomura, K. (2005). Mechanisms of somatic embryogenesis in carrot suspension cultures: Morphology, physiology, biochemistry, and molecular biology. *In Vitro Cellular & Developmental Biology Plant*, 41, 6–10.

Li, Z., Traore, A., Maximova, S., & Guiltinan, M. (1998). Somatic embryogenesis and plant regeneration from floral explants of cacao (*Theobroma cacao* L.) using thidiazuron. *In Vitro Cellular & Developmental Biology Plant*, 34, 293–299.

López-Báez, O., Moreno, J., & Pacheco, S. (2001). Avances en propagación de cacao (*Theobroma cacao*) por embriogénesis somática en México. En *Proceedings of the International Workshop on New Technologies and Cocoa Breeding* (pp. 163–177). INGENIC.

Marino, G., & Berardi, G. (2004). Different sealing materials for Petri dishes strongly affect shoot regeneration and development from leaf explants of quince 'BA 29'. *In Vitro Cellular & Developmental Biology Plant*, 40, 384–388.

Maximova, S., Alemanno, L., Young, A., Ferriere, N., Traore, A., & Guiltinan, M. (2002). Efficiency, genotypic variability, and cellular origin of primary and secondary somatic embryogenesis of *Theobroma cacao* L. *In Vitro Cellular & Developmental Biology Plant*, 38, 252–259.

- Mejía, F., & Palencia, C. (2000). Manejo integrado del cultivo del cacao. CORPOICA.
- Perea, A., Martínez, N., & Aránzazu, F. (2013). Características de calidad del cacao de Colombia: Catálogo de 26 cultivares. FEDECACAO.
- Pérez-Núñez, M., Chan, J., Sáenz, L., González, T., Verdeil, J., & Oropeza, C. (2006). Improved somatic embryogenesis from *Cocos nucifera* (L.) plumule explants. *In Vitro Cellular & Developmental Biology Plant*, 42, 37.
- Ribeiro, T., Cardoso, R., Cerqueira, F., de Mattos, J., & Cardoso, G. (2008). Somatic embryogenesis and plant regeneration in elite clones of *Theobroma cacao*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43(10).
- Taiz, L., & Zeiger, E. (1998). Plant physiology (2nd ed.). Sinauer Associates.
- Urrea, A., Atehortúa, L., & Gallegos, A. (2011). Regeneración vía embriogénesis somática de una variedad colombiana élite de *Theobroma cacao* L. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 13(2).
- Villalobos, V., & Aguilar, M. A. (1991). Plant regeneration of cacao (*Theobroma cacao* L.) by micro-grafting somatic embryos. En Abstracts of the VIIth International Congress of Plant Tissue and Cell Culture (p. 140). Association for Plant Tissue Culture.
- Yang, X., & Zhang, X. (2010). Regulation of somatic embryogenesis in higher plants. *Critical Reviews in Plant Science*, 29, 36–57.
- Zahid, R., Das, S., Prasad, S., & Shankar, S. (2013). Somatic embryogenesis in monocots. En J. Aslam, P. S. Srivastava, & M. P. Sharma (Eds.), *Somatic embryogenesis and gene expression* (pp. 15–18). Narosa Publishing House.

Inventario de especies arbóreas en el Polígono Centro Urbano Libertad, San Salvador

Inventory of tree species in the Libertad Urban Center, San Salvador

Diana Iris Gómez-Sánchez¹, Rigoberto Antonio Urías-Fernández^{2,4}, Ingrid Altagracia Alfaro-López³

- 1 Pasante Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador
- 2 Docente Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador
- 3 COAMSS-OPAMSS
- 4 ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4198-5818>



ACCESO ABIERTO

REVISTA AGROCIENCIA

Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de El Salvador

ISSN 2522-6509
Enero-Junio 2026
Año X, Número 29
pp.19-23

DOI:
[10.66778/RA.a10n29.03](https://doi.org/10.66778/RA.a10n29.03)

Correspondencia:
rigoberto.urias@ues.edu.sv

Presentado:
25 de octubre de 2025

Revisado:
18 de marzo de 2026

Aceptado:
22 de agosto de 2026

Este es un artículo de acceso
abierto bajo licencia CC BY ([http://
creativecommons.org/licenses/
by/4.0/](http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).



RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo inventariar el arbolado urbano del Sector Centro Urbano Libertad en San Salvador, con el fin de conocer su composición florística, estructura y los servicios ecosistémicos que ofrece, utilizando la herramienta I-Tree Eco. El trabajo de campo se realizó entre agosto y noviembre de 2022 en un área de 8.45 hectáreas, registrando todos los árboles con un diámetro a la altura del pecho (DAP) igual o mayor a 5 cm. Se identificaron 1,012 individuos pertenecientes a 34 familias, 56 géneros y 63 especies, de las cuales el 52% son introducidas y el 48% nativas. El 84 % corresponde a árboles, el 10 % a palmeras y el 6 % a arbustos. Las familias más representativas fueron Arecaceae, Anacardiaceae, Bignoniaceae, Myrtaceae y Fabaceae. Las especies dominantes fueron *Dyopsis lutescens* (palmera egipcia, 12.2 %), *Mangifera indica* (mango, 9.4 %) y *Tabebuia rosea* (maquilishuat, 7.3 %). La densidad promedio fue de 122 árboles por hectárea, concentrándose principalmente en el Pasaje Santander, el Parque El Pañuelo y ANDA. Cerca del 80 % de los individuos presenta diámetros entre 7.6 y 45.7 cm, indicando una población en crecimiento. Los resultados permiten orientar estrategias de manejo, reposición y planificación urbana sostenible en San Salvador.

Palabras claves: Árboles nativos, árboles introducidos, especies arbóreas predominantes.

ABSTRACT

The study aimed to inventory the urban trees in the Libertad Urban Center Sector in San Salvador, in order to determine their floristic composition, structure, and the ecosystem services they provide, using the I-Tree Eco tool. The fieldwork was carried out between August and November 2022 in an area of 8.45 hectares, recording all trees with a diameter at breast height (DBH) equal to or greater than 5 cm. A total of 1,012 individuals belonging to 34 families, 56 genera, and 63 species were identified, of which 52 % are introduced and 48 % are native. Trees account for 84 %, palm trees for 10 %, and shrubs for 6 %. The most representative families were Arecaceae, Anacardiaceae, Bignoniaceae, Myrtaceae, and Fabaceae. The dominant species were *Dyopsis lutescens* (Egyptian palm, 12.2 %), *Mangifera indica* (mango, 9.4 %), and *Tabebuia rosea* (maquilishuat, 7.3 %). The average density was 122 trees per hectare, concentrated mainly in Pasaje Santander, El Pañuelo Park, and ANDA. Nearly 80 % of the individuals have diameters between 7.6 and 45.7 cm, indicating a growing population. The results provide guidance for management, replacement, and sustainable urban planning strategies in San Salvador.

Keywords: Native trees, introduced trees, predominant tree species.

INTRODUCCIÓN

El arbolado urbano se refiere a todos los árboles que se encuentran dentro de las ciudades (árboles de alineación, de parques, de plazas, etc.) y que juegan un papel fundamental, ya que son elementos que contribuyen a la sostenibilidad, crean ambientes más favorables y a mejoran la calidad de vida de las personas (Lin y Li, 2025).

De todos es conocido que los árboles dan sombra, protegen de la lluvia y el viento, añaden belleza al entorno, naturalizan las duras líneas urbanísticas, aportan a los hogares biodiversidad y mucho más (Priego, 2002). Además, juegan un papel importante en la mitigación del cambio climático. A todos estos beneficios que brindan los árboles se les denomina servicios ecosistémicos o ambientales. Cabe mencionar que las especies que constituyen el arbolado urbano pueden crear inconvenientes (daño de aceras y tuberías, interferencia con el tendido eléctrico, daño a viviendas, etc.) o poner en riesgo a los habitantes, si no son manejados de manera adecuada (Aguilar-Rincán et al, 2022).

Por ello, es importante realizar un inventario de las especies que forman parte del bosque urbano del Sector Centro Urbano Libertad y así conocer los servicios ecosistémicos que ofrecen y su valor económico, mediante la utilización de la herramienta I-Tree Eco, para crear nuevas estrategias y llevar a cabo planes de manejo orientados a la gestión de riesgo, la recuperación de espacios públicos y la gestión de establecimiento de nuevo arbolado en la ciudad, como parte de los programas de planificación tanto del COAMSS/OPAMSS, como de la Alcaldía de San Salvador

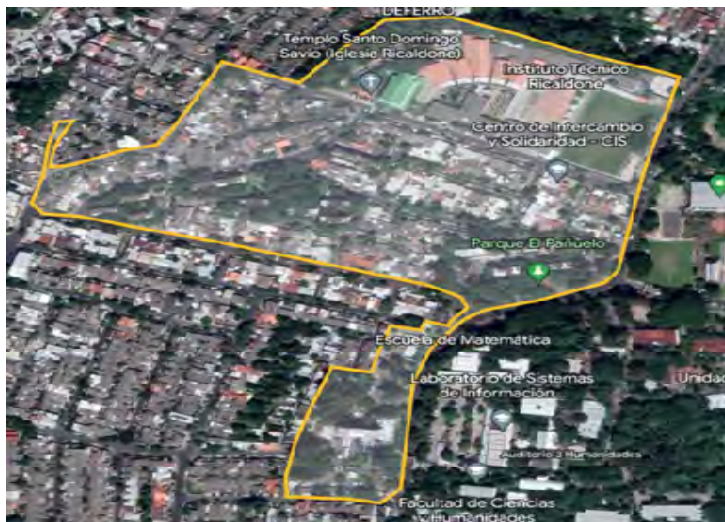
MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción general del área

El proyecto se desarrolló en el Polígono Centro Urbano Libertad ubicado en el departamento de San Salvador, municipio de San Salvador. El Sector del Centro Urbano Libertad tiene un área de aproximada de 17.45 ha. Dentro del área de estudio se encuentran el Instituto Técnico Ricaldone, ANDA, el Parque El Pañuelo y las calles de la Colonia Libertad (Figura 1), coordenadas geográficas 13.7197822° N, 89.2084954° O.

Figura 1

Ubicación del Polígono Centro Urbano Libertad (área de estudio).



Fase de campo

Esta fase se realizó entre los meses de agosto a noviembre 2022, iniciando con una reunión general con la COAMSS-OPAMSS para dar a conocer los aspectos generales del proyecto y definir las estrategias de apoyo para el técnico responsable del proyecto. Posteriormente, se realizaron las gestiones necesarias para ingresar a las Instalaciones de ANDA y del Ricaldone y efectuar el recorrido general por la zona de estudio para definir las estrategias de trabajo durante la fase de campo (Figura 2 y 3). Para realizar el recorrido por la colonia Libertad, se contó con el apoyo de ambos asesores y de la presidenta de la directiva de la colonia (Figura 4).

Figura 2

Recorrido por las instalaciones de ANDA



Figura 3

Recorrido por las instalaciones del Ricaldone



Figura 4

Recorrido por la colonia Libertad con la presidenta de la colonia



Instrumentos y equipos utilizados durante la fase de campo

Los instrumentos y equipos utilizados durante el levantamiento de información de los datos en campo fueron: cinta métrica, GPS, hipsómetro láser y cinta diamétrica (Figura 5).

Recopilación de datos en campo

El programa I-Tree Eco (Nowak, 2020), requiere información de los árboles, lo cual está detallado en un protocolo. Los procedimientos para la recolección de los datos se describen a continuación: Se tomaron en cuenta los árboles con diámetro mayor o igual a 5 cm, tomado a una altura de 1.30 m (Diámetro a la altura del pecho, DAP), ya que son considerados como los elementos estructurales más relevantes de la vegetación. Para registrar la información de los árboles, se utilizó una hoja de campo definida por el programa I-Tree Eco, que incluye las siguientes variables: Código del árbol: definido por el técnico encargado del levantamiento de datos; estatus: ya sea plantado, por dispersión natural o desconocido; datos del árbol: nombre común, diámetro del tronco a una altura de 1.30 m, altura total, altura copa verde, altura rama más baja, ancho de copa (en dos direcciones, de norte a sur y de este a oeste), porcentaje de muerte regresiva, porcentaje de copa ausente, porcentaje de superficie impermeable, copa expuesta a la luz, conflicto con aceras y conflicto con tendido eléctrico.

Fase de procesamiento de información

Creación del proyecto en el programa I-Tree Eco: en el cual se incorporó toda la información recopilada en campo según los requerimientos establecidos por el modelo; elaboración de base de datos en Excel: con la información de los árboles que se obtuvo en campo, se elaboró una base de datos en Excel; incorporación de los datos en el programa I-Tree Eco: la base de datos creada en Excel, se verificó con la base de datos de I-Tree, específicamente, el nombre científico y código de cada una de las especies encontradas en la zona de estudio. Una vez verificada dicha información se incorporó en I-Tree: Se realizó el envío de los datos verificados, en el programa I-Tree, al Servicio Forestal de los Estados Unidos; Recepción del reporte de los datos analizados por el Servicio Forestal de los Estados Unidos.

Fase de análisis de los datos y elaboración de informe

Se realizó el análisis e interpretación de los resultados enviados por el Servicio Forestal de los Estados Unidos en el reporte generado por la herramienta I-Tree. Con esta información se elaboró el informe técnico final en el cual se incluye la composición florística y estructura del arbolado de la zona de estudio.

Figura 5

Equipo utilizado para el levantamiento de datos en campo



RESULTADOS Y DISCUSION

Composición florística

La composición florística de la zona de estudio está integrada por 1,012 individuos encontrados en la zona de estudio que se logró medir, que fue de 8.45 ha. Están comprendidos en 34 familias, 56 géneros y 63 especies, los cuales se muestran tabla 1. De las especies encontradas, el 52 % son introducidas o exóticas y el 48 % son nativas, el 84 % son árboles, el 10 % son palmeras y el 6 % son arbustos.

Generalmente los bosques urbanos o periurbanos están compuestos de una mezcla de especies de árboles nativos y exóticos. El aumento en la diversidad de árboles puede minimizar el impacto general o la destrucción por un insecto o enfermedad específica de una especie, pero también puede presentar un riesgo para las plantas nativas si algunas de las especies exóticas son plantas invasivas con el potencial de ser más competitivas y desplazar a las especies nativas (Lapin et al., 2025). Las especies de plantas invasivas a menudo se caracterizan por su vigor, habilidad de adaptarse, capacidad de reproducción y falta general de enemigos naturales. Dichas habilidades les permiten desplazar a las plantas nativas y convertirlas en una amenaza para las áreas naturales (Poljuha y Sladonja, 2025).

Comportamiento de especies arbóreas, palmeras y arbustivas

La familia con el mayor número de individuos fue Arecaceae con 228 individuos (palmeras) y dentro de ésta, *Dypsis lutescens* (palmera egipcia) es dominante con 124 individuos, es una especie introducida y por sus características ornamentales es una opción para las personas para decorar sus aceras (Friedman et al., 2022).

La segunda familia más numerosa es la Anacardiaceae con 123 individuos (árboles) de los cuales 95 corresponden a *Mangifera indica* (mango), que también es una especie introducida y que por ser una especie frutal las personas optan por su siembra (Llor Marquinez et al., 2023), muchas veces, sin saber el daño que pueden causar a las aceras y tendido eléctrico si no se les da un manejo adecuado y constante.

Las familias que le siguen en cuanto a número de individuos son la Bignoniaceae, Myrtaceae y Fabaceae, con 118, 79 y 65 individuos, respectivamente. Las especies más destacadas de estas familias son *Tabebuia rosea* (maquilishuat) que es una especie nativa (González et al., 2018), *Syzygium cumini* (cerezo) que es una especie introducida y *Cassia siamea* (flor amarilla) que también es una especie introducida. En cuanto a especies arbustivas las más dominantes son *Dracaena fragrans* (izote extranjero) y *Yucca gigantea* (izote nacional) con 28 y 21 individuos respectivamente.

Estructura del bosque

El bosque urbano del Centro Urbano Libertad tiene 1,012 árboles donde las tres especies más abundantes son *Dypsis lutescens* (12,2 %), *Mangifera indica* (9,4 %) y *Tabebuia rosea* (7,3 %). La densidad promedio es de 122 árboles/hectárea. Las densidades más altas de árboles presentes en el Centro Urbano Libertad se pueden visualizar en la figura 6 y suceden en el Pasaje Santander seguido por Parque El Pañuelo y ANDA.

La estructura del arbolado del Centro Urbano Libertad, también se puede visualizar por clases diamétricas en la figura 7. Se puede observar que el mayor número de individuos, aproximadamente el 80 %, se encuentran entre la segunda y cuarta clase diamétrica, es decir entre 7.6 y 45.7 cm

Tabla 1

Composición florística encontrada en el Sector Centro Urbano Libertad

Familia	Nombre científico	Nombre común	Individuos en CUL	Origen
Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i>	Mango	95	I
	<i>Anacardium occidentale</i>	Marahón	16	I
	<i>Spondias purpurea</i>	Jocote	12	N
Annonaceae	<i>Annona muricata</i>	Guanaba	6	N
	<i>Annona reticulata</i>	Anona	12	N
	<i>Cananga odorata</i>	Ilan ilan	2	I
	<i>Polkaia longifolia</i>	Polialto	1	I
Araliaceae	<i>Dendropanax arboreus</i>	Mano de león	2	N
Araucariaceae	<i>Araucaria araucana</i>	Araucaria	2	I
Arecaceae	<i>Adonidia merrillii</i>	Palmera miami	36	I
	<i>Brahea salvadorensis</i>	Palmera sombrero	6	N
	<i>Phoenix roebelenii</i>	Palmera pigmea	31	I
	<i>Roystonia regia</i>	Palmera regia	27	I
	<i>Dypsis lutescens</i>	Palmera egipcia	124	I
Asparagaceae	<i>Cocos nucifera</i>	Cocotero	4	N
	<i>Dracaena fragrans</i>	Izote extranjero	28	I
	<i>Yucca gigantea</i>	Izote	21	I
	<i>Tabebuia chrysantha</i>	Cortés blanco	8	N
Bignoniaceae	<i>Spathodea campanulata</i>	Llama del bosque	5	I
	<i>Tabebuia rosea</i>	Maquishuat	74	N
	<i>Crescentia alata</i>	Morro	1	N
Bombacaceae	<i>Tecoma stans</i>	San Andrés	30	N
	<i>Ceiba pentandra</i>	Ceiba	1	N
Burseraceae	<i>Commiphora myrra</i>	Mirra	1	I
Casuarinaceae	<i>Casuarina equisetifolia</i>	Casuarina	62	I
Cecropiaceae	<i>Cecropia obtusifolia</i>	Guarumo	5	N
Clusiaceae	<i>Calophyllum brasiliense</i>	Barío	6	N
Combretaceae	<i>Terminalia catappa</i>	Almendra de playa	27	I
Cupressaceae	<i>Cupressus lusitánica</i>	Ciprés	8	N
	<i>Thuja orientalis</i>	Tuya	6	I
Dilleniaceae	<i>Dillenia indica</i>	Magnolia	9	I
	<i>Delonix regia</i>	Flor de fuego	5	I
	<i>Myrciophora balsamum</i>	Bálsamo	14	N
Fabaceae	<i>Cassia siamea</i>	Flor amarilla	23	I
	<i>Gliricidia sepium</i>	Madrecacao	4	N
	<i>Pithecellobium dulce</i>	Mangollano	4	N
	<i>Andira inermis</i>	Almendra de río	15	N
Lamiaceae	<i>Tectaria grandis</i>	Teca	7	I
Lauraceae	<i>Persea americana</i>	Aguacate	24	N
Lythraceae	<i>Lagerstroemia speciosa</i>	Júpiter de java	5	I
Magnoliaceae	<i>Michelia champaca</i>	Falsa magnolia	3	I
Malpighiaceae	<i>Byrsonima crassifolia</i>	Nance	3	N
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i>	Cedro	2	N
Moraceae	<i>Ficus obtusifolia</i>	Amate	2	N
	<i>Ficus benjamina</i>	Laurel de la india	51	I
Moringaceae	<i>Moringa oleifera</i>	Moringa	4	I
Muntingiaceae	<i>Muntingia calabura</i>	Capulín	1	N
	<i>Callistemon speciosus</i>	Calistemo	16	I
Myrtaceae	<i>Syzygium malaccense</i>	Marahón japonés	3	I
	<i>Eucalyptus deglupta</i>	Eucalipto	7	I
	<i>Psidium guajava</i>	Guayabo	14	N
	<i>Psidium friedrichthalianum</i>	Arrayán	15	N
Pinaceae	<i>Syzygium cumini</i>	Cerezo	24	I
	<i>Pinus caribaea</i>	Pino	46	I
Piperaceae	<i>Piper tuberculatum</i>	Cordoncillo	4	N
Polygonaceae	<i>Triplaris melanodendron</i>	Mulato	12	N
Rubiaceae	<i>Morinda citrifolia</i>	Noni	1	I
Rutaceae	<i>Citrus limon</i>	Limón	4	I
	<i>Citrus sinensis</i>	Naranja	1	I
Sapindaceae	<i>Melicoccus bijugatus</i>	Mamón	4	I
Sapotaceae	<i>Mansikara zapota</i>	Zapote	3	N
Simaroubaceae	<i>Chrysophyllum cainito</i>	Caimito	1	N
	<i>Simarouba glauca</i>	Acetuno	22	N

Figura 6
Número de árboles/ha por estrato en Centro Urbano Libertad

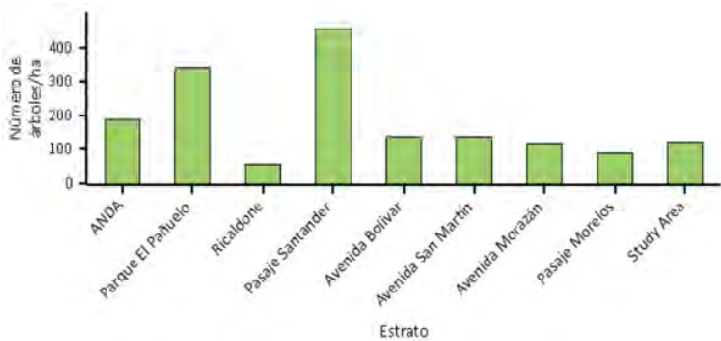
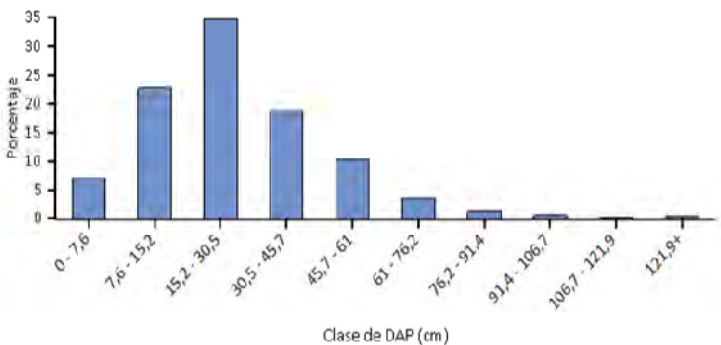


Figura 7
Distribución de la población de árboles por clase diamétrica



de diámetro a la altura del pecho; el 7 % son individuos con diámetros pequeños lo que indica que se encuentran en las primeras fases de crecimiento.

CONCLUSIÓN

La composición florística del Centro Urbano Libertad está integrada en 34 familias, 56 géneros y 63 especies, dentro de las cuales el 52 % son introducidas y el 48 % son nativas. El 84 % son árboles, el 10 % son palmeras y el 6 % son arbustos. Las familias más numerosas en cuanto a densidad de individuos son Arecaceae (228 individuos), Anacardiaceae (123 individuos), Bignoniaceae (118 individuos), Myrtaceae (79 individuos) y Fabaceae (65 individuos). Las tres especies más abundantes son *Dypsis lutescens* (124 palmeras, 12,2 %), *Mangifera indica* (95 árboles, 9,4 %) y *Tabebuia rosea* (74 árboles, 7,3 %). Aproximadamente el 80 % de los individuos del área de estudio, se encuentran entre la segunda y cuarta clases diamétricas, es decir, de 7.6 a 45.7 cm de diámetro a la altura del pecho.

REFERENCIAS

Aguilar-Rincán, K., Cruz-Cruz, M., Salmerón-Rodríguez, N., Castaneda-Romero, L., & Tejada-Asencio, J. (2022). Caracterización,

servicios ecosistémicos del arbolado y lineamientos generales para la arborización en aceras de la ciudad de San Salvador, El Salvador. *Revista Agrociencia*, 5(21), 54–66. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10611868>

Friedman, M. H., Andreu, M. G., Quintana, H. V., & McKenzie, M. (2022). *Dypsis lutescens*, areca palm (FOR 247/FR309). UF/IFAS Extension, School of Forest, Fisheries, and Geomatics Sciences. <https://doi.org/10.32473/edis-fr309-2010>

Priego González de Canales, C. (2002). Beneficios del Arbolado Urbano. (en línea). Consultado 28 may. 2023. Disponible en <https://digital.csic.es/bitstream/10261/24578/1/Beneficios%20del%20arbolado%20urbano.pdf>

González Hernández, A., Magaña Alejandro, M. A., & Sol Sánchez, Á. (2018). Servicios ecosistémicos brindados por *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. Centro, Tabasco, México. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 4(7). <https://doi.org/10.5377/ribcc.v4i7.6310>

Lapin, K., Oettel, J., Braun, M., & Konrad, H. (Eds.). (2025). Ecological connectivity of forest ecosystems. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-82206-3>

Lin, H., & Li, X. (2025). The Role of Urban Green Spaces in Mitigating the Urban Heat Island Effect: A Systematic Review from the Perspective of Types and Mechanisms. *Sustainability*, 17(13), 6132. <https://doi.org/10.3390/su17136132>

Loor Marquínez, E. Y., Ortega, J. G., Morán Morán, J., Narváez Campana, W., & Fuentes Figueroa, T. (2023). Situación actual y perspectivas del cultivo de mango (*Mangifera indica* L.) en el Sur de Manabí, Ecuador. UNESUM-Ciencias. *Revista Científica Multidisciplinaria*, 7(1), 156–172. <https://doi.org/10.47230/unsum-ciencias.v7.n1.2023.672>

Nowak, D. J. (2020). Understanding i-Tree: A summary of programs and methods. General Technical Report NRS-200. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture Forest Service, Northern Research Station. 100 p. <https://doi.org/10.2737/NRS-GTR-200>

Poljuha, D., & Sladonja, B. (2025). The Use and Management of Invasive Plants. *Plants*, 14(7), 1031. <https://doi.org/10.3390/plants14071031>

Importancia de la alimentación balanceada desde el parto en bovinos bajo sistemas tropicales de Guatemala: implicaciones en sistemas doble propósito y lechería especializada

The Importance of a Balanced Diet Starting at Birth for Cattle in Tropical Systems in Guatemala: Implications for Dual-Purpose and Specialized Dairy Systems

Juan Fernando Contreras-Morales¹

1 Área Nutricional, COOPROLECHE, R.L., Guatemala



ACCESO ABIERTO

REVISTA AGROCIENCIA

Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de El Salvador

ISSN 2522-6509
Enero-Junio 2026
Año X, Número 29
pp.25-27

DOI:
[10.66778/RA.a10n29.04](https://doi.org/10.66778/RA.a10n29.04)

Correspondencia:
contrerasjuan642@gmail.com

Presentado:
9 de abril de 2026

Revisado:
27 de abril de 2026

Aceptado:
16 de junio de 2026

Este es un artículo de acceso abierto bajo licencia CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



RESUMEN

Durante el periodo de transición, etapa que abarca aproximadamente tres semanas antes y después del parto, la alimentación de las vacas juega un papel fundamental en su desempeño productivo y reproductivo. En esta etapa, el animal enfrenta un gran desafío: adaptarse a las nuevas exigencias de la lactancia, lo que incrementa sus necesidades nutricionales. En Guatemala, muchos productores trabajan con el sistema doble propósito, el cual corresponde al 49 % del hato nacional bovino, y que combina la producción de leche y carne como una forma de sostener la economía del hato, este sistema depende en gran medida del pastoreo de gramíneas tropicales. Sin embargo, durante la época seca, la disponibilidad y calidad de estos pastos disminuye considerablemente, lo que reduce la ingesta de energía y proteína. Como consecuencia, las vacas recién paridas pueden entrar en un balance energético negativo, lo que retrasa su recuperación, afecta la fertilidad y disminuye la producción de leche. Por otro lado, en sistemas de lechería más especializados, donde se utilizan alimentos balanceados y existe un mayor control del manejo, también pueden presentarse problemas si la dieta no se ajusta correctamente. Problemas como la cetosis, la hipocalcemia, las retenciones placentarias, la metritis, etc., son riesgos frecuentes en esta etapa. Por ello, es importante implementar estrategias de alimentación adecuadas, como el uso de suplementos energéticos y proteicos, una correcta suplementación mineral y garantizar el acceso constante a agua limpia. Estas prácticas ayudan a mejorar la salud de las vacas, favorecen su recuperación después del parto y contribuyen a una mejor eficiencia productiva y reproductiva del hato.

Palabras claves: Periodo de transición, balance energético negativo, nutrición bovina tropical.

ABSTRACT

During the transition period, which encompasses approximately three weeks before and after calving, cow nutrition plays a fundamental role in productive and reproductive performance. During this stage, the animal faces a major challenge: adapting to the new demands of lactation, which increases its nutritional requirements. In Guatemala, many producers operate under dual-purpose production systems, which account for 49% of the national cattle herd and combine milk and meat production as a means of sustaining herd profitability. These systems depend largely on grazing tropical grasses. However, during the dry season, the availability and quality of these pastures decrease considerably, reducing energy and protein intake. Consequently, recently calved cows may experience negative energy balance, delaying recovery, impairing fertility, and reducing milk production. On the other hand, problems may also arise in more specialized dairy systems, where balanced feeds are used and management is more closely controlled, if diets are not properly adjusted. Conditions such as ketosis, hypocalcemia, retained placenta, and metritis are frequent risks during this stage. Therefore, implementing appropriate feeding strategies is essential, including the use of energy and protein supplements, proper mineral supplementation, and ensuring continuous access to clean water. These practices help improve cow health, promote recovery after calving, and contribute to greater productive and reproductive efficiency of the herd.

Keywords: Transition period, negative energy balance, tropical cattle nutrition

CONTEXTO PRODUCTIVO DE LA GANADERÍA BOVINA EN GUATEMALA

La ganadería bovina en Guatemala se desarrolla principalmente bajo condiciones tropicales, con predominancia del sistema doble propósito, adaptados al trópico (MAGA, 2022). El inventario bovino supera los 2.9 millones de cabezas, señala que cerca del 49 % del hato bovino en Guatemala corresponde a sistemas de doble propósito (Pérez García (2025). Este sistema combina producción de leche y carne como estrategia de diversificación económica y resiliencia ante fluctuaciones de mercado (FAO, 2021).

En contraste, los sistemas especializados de lechería se concentran en zonas con mejor infraestructura y acceso a mercados, empleando genética de mayor potencial lechero y un mayor uso de alimentos balanceados (Toro-Mujica et al., 2020). Estos sistemas requieren dietas con mayor densidad energética y manejo técnico riguroso durante el periodo de transición, lo que permite reducir problemas metabólicos pre y posparto, mejorando así los parámetros productivos.

Actualmente, la ganadería guatemalteca presenta varias limitantes que frenan el desarrollo productivo, entre ellas: limitaciones económicas, el alto costo de insumos y la falta de análisis bromatológicos de pastos y forrajes.

PERIODO DE TRANSICIÓN Y BALANCE ENERGÉTICO NEGATIVO

El periodo de transición (definido como las tres semanas antes y después del parto), representa una fase crítica debido al incremento abrupto en los requerimientos energéticos por el inicio de la lactancia (Drackley, 1999; Roche et al., 2013).

Durante el posparto temprano, la disminución del consumo voluntario de materia seca junto con el aumento de la producción láctea genera un balance energético negativo (BEN), lo que provoca movilización de reservas corporales y alteraciones endocrinas que afectan la función ovárica (Butler, 2014; Roche et al., 2018).

En sistemas tropicales, el BEN puede exacerbarse debido a: la reducción estacional en la calidad del forraje, el estrés calórico y la limitada suplementación estratégica.

Estudios recientes demuestran que el BEN prolongado retrasa la primera ovulación y aumenta el intervalo parto-concepción (Bisinotto et al., 2012; Carvalho et al., 2014).

DIFERENCIAS ENTRE SISTEMAS DOBLE PROPÓSITO Y ESPECIALIZADOS

El sistema doble propósito se desarrolla especialmente en regiones cálidas y húmedas como la costa sur, Petén y las tierras bajas de oriente. Este sistema combina producción de leche y carne como estrategia de diversificación económica y de resiliencia ante fluctuaciones del mercado y condiciones ambientales (Galina & Geffroy, 2023). Por esta razón, los animales suelen ser cruzamientos con razas cebuinas como Gyr, Brahman, Sardo Negro, etc. En estos sistemas, el macho se destina al engorde posterior al destete y la hembra a la reproducción y producción de leche.

Los sistemas especializados, se ubican en áreas de altura y son son

sistemas dedicados a producir exclusivamente leche y mejoramiento genético, que combina animales de raza pura entre ellas: Jersey, Holstein, etc. Son explotaciones con mayores recursos, pero que requieren mayores técnicas de monitoreo para que la operación sea exitosa (Alhussien et al., 2023). Esto debido a que son sistemas que tienen altos costos fijos y variables, por lo que es necesario realizar evaluaciones y monitoreos de forma constante, con la finalidad de determinar los costos productivos y las tasas de retorno.

Sistema doble propósito

En Guatemala, el sistema doble propósito depende principalmente del pastoreo de gramíneas tropicales como *Brachiaria spp.* y *Panicum maximum*, cuya calidad disminuye durante la estación seca (Holmann et al., 2004). Esto limita el aporte energético y proteico en vacas recién paridas y sin suplementación estratégica, el BEN puede prolongarse, reduciendo la eficiencia reproductiva y afectando la rentabilidad del sistema familiar (FAO, 2021).

Sistema especializado de lechería

Se Los sistemas especializados, aunque con mejor formulación de dietas y mayor uso de alimentos balanceados (específicos para la etapa fisiológica), enfrentan un mayor riesgo de trastornos metabólicos como cetosis subclínica e hipocalcemia, si no se maneja correctamente la etapa de transición (Ospina et al., 2010; Roche et al., 2018).

Estos sistemas suelen requerir: 1.6–1.7 Mcal ENL/kg MS, 15–17 % proteína cruda, balance adecuado Ca:P y manejo de DCAD preparto.

Una formulación inadecuada puede comprometer la producción y fertilidad, generando pérdidas económicas significativas (Butler, 2014).

REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES EN CONDICIONES TROPICALES GUATEMALTECAS

Según el National Research Council (NRC, 2001) se establecen lineamientos generales de requerimientos nutricionales; sin embargo, en ambientes tropicales debe considerarse el efecto del estrés térmico sobre el consumo voluntario (West, 2003).

En Guatemala, durante la época seca, los niveles de proteína cruda en gramíneas pueden descender por debajo del 8 %, afectando la síntesis microbiana ruminal (Holmann et al., 2004). Por ello, se recomienda las siguientes estrategias nutricionales (National Academies of Sciences, 2016; Makkar, 2013): suplementación energética (melaza, maíz molido), fuentes proteicas estratégicas (harina de soya o urea protegida), suplementación mineral con énfasis en fósforo y acceso permanente a agua fresca

Por ello, es importante incluir en las dietas alimentos balanceados y minerales en dosis adecuadas, que aporten nutrientes de las fuentes mencionadas y permitan un balance óptimo, ya que un manejo nutricional adecuado reduce el intervalo entre partos y mejora la producción láctea inicial (Carvalho et al., 2014).

IMPLICACIONES ECONÓMICAS Y SOSTENIBILIDAD

En pequeños productores guatemaltecos, el intervalo entre partos prolongado representa una de las principales limitantes productivas

(MAGA, 2022). Mejorar la nutrición durante el periodo de transición: Reduce los días abiertos, incrementa la producción acumulada por lactancia y disminuye la incidencia de enfermedades metabólicas.

Desde una perspectiva de sostenibilidad, una estrategia nutricional adecuada mejora la eficiencia biológica y reduce pérdidas económicas (FAO, 2021).

CONCLUSIONES

La alimentación balanceada desde el parto es determinante para la eficiencia reproductiva y productiva en sistemas bovinos tropicales de Guatemala. En sistemas doble propósito, la suplementación estratégica durante la estación seca es clave para evitar un BEN prolongado. En sistemas especializados, el manejo preciso de la dieta de transición previene trastornos metabólicos y optimiza la fertilidad.

El fortalecimiento de programas nutricionales adaptados al contexto guatemalteco constituye una herramienta esencial para mejorar la competitividad y la sostenibilidad del sector.

REFERENCIAS

- Alhussien, M. N., Dang, A. K., & Bu, D. (2023). Editorial: Strategies for mitigating the transition period stress in dairy cattle. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1157526. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1157526>
- Bisinotto, R. S., Greco, L. F., Ribeiro, E. S., Martinez, N., Lima, F. S., Staples, C. R., Thatcher, W. W., & Santos, J. E. P. (2012). Effect of nutrition on fertility in dairy cows. *Theriogenology*, 78(3), 563–571.
- Butler, W. R. (2014). Energy balance relationships with follicular development, ovulation and fertility in postpartum dairy cows. *Livestock Production Science*, 83, 211–218.
- Carvalho, P. D., Guenther, J. N., Fuenzalida, M. J., Amundson, M. C., Wiltbank, M. C., & Fricke, P. M. (2014). Reproductive performance of dairy cows with different degrees of negative energy balance. *Journal of Dairy Science*, 97(6), 3663–3673.
- Drackley, J. K. (1999). Biology of dairy cows during the transition period. *Journal of Dairy Science*, 82(11), 2259–2273.
- FAO. (2021). Greenhouse gas emissions from livestock and mitigation strategies in Latin America. Food and Agriculture Organization.
- Galina, C. S., & Geffroy, M. (2023). Dual purpose cattle raised in tropical conditions: What are their shortcomings in sound productive and reproductive function? *Animals*, 13(13), 2224. <https://doi.org/10.3390/ani13132224>
- Holmann, F., Rivas, L., Carulla, J., Rivera, B., Giraldo, L., Guzmán, S., Martínez, M., Medina, A., & Farrow, A. (2004). Evolution of milk production systems in Central America. *Agricultural Systems*, 82(3), 307–330.
- MAGA. (2022). Estadísticas del subsector pecuario en Guatemala. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
- Makkar, H. P. S. (Ed). (2013). Enhancing animal welfare and farmer income through strategic animal feeding: Some case studies (FAO Animal Production and Health Paper No. 175). Food And Agriculture Organization of the United Nations.
- National Research Council. (2001). Nutrient requirements of dairy cattle (7th rev. ed.). National Academy Press.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2016). Nutrient requirements of beef cattle: Eight revised edition. National Academy Press. <https://doi.org/10.17226/19014>
- Ospina, P. A., Nydam, D. V., Stokol, T., & Overton, T. R. (2010). Evaluation of nonesterified fatty acids and β -hydroxybutyrate in transition dairy cattle in the northeastern United States: Critical thresholds for prediction of clinical diseases. *Journal of Dairy Science*, 93(2), 546–554.
- Pérez García, L. C. (2025). Los retos para la producción lechera en Guatemala en la nueva década. *Análisis de la Realidad Nacional*, 10(200), 67–83. <https://revistasguatemala.usac.edu.gt/IPNUSAC/article/view/2939>
- Roche, J. R., Burke, C. R., Crookenden, M. A., Heiser, A., Loor, J. J., Meier, S., Mitchell, M. D., Phyn, C. V. C., & Turner, S.-A. (2013). Nutritional management of the transition cow. *Journal of Dairy Science*, 96(3), 1420–1446.
- Roche, J. R., Friggens, N. C., Kay, J. K., Fisher, M. W., Stafford, K. J., & Berry, D. P. (2018). Invited review: Body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and welfare. *Journal of Dairy Science*, 101(8), 6931–6950.
- Toro-Mujica, P., Vera, R., Pinedo, P., Bas, F., Enriquez-Hidalgo, D & Vargas-Bello-Pérez, E. (2020). Adaptation strategies based on the historical evolution for dairy production systems in temperate areas: A case study approach. *Agricultural Systems*, 182, Article 102841. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102841>
- West, J. W. (2003). Effects of heat stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 86(6), 2131–2144.

Presencia e impactos de los microplásticos en sistemas ganaderos bovinos: una revisión bibliográfica

Presence and impacts of microplastics in bovine livestock systems: a literature review

Pablo Acuña-Fuentes¹, José Leyton^{1,2,4}, Matías Betancur-López^{1,5}, Sergio Moraga-Bustos^{1,6}, Daniela Valencia-Orge^{1,7}, Carla Sobarzo-Palma^{3,8}, Constanza García-Castillo^{1,9}, Andrés Pinto-Poblete^{1,10}

- 1 Universidad Adventista de Chile
- 2 Laboratorio de entomología y acarología agropecuaria, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción
- 3 Departamento de Suelos y Recursos Naturales, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción
- 4 ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8978-4706>
- 5 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0762-7175>
- 6 ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7491-6141>
- 7 ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1374-4967>
- 8 ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1640-4616>
- 9 ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3349-034X>
- 10 ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5124-9621>



ACCESO ABIERTO

REVISTA AGROCIENCIA

Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de El Salvador

ISSN 2522-6509
Enero-Junio 2026
Año X, Número 29
pp.29-35

DOI:
[10.66778/RA.a10n29.05](https://doi.org/10.66778/RA.a10n29.05)

Correspondencia:
andrespinto@unach.cl

Presentado:
10 de noviembre de 2025

Revisado:
16 de enero de 2026

Aceptado:
12 de febrero de 2026

Este es un artículo de acceso
abierto bajo licencia CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



RESUMEN

La presente revisión sistemática sintetiza la evidencia disponible sobre la presencia, fuentes y efectos de microplásticos (MPs) y nanoplasticos (NPs) en sistemas bovinos de producción de leche y carne. La búsqueda se realizó en la base de datos Scopus entre enero y octubre de 2025, considerando publicaciones en inglés entre 2004 y 2025, siguiendo la declaración PRISMA 2020. Se incluyeron doce estudios revisados por pares que abordaron matrices como forrajes, concentrados, estiércoles, agua y productos lácteos. Los polímeros predominantes fueron polietileno (PE), polipropileno (PP), polietileno tereftalato (PET) y poliamidas (PA), con tamaños generalmente inferiores a 500 µm y morfología fibrosa. Los alimentos ganaderos y el agua de bebida constituyen las principales vías de ingreso, mientras que los estiércoles representan un sumidero y un vector de recirculación ambiental. Se ha confirmado la presencia de MPs en leche cruda y proteínas lácteas, lo que sugiere una posible transferencia hacia productos de consumo humano. En condiciones in vitro, los MPs afectaron la fermentación ruminal, la microbiota metanogénica y la producción de metano. Asimismo, la aplicación de estiércoles contaminados favorece la acumulación progresiva de partículas en los suelos agrícolas. La evidencia disponible demuestra que los sistemas bovinos mantienen un ciclo interno de exposición a MPs, que abarca desde los insumos agrícolas hasta los productos animales, planteando implicancias para la salud animal, la inocuidad alimentaria y la sostenibilidad ambiental. Se destacan las limitaciones metodológicas existentes y la necesidad de estandarizar técnicas analíticas y unidades de reporte para avanzar en la evaluación del riesgo.

Palabras claves: Salud animal, Contaminación ambiental, Forrajes, Estiércol.

ABSTRACT

This systematic review synthesizes the available evidence on the presence, sources, and effects of microplastics (MPs) and nanoplastics (NPs) in dairy and beef cattle production systems. The search was conducted in the Scopus database between January and October 2025, considering English-language publications from 2004 to 2025, following the PRISMA 2020 guidelines. Twelve peer-reviewed studies were included, addressing matrices such as forages, concentrates, manure, water, and dairy products. The predominant polymers were polyethylene (PE), polypropylene (PP), polyethylene terephthalate (PET), and polyamides (PA), with sizes generally less than 500 µm and fibrous morphology. Livestock feed and drinking water are the main entry routes, while manure represents a sink and vector for environmental recirculation. The presence of MPs has been confirmed in raw milk and dairy proteins, suggesting potential transfer to products consumed by humans. Under in vitro conditions, particulate matter (PM) affected ruminal fermentation, methanogenic microbiota, and methane production. Furthermore, the application of contaminated manure promotes the progressive accumulation of particles in agricultural soils. Available evidence demonstrates that bovine systems maintain an internal cycle of PM exposure, encompassing agricultural inputs and animal products, with implications for animal health, food safety, and environmental sustainability. Existing methodological limitations and the need to standardize analytical techniques and reporting units to advance risk assessment are highlighted.

Keywords: Animal health, Environmental pollution, Forage, Manure.

INTRODUCCIÓN

El uso de plásticos en la producción agropecuaria se ha expandido de forma sostenida durante las últimas décadas, abarcando desde los insumos y herramientas de manejo hasta los sistemas de almacenamiento y conservación de forrajes destinados al ganado bovino (Saxena, 2022). Se estima que, en 2019, cerca de 12,5 millones de toneladas de plásticos fueron empleadas en la agricultura y la ganadería, y más de 37 millones en el envasado de alimentos (FAO, 2021), lo que refleja una creciente dependencia de estos materiales a lo largo de la cadena agroalimentaria.

En los sistemas bovinos, el uso intensivo de plásticos para la producción y conservación de alimentos, el manejo de estiércoles y la infraestructura de los establos ha contribuido a mejorar la eficiencia y estabilidad de los sistemas, pero también ha introducido nuevos desafíos ambientales (Ramachandran et al., 2021). En este contexto, los microplásticos (MPs; <5.0 mm) y nanoplásticos (NPs) emergen como contaminantes de alto riesgo, dada su persistencia, capacidad de fragmentación y potencial de transferencia dentro de los sistemas productivos (Khanna et al., 2024)

La ganadería bovina, por su magnitud e interacción directa con el ambiente, representa un sistema clave para evaluar la presencia de estos contaminantes emergentes. Además de las presiones ya conocidas asociadas a las emisiones de gases de efecto invernadero, la lixiviación de nitratos y la gestión de purines (Statham et al., 2017), y la posible incorporación y recirculación de MPs plantea un nuevo componente de riesgo para la calidad del suelo, del agua y de los productos derivados (Olmo y Holman, 2025). Estas partículas, al fragmentarse y acumularse en matrices agropecuarias, pueden alterar las propiedades físicas del suelo, modificar la retención hídrica y afectar la actividad microbiana responsable de los ciclos biogeoquímicos (De Souza Machado et al., 2020). En sistemas ganaderos, la reincorporación de estiércoles contaminados con MPs puede contribuir a la dispersión de partículas persistentes hacia el ambiente y al eventual retorno de estas al animal a través de los forrajes (Sheriff et al., 2023). Lo anterior podría intensificar la exposición y la transferencia trófica de contaminantes, comprometiendo la sostenibilidad de los sistemas bovinos y la inocuidad de los productos alimentarios (Lackner y Branka, 2024). A pesar del creciente reconocimiento internacional sobre este problema, los estudios enfocados en el sector pecuario, y especialmente en sistemas bovinos de América Latina, siguen siendo escasos, considerando que la región tiene grandes exponentes en la producción de carne nivel regional, tales como Brasil, Argentina y México, quienes alcanzan superan el 65% de la producción regional, responsable del 23% a nivel global (FAO, 2023). Además, a escala global el interés científico por la contaminación por MPs en suelos agrícolas ha aumentado de manera significativa, pasando de menos de veinte publicaciones antes de 2016 a más de cien en 2022, lo que refleja una tendencia de crecimiento exponencial en este campo de investigación (Liu et al., 2023). En este contexto, la presente revisión sistemática busca aportar una visión actual sobre la presencia y circulación de MPs en sistemas bovinos y su importancia dentro del ciclo productivo y ambiental. La revisión plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿cuál es la evidencia disponible sobre la presencia, las rutas de exposición y los efectos de los microplásticos en sistemas bovinos, y su posible transferencia hacia productos y suelos agrícolas?

MATERIALES Y MÉTODOS

La revisión se desarrolló conforme a la declaración PRISMA 2020 (Page et al., 2020), con el objetivo de reunir y analizar críticamente la evidencia científica sobre la presencia y los efectos de los MPs y NPs en sistemas bovinos de producción de carne y leche. El proceso incluyó las etapas de búsqueda bibliográfica, selección de registros, extracción de información y síntesis de resultados.

La pregunta de investigación abordó la evidencia disponible sobre la presencia de MPs y NPs en matrices asociadas a la producción bovina, sus posibles efectos sobre la salud y el desempeño animal, y la eventual transferencia de estas partículas a productos y suelos agrícolas.

Las búsquedas se realizaron entre enero y octubre de 2025 en la base de datos Scopus, considerando únicamente artículos revisados por pares en inglés y publicados entre 2004 y 2025 (Tabla 1). Se seleccionó esta base por su cobertura interdisciplinaria y su reconocida calidad en la indexación de literatura científica (Visser et al., 2021).

La estrategia combinó descriptores controlados (DeCS y MeSH) y términos libres (Lefebvre et al., 2022) relacionados con microplastic, nanoplastic, livestock, cattle, swine, poultry, feed, forage, manure, milk y meat, complementando la búsqueda con referencias cruzadas (snowballing). Se seleccionaron estudios que reportaron la presencia o efectos de MPs-NPs en matrices ganaderas bovinas o productos animales, y se excluyeron trabajos sin datos cuantitativos, sin descripción metodológica o no vinculados a sistemas productivos, desde el título, resumen o tras la revisión completa del texto. Los registros se gestionaron mediante Mendeley Reference Manager versión 2.118.

El análisis se realizó de forma narrativa, agrupando los resultados por matriz (forraje, estiércol, agua, leche y carne). Finalmente, se identificaron las principales fuentes de contaminación, rutas de transferencia y vacíos de información existentes.

Esta revisión no involucró experimentación con animales ni personas y se basó exclusivamente en fuentes de acceso público.

Tabla 1
Etapas del proceso de selección de artículos según PRISMA 2020

Proceso	Número de artículos
Identificados en Scopus	124
Excluidos por título/resumen	84
Excluidos tras lectura completa	72
Incluidos en la síntesis final	12

RESULTADOS

La revisión sistemática identificó 11 estudios revisados por pares publicados entre 2021 y 2025 que documentan la presencia, fuentes y efectos de MPs y NPs en sistemas bovinos de carne y leche (Tabla 2). Los polímeros predominantes fueron polietileno (PE), polipropileno (PP), polietileno tereftalato (PET) y poliamida (PA), con tamaños mayoritariamente inferiores a 500 μm , lo que indica un alto potencial de movilidad y exposición interna.

Los alimentos ganaderos (ensilados, heno, concentrados) y el agua de bebida constituyeron las principales rutas de ingreso, con detección de MPs en la mayoría de las muestras analizadas y predominio de polímeros tipo LDPE y PP. El estiércol bovino se consolidó como el principal sumidero interno, reflejando la transferencia directa desde los insumos plásticos hacia el animal y su posterior excreción. Algunos estudios describieron retención parcial de partículas en el rumen y efectos sobre la fermentación ruminal, incluyendo reducción de metano y alteraciones en la microbiota metanogénica bajo condiciones *in vitro*. En la fracción láctea, se reportó la presencia de MPs en proteínas de leche y leche cruda, principalmente PP y PE.

DISCUSIÓN

Microplásticos como contaminante emergente en sistemas bovinos

Los sistemas bovinos constituyen una de las principales actividades agropecuarias a nivel global, con alto impacto en el uso de recursos, generación de residuos y emisiones asociadas (Singh et al., 2025). En este contexto, la presencia de MPs en la producción de leche y carne se ha consolidado como un nuevo factor de preocupación ambiental y sanitaria (Shrivastava et al., 2025). La revisión realizada evidencia que los MPs están presentes en distintos componentes del sistema bovino, incluyendo alimentos balanceados, ensilajes, forrajes, estiércoles y leche (van der Veen et al., 2022; Da Costa Filho et al., 2021; Glorio Patrucco et al., 2024; Grechi et al., 2023; Kaske et al., 2025; Tassone et al., 2025). Estos hallazgos confirman que el ganado bovino puede actuar como un vector y receptor activo dentro del ciclo de contaminación plástica agrícola (Corte Pause et al., 2024).

El uso intensivo de materiales plásticos para la conservación de forrajes, la logística alimentaria y el manejo de residuos representa una vía potencial de exposición constante, que podría verse amplificada por la degradación y fragmentación de polímeros en las etapas de almacenamiento o alimentación (Glorio Patrucco et al., 2024; Chang et al., 2024). Esta degradación puede ocasionarse por la radiación UV o por el daño mecánico (Xiao et al., 2025).

Los estudios incluidos en esta revisión muestran la presencia predominante de polímeros como polietileno (PE), polipropileno (PP) y poliamidas (PA), tanto en compuestos sólidos como líquidos, con tamaños generalmente inferiores a 500 μm . Esta distribución sugiere una combinación de fuentes directas, asociadas a insumos productivos (bolsas plásticas, coberturas de silos), e indirectas, derivadas del reciclaje ambiental mediante estiércoles (Guo et al., 2024; Wang et al., 2025).

La importancia de abordar este tema radica en que los MPs pueden interferir con procesos clave del sistema bovino, afectando la digestión, la microbiota ruminal y la inocuidad de productos derivados (Grechi et al., 2023; Tassone et al., 2025). Además, su persistencia en los estiércoles utilizados como fertilizante podría generar acumulación progresiva en los suelos agrícolas, cerrando un ciclo de exposición dentro del propio sistema productivo (Wang et al., 2025; Guo et al., 2024).

Al comparar estos resultados con otros sistemas de producción pecuaria, se observa una tendencia similar. En la producción porcina y avícola, se han identificado principalmente partículas de PE y PP en heces y tejidos comestibles potencialmente transmitibles a la cadena trófica, con concentraciones entre $1,4 \times 10^3$ y $5,8 \times 10^4$ partículas kg^{-1} , lo que confirma que los MPs están presentes de forma transversal en los sistemas ganaderos (Huang et al., 2023; Mohammadi et al., 2025; Wu et al., 2021).

Fuentes potenciales y rutas de exposición en sistemas bovinos

La presente revisión identifica tres grandes fuentes potenciales de ingreso: los materiales plásticos utilizados en la conservación de forrajes, la contaminación cruzada a través del agua o las instalaciones productivas, y la recirculación ambiental mediante estiércoles aplicados al suelo agrícola (Glorio Patrucco et al., 2024; Glorio Patrucco et al., 2025; Chang et al., 2024; Wang et al., 2025; Patrucco et al., 2025; Guo et al., 2024; Mohammadi et al., 2025; Wu et al., 2021).

El estudio de Glorio Patrucco et al. (2024) constituye una metodología orientada a la detección de MPs en alimentos de rumiantes y evidencia que todos los tipos de muestras analizadas, considerando ensilajes de maíz, heno, raciones mixtas totales y alimentos proteicos, contenían partículas plásticas, con concentraciones entre 8.3 ± 3.5 y 39.3 ± 7.0 MPs g^{-1} . Los polímeros predominantes fueron PE, PA y PET, en forma de fibras y fragmentos, con tamaños menores a 3 mm, lo que confirma que los insumos alimenticios constituyen una ruta primaria de exposición para el ganado bovino. Esta contaminación se vincula directamente con el uso intensivo de films y mallas para ensilaje, bolsas de almacenamiento y recubrimientos utilizados en la logística del alimento. Las condiciones de humedad, presión y temperatura durante la conservación y el manejo del forraje favorecen la fragmentación de estos materiales, lo que facilita su incorporación en las raciones (Glorio Patrucco et al., 2024; Chang et al., 2024).

Los MPs presentes en los alimentos se correlacionan con la detección de estas partículas en matrices biológicas. Grechi et al. (2023) demostraron la presencia de microplásticos de poliestireno (PS) en el fluido folicular de vacas lecheras, lo que confirma la capacidad de estas partículas para atravesar barreras fisiológicas y potencialmente afectar procesos reproductivos. De forma complementaria, Da Costa Filho et al. (2021) identificaron MPs en leche cruda y proteínas lácteas bovinas, principalmente PET, PE y PP, con tamaños de 5 a 100 μm analizados mediante $\mu\text{-FTIR}$ y pirólisis-GC/MS. Además, un estudio piloto desarrollado en los Países Bajos reportó la presencia de partículas plásticas en alimentos concentrados, sangre, leche y carne bovina, lo que refuerza la hipótesis de una posible transferencia interna a través de la cadena alimentaria (van der Veen et al., 2022).

Otros estudios como los de Tassone et al. (2025) y Kaske et al. (2025), exploraron el efecto de MPs sobre la fermentación ruminal utilizando sistemas *in vitro*, observando que las partículas de PE y PS en el rango de 100–500 μm modificaron la producción de ácidos grasos volátiles y la eficiencia metanogénica, demostrando cambios en la estructura de la microbiota ruminal, en particular en la abundancia relativa de bacterias fermentadoras, lo que sugiere que los MPs pueden adsorber nutrientes o interferir en la adherencia microbiana, alterando la cinética de fermentación.

Tabla 2

Estudios incluidos en la revisión sistemática sobre la presencia e impactos de microplásticos en sistemas ganaderos bovinos

Especie / Sistema ganadero	Autor(es) y año	Matriz estudiada	MPs	Diseño del estudio	Principales hallazgos o efectos observados	Categoría temática
Bovinos y aves de corral	Mohammadi et al., 2025 (Scientific Reports, 15:27228)	Estiércol	PP, PE, PAA, PET, PS, PVC, PTFE, PES	Experimental-descriptivo	MPs detectados en 71% de muestras; predominan fibras azules de PP y PE.	Presencia y caracterización de MPs y contaminantes en estiércoles ganaderos
Bovinos y ovinos	Bahrani et al., 2024 (Environ. Sci. Pollut. Res., 31:22145–22157)	Tejidos comestibles (carne, hígado, tripa)	Nylon, LDPE, PS; 25–5000 µm	Experimental-descriptivo	MPs en 93% de muestras; fibras negras; contaminación cruzada en mataderos.	Presencia y caracterización de MPs en tejidos comestibles de rumiantes
Bovinos (fluido ruminal in vitro)	Tassone et al., 2025 (Fermentation, 11(8):445)	Fluido ruminal	LDPE, PET, PA; 500–1000 µm	Experimental in vitro	PET degradado parcialmente (0.96 % a 72 h); capacidad degradativa microbiana ruminal.	Degradación ruminal in vitro de MPs en bovinos
Bovinos	Xiao et al., 2025 (Agronomy, 15(1):107)	Digestato de estiércol	PE, PP, PET; 50–150 µm	Experimental in vitro	MPs redujeron CH ₄ (–11 a –29%); alteraron microbiota metanogénica.	Efectos de MPs en digestión anaerobia y microbiota metanogénica
Bovinos	Kaseke et al., 2025 (Environ. Pollut., 383:126803)	Proteínas de leche	PP; MPs 63–180 µm, NPs 0.13–0.48 µm	Experimental in vitro	MPs ralentizan digestión de proteínas; NPs aumentan resistencia de β-lactoglobulina.	Efectos digestivos y de bioaccesibilidad en proteínas lácteas
Bovinos	Guo et al., 2024 (Chemosphere, 367:143639)	Estiércol y digestato	PLA; 1.5 mm	Experimental in vitro (37/55°C ± NBW)	PLA incrementó metano bajo termofilia y lo redujo en mesofilia; alteró microbiota.	Bioplásticos y digestión anaerobia ganadera
Cerdos, Bovinos, aves	Wu et al., 2021 (Environ. Pollut., 277:116790)	Estiércol y alimento	PP, PE, PR, PET; 125–500 µm	Descriptivo-analítico	MPs detectados en todas las especies; rutas, feedbags y agua; transferencia estiércol-suelo.	Rutas de transferencia de MPs desde estiércol y alimentación
Bovinos lecheros	Glorio Patrucco et al., 2025 (Sci. Total Environ., 1001:180479)	Alimentos ganaderos (ensilado, heno, concentrado)	LDPE, HDPE, PA; 0.03–5 mm	Descriptivo-analítico	MPs en todos los pienso; LDPE predominante; fuente primaria de exposición oral.	Contaminación de alimentos ganaderos y exposición primaria
Bovinos lecheros	Glorio Patrucco et al., 2024 (Sci. Total Environ., 947:174493)	Alimentos ganaderos (ensilado, TMR)	HDPE, LDPE, PA, PET, PS (<5 mm)	Metodológico	Protocolo no destructivo (KOH+Fenton); recuperaciones ≥85%; MPs en todas las muestras.	Protocolos analíticos para detección de MPs en alimentación ganadera
Bovinos lecheros	Da Costa Filho et al., 2021 (Environmental Pollution, 278:116823)	Leche y proteínas lácteas	PET, PE, PP; 5–100 µm	Experimental-analítico	Detección de MPs en leche cruda y productos lácteos; predominio de fibras y fragmentos de PE y PP; posible contaminación durante procesamiento y envasado.	Presencia de MPs en productos animales y riesgo de transferencia alimentaria.
Bovinos lecheros	Wang et al., 2025 (Sci. Total Environ., 1003:180611)	Suelo, alimento, atmósfera	CPI, PVC, PE, PS; MPs y NPs	Observacional multi-matrizial	93% <100 µm; suelo con estiércol 2.5× más contaminado; riesgo ecológico bajo.	Evaluación de riesgo ambiental y trazabilidad de MPs/NPs en sistemas lecheros
Bovinos lecheros	Chang et al., 2025 (Sci. Total Environ., 1003:180611)	Suelos con estiércol	PVC, CPI, PE; 20–500 µm	Observacional multi-matriz	MPs ubicuos; correlación alimento-suelo; riesgo humano bajo.	Riesgos y fuentes de MPs en granjas lecheras intensivas

La presencia de MPs en el estiércol bovino confirma su excreción y la recirculación ambiental de estos contaminantes. Guo et al. (2024) y Wang et al. (2025) reportaron concentraciones entre 5.2×10^3 y 1.1×10^4 partículas kg^{-1} en estiércoles de sistemas intensivos, con predominio de fibras de PE y PP. Estos materiales, al aplicarse como fertilizantes orgánicos, favorecen la acumulación progresiva de MPs en suelos agrícolas y potencialmente en el forraje de ciclos posteriores. Chang et al. (2025) verificó que la reutilización de purines bovinos contaminados puede aumentar hasta en un 40% la carga de MPs del suelo superficial tras un solo ciclo de aplicación, respaldando la recirculación.

Algunos autores también mencionan fuentes secundarias de exposición, como el agua almacenada en estanques plásticos y el polvo ambiental de establos o corrales cubiertos, que podrían contribuir a la carga total de MPs ingeridos por los animales (Wang et al., 2025; Glorio Patrucco et al., 2025). Aunque estas vías han sido menos cuantificadas, representan un componente adicional de exposición en sistemas confinados.

Implicancias para la inocuidad y sostenibilidad ambiental

Los estudios analizados coinciden en que la presencia de microplásticos (MPs) en sistemas bovinos no se limita a la exposición a través de los alimentos, sino que puede extenderse a los productos de origen animal y al entorno agrícola asociado.

Los trabajos que abordaron matrices biológicas, como los de Da Costa Filho et al. (2021) y van der Veen et al. (2022), demuestran que los MPs pueden encontrarse en leche cruda y en proteínas lácteas procesadas,

con predominio de fragmentos y fibras de polietileno, polipropileno y tereftalato de polietileno. La similitud entre los polímeros detectados en la leche y los presentes en los forrajes y concentrados indica que los alimentos contaminados constituyen la principal fuente de ingreso. Aunque la transferencia directa aún debe confirmarse, la coincidencia en composición y tamaño sugiere un posible paso de partículas o aditivos durante el ordeño y el procesamiento.

El riesgo para la inocuidad alimentaria no se limita al consumo humano de leche o carne, sino que también se extiende a la posible ingestión crónica de partículas menores o aditivos adsorbidos en la superficie de los MPs (Pinto-Poblete et al., 2023). Estas partículas pueden actuar como vectores de contaminantes persistentes y metales, amplificando la exposición a compuestos que ya son relevantes en los sistemas intensivos. Grechi et al. (2023) observó que los MPs de poliestireno son capaces de atravesar barreras celulares y afectar procesos reproductivos en bovinos, lo que refuerza la necesidad de considerar estos contaminantes como un factor biológico activo dentro del metabolismo animal.

En términos ambientales, los estudios de Guo et al. (2024) y Wang et al. (2025) demostraron que el estiércol bovino es una fuente relevante de MPs hacia los suelos agrícolas. La aplicación reiterada de estiércoles contaminados produce acumulaciones que alcanzan hasta 11 000 partículas por kilogramo de suelo, con predominio de fibras plásticas finas. Estas partículas pueden alterar la porosidad del suelo, modificar la retención de agua y afectar procesos microbianos esenciales, lo que a largo plazo compromete la fertilidad y la funcionalidad del agroecosistema (Panda, 2024).

El uso de purines como fertilizante también contribuye a este ciclo de recirculación. Chang et al. (2024) evidenció incrementos en la carga

plástica del suelo tras la aplicación de purines provenientes de sistemas confinados, con un aumento de hasta 40% en la concentración superficial luego de un solo ciclo, demostrando que los MPs no se comportan como un contaminante puntual, sino como un residuo persistente.

Además de los impactos físicos, algunos estudios sugieren que los MPs pueden influir en la dinámica microbiana del rumen y del suelo. Tassone et al. (2025) y Kaske et al. (2025) reportaron alteraciones en la producción de ácidos grasos volátiles y en la abundancia de grupos bacterianos responsables de la fermentación. Este tipo de cambios podría tener consecuencias indirectas sobre la eficiencia alimenticia y la emisión de gases de efecto invernadero (Zhang et al., 2025). A nivel del suelo, la presencia continua de MPs derivados de estiércoles contaminados podría alterar comunidades microbianas beneficiosas, afectando la descomposición de materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes (Aralappanavar et al., 2024).

Limitaciones metodológicas y desafíos analíticos

La revisión evidenció que, aunque el conocimiento sobre la presencia de MPs en sistemas bovinos ha avanzado de manera significativa en los últimos 5 años, aún existen importantes limitaciones metodológicas que dificultan la comparación entre estudios y la evaluación del riesgo real (Olmo y Holman, 2025). La mayoría de las investigaciones analizadas utiliza enfoques analíticos distintos, con diferentes técnicas de extracción, digestión y cuantificación, lo que condiciona la interpretación global de los resultados.

Los trabajos de Glorio Patrucco et al. (2024) y Patrucco et al. (2025) aportan un avance sustancial al desarrollar protocolos específicos para matrices ganaderas, optimizados para evitar la degradación de los polímeros durante la digestión química y reducir los falsos positivos por contaminación cruzada. La combinación de digestión alcalina y oxidación controlada mediante reacciones de Fenton ha mostrado una recuperación superior al 85%, lo que representa un estándar prometedor para futuras aplicaciones.

Otra debilidad recurrente es la heterogeneidad de las unidades de reporte. Algunos estudios expresan las concentraciones en partículas por gramo de muestra, otros en partículas por kilogramo o por volumen, y en muchos casos no se detallan los límites de detección ni los criterios de clasificación de tamaño (Verrez-Bagnis, 2023). Esta variabilidad dificulta establecer comparaciones precisas o estimar cargas totales de MPs dentro del sistema productivo.

La identificación polimérica también presenta desafíos. Mientras algunos autores aplican espectroscopía FTIR o Raman, otros utilizan pirólisis acoplada a cromatografía y espectrometría de masas (Pyr-GC/MS), con distintos grados de sensibilidad y riesgo de sobreestimación. Estudios como los de Da Costa Filho et al. (2021) destaca la necesidad de aplicar controles de blancos y protocolos libres de plástico durante la preparación de las muestras, ya que incluso una contaminación mínima del laboratorio puede alterar las estimaciones finales.

A nivel experimental, persiste la falta de diseños que permitan distinguir entre contaminación ambiental y transferencia biológica real. La detección de MPs en fluidos y tejidos bovinos no siempre permite establecer si las partículas fueron ingeridas, absorbidas o introducidas por contaminación externa. En este sentido, los trabajos de Grechi et al. (2023) y Kaske et al. (2025) subrayan la importancia de implementar trazadores sintéticos y estudios controlados que evalúen la absorción y excreción de partículas bajo condiciones estandarizadas.

Otro aspecto crítico es la ausencia de marcos regulatorios o guías oficiales para el monitoreo de MPs en matrices ganaderas. Mientras en alimentos y agua existen normativas emergentes, la producción animal sigue careciendo de criterios específicos sobre métodos, tamaños o límites permisibles (Verrez-Bagnis, 2023; Corte Pause et al., 2024). Esto

genera un vacío normativo que impide establecer umbrales de seguridad y estrategias de mitigación.

CONCLUSIÓN

La evidencia recopilada demuestra que los microplásticos (MPs) están presentes en múltiples matrices de los sistemas bovinos, abarcando desde los insumos alimenticios hasta los productos de origen animal. Los polímeros más frecuentes son polietileno, polipropileno y polietileno tereftalato, con tamaños generalmente inferiores a 500 µm. Los forrajes, concentrados y estiércoles actúan como las principales fuentes de exposición, mientras que los suelos fertilizados y la leche funcionan como receptores finales dentro de un ciclo cerrado de contaminación. Los estudios experimentales y observacionales indican que los MPs pueden afectar la fermentación ruminal, alterar la microbiota y potencialmente reducir la eficiencia digestiva, además de comprometer la inocuidad de productos lácteos y cárnicos. A pesar de los avances recientes, persisten importantes brechas metodológicas y de conocimiento, especialmente en regiones productoras de América Latina. Se requiere fortalecer el monitoreo de MPs en los sistemas ganaderos, estandarizar protocolos analíticos y evaluar sus impactos a nivel fisiológico, productivo y ambiental.

REFERENCIAS

- Aralappanavar, VK; Mukhopadhyay, R; Yu, Y; Liu, J; Bhatnagar, A; Praveena, SM; Li, Y; Paller, M; Adyel, TM; Rinklebe, J; Bolan, NS; Sarkar, B. (2024). Effects of microplastics on soil microorganisms and microbial functions in nutrients and carbon cycling – A review (en línea). *Science of The Total Environment*, 924:171435. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171435>.
- Chang, X; Li, Y; Han, Y; Fang, Y; Xiang, H; Zhao, Z; Zhao, B; Zhong, R. (2024). Polystyrene exposure induces lamb gastrointestinal injury, digestive disorders and inflammation, decreasing daily gain, and meat quality (en línea). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 277:116389. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116389>.
- Corte Pause, F; Urli, S; Crociati, M; Stradaoli, G; Baufeld, A. (2024). Connecting the dots: livestock animals as missing links in the chain of microplastic contamination and human health (en línea). *Animals*, 14(2):350. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani14020350>.
- Da Costa Filho, P. A., Andrey, D., Eriksen, B., Peixoto, R. P., Carreres, B. M., Ambühl, M. E., Descarrega, J. B., Dubascoux, S., Zbinden, P., Panchaud, A., & Poitevin, E. (2021). Detection and characterization of small-sized microplastics ($\geq 5 \mu\text{m}$) in milk products. *Scientific Reports*, 11, 24046. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03458-7>
- De Souza Machado, AA; Horton, AA; Davis, T; Maaß, S. (2020). Microplastics and their effects on soil function as a life-supporting system (en línea). En: He, D; Luo, Y (eds.). Cham, Springer International Publishing, vol.95:199-222. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-94-007-450-450>.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2021). Assessment of agricultural plastics and their sustainability: a call for action (en línea). Roma, IT: FAO. Disponible en: <https://www.fao.org/3/cb7856en/cb7856en.pdf>.

- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2023). Latin America and the Caribbean: livestock and enteric methane emissions (en línea). Roma, IT: FAO. Disponible en: <https://www.fao.org/in-action/enteric-methane/countries/latin-america/en>.
- Glorio Patrucco, S; Rivoira, L; Bruzzoniti, MC; Barbera, S; Tassone, S. (2024). Development and application of a novel extraction protocol for the monitoring of microplastic contamination in widely consumed ruminant feeds (en línea). *Science of The Total Environment*, 947:174493. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174493>.
- Glorio Patrucco, S; Abid, K; Rivoira, L; Bruzzoniti, MC; Barbera, S; Tassone, S. (2025). Microplastics contamination in ruminant feeds of Northwestern Italy: a preliminary assessment (en línea). *Science of The Total Environment*, 1001:180479. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180479>.
- Grechi, N.; Franko, R.; Rajaraman, R.; Stöckl, JB.; Trapphoff, T.; Dieterle, S.; Fröhlich, T.; Noonan, MJ.; Ferraz, MAMM. (2023). Microplastics are present in women's and cows' follicular fluid and polystyrene microplastics compromise bovine oocyte function in vitro (en línea). *eLife*, 12:e86791. DOI: <https://doi.org/10.7554/eLife.86791>
- Guo, P; Wang, T; Wang, J; Niu, J; Peng, C; Shan, J; Zhang, Y; Huang, H; Chen, J. (2024). Role of polylactic acid microplastics during anaerobic co-digestion of cow manure and Chinese cabbage waste enhanced by nanobubble (en línea). *Chemosphere*, 367:143639. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143639>.
- Huang, Y; Zhang, Q; Zhao, S; Wang, W; Yang, L. (2023). Occurrence and characteristics of microplastics in livestock and poultry feed and feces in eastern China (en línea). *Journal of Hazardous Materials*, 451:132885. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132885>.
- Kaseke, T; Jovanovic, V; Wimmer, L; Vasovic, T; Mutic, T; Acimovic, J; Dailey, LA; Cirkovic Velickovic, T. (2025). Polypropylene micro- and nanoplastics affect the digestion of cow's milk proteins in infant model of gastric digestion (en línea). *Environmental Pollution* 383:126803. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.126803>.
- Khanna, R; Chandra, A; Sen, S; Konyukhov, Y; Fuentes, E; Burmistrov, I; Kravchenko, M. (2024). Microplastics and nanoplastics as environmental contaminants of emerging concern: potential hazards for human health (en línea). *Sustainability*, 16(19):8704. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16198704>.
- Lackner, M; Branka, M. (2024). Microplastics in farmed animals—a review (en línea). *Microplastics* 3(4):559-588. DOI: <https://doi.org/10.3390/microplastics3040035>.
- Lefebvre, C; Glanville, J; Briscoe, S; Littlewood, A; Marshall, C; Metzendorf, MI; Noel-Storr, A; Rader, T; Shokraneh, F; Thomas, J; Wieland, LS. (2022). Searching for and selecting studies (en línea). En: Higgins, JPT; Thomas, J; Chandler, J; Cumpston, M; Li, T; Page, MJ; Welch, VA (eds.). *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*, version 6.3. Londres, RU: Cochrane. Disponible en: <https://training.cochrane.org/handbook>.
- Liu, Y; Zhang, H; Wang, X; Chen, X; Li, R. (2023). The microplastics pollution in agricultural soils: global trends and prospects—research bibliometric analysis (en línea). *Journal of Environmental Management*, 336:117657. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/372204850>.
- Mohammadi, M; Dargahi, A; Almasi, A; Mousavi, SA; Mohammadi, P. (2025). Occurrence of microplastic, antibiotics, hormones, and heavy metals in livestock and poultry manure in west Iran (en línea). *Scientific Reports*, 15:27228. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-03826-7>.
- Olmo, L; Holman, BWB. (2025). The sources and impact of microplastic intake on livestock and poultry performance and meat products: a review (en línea). *Animal Production Science*, 65(14):AN25022. DOI: <https://doi.org/10.1071/AN25022>.
- Page, MJ; McKenzie, JE; Bossuyt, PM; Boutron, I; Hoffmann, TC; Mulrow, CD; Shamseer, L; Tetzlaff, JM; Akl, EA; Brennan, SE; Chou, R; Glanville, J; Grimshaw, JM; Hróbjartsson, A; Lalu, MM; Li, T; Loder, EW; Mayo-Wilson, E; McDonald, S; McGuinness, LA; Stewart, LA; Thomas, J; Tricco, AC; Welch, VA; Whiting, P; Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews (en línea). *BMJ* 372:n71. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>.
- Panda, S. (2024). Microplastic accumulation in agricultural soils – impacts on crop microbiomes and soil health (en línea). *Journal of Agriculture and Livestock Farming*. DOI: <https://doi.org/10.61577/jalf.2024.1000016>.
- Pinto-Poblete, A; Retamal-Salgado, J; Zapata, N; Sierra-Almeida, A; Schoebitz, M. (2023). Impact of polyethylene microplastics and copper nanoparticles: responses of soil microbiological properties and strawberry growth (en línea). *Applied Soil Ecology*, 184:104773. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104773>.
- Ramachandran, N; Singh, RK; Rai, B. (2021). Application of plastics in livestock production: an overview (en línea). *The Indian Journal of Animal Sciences* 91(3). DOI: <https://doi.org/10.56093/ijans.v91i3.114140>.
- Saxena, NN. (2022). A review paper on plasticulture (en línea). *International Journal of Innovative Research in Engineering & Management* 9(1):405-409. DOI: <https://doi.org/10.55524/ijirem.2022.9.1.85>.
- Sheriff, I; Yusoff, MS; Manan, TSBA; Koroma, M. (2023). Microplastics in manure: sources, analytical methods, toxicodynamic, and toxicokinetic endpoints in livestock and poultry (en línea). *Environmental Advances*, 12:100372. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100372>.
- Shrivastava, RK; Meena, S; Gaur, K. (2025). Microplastic interference in the food chain and its adverse effects on human health: a review (en línea). *International Journal of Latest Technology in Engineering Management & Applied Science*, 14(3):587-595. DOI: <https://doi.org/10.51583/IJLTEMAS.2025.140300062>.

- Singh, NK; Chandrakar, P; MT, M; Taye, T; Singh, IP; Singh, VP; Bara, S; Vithalrao, US. (2025). Environmental impact and mitigation approaches in livestock production systems: a review (en línea). *Archives of Current Research International*, 25(8):351-364. DOI: <https://doi.org/10.9734/acri/2025/v25i81423>.
- Statham, J; Green, M; Husband, J; Huxley, J. (2017). Climate change and cattle farming (en línea). *In Practice*, 39(1):10-19. DOI: <https://doi.org/10.1136/inp.j195>.
- Tassone, S; Issaoui, R; Balestra, V; Barbera, S; Fadda, M; Kaihara, H; Glorio Patrucco, S; Pragliola, S; Venditto, V; Abid, K. (2025). Degradation of microplastics in an in vitro ruminal environment (en línea). *Fermentation*, 11(8):445. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation11080445>.
- van der Veen, I; van de Riet, K; Mennen, M; de Boer, J; Leslie, HA. (2022). Plastic particles in livestock feed, milk, meat and blood: pilot study (en línea). Amsterdam, NL: Plastic Soup Foundation. Disponible en: <https://www.plasticsoupfoundation.org/rapporten/Final-Report-pilot-study-plastic-particles-in-livestock-feed-milk-meat-and-blood-SIGNED-1.pdf>.
- Verrez-Bagnis, V. (2023). Current challenges for the aquatic products processing industry (1.a ed., en línea). Wiley. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781394264728>.
- Visser, M; van Eck, NJ; Waltman, L. (2021). Large-scale comparison of bibliographic data sources: Scopus, Web of Science, Dimensions, Crossref, and Microsoft Academic (en línea). *Quantitative Science Studies*, 2(1):20-41. DOI: https://doi.org/10.1162/qss_a_00112.
- Wang, Y; Guo, Q; Wang, B; Zhao, J; Xing, B. (2025). Multidimensional risk assessment and source analysis of micro- and nanoplastics in dairy cattle farms: an Inner Mongolia case study (en línea). *Science of The Total Environment*, 1003:180611. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180611>.
- Wu, RT; Cai, YF; Chen, YX; Yang, YW; Xing, SC; Liao, XD. (2021). Occurrence of microplastic in livestock and poultry manure in South China (en línea). *Environmental Pollution*, 277:116790. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116790>.
- Xiao, J; Zhang, Z; Liu, P; Guo, X; Yang, X; Zhang, F; Li, F; Jiang, Y; Gong, Y. (2025). Microplastic-derived carbon emissions: from granular carbon to dissolved organic carbon and carbon dioxide under ultraviolet radiation (en línea). *Environmental Science & Technology*, 59(32):17310-17321. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.5c06601>.
- Zhang, M; Zhao, C; Yuan, T; Wang, Q; Zhang, Q; Yan, S; Guo, X; Cao, Y; Cheng, H. (2025). Effects of different microplastics on methane production and microbial community structure in anaerobic digestion of cattle manure (en línea). *Agronomy*, 15(1):107. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy15010107>.



AGROCIENCIA

Cultivando el conocimiento para un mejor futuro

REVISTA AGROCIENCIA

E - ISSN 2522-6509

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
Final Avenida Mártires del 30 de Julio de 1975,
Ciudad Universitaria "Dr. Fabio Castillo Figueroa",
San Salvador, El Salvador.

TEL (503) 2225-1506, E-mail: revista.agrociencia@ues.edu.sv

URL: <https://www.agronomia.ues.edu.sv/agrociencia>

ISSN 2522-6509

