

ingeniería

Revista de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas

ISSN: 2500-929X • Vol. 8, enero-diciembre de 2023



UNIVERSIDAD
CENTRAL

Ingeciencia

Revista de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas

ISSN: 2500-929X • Vol. 8, enero-diciembre de 2023

Rector

Jaime Arias Ramírez

Vicerrector académico

Óscar Leonardo Herrera Sandoval

Vicerrector de programas

Jorge Hernán Gómez Cardona

Vicerrector administrativo y financiero

Paula Andrea López López

Ingeciencia es la revista de investigación formativa de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas.
ingeciencia@ucentral.edu.co

Director

Adolfo Naranjo Parra

Editora

Leticia Fernández Marín

Comité editorial

Adolfo José Naranjo Parra

Sandra Milena Gamboa Moreno

Aliex Trujillo García

Gastón Mejía Arias

Leticia Fernández Marín

Héctor Sanabria Rivera

Julio de 2024

© Ediciones Universidad Central

© Varios autores

Coordinación Editorial

Carrera 5 n.º 21-38 - Edificio Lino de Pombo (1.er piso)

Bogotá, D. C., Colombia - PBX: 323 98 68, ext. 1556

www.ucentral.edu.co/crai/editorial

Preparación editorial:

**Centro de Recursos para el Aprendizaje
y la Investigación (CRAI) • Editorial**

Luz Ángela González

Directora del CRAI

Héctor Sanabria R.

Editor

Patricia Salinas Garzón

Diseño

Diego Mesa

Diagramación

Ignacio Cantillo Saade

Corrección de textos

Imagen de cubierta: tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*)



Los contenidos de la revista Ingeciencia son publicados de acuerdo con los términos de la licencia Creative Commons 2.5. Usted es libre de copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato, siempre y cuando dé los créditos de manera apropiada, no lo haga con fines comerciales y no realice obras derivadas.

Las ideas aquí expresadas, lo mismo que su escritura, son exclusiva responsabilidad de los escritores y no comprometen a la Universidad Central ni a la orientación de la revista.

Distribución gratuita

Contenido

Contents

Editorial	3
-----------------	---

Etileno en la fisiología del género <i>Solanum L.</i> : una revisión sistemática entre los años 2018-2022.....	5
Diego Alexander Sandoval Meza, Mary Lee Berdugo-Lattke y Diana Milena Orjuela	

Evaluación económica de un sistema fotovoltaico basado en pronóstico de consumo eléctrico mediante el modelo SARIMA en un edificio de oficinas en Singapur....	18
Paula Zharick Granada Chusciano, Laura Valentina Leguizamón Linares, Laura Valentina Ortiz Tello y José Nicolás Valbuena Godoy	

Síntesis de las estrategias de conservación de la tortuga Carey (<i>Eretmochelys imbricata</i>) en el Gran Caribe	30
Sofía Páez Moncaleano, Luisa Valentina Torres Melo y Mary Lee Berdugo-Lattke	

Análisis del crecimiento y producción de orellana <i>Pleurotus ostreatus</i> (Jacq. ex Fr.) P. Kumm. 1871, en tres sustratos diferentes	63
Catalina Rodríguez Borray, Miguel Sepúlveda Ortiz y Mary Lee Berdugo-Lattke	

Evaluación del comportamiento de 15 especies de aromáticas y medicinales bajo un esquema de labranza cero en las condiciones edafoclimáticas de Barrancabermeja, Santander	77
José Rafael Arrieta Vergara, Silvio Daza Rosales y Oswaldo Ríos Carrascal	

Editorial	3
-----------------	---

Ethylene in the physiology of the genus <i>Solanum L.</i> A systematic review between 2018-2022	5
Diego Alexander Sandoval Meza, Mary Lee Berdugo-Lattke y Diana Milena Orjuela	

Economic evaluation of a photovoltaic system based on electricity consumption forecasting using the SARIMA model in an office building in Singapore.....	18
Paula Zharick Granada Chusciano, Laura Valentina Leguizamón Linares, Laura Valentina Ortiz Tello y José Nicolás Valbuena Godoy	

Synthesis of conservation strategies for the hawksbill turtle (<i>Eretmochelys imbricata</i>) in the Greater Caribbean.....	30
Sofía Páez Moncaleano, Luisa Valentina Torres Melo y Mary Lee Berdugo-Lattke	

Analysis of growth and production of orellana <i>Pleurotus ostreatus</i> ; (Jacq. ex Fr.) P. Kumm. 1871, in three different substrates.....	63
Catalina Rodríguez Borray, Miguel Sepúlveda Ortiz y Mary Lee Berdugo-Lattke	

Evaluation of the behavior of 15 aromatic and medicinal species under a no-till scheme in the edaphoclimatic conditions of Barrancabermeja, Santander.....	77
José Rafael Arrieta Vergara, Silvio Daza Rosales y Oswaldo Ríos Carrascal	

**Sobreexpresión de la tetraspanina
CD9-GFP como estrategia
de seguimiento y caracterización de
vesículas extracelulares derivadas
de células humanas 90**
David Hernández y Gustavo Salguero

**Exploración de tendencias en
plataformas tecnológicas online
para la agricultura sostenible..... 101**
Sandra Cecilia Bautista Rodríguez
y Vladimir A. Melgarejo Carreño

**Ética y el uso de IA en el diseño
gráfico: de la controversia a la
colaboración creativa 113**
Camilo Orlando Gamboa, Guillermo
Humberto Licir y Cristian Camilo Fandiño

**Sistema de visión por computadora
para la identificación de grados
de quemaduras y sugerencias
de tratamiento 126**
Jean Sebastián Salamanca Wilches
y Cristhian David Rodríguez Quiroga

Mil palabras en acción..... 139

**Overexpression of the tetraspanin
CD9-GFP as a strategy
for tracking and characterizing
extracellular vesicles
derived from human cells 90**
David Hernández y Gustavo Salguero

**Exploring trends in online
technological platforms
for sustainable agriculture..... 101**
Sandra Cecilia Bautista Rodríguez
y Vladimir A. Melgarejo Carreño

**Ethics and AI use in graphic
design: from controversy to
creative collaboration..... 113**
Camilo Orlando Gamboa, Guillermo
Humberto Licir y Cristian Camilo Fandiño

**Computer vision system
for burn degree identification
and treatment suggestions..... 126**
Jean Sebastián Salamanca Wilches
y Cristhian David Rodríguez Quiroga

A thousand words in action..... 139

Editorial

Ciencia y transformación desde el Proyecto Académico de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas

La octava edición de *Ingeciencia* se erige como una muestra palpable del compromiso de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas (FICB) con la generación de conocimiento útil, ético y transformador. Cada artículo reunido en este número es testimonio del propósito del Proyecto Académico de Facultad (PAF): consolidar un ecosistema de aprendizaje e investigación que integre las ciencias, la ingeniería, la pedagogía y la sostenibilidad. El PAF plantea una visión de Facultad articulada en torno a áreas de conocimiento convergentes, donde la interdisciplinariedad y la innovación son los motores de la formación. Este espíritu se refleja claramente en los trabajos que conforman este volumen de *Ingeciencia*, los cuales abordan problemáticas contemporáneas desde distintas perspectivas: tecnológica, ambiental, social y educativa.

Desde el campo de las ciencias naturales y ambientales, el artículo “Etileno en la fisiología del género *Solanum L.*: una revisión sistemática entre los años 2018-2022”, de Diego Sandoval, Mary Lee Berdugo-Lattke y Diana Orjuela, demuestra la rigurosidad científica con la que nuestros investigadores abordan los procesos biológicos esenciales para el avance de la biotecnología vegetal. En esa misma línea, trabajos como “Síntesis de las estrategias de conservación de la tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) en el Gran Caribe” o “Análisis del crecimiento y producción de orellana (*Pleurotus ostreatus*) en tres sustratos diferentes” expresan la vocación de la Facultad por impulsar proyectos que contribuyan a la sostenibilidad ecológica y la conservación de la biodiversidad.

El compromiso con la sostenibilidad energética se hace evidente en “Evaluación económica de un sistema fotovoltaico basado en pronóstico de consumo eléctrico mediante el modelo SARIMA en un edificio de oficinas en Singapur”, de Paula Granada, Laura Leguizamón, Laura Ortiz y José Valbuena, donde la integración de la ingeniería eléctrica, la analítica de datos y la modelación matemática ejemplifica la capacidad de nuestros estudiantes e investigadores para generar soluciones a los retos de la transición energética.

En el ámbito de la innovación tecnológica aplicada a la salud, el artículo “Sistema de visión por computadora para la identificación de grados de quemaduras y sugerencias de tratamiento”, de Jean Salamanca y Cristhian Rodríguez, representa el espíritu transformador de la ingeniería moderna, al vincular la inteligencia artificial (IA) con la medicina y la atención clínica. Igualmente, “Sobreexpresión de la tetraspanina

CD9-GFP como estrategia de seguimiento y caracterización de vesículas extracelulares derivadas de células humanas”, de David Hernández y Gustavo Salguero, refleja la convergencia entre biología molecular, biotecnología y física aplicada.

La dimensión tecnológica y ética se profundiza con “Ética y el uso de IA en el diseño gráfico: de la controversia a la colaboración creativa”, de Camilo Gamboa, Guillermo Licir y Cristian Fandiño, donde se analiza el papel de la inteligencia artificial como herramienta de creación y reflexión en las artes y la ingeniería. A su vez, el artículo “Exploración de tendencias en plataformas tecnológicas *online* para la agricultura sostenible”, de Sandra Bautista y Vladimir Melgarejo, muestra cómo la transformación digital y el análisis de datos se ponen al servicio del desarrollo rural sostenible.

Finalmente, “Evaluación del comportamiento de 15 especies de aromáticas y medicinales bajo un esquema de labranza cero en las condiciones edafoclimáticas de Barrancabermeja, Santander”, de José Arrieta, Silvio Daza y Oswaldo Ríos, y “Análisis del crecimiento y producción de orellana *Pleurotus ostreatus*”, de Catalina Rodríguez, Miguel Sepúlveda y Mary Lee Berdugo-Lattke, reafirma el compromiso de la Facultad con la innovación en los sistemas agrícolas y la protección del suelo, elementos clave para la sostenibilidad ambiental y la seguridad alimentaria.

Estos trabajos publicados en esta edición evidencian el avance de la Facultad hacia la consolidación de su identidad académica mediante un ecosistema de conocimiento sólido. Este volumen de *Ingeciencia* no solo divulga resultados de investigación, sino que proyecta una comunidad académica activa, interdisciplinaria y coherente con la visión del proyecto académico: una facultad que aprende, evoluciona y transforma su entorno.

El PAF nos recuerda que la transformación universitaria no se logra con declaraciones, sino con acciones concretas: proyectos, investigaciones, innovaciones y publicaciones como esta. *Ingeciencia* es, en ese sentido, una manifestación viva de la ruta trazada por la Facultad: formar ingenieros y científicos capaces de conectar el dato con la decisión, el experimento con la ética y la ciencia con la sociedad. Hoy, la Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas reafirma su compromiso con la excelencia, la interdisciplinariedad y la sostenibilidad. Desde las páginas de este volumen de *Ingeciencia*, el mensaje es claro: la ciencia universitaria colombiana está llamada a ser motor de transformación y el conocimiento —cuando se comparte, se discute y se aplica— se convierte en la más poderosa herramienta para construir futuro.

PH. D. WILMER LÓPEZ LÓPEZ

DECANO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS BÁSICAS

Etileno en la fisiología del género *Solanum* L.: una revisión sistemática entre los años 2018-2022

Ethylene in the physiology of the genus *Solanum* L.
A systematic review between 2018-2022

Diego Alexander Sandoval Meza¹, Mary Lee Berdugo-Lattke² y Diana Milena Orjuela³

Resumen

El etileno es una molécula orgánica que participa en el desarrollo de la planta como una hormona, este es precursor de algunas fitohormonas e interviene en el proceso de tuberización; el cual consiste en el desarrollo de tubérculos, es decir, tallos engrosados como reserva de nutrientes. En esta investigación se realizó una revisión sistemática narrativa desde el año 2018 a 2022, con el objetivo de sintetizar un marco teórico sobre la ruta metabólica del etileno y su efecto en los procesos de tuberización, con énfasis en el género *Solanum* L.

Se emplearon tres motores de búsqueda: Google Académico, Scopus y SpringerLink, utilizando ecuaciones en inglés, español y portugués. Se seleccionaron 30 artículos de un total de 100, y la información se organizó en tablas y gráficos para la síntesis. Como resultado relevante se encontró una correlación significativa entre las fitohormonas y el etileno durante la tuberización, sin destacar en procesos más específicos dentro de estas rutas o moléculas. Se encontró que el etileno cumple y tiene diversas funciones en la tuberización, desde el proceso de latencia hasta la maduración de la planta; esta molécula cumple papeles inhibitorios y reguladores, según sea el caso puede promover la activación de otras fitohormonas; dos de los compuestos más importantes son el ácido abscísico (ABA) y auxinas, este último es indirectamente proporcional en la tuberización.

Créditos

Autores

- ¹ Estudiante de séptimo semestre, programa de Biología, Semillero TYGUA, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Universidad Central.
dsandovalm2@ucentral.edu.co
- ² Doctora en Ciencias-Biología. Docente del programa de Biología, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Semillero Tygua. Universidad Central.
mberdugol@ucentral.edu.co
- ³ Ph. D. Ciencias – Biología (UNAL). Profesora de tiempo completo del programa de Biología, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Universidad Central.
dorjuelac3@ucentral.edu.co

Cómo citar:

Sandoval, D., Berdugo-Lattke, M. & Orjuela, D. (2023). Etileno en la fisiología del género *Solanum* L. Una revisión sistemática entre los años 2018-2022. *Ingeciencia*, 8, 5-17.

Palabras clave: etileno, tuberización, *Solanaceae*, *Solanum* y fitohormonas.

Abstract

Ethylene is an organic molecule that participates in plant development, is a precursor of some phytohormones and intervenes in the tuberization process, which consists in the development of tubers, thickened stems as a nutrient reserve. In this research, a narrative systematic review was conducted from 2018 to 2022, to synthesize a theoretical framework on the metabolic pathway of ethylene and its effect on tuberization processes, focused on the genus *Solanum* L.

Three search engines were used: Academic Google, Scopus and SpringerLink, with two equations in English, Spanish and Portuguese. Thirty articles were selected from a total of 100, and the information was organized in tables and graphs for synthesis. A significant relationship was found between phytohormones and ethylene in tuberization, without highlighting more specific processes within these pathways or molecules.

Keywords: Ethylene, Tuberization, *Solanaceae*, *Solanum* & Phytohormones.

1. Introducción

La familia *Solanaceae* es uno de los grupos más diversos de las angiospermas, posee entre 90 y 100 géneros con 2500 especies descritas, y está catalogada como cosmopolita por su amplia distribución geográfica (Cuevas, 2018). Su distribución comprende desde el nivel del mar hasta los 3000 m s. n. m., gran parte de su diversidad se encuentra en el neotrópico, su principal carácter morfológico distintivo es el tipo de flor y el fruto (Cabrera, 2010). El género más representativo de las solanáceas es *Solanum* L., con plantas herbáceas o arbóreas, se estima que el número de especies alcanzan las 950, su principal característica es el fruto en forma de baya; este género se diversifica en el neotrópico con especies de importancia económica como la papa (*Solanum tuberosum* L.) y el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Granados-Tochoy & Orozco-P., 2005), entre otras.

La papa es uno de los tubérculos más consumidos, ocupa el cuarto lugar en el sistema de alimentación mundial por su importancia e impacto en el consumidor (Sánchez & Baracaldo, 2019). En Colombia es ampliamente cultivada y consumida. La oferta-demanda provoca un aumento del precio en varias zonas del país. Algunos problemas asociados al cultivo son causados por diferentes patógenos, como la polilla

guatemalteca que afecta principalmente el tubérculo (Rodríguez-Pérez, 2010; Moya, 2012; Guatusmal & Males, 2018).

La producción agrícola de la papa puede estar amenazada por el cambio climático, esto impulsa la creación de estrategias para la mitigación, ya sean físicas o moleculares, puesto que es proporcional con su demanda, por ejemplo, para el 2021 en Colombia aumentó el 8 % de su producción (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021). Por esta razón, comprender la función reguladora de las fitohormonas es relevante para futuras mejoras en los cultivos en un escenario de calentamiento global. En este estudio se hace énfasis en la fitohormona etileno, que está en el proceso de maduración y floración de las plantas (van de Poel *et al.*, 2012). Su síntesis se realiza en el ciclo de Yang (Houben & van de Poel, 2019) e interviene en la señalización y función de otras hormonas; en el caso de la formación de tubérculos, regula el almacenamiento de carbohidratos y la síntesis del ácido abscísico (ABA) (Jordán & Casaretto, 2006).

El objetivo de esta investigación fue establecer un marco teórico sobre la relación del etileno y el proceso de tuberización de la familia *Solanaceae*, con énfasis en el género *Solanum* L. Asimismo se analizó el papel del etileno con cada una de las etapas del proceso de tuberización y su influencia sobre otras hormonas, especialmente en el ámbito fisiológico.

2. Cuerpo del trabajo

2.1 Metodología

2.1.1 Fase de revisión bibliográfica

Según la metodología de Guirao-Goris *et al.* (2008), se incluyeron palabras claves sobre la ruta de etileno, funciones fisiológicas, *Solanaceae* y *Solanum*; con estas se plantearon dos ecuaciones de búsqueda en inglés, español y portugués. Seguidamente se usaron los motores de búsqueda Google Académico, SpringerLink y Scopus, junto con el filtro temporal de 2018-2022 (tabla 1).

Tabla 1. Ecuaciones de búsqueda que se emplearon para la síntesis de datos bibliográficos en los tres motores ya establecidos

N.º	Ecuación	Motor de búsqueda
1	("tuber initiation" AND "ethylene") and Solanaceae ("tuberización y etileno") y Solanaceae	Google Académico, Scopus y SpringerLink
2	"effects of ethylene" AND "stored potato tubers" "Efectos del etileno" AND "tubérculos de patata almacenados"	Google Académico, Scopus y SpringerLink
3	"Efeitos do etileno" E "tubérculos de batata armazenados" ("tuberização e etileno") e solanaceae	Google Académico, Scopus y SpringerLink

Fuente: elaboración propia.

2.1.2 Fase de síntesis y análisis de la información

Se usaron cuatro criterios para la selección de recursos: año, tipo de documento, pertinencia y tema de interés (fisiología, molecular y genético) (tabla 2). Con estos criterios, se recuperaron 67 recursos bibliográficos con la ecuación 1, y 23 con la ecuación 2; todos los resultados fueron en inglés. Después se descartaron los duplicados y los artículos que incluyeran datos anteriores al 2018; con los recursos restantes se hizo un análisis descriptivo bibliométrico. Es necesario aclarar que solo se tuvieron en cuenta recursos disponibles legalmente en las bases de datos, dado que algunas plataformas no tienen acceso gratis a los recursos. Por lo tanto, se incluyeron aquellos recursos que son de libre acceso o tenían acceso con el uso de las credenciales de la Universidad Central.

Tabla 2. Modelo de tabla para recopilar y seleccionar los recursos obtenidos en la revisión bibliográfica

N.º	Título	Autores	Año	Tipo de documento	Tema	Pertinente sí/no
1	Modulation of JA signalling reveals the influence of St-JAZ1-like on tuber initiation and tuber bulking in potato	Begum, S., Jing, S., Yu, L., Sun, X., Wang, E., Kawochar, M., Qin, J., Liu, J. & Song, B.	2021	Artículo	Molecular Fisiológico Genético	Sí

Fuente: elaboración propia.

Se incluyeron 30 artículos para elaborar la revisión, después se realizó la síntesis sobre el tema del etileno y la tuberización (etapas), con el fin de elaborar mapas conceptuales donde se incluyeron otras rutas metabólicas. Se aclara que los recursos seleccionados se enfocaron en *Solanum L.*

3. Resultados

Según la estrategia utilizada, la mayoría de los documentos se encuentran en inglés, solo se reportaron cuatro recursos en portugués y ninguno en español. El motor de búsqueda que mejor funcionó por la cantidad de recursos fue Google Académico, sin embargo la mayoría de los artículos no estaban relacionados con el tema de interés. El filtro temporal permitió optimizar el tiempo de revisión al dejar recursos con el tema de interés: se obtuvieron 102 recursos y después de la depuración quedaron 94 recursos.

En la figura 1 se observan mayores resultados con la ecuación 1 y en el año 2021 se registró la mayor cantidad de artículos para ambas ecuaciones. Por otro lado, la clasificación por tema muestra una mayor cantidad de recursos enfocados en la fisiología (58,8 %), seguida por el área molecular (25,3 %) y finalmente en genética (15 %) (figura 2a). Según estos recursos, los estudios sobre el etileno están enfocados en la fisiología y el proceso de tuberización. Por lo general, los estudios describen el efecto del etileno sobre la tuberización; en términos moleculares, se estudia la señalización y la producción de fitohormonas; y en el aspecto genético, se ha analizado la

producción de enzimas encargadas en la síntesis o señalización de las fitohormonas en la tuberización.

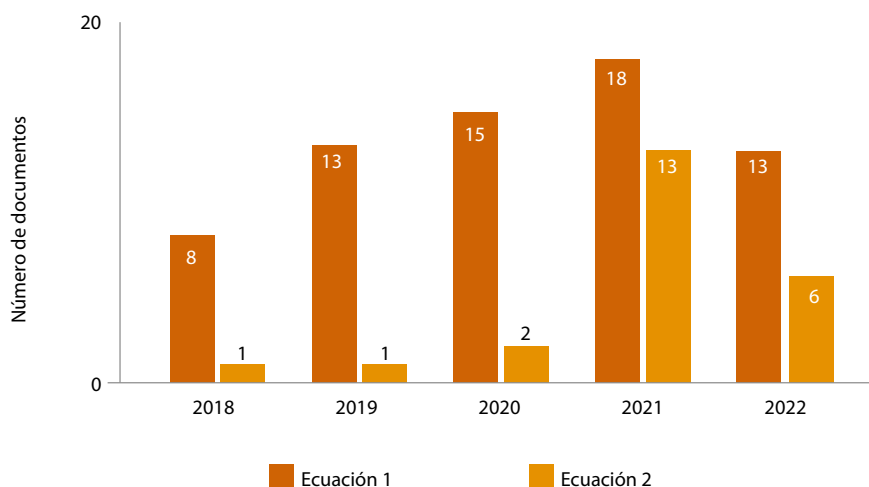


Figura 1. Recursos reportados según las ecuaciones usadas y el año de publicación
Fuente: elaboración propia.

La mayoría de los recursos fueron artículos científicos (37,7 %), seguido por libros (26,1 %), tesis (20,3 %) y revisiones (15,9 %) (figura 2b). Esta tendencia muestra una necesidad para aumentar las publicaciones de tesis en formato de artículo para darles un mayor alcance, dado que los repositorios tienen restricciones sobre el acceso y solo han pasado un filtro de evaluación institucional. Se considera el sesgo sobre el acceso libre a otros recursos que requieren el pago por suscripción, con costos elevados por las tasas de cambio en países como Colombia. Finalmente, en la figura 3 se observa que solo el 30 % de los recursos fueron seleccionados según los criterios de inclusión, donde los recursos excluidos no profundizan sobre el tema de interés o carecen de conclusiones relevantes para el tema.

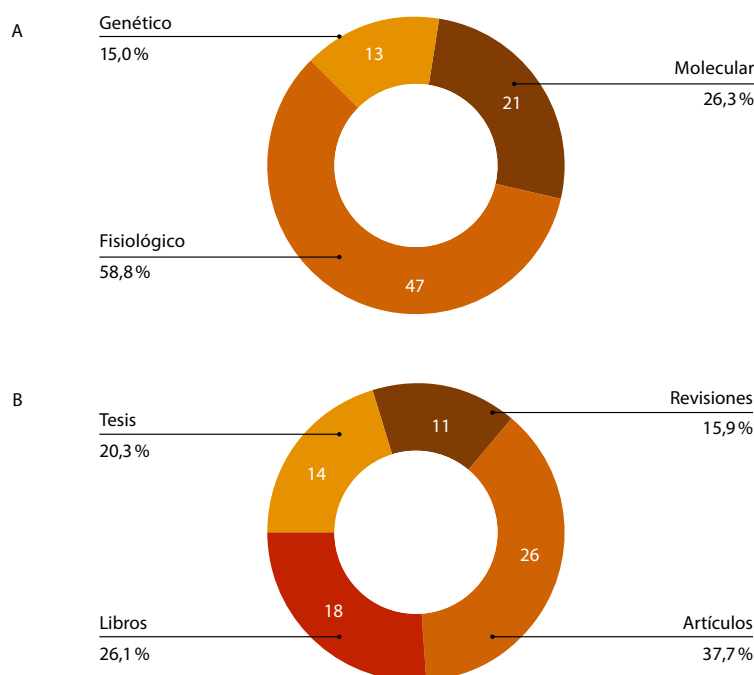


Figura 2. (a y b). (a) Porcentajes de documentos clasificados según los temas de esta revisión. (b) Porcentaje de los recursos según su naturaleza
Fuente: elaboración propia.

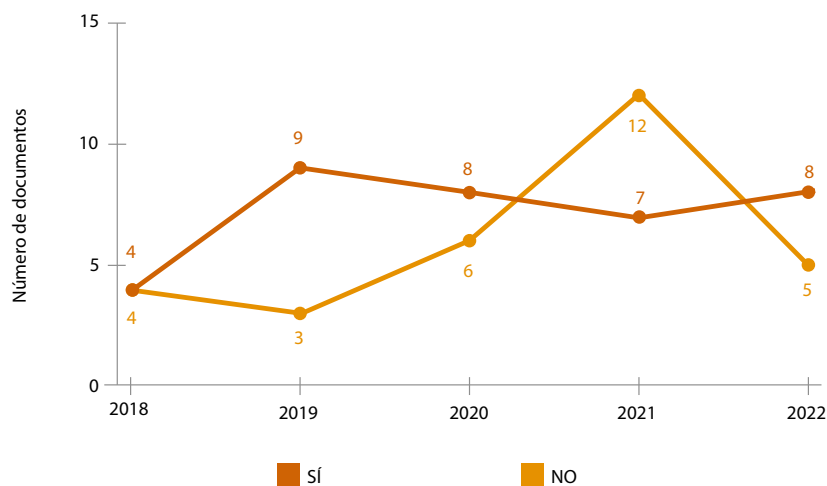


Figura 3. Artículos seleccionados (Sí) y descartados (NO) según el año de publicación
Fuente: elaboración propia.

3.1 Síntesis sobre la fisiología, el etileno y la tuberización en *Solanum* L.

Las funciones del etileno son diversas, puede inhibir la producción de otras hormonas (Auxinas [AU], Giberelinas [GA] y Citoquinas) y señalar procesos de almacenamiento de almidón y la formación del tubérculo (Jordán & Casaretto, 2006). Además regula la presencia de AU y ácido abscísico (ABA), entre otras (Karsai-Rektenwald *et al.*, 2022; Lomin *et al.*, 2020; Matres, 2021); esta función permite el control sobre señalizadores proteicos de genes específicos, para la síntesis de enzimas y rutas metabólicas como STBEL5, STSP-6A y POTH1 (Wang *et al.*, 2022).

El efecto del etileno sobre la tuberización se ha evidenciado desde cuando inicia la reserva de almidón (Lomin *et al.*, 2018) y durante las etapas siguientes que implican la señalización y regulación de las fitohormonas según Karsai-Rektenwald *et al.* (2022). Esta molécula se expresa de manera constante en todas las etapas y por último puede inhibir su propia síntesis (Houben & van de Poel, 2019). En la figura 4 se sintetiza la función del etileno en las tres etapas de la tuberización: latencia, desarrollo y maduración. Su presencia está ligada con la regulación y señalización de otras hormonas como las AU, esto resalta los vacíos de conocimiento que existen sobre los procesos en etapas intermedias de la tuberización.

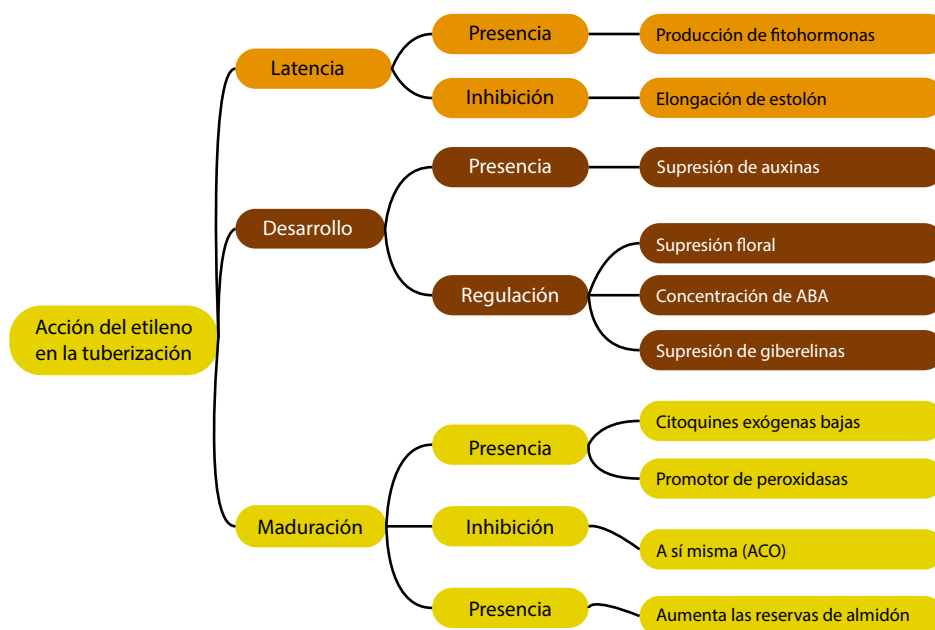


Figura 4. Síntesis sobre la función y la acción del etileno sobre las etapas de la tuberización

Fuente: elaboración propia.

3.2 Síntesis sobre otros metabolitos y tuberización en *Solanum* L.

A partir del 2018, se observa que no solo el etileno está relacionado con el proceso de tuberización, sino que otras hormonas intervienen y se destacan: AU, GA y ABA. Las AU se expresan o se hacen presentes en el extremo apical de las plantas; esta hormona solo se expresa en la etapa juvenil y de manera especial en la tuberización (Kolachetskaya *et al.*, 2019). Las GA están presentes en las raíces, aumentan su cantidad y, por consiguiente, generan un incremento en la absorción de agua. El ABA aumenta su concentración durante el desarrollo del tubérculo; alcanza su máxima concentración al final de la etapa e inhibe las GA (Abbas & Zahra, 2021; Bizuayehu *et al.*, 2021) (figura 5). Sin embargo, en los estudios revisados no se indican las concentraciones, solo se discute su función según su presencia/ausencia.

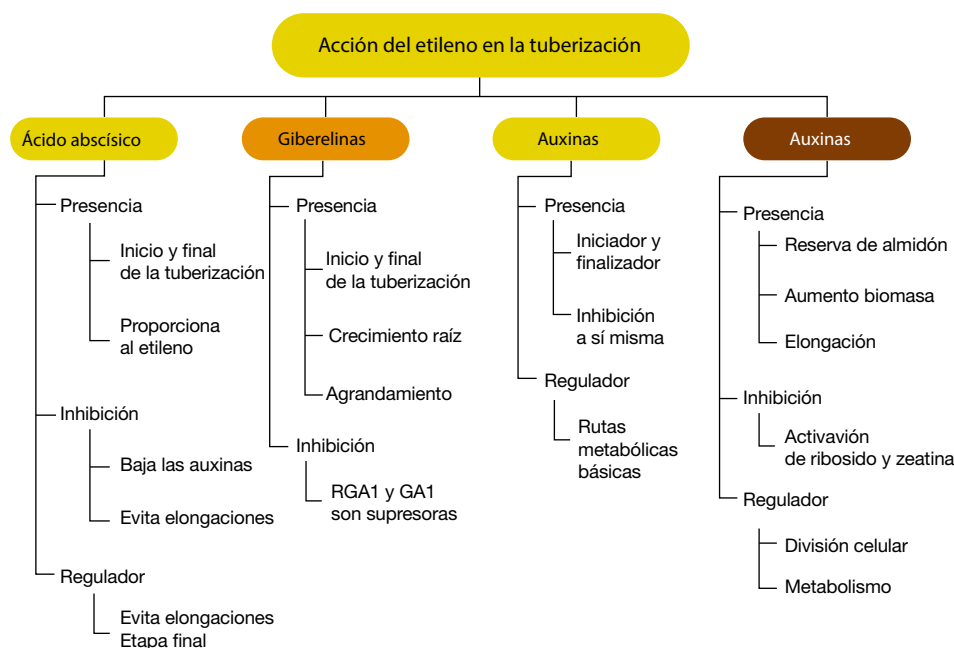


Figura 5. Síntesis sobre otras fitohormonas implicadas en el proceso de tuberización, se muestra su acción y efectos
Fuente: elaboración propia.

4. Discusión

El etileno se encuentra vinculado con el proceso de tuberización y tiene tres acciones: regular, inhibir y estimular. Sin embargo, los estudios que mencionan su presencia no aclaran su efecto en términos de concentración. Por otro lado, se evidencia la importancia del etileno sobre la señalización o regulación de las rutas metabólicas de otras fitohormonas. En cuanto a las etapas de tuberización, el etileno está presente durante

la elongación, el endurecimiento y el aumento de las reservas de almidón, funciones relevantes en la producción de papa en este caso. No obstante, se mostró la acción de una gran variedad de señalizadores proteicos para todas las hormonas en la tuberización. A continuación se presenta la discusión de su efecto a nivel fisiológico y su implicación con otras fitohormonas.

4.1 Efecto a nivel fisiológico

El etileno es indispensable para la señalización de diferentes fitohormonas, en la Figura 4 se sintetiza su función como inhibidor o regulador (Kolachevskaya *et al.*, 2019; Desta *et al.*, 2021). Su presencia en las primeras etapas de la tuberización funciona como señalizador de AU y de ABA; al reducir la presencia de auxinas, evita la elongación de los tubérculos y los estolones, por esto, durante el desarrollo del tubérculo, el etileno reduce la presencia de AU (inversamente proporcional) (Kolachevskaya *et al.*, 2019; Saidi & Hajibarat, 2021). Por otra parte, entre ABA y el etileno se establece una proporcionalidad para regular la elongación y el control de auxinas en todas las etapas (Saidi & Hajibarat, 2021). Sin embargo, se desconoce la regulación durante la etapa de desarrollo del tubérculo, únicamente se destacan las siguientes funciones en la supresión floral y de auxinas en la regulación de la presencia de ABA e inhibición de la expresión de GA2 (Pelton, 2019; Odgerel *et al.*, 2022; Park *et al.* 2023).

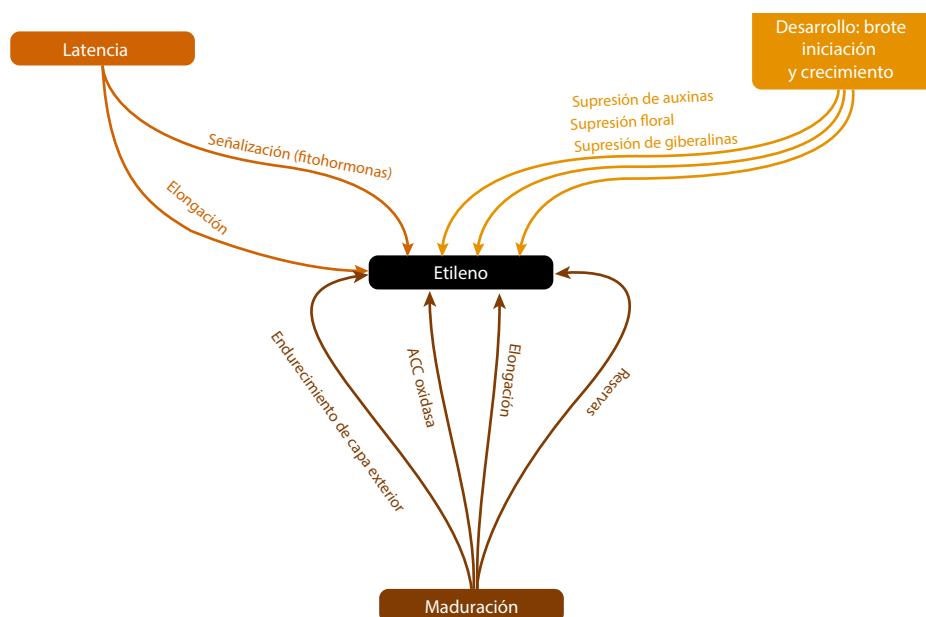


Figura 6. Síntesis de la relación del etileno con las etapas de la tuberización

Fuente: elaboración propia

En síntesis, el etileno cumple varias funciones en la tuberización, ya sea para regular o inhibir. En los estudios revisados se afirma la importancia del etileno en la tuberización (figura 6), donde su presencia o síntesis al inicio es menor y aumenta durante el

proceso (Karsai-Rektenwald *et al.*, 2022; Lomin *et al.*, 2020.), y es capaz de promover su inhibición con la enzima ACC oxidasa (van de Poel *et al.*, 2012). Se considera aumentar los estudios sobre esta fitohormona para encontrar alternativas que permitan mejorar las características de los tubérculos, en este caso para la papa, y extender los estudios moleculares para otras especies de interés alimenticio.

4.2 Efecto sobre metabolitos

Se resaltan dos aspectos importantes en la literatura encontrada, primero se presenta una relación entre las fitohormonas en todas las etapas de desarrollo de la planta, sin embargo no se evidencia entre ellas. Segundo, la presencia de las fitohormonas puede variar entre las etapas, esto podría estar implicado con los procesos de regulación, inhibición y señalización (figura 7). Según Lomin *et al.* (2018) existe evidencia sobre la variación en la señalización proteica y la presencia de las citoquinas en la tuberización de la papa criolla. Por lo tanto, el proceso está mediado por varias hormonas al mismo tiempo.

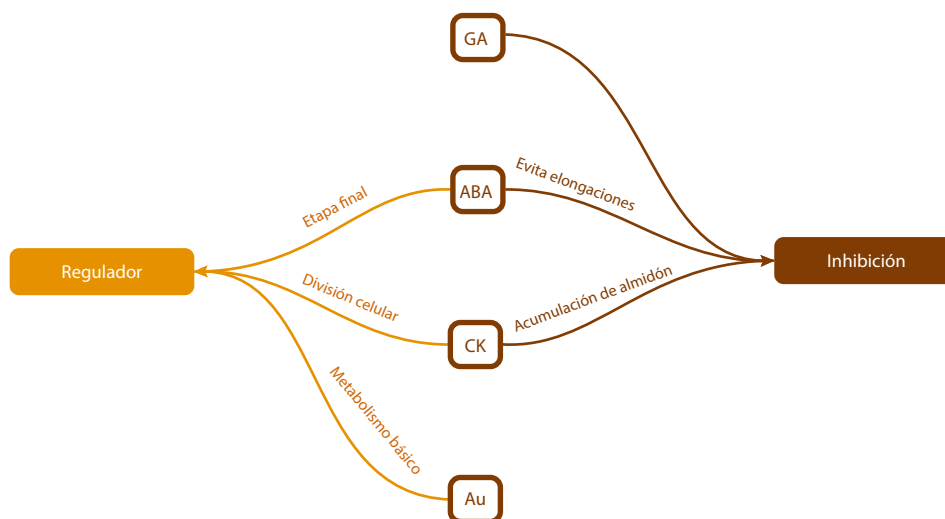


Figura 7. Mapa conceptual de fitohormonas y la acción en la tuberización

Nota. Giberelinas (GA), ácido abscísico (ABA), citoquinas (CK) y auxinas (Au).

Naranja: regulación. Morado: inhibición. Se menciona el efecto principal.

Fuente: elaboración propia.

Se encontraron dos acciones predominantes entre las fitohormonas de la Figura 7: regulación e inhibición, estas dependen de la concentración de las hormonas y es allí donde el etileno es relevante por su efecto en las rutas metabólicas de otras fitohormonas. Durante la iniciación aumentan las concentraciones de auxinas y de ABA y hacia la etapa final disminuyen conforme aumentan el etileno, las GA y las citoquinas (CK) (Saidi & Hajibarat, 2021). Por lo tanto, en cada etapa de la tuberización se observa que el cambio en las concentraciones es decisivo para todo el proceso; sin embargo, no se ha estudiado de forma cuantitativa. Por otro lado, la inhibición se relaciona con

varias moléculas o señalizadores, entre las hormonas o funciones fisiológicas; cabe destacar que las moléculas promotoras se ven ligadas a compuestos o complejos proteicos (Wang *et al.*, 2022). El efecto principal de las fitohormonas durante las etapas de la tuberización, al inicio y final, las funciones bioquímicas, como la ABA, CK y GB, su función es específica y está relacionada con la elongación, el aumento de las reservas de almidón y de tamaño (Saidi & Hajibarat, 2021), con algunas funciones del etileno.

5. Conclusiones

En esta revisión se evidencia una relación entre el etileno y la tuberización en un rango amplio y se resalta la necesidad de realizar investigaciones cuantitativas para dilucidar las concentraciones de todas las fitohormonas que intervienen en el proceso. Esto permitiría dar opciones al usuario primario (el agricultor) sobre los cambios que podría hacer o adaptar su cultivo en escenarios de cambio climático.

Se concluye que las fitohormonas son esenciales para la tuberización, donde cada una de ellas desempeña una función principal en la fisiología del tubérculo y que actúan en sinergia durante las etapas de la tuberización. Se encontró una proporcionalidad inversa entre el etileno y las auxinas y una directamente proporcional entre el etileno y ABA al finalizar el proceso. Sin embargo, hacen falta más estudios para analizar las rutas metabólicas entre las etapas del proceso y las concentraciones de las fitohormonas implicadas.

Agradecimientos

Agradezco el espacio del programa de Biología donde se estructuró este proyecto integrado de profundización. A mis tutoras, las profesoras Diana Orjuela y Mary Lee Berdugo por hacer posible este resultado; desde el comienzo hasta el final, me han apoyado durante el semestre para hacer posible la entrega de este documento en el menor tiempo posible; han sido constantes en todo aspecto fundamental, redacción, estilo y acompañamiento para obtener el desarrollo correcto de este trabajo. Así mismo, recibo con agrado toda la retroalimentación. A la Universidad Central por darme acceso a la base de datos, para la elaboración de este artículo.

Referencias

- Bizuayehu, D., Abate, N. & Kefelegn, G. (2021). Regulation of Potato Tuber Dormancy. *Asian Journal of Research and Review in Agriculture*, 3(4), 85-92.
<https://bit.ly/47bRqpH>
- Cabral, E. (2010). *Core eudicotiledóneas: diversidad vegetal biotaxonomía de spermatofitos*. Facena Unne. <https://bit.ly/4qbmiiq>

- Cuevas, L. (2018). *Taxonomía de la familia solanaceae en el municipio de Coacoatzintla, Veracruz, México* [Tesis de pregrado, Universidad Veracruzana]. <https://bit.ly/3WEtZAc>
- Granados-Tochey, J. & Orozco-P., C. (2005). Novedades corológicas y morfológicas en *Solanum* sección *geminata* (Solanaceae). *Caldasia*, 27(1), 1-16. <https://bit.ly/46SR7kF>
- Guatusmal, C. & Males, R. (2018). *Comportamiento de dos variedades de Solanum Tuberosum L en un cultivo en callejones con Alnus Acuminata Kunth* [Tesis de pregrado, Universidad de Nariño]. <https://sired.udenar.edu.co/5934/1/92630.pdf>
- Guirao-Goris, J., Olmedo, A. & Ferrer, E. (2008) El artículo de revisión. *Revista Iberoamericana de Enfermería Comunitaria*, 1(1) 6. <https://bit.ly/3KNdJug>
- Houben, M. & van de Poel, B. (2019). 1-Aminocyclopropane-1-Carboxylic Acid Oxidase (ACO): The Enzyme That Makes the Plant Hormone Ethylene. *Frontiers In Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00695>
- Jordán, M. & Casaretto, J. (2006). Hormonas y reguladores del crecimiento: etileno, ácido abscísico, brasinoesteroides, poliaminas, ácido salicílico y ácido jasmónico. En F. Squeo & L. Cardemil (eds.), *Fisiología Vegetal*. Ediciones Universidad de La Serena. http://www.biouls.cl/librofv/web/pdf_word/Capitulo%2016.pdf
- Karsai-Rektenwald, F., Odgerel, K., Jose, J. & Bánfalvi, Z. (2022). In Silico Characterization and Expression Analysis of Gigantea Genes in Potato. *Biochemical Genetics*, 60, 2137-2154. <https://doi.org/10.1007/s10528-022-10214-7>
- Kolachevskaya, O., Lomin, S., Arkhipov, D. & Romanov, G. (2019). Auxins in potato: molecular aspects and emerging roles in tuber formation and stress resistance. *Plant Cell Reports*, 38, 681-698. <https://doi.org/10.1007/s00299-019-02395-0>
- Lomin, S., Myakushina, Y., Kolachevskaya, O., Getman, I., Arkhipov, D., Savelieva, E., Osolodkin, D. & Romanov, G. (2018). Cytokinin perception in potato: New features of canonic players. *Journal of Experimental Botany* 69(16), 3839-3853, <https://doi.org/10.1093/jxb/ery199>
- Lomin, S., Myakushina, Y., Kolachevskaya, O., Getman, I., Savelieva, E., Arkhipov, D., Deigraf, S. & Romanov, G. (2020). Global View on the Cytokinin Regulatory System in Potato. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://bit.ly/4qs0rDV>
- Matres, A. (2021). *Caracterización funcional de los elementos en CIS involucrados en la regulación traduccional de la maduración del fruto* [Tesis de grado, Universitat Politècnica de València]. Repositorio Institucional - Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/handle/10251/171201>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). *Cadena de la papa*. <https://bit.ly/4haU0Rj>
- Moya, H. (2012). *Manejo fitosanitario del cultivo de la papa. Medidas para la temporada invernal*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). <https://bit.ly/3Ja6Ane>

- Odgerel, K., Jose, J., Karsai-Rektenwald, F., Ficzek, G., Simon, G., Végvári, G. & Bánfalvi, Z. (2022). Effects of the repression of GIGANTEA gene StGI.04 on the potato leaf transcriptome and the anthocyanin content of tuber skin. *BMC Plant Biology*, 22. <https://doi.org/10.1186/s12870-022-03636-3>
- Park, H.-J., Lee, G.-B., Park, Y.-E., Jin, Y.-I., Choi, J.-G., Seo, J.-H., Cheon, C.-G., Chang, D.-C., Cho, J.-H. & Kang, J.-H. (2023). Effects of seed tuber size on dormancy and growth characteristics in potato double cropping. *Horticulture Environment and Biotechnology* 64, 167-178. <https://doi.org/10.1007/s13580-022-00462-2>
- Pelton, J. (2019). *The role of strigolactones in potato tuber dormancy* [Tesis de doctorado, Imperial College London]. <https://doi.org/10.25560/88853>
- van de Poel, B., Bulens, I., Markoula, A., Hertog, M., Dreesen, R., Wirtz, M., Vandoninck, S., Oppermann, Y., Keulemans, J., Hell, R., Waelkens, E., de Proft, M., Sauter, M., Nicolai, B. & Geeraerd, A. (2012). Targeted systems biology profiling of tomato fruit reveals coordination of the Yang cycle and a distinct regulation of ethylene biosynthesis during post climacteric ripening. *Plant Physiology*, 160(3), 1498-1514. <https://doi.org/10.1104/pp.112.206086>
- Rodríguez-Pérez, L. (2011). Ecofisiología del cultivo de la papa (*Solanum Tuberosum* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 4(1), 97-108. <https://bit.ly/4n9XtRx>
- Saidi, A. & Hajibarat, Z. (2021). Phytohormones: plant switchers in developmental and growth stages in potato. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s43141-021-00192-5>
- Sánchez, E. & Baracaldo, D. (2019). *Análisis de la expresión del Gen CDPK7 y evaluación del Gen EIN2 en papa criolla Solanum Tuberosum Vf. Phureja, (variedad criolla colombiana) irradiada con cobalto 60* [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional - Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://bit.ly/46QUOan>
- Wang, Y., Liu, T., Ma, C., Li, G., Wang, X., Wang, J., Chang, J., Guan, C., Yao, H. & Dong, X. (2022). Carbohydrate regulation response to cold during rhizome bud dormancy release in *Polygonatum kingianum*. *BMC Plant Biology*, 22, 163. <https://doi.org/10.1186/s12870-022-03558-0>

Evaluación económica de un sistema fotovoltaico basado en pronóstico de consumo eléctrico mediante el modelo SARIMA en un edificio de oficinas en Singapur

Economic evaluation of a photovoltaic system based on electricity consumption forecasting using the SARIMA model in an office building in Singapore

Paula Zharick Granada Chusciano¹, Laura Valentina Leguizamón Linares²,
Laura Valentina Ortiz Tello³ y José Nicolás Valbuena Godoy⁴

Resumen

El uso de fuentes de energía renovables reduce la dependencia de combustibles fósiles y disminuye la emisión de gases de efecto invernadero. La instalación de sistemas fotovoltaicos en edificaciones contribuye a mitigar el cambio climático y proteger el medio ambiente. En este estudio se abordó el desafío de reducir la dependencia de fuentes de energías convencionales y minimizar los costos eléctricos de un edificio compuesto por oficinas en Singapur. Para lograrlo, se utilizó un modelo estadístico SARIMA para predecir el consumo eléctrico de la edificación hasta más de 7 años en el futuro. Después de evaluar 17 combinaciones, se determinó que el SARIMA (0,0,0) (1,0,0) [168] fue el modelo de mejor ajuste para los datos. Esta predicción se utilizó para realizar un análisis económico de la instalación de paneles fotovoltaicos para reducir la factura eléctrica y recuperar la inversión en un tiempo determinado. Los resultados obtenidos demostraron que la instalación de paneles fotovoltaicos es rentable y deja un precedente para establecer futuros sistemas en edificaciones con características geográficas similares a Singapur.

Palabras clave: SARIMA, consumo eléctrico, sistemas fotovoltaicos, análisis económico, gestión energética.

Créditos

- ¹ Estudiante de décimo semestre de Ingeniería Industrial, Universidad Central. Forma parte del semillero Modelado de Sistemas.
pgranadac@ucentral.edu.co
- ² Estudiante de décimo semestre de Ingeniería Industrial, Universidad Central. Forma parte del semillero Modelado de Sistemas.
lleguizamon1@ucentral.edu.co
- ³ Estudiante de décimo semestre de Ingeniería Industrial, Universidad Central. Forma parte del semillero Modelado de Sistemas.
lortizt2@ucentral.edu.co
- ⁴ Profesor de la facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Universidad Central. Líder del semillero Modelado de Sistemas.
jvalbuenag1@ucentral.edu.co

Abstract

The use of renewable energy sources reduces dependence on fossil fuels and reduces greenhouse gas emissions. Installing photovoltaic systems in buildings contributes to mitigating climate change and protecting the environment. This study addressed the challenge of reducing dependence on conventional energy sources and minimizing electricity costs in an office building in Singapore. To achieve this, a SARIMA statistical model was used to predict the building's electricity consumption up to 7 years into the future. After evaluating 17 combinations, it was determined that SARIMA (0,0,0) (1,0,0) [168] was the best-fitting model for the data. This prediction was used to perform an economic analysis of installing photovoltaic panels to reduce the electric bill and recover the investment in a given time. The results showed that installing photovoltaic panels is cost-effective and leaves a precedent for establishing future systems in buildings with similar geographical characteristics to Singapore.

Keywords: SARIMA, electricity consumption, photovoltaic systems, economic analysis, energy management.

Cómo citar:

Granada, P., Leguizamón, L., Ortiz, L. & Valbuena, J. (2023). Evaluación económica de un sistema fotovoltaico basado en pronóstico de consumo eléctrico mediante el modelo SARIMA en un edificio de oficinas en Singapur. *Ingeciencia*, 8, 18-29.

1. Introducción

En la actualidad, la creciente demanda de energía eléctrica ha llevado al mundo y a la industria a buscar formas de generar energía limpia, sostenible y renovable. En este contexto, los sistemas fotovoltaicos, también conocidos como paneles solares, se han convertido en una alternativa prometedora para la generación de energía, especialmente en edificios (Dolezal *et al.*, 2013). Mediante la instalación de estos sistemas se aprovecha la energía solar para generar electricidad, lo que produce un ahorro de costos en electricidad y una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo del tiempo (Sanabria, 2016). Dicha demanda energética debe tener una buena planificación para contrarrestar fluctuaciones y distintas condiciones mundiales; para esto se han introducido nuevos modelos de previsión precisa del consumo y la generación de energía, como los modelos SARIMA (*Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average*).

El modelo SARIMA (p,d,q) (P,D,Q) [S] incorpora el aprendizaje de comportamientos estacionales característicos en la demanda energética de edificios. Este modelo incluye factores estacionales autorregresivos (P), diferenciación (d), diferenciación estacional (D) y promedio móvil estacional (Q), incluye una serie estacional con [S] periodos. La ecuación del modelo SARIMA se representa de la siguiente manera:

$$\Phi(B) (1-B)^d (1-B^S)^D Y_t = \theta(B)(1-\Theta B^S)\varepsilon_t \quad (1)$$

Donde:

- $\Phi(B)$ y $\theta(B)$ son los polinomios autorregresivos y de media móvil, respectivamente, que involucran los parámetros p y q .
- B es el operador de rezago o retraso y B^S representa el rezago estacional con la longitud de estacionalidad S .
- Y_t es el valor de la serie de tiempo en el tiempo t .
- ε_t son los errores o residuos de la serie de tiempo.

En el campo de la gestión de la demanda estacional de bienes y servicios, las investigaciones sobre modelos para pronósticos han sido objeto de creciente interés y estudio. Es así que una investigación se llevó a cabo para desarrollar modelos SARIMA con el fin de predecir las ventas de las verduras más compradas en un periodo específico. Los resultados indicaron que este modelo resulta ser el más adecuado para productos con demanda estacional (Falatouri *et al.*, 2022). Así mismo, en otro estudio se emplearon series temporales para predecir la demanda de electricidad. En este caso se utilizó un modelo SARIMA con variables exógenas (SARIMAX) que incorporó tanto variables meteorológicas como variables con efectos cruzados (estacionalidad diaria, semanal y anual). Este enfoque permitió reducir los errores de predicción y mejorar el criterio de información de Akaike (Elamin & Fukushima, 2018).

La implementación de sistemas fotovoltaicos involucra una evaluación integral que abarca la consideración de modelos de pronóstico, factores meteorológicos y las especificaciones físicas de los paneles a instalar (Ho *et al.*, 2019). Actualmente, diversos proyectos se han llevado a cabo con el objetivo de reducir el consumo de energía aprovechando la radiación solar. Por ejemplo, en Camerún se ha conseguido reducir el consumo a $65,94 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ al año; mientras que, en Singapur, con una radiación solar anual promedio de $1580 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ al año, se vislumbra la posibilidad de reducciones aún más significativas (Zhijian *et al.*, 2021). Por otro lado, Haghighat *et al.* (2016) señala que la combinación óptima en términos de costos totales, incluyendo instalación, mantenimiento, reemplazo y otros factores, para un sistema fotovoltaico y sus componentes implica la integración de diésel, energía solar fotovoltaica y aerogeneradores, lo que requiere una inversión inicial de USD \$521,078. Adicionalmente, investigaciones realizadas por Yan *et al.* (2019) y Castilho *et al.* (2021) introducen el concepto de autoconsumo y autofinanciación en sistemas fotovoltaicos, donde la energía generada por los paneles solares se emplea directamente en el edificio, prescindiendo de una conexión externa. Esta práctica conlleva el potencial de ahorros en la factura de electricidad a lo largo del tiempo y la generación de ingresos suficientes a través de la venta de electricidad para cubrir los costos de inversión y operación. Por último, Vinardell (2022) destaca la propuesta de valor que supone la instalación de paneles

solares en residencias y enfatiza su impacto positivo tanto desde una perspectiva económica como en la reducción de la huella de carbono.

En el presente documento se evalúa una propuesta para implementar un sistema fotovoltaico en un edificio de oficinas de Singapur, a partir de la base de datos del CEA (City Energy Analyst) adquiridos por la Universidad Tecnológica de Nanyang (NTU) y el trabajo realizado por Bello (2021) en su tesis de maestría en la Universidad Central y en la Universidad Jorge Tadeo Lozano. En este sentido, se realizó una caracterización de los datos de la serie de tiempo de la demanda energética del edificio y se procedió a entrenar un modelo SARIMA con transformación BoxCox. Además, se llevó a cabo un análisis económico para esta instalación. Finalmente, se discutieron los resultados obtenidos y se identificaron las posibles aplicaciones futuras del trabajo realizado.

2. Materiales y métodos

2.1 Caracterización de la serie de tiempo

Inicialmente se verificó la continuidad horaria de la serie de tiempo mediante la representación gráfica de los datos y se aplicaron técnicas de estadística descriptiva y el diagrama de caja para identificar información atípica. Luego, se procedió a dividir los datos en grupos de entrenamiento y prueba. Mediante gráficas de tendencia, gráficos de caja de frecuencia y la prueba de DickeyFuller, se evaluaron los supuestos de tendencia, estacionalidad (S) y estacionariedad, respectivamente, en ambos conjuntos de datos. Finalmente, se verificó que estos supuestos fueran similares y concordaran en su comportamiento.

2.2 Modelo SARIMA

Cumpliendo los supuestos del modelo SARIMA, se realizó una transformación Box-Cox con el grupo de entrenamiento con el objetivo de reducir la heterocedasticidad de los datos. Así, se evaluaron diferentes combinaciones de los parámetros (p,d,q) (P,D,Q) del modelo SARIMA y se identificó la combinación con mejor ajuste al grupo de entrenamiento. Finalmente, se pronosticaron los datos respectivos al grupo de prueba y se evaluó el ajuste del pronóstico de forma gráfica y con el estadístico MAPE (Mean Absolute Percentage Error).

2.3 Evaluación económica de la propuesta del sistema fotovoltaico

Una vez validado el modelo, se procedió a pronosticar los datos futuros de demanda energética de forma horaria y, posteriormente, se estimó la demanda mensual del sistema para los próximos años. Teniendo en cuenta la demanda proyectada, se determinó la cantidad de paneles solares que se instalarían y la cantidad de energía que

se generaría mensualmente, de tal forma en que no se supere el área total del edificio. Además, se identificó el costo total de instalación del sistema y el ahorro energético en dólares por kW al mes. Finalmente, se evaluó el retorno de la inversión, teniendo en cuenta el ahorro energético, la tasa de interés bancaria del Banco Central de Singapur y los costos de mantenimiento.

3. Resultados y discusión

Los resultados encontrados en el análisis de la serie de tiempo proporcionan una visión de las tendencias, patrones y variaciones presentes en los datos. La serie de tiempo consistió en 8760 registros de demanda energética en kWh, con un rango que va desde 12,86 kWh hasta 76,19 kWh. La media es de 29,7 kWh y la desviación estándar es de 14,22 kWh. Al examinar el histograma y el diagrama de cajas y bigotes (figura 1), se observó que la frecuencia más alta de demanda se encuentra entre 12,86 kWh y aproximadamente 25 kWh, con una mediana en torno a 24 kWh y sin evidencia de datos atípicos. Así mismo, el histograma da razón al realizar una transformación a los datos para acercarse a un comportamiento normal. Además, se observó un comportamiento multimodal en la edificación, lo que sugiere que el consumo eléctrico puede estar relacionado con variables externas, como la hora del día durante la jornada laboral, de manera periódica.

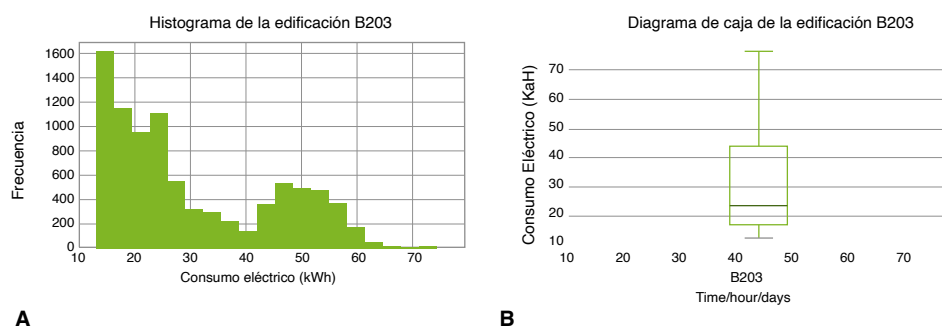


Figura 1. (a) Histograma de la demanda energética.
(b) Diagrama de caja de la demanda energética

Fuente: elaboración propia.

Se construyó un conjunto de entrenamiento y otro de prueba de la serie de tiempo en porcentajes 80 y 20, respectivamente, y, mediante las gráficas de las series de tiempo y tendencia (figura 2), se identificó visualmente que ambos grupos presentan una tendencia lineal constante (la línea de tendencia se mantiene alrededor de los 30 kWh, con una pendiente aproximada de $-0,0001$) y además presentan una periodicidad semanal de 168 horas.

Para confirmar la estacionalidad de los datos en ambos grupos, se generaron diagramas de caja de las series de tiempo con agrupamientos de cada 168 horas (figura 3). En ambos diagramas no se encontraron datos atípicos, lo que respalda la presencia

del comportamiento estacional en los datos. Además, se realizó la prueba de hipótesis de DickeyFuller en ambos conjuntos para determinar si existía dependencia temporal y la no convergencia a una media constante, lo que podría indicar que la serie de tiempo no es estacionaria.

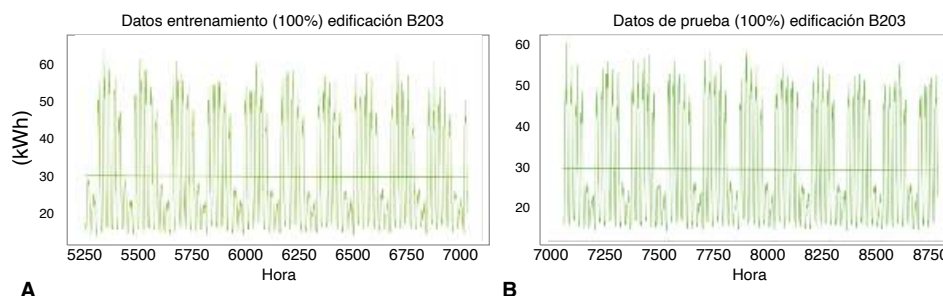


Figura 2. Gráficas de las series de tiempo y tendencia: (a) Entrenamiento y (b) Prueba
Fuente: elaboración propia.

Los resultados de las pruebas de DickeyFuller respaldaron el supuesto de estacionariedad en los conjuntos de entrenamiento y prueba. En el conjunto de entrenamiento, se obtuvo un valor del estadístico ADF de -10,879975 con un valor-p de 0,000000, y en el conjunto de prueba se obtuvo un valor del estadístico ADF de -5,842044 con un valor-p de 0,000000. Al comparar estos valores con los valores críticos para diferentes niveles de significancia (1 %, 5 %, 10 %), se encontró que el valor del estadístico ADF está por debajo de los valores críticos en todos los casos. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis de presencia de raíces unitarias que impiden el comportamiento de estacionariedad en ambos conjuntos.

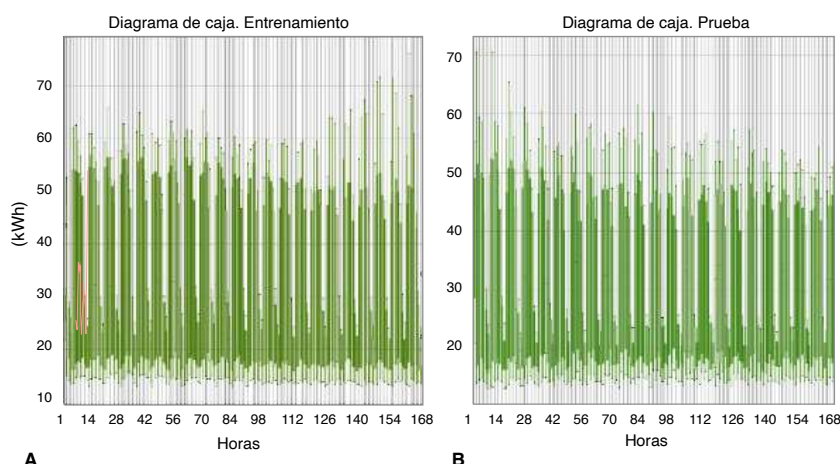


Figura 3. Diagramas de caja de estacionalidad: (a) Entrenamiento y (b) Prueba
Fuente: elaboración propia.

Se realizó una transformación BoxCox a los datos de entrenamiento para reducir la heterocedasticidad y acercarse a un comportamiento de distribución normal.

Mediante funciones y librerías en el lenguaje de programación Python, se encontró que el valor λ con mejor ajuste es de -0,5262. De esta manera, la transformación de la serie de tiempo de entrenamiento quedó de la siguiente forma:

$$Y_t(\lambda) = \frac{Y_{t-1}}{\lambda} \quad (2)$$

Donde Y_t es igual a los datos de la serie de tiempo y λ es el parámetro determinado.

Una vez efectuada la transformación de la serie de tiempo, se procedió a evaluar 17 combinaciones de modelos SARIMA (tabla 1), con el objetivo de encontrar la combinación (p,d,q) (P,D,Q) [S] que mejor se ajustara a los datos visualmente y con un valor del criterio de información de Akaike (AIC) más cercano a 0 en comparación a los otros modelos.

Tabla 1. Resultados de combinaciones de modelos SARIMA

p	d	q	P	D	Q	S	Resultado AIC
0	0	0	1	0	0	168	-8621,08
1	0	1	1	0	0	168	-10781,05
1	0	1	2	0	0	168	-11117,177
1	0	2	1	0	0	168	-10831,874
1	0	2	2	0	0	168	-10961,554
2	0	1	1	0	0	168	-10854,424
2	0	1	2	0	0	168	-11188,112
2	0	2	1	0	0	168	-10806,874
2	0	2	2	0	0	168	-11062,987
3	0	1	1	0	0	168	-10171,372
3	0	1	2	0	0	168	-11103,108
3	0	2	1	0	0	168	-10867,155
3	0	2	2	0	0	168	-11023,500
4	0	1	1	0	0	168	-10741,468
4	0	1	2	0	0	168	-11093,392
4	0	2	1	0	0	168	-10829,738
4	0	2	2	0	0	168	-11149,338

Fuente: elaboración propia.

De esta manera, el modelo SARIMA (0,0,0) (1,0,0) [168] fue el que presentó mejor ajuste óptimo. Así, considerando la transformación BoxCox aplicada, la ecuación del modelo se establece de la siguiente manera:

$$y_t = \lambda \sqrt{(\mu + A_t + \Phi_t * (\frac{Y_{t-168}}{\lambda})^{\lambda-1})^{\lambda-1}} \quad (3)$$

Donde Φ 1 1000, $\mu = 28,8287$, $\lambda = -0,5262$ y A_t = ruido blanco

Teniendo en cuenta la formulación, se realizaron pronósticos para los siguientes 1751 períodos correspondientes al conjunto de prueba del modelo. Luego, se llevó a cabo una transformación inversa BoxCox para expresar la serie de tiempo en unidades de kWh y se graficaron los datos de prueba junto con la serie pronosticada, lo que evidencia un comportamiento similar (figura 4). Finalmente, el error de pronóstico MAPE fue de 10,62 %.

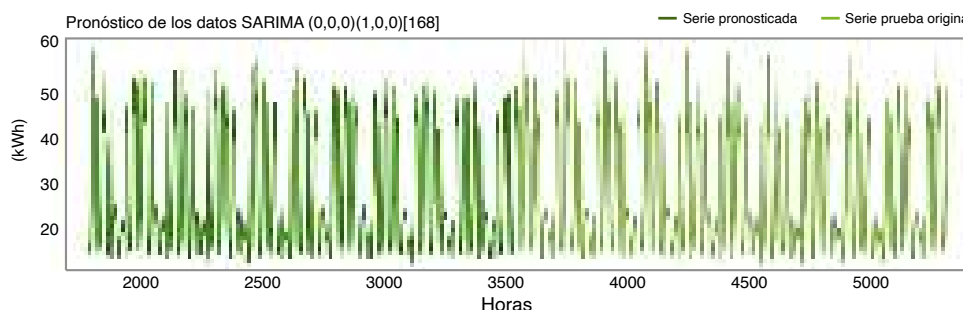


Figura 4. Gráfica de la serie de prueba y la serie pronosticada

Fuente: elaboración propia.

Una vez evaluado el modelo, se procedió a pronosticar la demanda eléctrica para los próximos 10 años con el fin de determinar el nivel de energía necesario para satisfacer el sistema. Tras tener en cuenta el comportamiento de tendencia constante y estacionalidad, se obtuvo un consumo promedio de 15 976 kW al mes. Así, teniendo en cuenta la investigación de Perpiñán (2023), la cual sugiere que los valores de pérdida esperados al instalar un sistema fotovoltaico se encuentran entre el 70 % y el 90 %, se optó por proponer la instalación de un sistema fotovoltaico que permitiera ahorrar un 80 % de la energía, lo que equivale a 12 781 kW al mes o a 426 kW al día. De esta manera, considerando la demanda de energía a cubrir, se procedió a determinar la cantidad de paneles solares necesarios a instalar, con tal de que no se superara el área total del edificio, 22 651,3 m². De igual manera, se determinaron los costos asociados, tanto del sistema como de sus componentes para su instalación.

Se llevó a cabo una investigación en la empresa AutoSolar, con el objetivo de determinar el costo de inversión necesario para implementar el sistema fotovoltaico. Durante el estudio, se obtuvo información detallada sobre los materiales requeridos para establecer una instalación solar, ya sea independiente de la red eléctrica o conectada a ella. Para lograr un ahorro energético diario de 14,4 kW, se consideró un kit de tipo aislado con 8 paneles solares como referencia. Sin embargo, dado que la demanda diaria requería alcanzar los 426 kW, se determinó que sería necesario contar con 240 paneles solares de 550 W cada uno, lo que resultaría en una producción diaria de 432 kW, los paneles ocuparían un área total de 619,48 m². Asimismo, se identificó que se necesitarían al menos 24 inversores Growatt SPF 6000T DVM, distribuidos en grupos de 10 paneles por inversor, para cubrir la capacidad total, considerando que el inversor de batería estacionaria Gel 600 Ah tiene una capacidad

de entrada fotovoltaica máxima de 6 kW (AutoSolar, s. f.). En la tabla 2 se presenta un resumen detallado del presupuesto necesario en dólares para la implementación del sistema fotovoltaico.

Tabla 2. Resumen de estimación del costo de la inversión

	Concepto	Costo (\$)
	Costos de inversión	\$246 931
1	Costos de mantenimiento	\$687
1.1.1	Limpieza de paneles (1 técnico auxiliar)	
1.1.2	Limpieza de terreno	
1.1.3	Repuestos generales	\$687
1.1.4	Mantenimiento inversor	
1.1.5	Monitoreo	
2	Costos de instalación	\$33 411
2.1.1	Cable de Interconexión de Baterías	
2.1.2	Cable Unifilar 50 mm ² POWERFLEX RV-K Negro	
2.1.3	Cable Unifilar 50 mm ² POWERFLEX RZ-1K Verde	
2.1.4	Terminal de Ojo Cable 50mm - Ojo 8mm	
2.1.5	Cable Unifilar 6 mm ² SOLAR PV ZZ-F Negro	
2.1.6	Cable Unifilar 6 mm ² SOLAR PV ZZ-F Rojo	
2.1.7	Cable Unifilar 16 mm ² SOLAR PV ZZ-F Negro	\$33 411
2.1.8	Cable Unifilar 16 mm ² SOLAR PV ZZ-F Rojo	
2.1.9	Repartidor LEGRAND Bornera 160A 750V	
2.1.10	Caja Estanca 200X100X70 PVC LGM	
2.1.11	Conectores RETIE MC4	
2.1.12	Kit Material Eléctrico 5000W 80A MPPT	
2.1.13	Protector Baterías GEL Rojo y Negro	
2.1.14	Estructura de Cubierta Metálica	
3	Costos de componentes principales	\$213 520
3.1.1	Placas solares	
3.1.2	Inversor	\$213 520
3.1.3	Batería Estacionaria Gel 600Ah 6V Ultracell UZV600-6	

Fuente: elaboración propia.

La tabla refleja el costo estimado del mantenimiento periódico, el cual es fundamental para prolongar la vida útil del sistema, como lo recomienda el fabricante, este sugiere realizar esa limpieza entre 3 o 4 veces al año, o con mayor frecuencia en zonas con alto nivel de polvo y suciedad (AutoSolar, s. f.). Posteriormente, considerando el monto de la deuda de USD \$246 931 con una tasa de interés del 0,31 % mensual en el Banco Central de Singapur, se elaboró una tabla de amortización. Esta tabla tuvo en cuenta un ahorro mensual de USD \$3578, que representa el abono a capital que el edificio ahorraría en comparación con el pago de la factura de luz (USD \$0,28 por

kWh), así como los costos de mantenimiento y reparaciones de USD \$687 cada 3 meses (ver Anexo). De acuerdo con el análisis, se proyectó que la deuda será saldada en su totalidad para el año 7 (mes 84).

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran un panorama alentador tanto desde una perspectiva económica como en términos del error de pronóstico. Dado que la demanda energética presenta similitudes en diversos edificios de oficinas, el modelo SARIMA logra capturar eficazmente los patrones de tendencia y estacionalidad en las series de tiempo. Por otro lado, el ahorro energético en la factura eléctrica (USD \$3578 mensuales) posibilita la liquidación de la deuda en un período de 7 años, una situación ventajosa considerando que la mayoría de los contratos de adquisición de energía se establecen por 10 años o más. Sin embargo, la inclusión de una cuota fija mensual, además del ahorro generado, acelera la amortización de la inversión en la instalación.

Como perspectiva de investigación futura, se plantea la evaluación de diferentes tipos de modelos de pronóstico, así como la ampliación de aspectos considerados en el análisis económico. Aunque este estudio abarcó 17 combinaciones de modelos SARIMA, existe la posibilidad de explorar otras combinaciones, tomando en cuenta la experiencia adquirida en la identificación de factores autorregresivos, tendencia y estacionalidad. Además, se contempla la posibilidad de analizar el conjunto de datos con una frecuencia temporal distinta a la horaria, con el fin de reducir la cantidad de registros y no limitar la capacidad computacional en la construcción del modelo. Por otro lado, se plantea la inclusión de modelos SARIMAX, que consideran variables externas, así como la exploración de enfoques basados en el aprendizaje profundo, como las Redes Neuronales Recurrentes, para potenciar la precisión en los pronósticos. También, se sugiere evaluar los costos de instalación directamente en el edificio de Singapur y realizar un análisis comparativo con contratos de compraventa de energía. Esto permitiría determinar la opción que brinde los mayores beneficios en términos de rentabilidad y cumplimiento legal para los propietarios del edificio.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Central por proporcionarnos los recursos necesarios y el entorno propicio dentro del semillero de Modelado de Sistemas para llevar a cabo esta investigación. Extendemos nuestro agradecimiento a nuestro profesor José Nicolás Valbuena, cuya orientación experta, valiosos conocimientos y retroalimentación constructiva han sido fundamentales para la elaboración de este estudio. También deseamos agradecer a nuestras familias y seres queridos por su apoyo durante el proceso de investigación.

Referencias

- AutoSolar. (s. f.). *Mantenimiento de placas solares*. Recuperado el 7 de agosto de 2023 de <https://bit.ly/46Lu0XL>
- Bello, J. (2021). *Neural network model for building electric energy consumption forecasting in densely populated tropical areas* [Tesis de Maestría, Universidad Jorge Tadeo Lozano y Universidad Central]. <https://bit.ly/4nVhUlK>
- Castilho, C., Torres, J., Fernandes, C. & Lameirinhas, R. (2021). Study on the Implementation of a Solar Photovoltaic System with Self-Consumption in an Educational Building. *Energies*, 14(8), 2214. <https://doi.org/10.3390/en14082214>
- Dolezal, A., Majano, A., Ochs, A. & Palencia, R. (2013). *La Ruta hacia el Futuro para la Energía Renovable en Centroamérica*. Climate and Development Knowledge Network.
- Elamin, N. & Fukushige, M. (2018). Modeling and forecasting hourly electricity demand by SARIMAX with interactions. *Energy*, 165, 257-268.
- Falatouri, T., Darbanian, F., Brandtner, P., & Udokwu, C. (2022). Predictive analytics for demand forecasting—a comparison of sarima and lstm in retail scm. *Procedia Computer Science*, 200, 993-1003.
- Haghighat, A., Avella, S., Najafi, B., Shirazi, A. & Rinaldi, F. (2016). Techno-economic feasibility of photovoltaic, wind, diesel and hybrid electrification systems for off-grid rural electrification in Colombia. *Renewable Energy*, 97, 293–305. DOI: 10.1016/j.renene.2016.05.086
- Ho, S., Lomi, A., Okoroigwe, E. & Urrego, L. (2019). Investigation of solar energy: The case study in Malaysia, Indonesia, Colombia and Nigeria. *International Journal of Renewable Energy Research*, 9(1). <https://bit.ly/478JztV>
- Perpiñán, O. (2023). *Energía solar fotovoltaica*. <http://oscarperpinan.github.io/esf/>
- Sanabria, O. (2016). *Análisis costo/beneficio de la implementación de tecnologías de energía con paneles solares en la ese hospital San Cristóbal*. Repositorio Universidad Militar Nueva Granada. <http://hdl.handle.net/10654/14931>
- Vinardell, A. (2022). *Plan de negocio de una empresa de instalación de paneles solares para residencias unifamiliares* [Trabajo de grado, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/371673>
- Yan, J., Yang, Y., Campana, P. & He, J. (2019). City-level analysis of subsidy-free solar photovoltaic electricity price, profits and grid parity in China. *Nature Energy*, 4(8), 709-717. <https://doi.org/10.1038/s41560-019-0441-z>
- Zhijian, L., Yulong, Z., Xitao, Y., Yuanwei, L., Jinliang, X., Shicong, Z. & Bao-jie, H. (2021). A comprehensive study of feasibility and applicability of building integrated photovoltaic (BIPV) systems in regions with high solar irradiance. *Journal of Cleaner Production*, 307, 127-240. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.1272>

Anexo

Amortización de la inversión

Mes	Ahorro/mes	Costos/mes	Abono a capital/mes	Interés	Deuda
0	\$ 3.578				\$ 246.931
1	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 754	\$ 244.107
2	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 746	\$ 241.275
3	\$ 3.578	\$ 687	\$ 3.578	\$ 739	\$ 238.436
4	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 730	\$ 236.275
5	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 721	\$ 233.503
6	\$ 3.578	\$ 687	\$ 2.891	\$ 715	\$ 231.242
7	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 707	\$ 228.371
8	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 699	\$ 225.488
9	\$ 3.578	\$ 687	\$ 3.578	\$ 690	\$ 222.605
10	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 681	\$ 219.708
11	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 673	\$ 217.484
12	\$ 3.578	\$ 687	\$ 2.891	\$ 665	\$ 215.259
13	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 657	\$ 212.337
14	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 647	\$ 209.406
15	\$ 3.578	\$ 687	\$ 3.578	\$ 639	\$ 206.467
16	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 631	\$ 204.205
17	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 623	\$ 201.252
18	\$ 3.578	\$ 687	\$ 2.891	\$ 615	\$ 198.976
19	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 606	\$ 196.003
20	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 597	\$ 193.022
21	\$ 3.578	\$ 687	\$ 2.891	\$ 590	\$ 190.720
22	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 580	\$ 187.722
23	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 571	\$ 184.735
24	\$ 3.578	\$ 687	\$ 2.891	\$ 564	\$ 182.368
25	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 555	\$ 179.364
26	\$ 3.578		\$ 2.891	\$ 545	\$ 176.341
27	\$ 3.578	\$ 687	\$ 3.578	\$ 536	\$ 173.378
28	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 528	\$ 170.926
29	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 519	\$ 167.869
30	\$ 3.578	\$ 687	\$ 2.891	\$ 511	\$ 165.469
31	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 502	\$ 162.413
32	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 492	\$ 159.921
33	\$ 3.578	\$ 687	\$ 2.891	\$ 483	\$ 156.921
34	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 475	\$ 153.818
35	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 465	\$ 150.705
36	\$ 3.578	\$ 687	\$ 2.891	\$ 456	\$ 148.273
37	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 449	\$ 145.141
38	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 439	\$ 142.005
39	\$ 3.578	\$ 687	\$ 2.891	\$ 431	\$ 139.548
40	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 421	\$ 136.435
41	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 421	\$ 136.435
42	\$ 3.578	\$ 687	\$ 2.891	\$ 404	\$ 130.735

Mes	Ahorro/mes	Costos/mes	Abono a capital/mes	Interés	Deuda
43	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 394	\$ 127.551
44	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 394	\$ 124.741
45	\$ 3.578	\$ 687	\$ 3.578	\$ 377	\$ 121.843
46	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 368	\$ 118.933
47	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 360	\$ 116.011
48	\$ 3.578	\$ 687	\$ 3.578	\$ 352	\$ 113.078
49	\$ 3.578		\$ 2.891	\$ 339	\$ 110.529
50	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 330	\$ 107.281
51	\$ 3.578	\$ 687	\$ 2.891	\$ 321	\$ 104.053
52	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 310	\$ 101.064
53	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 301	\$ 97.264
54	\$ 3.578	\$ 687	\$ 3.578	\$ 291	\$ 94.254
55	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 282	\$ 91.370
56	\$ 3.578		\$ 2.891	\$ 273	\$ 88.479
57	\$ 3.578	\$ 687	\$ 2.891	\$ 264	\$ 85.413
58	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 254	\$ 82.413
59	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 243	\$ 79.578
60	\$ 3.578		\$ 2.891	\$ 233	\$ 76.700
61	\$ 3.578	\$ 687	\$ 3.578	\$ 223	\$ 73.793
62	\$ 3.578		\$ 2.891	\$ 214	\$ 70.902
63	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 204	\$ 68.004
64	\$ 3.578	\$ 687	\$ 3.578	\$ 195	\$ 65.020
65	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 185	\$ 62.041
66	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 176	\$ 59.054
67	\$ 3.578	\$ 687	\$ 2.891	\$ 166	\$ 56.053
68	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 156	\$ 53.050
69	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 145	\$ 50.042
70	\$ 3.578	\$ 687	\$ 2.891	\$ 137	\$ 44.905
71	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 126	\$ 40.752
72	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 117	\$ 37.174
73	\$ 3.578	\$ 687	\$ 2.891	\$ 107	\$ 34.000
74	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 97	\$ 31.002
75	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 85	\$ 27.529
76	\$ 3.578	\$ 687	\$ 2.891	\$ 75	\$ 24.054
77	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 65	\$ 21.202
78	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 56	\$ 18.260
79	\$ 3.578	\$ 687	\$ 2.891	\$ 46	\$ 14.834
80	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 36	\$ 12.000
81	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 25	\$ 8.000
82	\$ 3.578	\$ 687	\$ 2.891	\$ 15	\$ 5.486
83	\$ 3.578		\$ 3.578	\$ 5	\$ 1.286
84	\$ 3.578		\$ 1.286	\$ 0	\$ 0

Fuente: elaboración propia.

Síntesis de las estrategias de conservación de la tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*) en el Gran Caribe

Synthesis of conservation strategies for the hawksbill turtle (*Eretmochelys imbricata*) in the Greater Caribbean

Sofía Páez Moncaleano¹, Luisa Valentina Torres Melo² y Mary Lee Berdugo-Lattke³

Resumen

La tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*) es una especie marina en peligro crítico de extinción, distribuida en la zona tropical del continente americano. La importancia de las acciones de conservación radica en su impacto favorable en la recuperación de las poblaciones de esta especie. Por esta razón, se presenta una revisión sistemática de información, de tipo narrativa, que sintetiza 60 recursos bibliográficos entre los años 2010 y 2020, enfocados en las estrategias de conservación de la tortuga carey y sus hábitats más importantes en la región del Gran Caribe. Los resultados de la revisión muestran que las acciones más usuales en las estrategias de conservación son el monitoreo de playas de anidación, la identificación de individuos y la liberación de neonatos. Además, se identificaron estrategias enfocadas en la educación de las comunidades humanas que interactúan con la tortuga carey, con el fin de promover el bienestar de esta especie. Finalmente, se elaboró una infografía con la información recopilada para divulgar y comunicar a la comunidad la importancia de apoyar y continuar con estas estrategias para la conservación de la tortuga carey en el Gran Caribe.

Palabras clave: tortuga carey, estrategias de conservación, Gran Caribe.

Créditos

Autores

- ¹ Estudiante del programa de Biología, octavo semestre, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Universidad Central. spaezm3@ucentral.edu.co
- ² Estudiante del programa de Biología, octavo semestre, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Universidad Central. ltorresm6@ucentral.edu.co
- ³ Ph. D. Ciencias – Biología (UNAL). Profesora de tiempo completo del programa de Biología, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Universidad Central, Semillero Tygua. mberdugol@ucentral.edu.co

Cómo citar:

Páez, S., Torres, L. & Berdugo-Lattke, M. (2023). Síntesis de las estrategias de conservación de la tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*) en el Gran Caribe. *Ingeciencia*, 8, 30-62.

Abstract

The hawksbill sea turtle (*Eretmochelys imbricata*) is a critically endangered marine species that is distributed in the tropical zone of the Americas. The importance of conservation efforts lies in their positive impact on the recovery of this species' populations. For this reason, a systematic narrative review of information is presented, which synthesizes 60 bibliographic resources from 2010 to 2020, focused on conservation strategies for the hawksbill sea turtle and its most important habitats in the Greater Caribbean region. The results of the review show that the most common actions in conservation strategies are monitoring nesting beaches, individual identification, and the release of hatchlings. In addition, strategies focused on educating human communities that interact with hawksbill sea turtles were identified, with the aim of promoting the well-being of this species. Finally, an infographic was developed with the collected information to disseminate and communicate to the community the importance of supporting and continuing these strategies for the conservation of the hawksbill sea turtle in the Greater Caribbean.

Keywords: Hawksbill turtle, Conservation strategies, the Greater Caribbean.

1. Introducción

E. imbricata (familia Cheloniidae) es una especie marina distribuida en todas las zonas tropicales y subtropicales de los océanos Atlántico, Pacífico e Índico (Trujillo-Arias *et al.*, 2014); su ciclo de vida consta de cuatro etapas: huevos, crías, juveniles y adultos (Revuelta & Tomás, 2015). Se considera una especie sombrilla, ya que su protección permite la conservación y preservación de los ecosistemas de praderas de pastos marinos y arrecifes coralinos (Vásquez, 2018), también sirve de alimento para depredadores marinos y terrestres e incluso controlan las superpoblaciones de cnidarios, cefalópodos, crustáceos y esponjas (Gutiérrez *et al.*, 2019). Participa en la modificación de hábitats, al crear claros en la vegetación marina lo que promueve procesos sucesionales (Arízaga, 2020).

La principal causa de la reducción poblacional ha sido la explotación directa por parte del hombre; en América Latina, según Rueda *et al.* (2007), su caza ilegal se relaciona con la comercialización del caparazón (artesanías), recolección de los huevos, carne, entre otros. Así mismo, la urbanización de las zonas costeras altera los hábitats de

anidación y alimentación de las tortugas, esto incrementa la población de depredadores, el aumento de residuos, la disminución de vegetación y las áreas para la reproducción (Revuelta & Tomás, 2015). En cuanto a la contaminación marina por piezas plásticas como bolsas, botellas y restos de redes, son ingeridas por las tortugas lo que les causa problemas de salud como asfixia, obstrucción digestiva, infecciones e inmovilización (Gutiérrez *et al.*, 2019).

Por otro lado, el calentamiento global impacta en la proporción de machos y hembras de esta especie; según Moncada *et al.* (2010), el aumento de la temperatura se relaciona con la reducción de machos; indica Rowley (2020) que la determinación del sexo durante la incubación es crítica, temperaturas de la arena por debajo de 29-29,5 °C determinan el desarrollo de machos y temperaturas mayores, el desarrollo de hembras; por lo tanto, cambios abruptos generan sesgos en la proporción de sexos de las poblaciones. A partir del 2001 se han intensificado los estudios de investigación y las estrategias de conservación como el monitoreo de playas de anidación (de las Mercedes, 2015), criaderos de neonatos (Laguna, 2012), corrales de incubación para reubicar los nidos (Liles, Peterson, Lincoln *et al.*, 2015), educación ambiental (charlas, talleres, capacitaciones, etc.) (Córdoba, 2021). Sin embargo, la implementación de estas estrategias depende de la agrupación de intereses para el trabajo a nivel de ecosistemas y biomas marinos, esto implica el seguimiento de las rutas migratorias, el análisis de hábitos alimenticios y su comportamiento, la legislación según cada país y diversos enfoques de conservación. Esto último genera problemas logísticos y políticos que entorpecen la elaboración y aplicación de planes de conservación regionales, esto por las diferencias y conflictos de intereses que finalmente perjudican la implementación de los planes de conservación de la especie.

Sin embargo, en la actualidad se han generado numerosos recursos con estrategias y acciones para la conservación de esta tortuga, según las políticas de cada país. Por esta razón, el objetivo de esta investigación es sintetizar las estrategias de conservación entre los años 2010 y 2020 en la región del Gran Caribe, para establecer las principales acciones y resultados para *E. imbricata*, además de describir la relación entre las metodologías y las estrategias implementadas. Finalmente, se divulgó una infografía para promover el conocimiento sobre esta especie en la sociedad a través de redes sociales como Facebook, Instagram y Twitter (actualmente X).

2. Cuerpo del trabajo

2.1 Materiales y métodos

Las revisiones sistemáticas, según Ferreira *et al.* (2011), son investigaciones científicas que analizan estudios originales primarios, constituyen una herramienta esencial para sintetizar la información científica disponible, incrementar la validez de las conclusiones de estudios individuales e identificar áreas de incertidumbre. Se

sintetizaron los resultados obtenidos mediante estrategias de búsqueda (tabla 1), se utilizaron ecuaciones con distintos operadores booleanos (AND, NOT, OR) y algunos símbolos [“, (, +, -, *], con el fin de obtener mayor precisión. Después se seleccionaron recursos que cumplieran los siguientes criterios: debían ser artículos científicos, libros, tesis o capítulos de libros, debían incluir resultados de un país de la región del Gran Caribe, podían estar escritos en inglés o en español y sus resultados debían comprender el rango temporal entre 2010 y 2020. Debido a la cantidad de ecuaciones empleadas y al elevado número de resultados, se seleccionaron los cien primeros artículos de cada ecuación en cada buscador, para facilitar la síntesis.

Tabla 1. Ecuaciones de búsqueda

Tema	Ecuación de búsqueda
Estrategias de conservación para mar caribe	“ <i>Eretmochelys imbricata</i> ” AND “estrategias de conservación” AND (“Gran Caribe” OR “Nombre de cada país”)
	“ <i>Eretmochelys imbricata</i> ” AND “conservation strategies” AND (“Wider Caribbean” OR “Country Name”)
Resultados de las estrategias: densidad poblacional	“ <i>Eretmochelys imbricata</i> ” AND “densidad poblacional” AND (“Gran Caribe” OR “Nombre de cada país”)
	“ <i>Eretmochelys imbricata</i> ” AND “population density” AND (“Greater Caribbean” OR “Country Name”)
	“ <i>Eretmochelys imbricata</i> ” AND “resultados de conservación” AND (“Gran Caribe” OR “Nombre de cada país”)
	“ <i>Eretmochelys imbricata</i> ” AND “results” AND conservation AND (“Wider Caribbean” OR “Country Name”)

Nota. En “Country Name” se incluyó el nombre del país que hace parte del Gran Caribe.

Fuente: elaboración propia.

Después de la selección, se estructuró un cuadro comparativo (anexo 1) para la síntesis de los datos obtenidos y la interpretación de los resultados. Las ecuaciones se enfocaron en dos temas: las estrategias de conservación con sus respectivos resultados y el estado de las poblaciones para evaluar las estrategias. La consulta bibliográfica se realizó en Google Académico, ScienceDirect, Redalyc, SpringerLink y Proquest.

Finalmente, se realizó una estrategia de divulgación científica en forma de infografía definida por Bradshaw & Porter (2017) como una forma única de presentar información sintetizada de forma visual, además son efectivas, atractivas y crean interés a la audiencia. La información plasmada en la infografía son los resultados obtenidos de la síntesis con el fin de realizar la divulgación correspondiente según Souza (2016). Una vez seleccionada la información, se usaron recursos digitales de edición como Canva y Flaticon e ilustraciones propias de esta especie realizadas por la autora Luisa Valentina Torres Melo, para ser compartida en redes sociales como Facebook, Instagram y Twitter (X).

3. Resultados y discusión

El motor de búsqueda con más resultados fue Google Académico (entre 1669 y 4379 recursos), en contraste con ScienceDirect con el menor número de recursos. Los temas

con más información fueron resultados de las estrategias y densidad poblacional. Respecto a los países del Gran Caribe, en publicaciones se destacaron México (1835), Costa Rica (1503) y Colombia (1207), mientras que países como Antigua y Barbuda (368), Haití (420) y Guyana (643) presentaron los menores valores. Después de aplicar los criterios de inclusión, se seleccionaron 60 recursos y se destaca que en los años 2011, 2012, 2014 y 2015 se publicaron la mayoría de recursos, aunque para los años 2017, 2018 y 2020 existen más resultados, estos no se relacionan con los temas de interés. En cada buscador se evidenciaron algunas inconsistencias entre las ecuaciones utilizadas y los resultados reportados porque estos no se relacionaron con la especie de interés, las estrategias de conservación, datos de densidad poblacional o, en algunos casos, los estudios eran para otros países. Consideramos que Google Académico fue el motor de búsqueda que arrojó los recursos más pertinentes sobre el tema de interés y la mayor cantidad de resultados. Según Alonso *et al.* (2016), aunque Google Académico es muy utilizado por ser de libre acceso y de fácil uso, no siempre es fiable para escoger artículos de buena calidad, por esta razón la revisión por parte de los investigadores es necesaria para la selección de los recursos.

3.1 Síntesis sobre las estrategias de conservación en el Gran Caribe

Se elaboró una tabla (anexo 1) con los 60 artículos, donde se incluyen detalles de cada recurso. Para sintetizar las estrategias se establecieron cuatro categorías que describen su naturaleza: estrategias para el conocimiento básico de la especie, donde los recursos están enfocados en dilucidar aspectos sobre la ecología, biología y amenazas de la especie; la segunda categoría comprende recursos donde se formulan acciones para la conservación, en estos se describe la posible planeación de acciones para la conservación y su aplicación en el futuro; la tercera categoría muestra acciones aplicadas sobre la especie, estos recursos reportan resultados después de implementar acciones de conservación enfocadas en la especie; y, finalmente, la cuarta categoría corresponde a las acciones sobre comunidades humanas, estos recursos mostraban propuestas de talleres, capacitaciones o control sobre embarcaciones, redes de pesca, comercio, entre otros. Algunos de estos mostraban resultados después de su implementación (anexos 2 y 3). Las acciones aplicadas sobre la especie y el conocimiento básico sobre su biología se relacionan con las estrategias más aplicadas, dado que existen vacíos sobre sus rutas migratorias, el estado de la población y la relación con el humano, conocimientos que permite elaborar y aplicar los planes de manejo, junto con su respectiva evaluación (Hamann *et al.*, 2010).

En la figura 1 se puede observar la cantidad de recursos seleccionados por país, donde no hubo recursos para Antigua y Barbuda, Las Bahamas, Dominica, Granada, Guyana, Haití y Jamaica; del mismo modo, la menor cantidad fue para Barbados, El Salvador y Nicaragua, con dos cada uno. La mayor cantidad de recursos seleccionados fue para la región Caribe (21, sin especificar país), México (18) y Belice (17). Solo

para cinco países los recursos cumplieron los criterios de inclusión: Belice, Costa Rica, Honduras, México y para la zona Caribe. Se encontró que el tema más frecuente fue respecto a las acciones implementadas sobre la especie con 56 recursos (Anexo 2), de los cuales solo algunos recursos reportaron datos cuantitativos sobre la población. La segunda categoría más frecuente fue la de temas de estudios sobre el conocimiento básico de la especie con 39 recursos, seguida de la formulación de acciones con 17 y acciones aplicadas sobre comunidades humanas con 16. Se destacan algunas resoluciones de la COP (Conferencia de las Partes de las Naciones Unidas-ONU) donde cada país debía reportar (i) el cumplimiento de los acuerdos sobre la conservación y protección de varias especies, entre ellas la tortuga carey; (ii) el conjunto de acciones para garantizar la conservación; (iii) conjunto de leyes para promover la conservación; y (iv) datos sobre la densidad poblacional en las playas de cada país (crías, hembras y nidos).

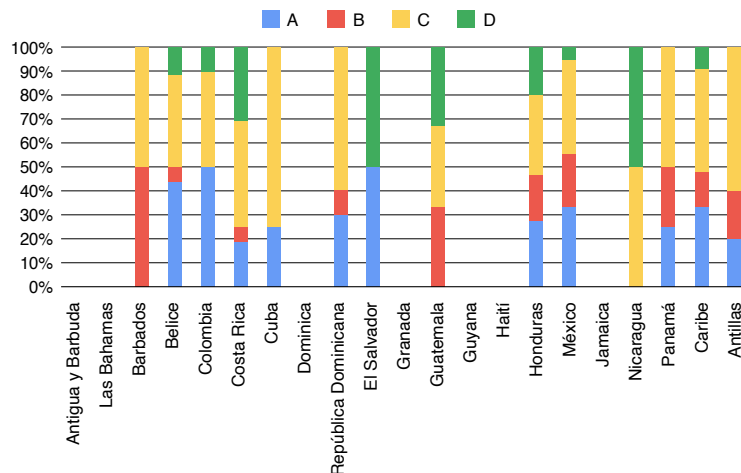


Figura 1. Proporción de recursos clasificados en cuatro tipos de estrategias según el país

Nota. Conocimiento de la especie (A), formulación de acciones (B), acciones aplicadas sobre la especie (C) y acciones aplicadas sobre comunidades humanas (D).

En la figura 2 se observa que la mayor cantidad de estrategias se reportaron para el Caribe (sin distinción de país), seguida de Costa Rica, República Dominicana, México, Colombia y Honduras. En contraste, para Nicaragua, Barbados y Guatemala solo se reportaron resultados de una única estrategia en sus territorios (ver anexo 3). Es necesario aclarar que esto depende del proceso de publicación de recursos de acceso libre, puede que apliquen más estrategias que no quedaron por los criterios de selección o por el acceso a estas. Por otro lado, se observa que las metodologías usadas son variadas y corresponden al monitoreo de playas, captura y marcaje, liberación de neonatos, entre otros; todas combinadas según el país. La mayor parte de los esfuerzos están dirigidos al monitoreo y patrullaje de playas de anidación (14 recursos) (Moncada *et al.*, 2011; Piniak & Eckert, 2011; Scales, Lewis, Graham *et al.*, 2011; Juárez-Sánchez, 2012; Amaro, 2013; Revuelta *et al.*, 2013; Luna,

2014; Asch, 2014; Azanza-Ricardo *et al.*, 2015; Solano, 2015; Walker & Gibson, 2015; Figueroa, 2016; Figueroa & Forman, 2017; Garabitos, 2018). Esta estrategia consiste en realizar recorridos o monitoreos por las playas donde se ha reportado la presencia de tortugas marinas, especialmente hembras y neonatos. Las primeras recurren a estas zonas para desovar o anidar cavando nidos para sus huevos y dejándolos allí hasta que completen su desarrollo; cuando ocurre la eclosión, las crías deben salir del nido para dirigirse al mar. Estos dos momentos son críticos para realizar monitoreos porque permiten ver patrones ecológicos de las tortugas y cifras de hembras anidadoras en las playas y de huevos, porcentajes de eclosión, cantidad de neonatos machos y hembras (Chacón *et al.*, 2008).

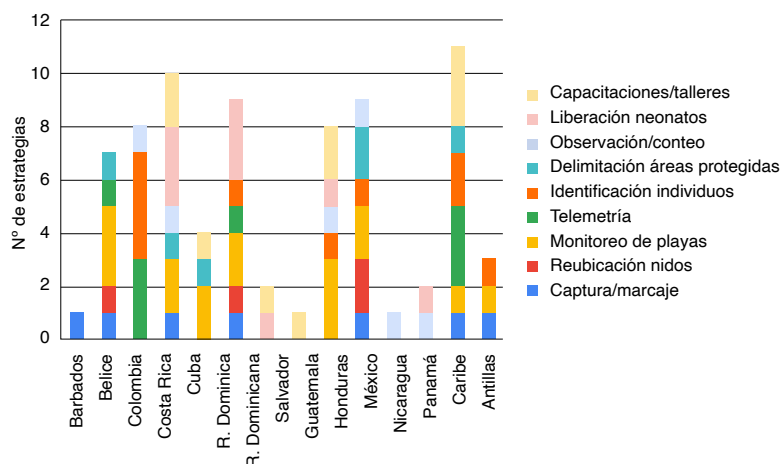


Figura 2. Cantidad de estrategias de conservación para la tortuga carey en países del Gran Caribe

La siguiente metodología es la identificación de individuos por métodos moleculares o fotográficos, esto permite generar bases de datos de individuos que hacen parte de comunidades o poblaciones de la especie. Con esto se caracteriza las particularidades genéticas de cada grupo y posteriormente se implementan otras estrategias para la conservación de la especie; esto según Féliz *et al.* (2010), Dunbar *et al.* (2014), Amorcho *et al.* (2016), Nivière *et al.* (2018) y Levasseur (2019). La caracterización genética es relevante para identificar cuáles poblaciones presentan la mayor variación genética y cuáles contienen variantes genéticas únicas; lo que permite delimitar áreas prioritarias para la conservación (Fernández *et al.*, 2013). Adicionalmente, los análisis moleculares determinan posibles intoxicaciones en las poblaciones por contaminantes químicos presentes en su hábitat (Rees *et al.*, 2016). Por otro lado, para la identificación de adultos se toman en cuenta caracteres morfológicos como las escamas timpánicas, las cuales se consideran como la característica facial más útil en el reconocimiento de individuos de tortugas marinas (Féliz *et al.*, 2010).

La liberación de neonatos en el mar es otra metodología que implica un mayor esfuerzo al poner los huevos en criaderos, garantizar su eclosión y liberar las crías en lugares

específicos, como lo plantean Revuelta *et al.* (2013), Brea (2014), Revuelta (2014), Sung (2014), Liles, Peterson, Seminoff *et al.* (2015), Carrasco *et al.* (2018), Garabitos (2018), Chacón-Chaverri (2019), Urbina & Chacón-Chaverri (2020). El cuidado de los huevos permite una mayor cantidad de crías, bajo condiciones controladas de temperatura; en consecuencia, se puede controlar la proporción de sexos en las crías. Las desventajas de esta metodología es el costo de mantenimiento de los criaderos que dependen de la voluntad política o de las fuentes de financiación de estos (Owens & Blavillain, 2013).

En la figura 3 se observan diferentes acciones implementadas según las categorías sobre las estrategias: la acción más frecuente fue el monitoreo de playas para establecer conocimiento básico, formular y generar acciones sobre la especie; por otro lado, las capacitaciones y talleres fueron las acciones más frecuentes sobre las comunidades humanas. En esta última categoría se resaltan la liberación de neonatos, observación, conteo e identificación de individuos y monitoreo de playas. En segundo lugar, dentro de las metodologías más frecuentes, se encuentran la identificación de individuos, la liberación de neonatos en el mar, observación, identificación telemetría, entre otras. En contraste, las estrategias que son menos empleadas son las delimitaciones de áreas protegidas, el conteo de individuos y la reubicación de nidos.

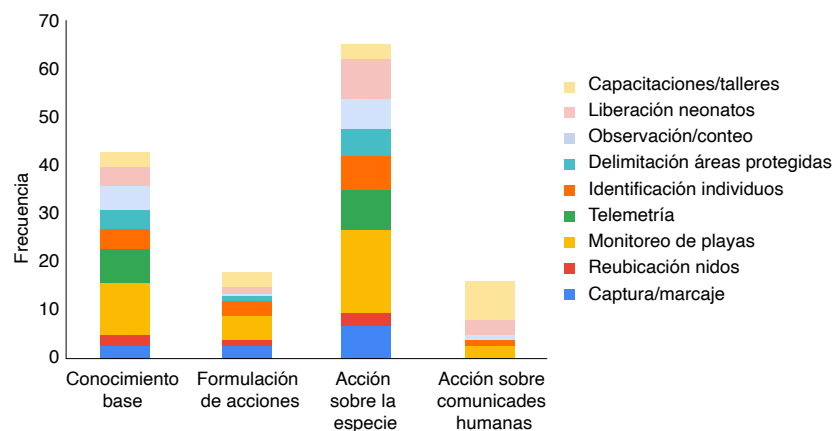


Figura 3. Metodologías aplicadas según las cuatro categorías sobre las estrategias de conservación según los recursos seleccionados

Es importante destacar las metodologías sobre las comunidades humanas, donde se integran a las personas que conviven con la especie, como los principales actores de conservación. Es necesario continuar con la enseñanza sobre la importancia de las tortugas para el ecosistema y el bienestar de otros animales, con la realización de talleres, conferencias, charlas, anuncios, campañas publicitarias, capacitaciones, entre otros dispositivos. Todo esto proporciona herramientas que serán útiles para la toma de decisiones sobre la protección de una especie sombrilla (Fish, 2012; Azanza-Ricardo, 2015; Amaro, 2014; Liles, Peterson, Seminoff *et al.*, 2015; López, 2015; Solano, 2015; Amaro, 2015; Domingo *et al.*, 2016; Solano, 2016). Esta especie de tortuga mantiene la salud y el equilibrio de los arrecifes de coral y limita el crecimiento de esponjas. En

general, también juegan un papel en la estabilidad de las dunas de las playas donde realizan sus puestas, ya que estas proveen nutrientes para diversas plantas que crecen en zonas dunares (Bjorndal & Jackson, 2003).

Asimismo, se evidencia el monitoreo satelital o telemetría que permite dilucidar las rutas migratorias y lugares claves de alimentación, forrajeo, reproducción y anidación de la especie en tiempo real, esto gracias a los avances tecnológicos que permiten ubicar rastreadores en los caparazones (Jackson *et al.*, 2010; Pabón, 2010; Moncada *et al.*, 2012; Pabón-Aldana *et al.*, 2012; Bernal, 2012; Revuelta *et al.*, 2015; Iverson *et al.*, 2016; Rowley, 2020). Antes de rastrear a cada individuo es necesario realizar la captura y el marcaje de cada uno, para su posterior identificación (León *et al.*, 2010; Horrocks *et al.*, 2011; Scales, Lewis, Lewis *et al.*, 2011; Esteban *et al.*, 2015; Conservancy & Harrison, 2017; Luna, 2017; Hart *et al.*, 2019). En cuanto a la observación directa, se emplean navíos de diferentes tipos para vigilar las hembras anidadoras, nidos, huevos puestos y eclosionados y cantidad de crías que sobreviven después de su liberación. Estas metodologías son las más usadas para establecer datos de densidad poblacional en playas de países estratégicos para esta especie (Laguna, 2012; Guardia, 2013; Tobón-López & Llanos, 2014; Solano, 2015; Hayes, 2015; Palafox *et al.*, 2015; Irvine *et al.*, 2015; Piacenza, 2016). Sin embargo, implican elevados costos y requieren de voluntades compartidas entre los países.

Dentro de las metodologías con menos reportes está la delimitación de áreas protegidas y zonas libres de pesca, áreas de anidación seguras sin presencia del humano o animales domesticados y áreas sin explotación de la especie (Hailey *et al.*, 2011; Moncada *et al.*, 2011; Luna, 2014; Majil, 2014; Solano, 2016; Labastida-Estrada *et al.*, 2019). Por último, la metodología menos aplicada en poblaciones de tortuga carey es la reubicación de nidos en playas más seguras o en criaderos controlados, la cual se realiza cuando una hembra desova en playas intervenidas por el hombre (Revuelta *et al.*, 2013; Luna, 2015; Figueroa, 2015; Luna 2017; Bergman, 2019). Owens & Blavillain (2013) afirman que la mayoría de los conservacionistas ahora reconocen que criar tortugas marinas en cautiverio es una prioridad menor, para que las poblaciones mantengan números saludables en sus hábitats naturales; por lo tanto, consideran que la conservación del hábitat natural es el objetivo principal de la mayoría de los programas de conservación modernos.

4. Conclusiones

La mayor parte de las estrategias establecidas entre los años 2010 y 2020, en el Gran Caribe, cuentan con acciones para la conservación de *E. imbricata*, además de brindar información base sobre aspectos biológicos, ecológicos, entre otros. Las acciones sobre las poblaciones humanas son las menos comunes en las estrategias de conservación.

La metodología más usada en los sesenta recursos recopilados fue el monitoreo de playas para adultos y juveniles, y la menos implementada fue la reubicación de nidos. La Región Caribe, Costa Rica, México y República Dominicana fueron las áreas con más variedad de metodologías implementadas en las estrategias de conservación.

La estrategia divulgativa se realizó en redes sociales, lo que causó un impacto moderado sobre las personas. Consideramos que es necesario aumentar estos procesos para concienciar a las personas de la importancia de esta especie para mantener el equilibrio de todos los ecosistemas costeros para la zona del Gran Caribe. En el anexo 4 se incluye un enlace para observar la infografía en la red social de Facebook.

Agradecimientos

Primero, queremos agradecerles a nuestras familias por su amor, apoyo y comprensión durante todo el proceso de investigación. Agradecemos especialmente a nuestra tutora la doctora Mary Lee Berdugo-Lattke por su orientación, dedicación y paciencia, sin su guía no hubiera sido posible el desarrollo de este proyecto. Además, queremos reconocer el apoyo brindado por la Universidad Central que nos proporcionó acceso a recursos y fuentes de investigación que fueron fundamentales para este proyecto. Por último, agradecemos a la docente Ángela Sánchez Díaz como evaluadora del proyecto en el espacio académico del programa de Biología.

Referencias

- Alonso, J., Perez, Y. & Hidalgo, D. (2016). Empleo de indicadores bibliométricos para la realización de un estado del arte. Un enfoque práctico. *Revista Publicando*, 3(9), 81-97.
- Amaro, R. (2013). *Inter-American Convention for the Protection and Conservation of Sea Turtles*. Honduras. Annual Report 2013. Secretary of Natural Resources (SERNA).
- Amaro, R. (2014). *Inter-American Convention for the Protection and Conservation of Sea Turtles*. Honduras. Annual Report 2014. Secretary of Natural Resources (SERNA).
- Amaro, R. (2015). *Inter-American Convention for the Protection and Conservation of Sea Turtles*. Honduras. Annual Report 2015. Secretary of Natural Resources (SERNA).
- Amorocho, D., Leslie, A., Fish, M., Sanjurjo, E., Amoros, S., Ávila, I., Toral, V., Gerhartz, J., Bilo, K., Guerrero, P., Zapata L. & Douthwaite, K. (2016). En D. Amorocho & C. Dereix (Eds.), *Marine Turtle Action Plan. WWF Latin America and the Caribbean: 2015-2020*. WWF-Colombia, 122.
- Arízaga, R. (2020). *Efecto de la luz artificial en la anidación de tortugas marinas en playas del Cantón Puerto López, Manabí, Ecuador* [Tesis doctoral, Universidad Internacional del Ecuador].
- Asch, J. (2014). *Inter-American Convention for the Protection and Conservation of Sea Turtles*. Costa Rica. Annual Report 2014. Secretary of Natural Resources (SERNA).

- Azanza-Ricardo, J. (2015). *Inter-American Convention for the Protection and Conservation of Sea Turtles*. Cuba. Annual Report 2015. Secretary of Natural Resources (SERNA).
- Azanza-Ricardo, J., Gerhartz-Muro, J., Martín-Viaña, Y. & Moncada-Gavilán, F. (2015). Effectiveness of monitoring techniques employed to determine reproductive success of marine turtles in Cuba. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 43(3), 548-556.
- Bergman, Q. (2019). *Spatial Ecology of Hawksbill Turtles (Eretmochelys imbricata) Nesting at Gandoca-Manzanillo National Wildlife Refuge* [Tesis doctoral, Purdue University Graduate School].
- Bernal, J. (2012). *Seguimiento satelital de las rutas migratorias y/o residenciales de dos juveniles de tortuga carey Eretmochelys imbricata*. Linnaeus, 1766.
- Bjorndal, K. & Jackson, J. (2003). Roles of sea turtles in marine ecosystems: reconstructing the past. En P. Lutz, J. Musick & J. Wyneken (Eds.), *The Biology of Sea Turtles*. Volumen II. 259-274.
- Bradshaw, M. & Porter, S. (2017). Infographics: A new tool for the nursing classroom. *Nurse educator*, 42(2), 57-59.
- Brea, Y. (2014). *Inter-American Convention for the Protection and Conservation of Sea Turtles*. Panamá. Annual Report 2014. Secretary of Natural Resources (SERNA).
- Carrasco, F., Chacón-Chaverri, D. & Rica, C. (2018). *Final report of sea turtles nesting in Pacuare beach*. Asociación Latin American Sea Turtles. Wider Caribbean Sea Turtle Conservation Network, del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF).
- Chacón, D. (2019). *Informe final de la anidación de tortugas marinas: Barra Norte de Pacuare, Costa Rica (Temporada 2019)*. Asociación Latin American Sea Turtles. Wider Caribbean Sea Turtle Conservation Network, del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF).
- Chacón, D., Dick, B., Harrison, E., Sarti, L. & Solano, M. (2008). *Manual sobre técnicas de manejo y conservación de las tortugas marinas en playas de anidación de Centroamérica*. Secretaría Pro Tempore de la Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas (CIT).
- Conservancy, S. & Harrison, E. (2017). *Reporte final del programa de tortugas marinas 2015 tortuguero*. Ministerio del Ambiente y Energía de Costa Rica.
- Córdoba, V. (2021). *Propuesta para un plan de acción para la conservación de la tortuga Carey (Eretmochelys imbricata) en Isla Fuerte*. Repositorio Institucional - Pontificia Universidad Javeriana.
- Domingo, A., Miller, P. & Borrat, V. (2016). *Reflexiones acerca de la investigación y conservación de las tortugas marinas*. Centro de Investigación y Conservación Marina.
- Dunbar, S., Ito, H., Bahjri, K., Dehom, S. & Salinas, L. (2014). Recognition of juvenile hawksbills *Eretmochelys imbricata* through face scale digitization and automated searching. *Endangered Species Research*, 26(2), 137-146.

- Esteban, N., van Dam, R., Harrison, E., Herrera, A. & Berkel, J. (2015). Green and hawksbill turtles in the Lesser Antilles demonstrate behavioural plasticity in inter-nesting behaviour and post-nesting migration. *Marine Biology*, 162(6), 1153-1163.
- Féliz, P., León, Y., Revuelta, O., Aucoin, S., Sofía, D. & Carreras, R. (2010). *Photo-identification of juvenile hawksbills using facial scales*. XXX International Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation, Goa, India.
- Fernández, J., Acevedo, K., Beltran, G. & Daza, L. (2013). Estandarización de la técnica de PCR para amplificar el genoma mitocondrial de las tortugas cabezona (*Caretta caretta*) y carey (*Eretmochelys imbricata*) anidantes del Caribe colombiano. *Revista Mutis*, 3(2), 21-30.
- Ferreira, I., Urrútia, G. & Alonso-Coello, P. (2011). Revisiones sistemáticas y metaanálisis: bases conceptuales e interpretación. *Revista Española de Cardiología*, 64(8), 688-696.
- Figueroa, V. (2015). *Inter-American Convention for the Protection and Conservation of Sea Turtles*. Belize. Annual Report 2015. Secretary of Natural Resources (SERNA).
- Figueroa, V. (2016). *Inter-American Convention for the Protection and Conservation of Sea Turtles*. Belice. Annual Report 2016. Secretary of Natural Resources (SERNA).
- Figueroa, V. & Forman, C. (2017). *Inter-American Convention for the Protection and Conservation of Sea Turtles*. Belize. Annual Report 2017. Secretary of Natural Resources (SERNA).
- Fish, M. (2012). Wider Caribbean Region. En J. Hilty, C. Chester & M. Cross (Eds.), *Climate and Conservation*. Island Press/Center for Resource Economics.
- Garabitos, C. (2018). *Inter-American Convention for the Protection and Conservation of Sea Turtles*. Dominican Republic. Annual Report 2018. Secretary of Natural Resources (SERNA).
- Guardia, T. (2013). *Inter-American Convention for the Protection and Conservation of Sea Turtles*. Panamá. Annual Report 2015. Secretary of Natural Resources (SERNA).
- Gutiérrez, Y., Guillén, L., Escobar, A. & Veliz, J. (2019). Risk factors in ecosystem of hawksbill turtles (*Eretmochelys imbricata*) from isla playita of machalilla national park. *International Journal of Life Sciences*, 3(1), 31-40.
- Hailey, A., Wilson, B. & Horrocks, J. (Eds.). (2011). *Conservation of Caribbean Island herpetofaunas volume 1: conservation biology and the wider Caribbean*. Brill.
- Hamann, M., Godfrey, M., Seminoff, J., Arthur, K., Barata, P., Bjorndal, K., Bolten, A., Broderick A., Campbell, L., Carreras, C., Casale, P., Chaloupka, M., Chan, S., Coyne, M., Crowder, L., Diez, C., Dutton, P., Epperly, S., FitzSimmons, N. & Godley, B. (2010). Global research priorities for sea turtles: informing management and conservation in the 21st century. *Endangered species research*, 11(3), 245-269.
- Hart, K., Iverson, A., Benschoter, A., Fujisaki, I., Cherkiss, M., Pollock, C., Ludgren, I. & Hillis-Starr, Z. (2019). Satellite tracking of hawksbill turtles nesting at Buck Island Reef National Monument, US Virgin Islands: Inter-nesting and foraging period movements and migrations. *Biological Conservation*, 229, 1-13.

- Hayes, C. (2015). *Recreational Diving and Hawksbill Sea Turtles (Eretmochelys imbricata) in a Marine Protected Area*. Loma Linda University.
- Horrocks, J., Krueger, B., Fastigi, M., Pemberton, E. & Eckert, K. (2011). International movements of adult female hawksbill turtles (*Eretmochelys imbricata*): first results from the Caribbean's marine turtle tagging centre. *Chelonian Conservation and Biology*, 10(1), 18-25.
- Irvine, L., Fletcher, P. & McCoy, W. (2015). *WCS Hawksbill Conservation Project 2014 annual report-Pearl Cays*. Wildlife Conservation Society, Pearl Lagoon, RACCS, Nicaragua.
- Iverson, A., Hart, K., Fujisaki, I., Cherkiss, M., Pollock, C., Lundgren, I. & Hillis-Starr, Z. (2016). Hawksbill satellite-tracking case study: implications for remigration interval and population estimates. *Marine Turtle Newsletter*, (148), p. 2.
- Jackson, J., Lewis, J., Graham, R. & Godley, B. (2010). *Tracking juvenile hawksbill turtles at Lighthouse Reef Atoll, Belize*. British Chelonia Group (BCG).
- Juárez-Sánchez, M. (2012). Estudio prospectivo de la tortuga carey *Eretmochelys imbricata* (Testudines: Cheloniidae) en el Parque Nacional Arrecifes de Cozumel, Quintana Roo, México. *Ciencia y Mar*, 16(48), 45-50.
- Labastida-Estrada, E., Machkour-M'Rabet, S., Díaz-Jaimes, P., Cedeño-Vázquez, J. & Hénaut, Y. (2019). Genetic structure, origin, and connectivity between nesting and foraging areas of hawksbill turtles of the Yucatan Peninsula: A study for conservation and management. *Aquatic Conservation. Marine and Freshwater Ecosystems*, 29(2), 211-222.
- Laguna, L. (2012). *Análisis en la aplicación del Plan de Acción de conservación de la tortuga carey Eretmochelys imbricata*. Linneo 1766 en Isla Fuerte
- León, Y., Feliz, P., Tomás, J. & Revuelta, O. (2010). *Informe de monitoreo de tortugas marinas en Reserva de la Biosfera Jaragua-Bahoruco-Enriquillo, República Dominicana*. Informe de actividades para 2008-2010. Grupo Jaragua, p. 18.
- Levasseur, K. (2019). *Population and Kin Structure of Hawksbill Turtles: Insights on Natal Homing Precision, Time to Maturity and the Male Component of the Breeding Population* [Tesis doctoral, University of South Carolina].
- Liles, M., Peterson, M., Lincoln, Y., Seminoff, J., Gaos, A. & Peterson, T. (2015). Connecting international priorities with human wellbeing in low-income regions: lessons from hawksbill turtle conservation in El Salvador. *Local Environment*, 20(11), 1383-1404.
- Liles, M., Peterson, J., Seminoff, E., Altamirano, A., Henríquez, A., Gaos, V., Gadea, P., Torres, J., Urteaga, B., Wallace, & Peterson, T. (2015). One size does not fit all: importance of adjusting conservation practices for endangered hawksbill turtles to address local nesting habitat needs in the eastern Pacific Ocean. *Biological Conservation*, 184, 405-413.
- López, A. (2015). *Inter-American Convention for the Protection and Conservation of Sea Turtles*. Guatemala. Annual Report 2015. Secretary of Natural Resources (SERNA).

- Luna, D. (2014). *Inter-American Convention for the Protection and Conservation of Sea Turtles*. Mexico. Annual Report 2014. Secretary of Natural Resources (SERNA).
- Luna, D. (2015). *Inter-American Convention for the Protection and Conservation of Sea Turtles*. Mexico. Annual Report 2015. Secretary of Natural Resources (SERNA).
- Luna, D. (2017). *Inter-American Convention for the Protection and Conservation of Sea Turtles*. Mexico. Annual Report 2017. Secretary of Natural Resources (SERNA).
- Majil, I. (2014). *Inter-American Convention for the Protection and Conservation of Sea Turtles*. Belize. Annual Report 2014. Secretary of Natural Resources (SERNA).
- de las Mercedes, Á. (2015). *Caracterización Geográfica de Tres Sitios de Anidación de la Tortuga Carey (Eretmochelys Imbricata) en el Parque Nacional Machalilla Puerto López* [Tesis de Maestría, Universidad de Guayaquil].
- Moncada, F., Azanza, J. & Nodarse, G. (2010). Las tortugas marinas y el cambio climático en Cuba. *Medio Ambiente y Desarrollo*, 11(20).
- Moncada, F., Hawkes, L., Fish, M., Godley, B., Manolis, S., Medina, Y., Nodarse, G. & Webb, G. (2012). Patterns of dispersal of hawksbill turtles from the Cuban shelf inform scale of conservation and management. *Biological Conservation*, 148(1), 191-199.
- Moncada, F., Medina, Y. & Nodarse, G. (2011). Resultados del monitoreo de la tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*) en los dos sitios de captura comercial: Cocodrilo (Isla de la Juventud) y Nuevitas, Cuba. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*.
- Nivière, M., Chambault, P., Pérez, T., Etienne, D., Bonola, M., Martin, J., Barnérias, C., Védie, F., Mailles, J., Dumont-Dayot, E., Gresser, J., Hiéland, G., Régis, S., Lecerf, N., Thieulle, L., Duru, M., Lefebvre, F., Milet, G., Guillemot, B... & Chevallier, D. (2018). Identification of marine key areas across the Caribbean to ensure the conservation of the critically endangered hawksbill turtle. *Biological Conservation*, 223, 170-180.
- Owens, D. & Blanvillain, B. (2013). Captive reproduction of sea turtles: An important success story. En *Proceedings of the international symposium on Reproduction of Marine Life, Birth of New Life*, 23-40.
- Pabón, K. (2010). *Implementación de telemetría satelital en un juvenil de tortuga carey Eretmochelys imbricata (Linnaeus, 1766) procedente de una fase de levante en sistemas cerrados, Santa Marta, Colombia*. Expedito Repositorio Institucional, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Pabón, K., Noriega-Hoyos, C. & Jaúregui, G. (2012). First satellite track of a head-started juvenile Hawksbill in the Colombian Caribbean. *Marine Turtle Newsletter*, 133(4), 4-7.
- Palafox, E., Liceaga Correa, M. & Cuevas, E. (2015). Protocolo para el conteo de tortugas marinas por el método de transecto: experiencias en buques oceanográficos. *Ciencia y Mar*, 24(56), 51-64.

- Piacenza, S. (2016). *Quantitative Tools for Monitoring Strategy Evaluation and Assessment of Sea Turtle Populations*. Oregon State University.
- Piniak, W. & Eckert, K. (2011). Sea turtle nesting habitat in the Wider Caribbean Region. *Endangered Species Research*, 15(2), 129-141.
- Rees, A., Alfaro-Shigueto, J., Barata, P., Bjørndal, K., Bolten, A., Bourjea, J., Broderick, A., Campbell, A., Cardona, L., Carreras, C., Casale, P., Ceriani, S., Dutton, P., Eguichi, T., Formia, A., Fuentes, M., Fuller, W., Girondot, M., Godfrey, M... & Godley, B. (2016). Are we working towards global research priorities for management and conservation of sea turtles? *Endangered Species Research*, 31, 337-382.
- Revuelta, O. (2014). *Biology and conservation of marine turtle nesting in the Dominican Republic* [Disertación doctoral, Universitat de València].
- Revuelta, O., Hawkes, L., León, Y., Godley, B., Raga, J. & Tomás, J. (2015). Evaluating the importance of Marine Protected Areas for the conservation of hawksbill turtles *Eretmochelys imbricata* nesting in the Dominican Republic. *Endangered Species Research*, 27(2), 169-180.
- Revuelta, O., Leon, Y., Aznar, F., Raga, J. & Tomás, J. (2013). Running against time: conservation of the remaining hawksbill turtle (*Eretmochelys imbricata*) nesting population in the Dominican Republic. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 93(4), 1133-1140.
- Revuelta, O. & Tomás, J. (2015). Tortuga carey—*Eretmochelys imbricata* (Linnaeus, 1766). En *Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles*. A. Salvador y A. Marco (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales. <http://www.vertebradosibericos.org/>
- Rowley, K. (2020). *Hawksbill Turtle (Eretmochelys imbricate) 2013-2020*. NOAA Institutional Repository.
- Rueda-Almonacid, J., Mittermeier, C., Carr, J., Mittermeier, R., Rodríguez-Mahecha, J., Mast, R., Vogt, R., Rhodin, A., Velasquez, J. & Rueda, J. (2007). Las tortugas y los cocodrilianos de los países andinos del trópico. *Serie de guías tropicales de campo*, 6, 412-423.
- Scales, K., Lewis, J., Lewis, J., Castellanos, D., Godley, B. & Graham, R. (2011). Insights into habitat utilisation of the hawksbill turtle, *Eretmochelys imbricata* (Linnaeus, 1766), using acoustic telemetry. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 407(1), 122-129.
- Scales, K., Lewis, J., Graham, R. & Godley, B. (2011). The hawksbill turtle, *Eretmochelys Imbricata*, at Lighthouse Reef Atoll, Belize. *Testudo*, 7(3), 23-31.
- Solano, M. (2015). *Inter-American Convention for the Protection and Conservation of Sea Turtles*. Costa Rica. Annual Report 2015. Secretary of Natural Resources (SERNA).
- Solano, M. (2016). *Inter-American Convention for the Protection and Conservation of Sea Turtles*. Costa Rica. Annual Report 2016. Secretary of Natural Resources (SERNA).

- Souza, J. (2016). Infographics: Ways of seeing and reading science in media. Bakhtiniana. *Revista de Estudos do Discurso*, 11, 190-206.
- Sung, K. (2014). *Effects of Plastic Pollution Density on the Crawling Rates of Hawksbill Hatchlings in Utila, Honduras*. Honors Thesis, 81.
- Tobón-López, A. & Llanos, D. (2014). Estudio poblacional de la tortuga carey *Eretmochelys imbricata* (Cheloniidae) en el Pacífico sur de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 19(3), 447-459.
- Trujillo-Arias, N., Amorocho, D., López-Álvarez, D. & Mejía-Ladino, L. (2014). Relaciones filogeográficas de algunas colonias de alimentación y anidación de la tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*) en el Pacífico y Caribe Colombianos. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR*, 43(1), 159-182.
- Urbina, E. & Chacón-Chaverri, D. (2020). *Anidación de tortugas marinas Barra Norte de Pacuare*. Asociación Latin American Sea Turtles y Wider Caribbean Sea Turtle Conservation Network, del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF).
- Vásquez, L. (2018). *Factores e impactos en el ecosistema de las tortugas carey (Eretmochelys imbricata) de La Playita Del Parque Nacional Machalilla* [Tesis de pregrado, JIPIJA-PA-UNESUM].
- Walker, G. & Gibson, K. (2015). First documented evidence of a rookery of the Critically Endangered Hawksbill sea turtle (*Eretmochelys imbricata*) in north east Tobago. *Chelonian Conservation and Biology*, 14(1), 95-99.

Anexo 1. Síntesis de los 60 recursos seleccionados después de la revisión sistemática

N.º	País	Año	Describir acción resumida	Nombre marco de la estrategia	Conocimiento base	Formulación de acciones	Acción sobre la especie	Acción sobre comunidades humanas	Resultados	Población de interés	Datos relacionados con densidad de población	Cita/Fuente
1	Belice	2010	Estudio acústico de seguimiento de tortugas	Tracking juvenile hawksbill turtles at Lighthouse Reef Atoll, Belize	X		X		Esta investigación se combinará con estudios futuros para arrojar luz sobre la abundancia y el comportamiento de esta potencialmente importante zona de alimentación de tortugas carey juveniles.	Juveniles	11 tortugas	Jackson, J., Lewis, J., Graham, R. & Godley, B. (2010). Tracking juvenile hawksbill turtles at Lighthouse Reef Atoll, Belize.
2	Colombia	2010	Monitoreo satelital de ejemplar juvenil proveniente de proyectos de levante para determinar distancias recorridas	Implementación de telemetría satelital en un juvenil de tortuga carey <i>Eretmochelys imbricata</i> (Linnaeus, 1766) procedente de una fase de levante en sistemas cerrados, Santa Marta Colombia	X		X		La ruta trazada desde las playas de Colombia hasta Panamá es la primera identificada desde el Caribe colombiano, evidencia un corredor poco registrado. Ratifica que los juveniles de tortugas carey pueden realizar recorridos de largas distancias (1463,66 km durante tres meses).	Juvenil	Un juvenil macho	Pabón, K. (2010). Implementación de telemetría satelital en un juvenil de tortuga carey <i>Eretmochelys imbricata</i> (Linnaeus, 1766) procedente de una fase de levante en sistemas cerrados, Santa Marta, Colombia.
3	República Dominicana	2010	Estrategia de reconocimiento facial para identificar individuos marinos	Photo-identification of juvenile hawksbills using facial scales	X		X		Las escamas timpánicas se consideraron la característica facial más útil para el reconocimiento individual.	Juveniles	1200 tortugas marcadas en el parque, 12 individuos analizados	Féliz, P., León, Y., Revuelta, O., Aucoin, S., Sofía, D. & Carreras, R. (2010). Photo-identification of juvenile hawksbills using facial scales. En: XXX International Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation, Goa, India.
4	República Dominicana	2010	Resultados del monitoreo de las tortugas marinas en las playas de anidación y en las áreas de alimentación de juveniles	Informe de Monitoreo de Tortugas Marinas en la Reserva de la Biosfera Jaragua-Bahoruco-Enriquillo, República Dominicana			X		La cantidad de tortugas capturadas y vistas en una hora de censo aumentó ligeramente o permaneció estable para la mayoría de los sitios a partir del año 2000. En Puerto Rico, el área de anidación de isla Mona ha experimentado un crecimiento sostenido desde hace una década por lo menos. En el caso de Cuba también es esperanzador el hecho de que a partir de 2008 se eliminó totalmente la captura legal de carey por la flota pesquera estatal.	Juveniles y nidos	214 tortugas capturadas y 19 nidos registrados	León, Y., Feliz, P., Tomás, J. & Revuelta, O. (2010). Informe de monitoreo de tortugas marinas en Reserva de la Biosfera Jaragua-Bahoruco-Enriquillo, República Dominicana. Informe de actividades para 2008-2010. Grupo Jaragua, Santo Domingo, Rep. Dominicana. Agosto 2010. P. 18. + 2 anexos.
5	Barbados	2011	Información recopilada de las devoluciones de marcas internacionales de tortugas carey hembra adultas	International Movements of Adult Female Hawksbill Turtles (<i>Eretmochelys imbricata</i>): First Results from the Caribbean's Marine Turtle Tagging Centre		X	X		12 de estos proyectos informaron haber marcado tortugas carey adultas, para un total combinado de 2261 etiquetadas. Individuos: 63 de estos individuos (2,8%), avistados al menos una vez en otro país desde que fueron marcados, han sido reportados al Centro de Marcado de Tortugas Marinas; la mayoría de ellos (96,8%) fueron marcados originalmente mientras anidaban en Barbados.	2261 hembras marcadas en un periodo de 7 años	Los datos de marcaje fueron casi la misma cantidad de datos recopilados en un estudio realizado por 40 años	Horrocks, J., Krueger, B., Fastigi, M., Pemberton, E. & Eckert, K. (2011). International movements of adult female hawksbill turtles (<i>Eretmochelys imbricata</i>): first results from the Caribbean's marine turtle tagging centre. Chelonian Conservation and Biology, 10(1), 18-25.
6	Belice	2011	Documentación de proporción de tortugas carey jóvenes en la región analizando sus comportamientos	Insights into habitat utilisation of the hawksbill turtle, <i>Eretmochelys imbricata</i> (Linnaeus, 1766), using acoustic telemetry	X		X		19 tortugas monitoreadas en desplazamiento satelital dentro de la reserva Lighthouse Reef Atoll constituye un hábitat de desarrollo crítico que sustenta la etapa de vida juvenil de la población regional de tortugas carey.	Juveniles	26 capturas y 19 tortugas equipadas con transmisores	Scales, K., Lewis, J., Lewis, J., Castellanos, D., Godley, B. & Graham, R. (2011). Insights into habitat utilisation of the hawksbill turtle, <i>Eretmochelys imbricata</i> (Linnaeus, 1766), using acoustic telemetry. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 407(1), 122-129.

Continúa...

... viene.

N.º	País	Año	Describir acción resumida	Nombre marco de la estrategia	Conocimiento base	Formulación de acciones	Acción sobre la especie	Acción sobre comunidades humanas	Resultados	Población de interés	Datos relacionados con densidad de población	Cita/Fuente
7	Cuba	2011	Indicadores poblacionales y la proporción sexual de los careyes capturados, así como el comportamiento de la captura comercial anual en los dos sitios	Resultados del monitoreo de la tortuga carey (<i>Eretmochelys imbricata</i>) en los dos sitios de captura comercial: Cocodrilo (Isla de la Juventud) y Nuevitas, Cuba			X		El monitoreo de la captura comercial permitió la obtención de información sobre la proporción sexual, observando que la talla media se mantuvo estable y la proporción sexual (favorable a las hembras) mostró un incremento sostenido. Por otra parte, el número total de careyes capturados anualmente entre los dos sitios estuvo por debajo de la cuota establecida, con la excepción de dos años, debido a dificultades con las embarcaciones y las artes de pesca.	Juveniles	500 ejemplares monitoreados	Moncada, F., Medina, Y. & Nodarse, G. (2011). Resultados del monitoreo de la tortuga carey (<i>Eretmochelys imbricata</i>) en los dos sitios de captura comercial: Cocodrilo (Isla de la Juventud) y Nuevitas, Cuba.
8	Caribe	2011	Estado actual de herpetofaunas (incluidas las tortugas marinas) del Caribe	Conservation of Caribbean Island Herpetofaunas Volume 1: Conservation Biology and the Wider Caribbean	X		X		Argumentan que armonizar las prioridades internacionales de conservación con las realidades de desarrollo de la comunidad local es un camino para contribuir simultáneamente a la recuperación a largo plazo de las tortugas marinas y al bienestar humano en regiones de bajos ingresos.	Herpetofauna del Caribe	N/A	Hailey, A., Wilson, B. & Horrocks, J. (Eds.). (2011). Conservation of Caribbean Island herpetofaunas volume 1: conservation biology and the wider Caribbean. Brill.
9	Región del Caribe	2011	Atlas de todas las zonas de anidación de tortugas marinas conocidas	Sea turtle nesting habitat in the Wider Caribbean Region	X		X		Identificamos y caracterizamos 1311 tortugas marinas, sitios de anidación en 43 países y territorios que se extienden desde las Bermudas, un territorio británico de ultramar en el Atlántico Norte, al sur de Brasil, de 2535 sitios de anidación específicos de especies.	Nidos	N/A	Piniak, W. & Eckert, K. (2011). Sea turtle nesting habitat in the Wider Caribbean Region. Endangered Species Research, 15(2), 129-141.
10	Belice	2011	Determinación patrones de abundancia de la tortuga carey	The hawksbill turtle, <i>Eretmochelys imbricata</i> , at Lighthouse Reef Atoll, Belize	X		X		Todavía no se puede estar seguro de los factores determinantes de esta mayor abundancia, que puede ocurrir simplemente como resultado de la protección de un hábitat de mejor calidad. Sin embargo, el número significativamente mayor de tortugas.	Juveniles	68 tortugas, 91 % inmaduras	Scales, K., Lewis, J., Graham, R. & Godley, B. (2011). The hawksbill turtle, <i>Eretmochelys imbricata</i> , at Lighthouse Reef Atoll, Belize. Testudo, 7(3), 23-31.
11	Región del Caribe	2012	Iniciativa de Adaptación al Cambio Climático para las Tortugas Marinas	The Wider Caribbean Region	X		X		Plantea la iniciativa de Adaptación al Cambio Climático para las Tortugas Marinas que está desarrollando la capacidad regional para abordar los desafíos del cambio climático.	Tortugas marinas	N/A	Fish, M. (2012). Wider Caribbean Region. In: Hilty, J., Chester, C., Cross, M. (Eds.) Climate and Conservation. Island Press/Center for Resource Economics.
12	Colombia	2012	Análisis de la ejecución y aplicación del Plan de Acción Nacional para la conservación de las Tortugas Marinas	Análisis en la aplicación del Plan de Acción de conservación de la tortuga carey <i>Eretmochelys imbricata</i> (Linneo 1766) en Isla Fuerte, Bolívar Caribe Colombiano	X		X		Porcentaje de cumplimiento del plan de acción de conservación menor del 30 %.	Huevos y neonatos	Nido 1: 140 huevos, 0 eclosionados. Nido 2: 153 huevos, 87 eclosionados. Porcentaje de eclosión del 58,16 %	Laguna, L. (2012). Análisis en la aplicación del Plan de Acción de conservación de la tortuga carey <i>Eretmochelys imbricata</i> (Linneo 1766) en Isla Fuerte, Bolívar Caribe Colombiano.
13	México	2012	Muestreo dirigido y empleando la técnica del buzo errante, describe de manera general la actividad subacuática de la carey así como sus hábitos de alimentación	Estudio prospectivo de la tortuga carey <i>Eretmochelys imbricata</i> (Testudines: Cheloniidae) en el Parque Nacional Arrecifes de Cozumel, Quintana Roo, México	X		X		Aunque muestran varios sitios con pocas tortugas, no se descarta que los sitios muestreados sean de baja abundancia porque las carey prefieren otras zonas de forrajeo en la isla o, bien, en otras áreas del Caribe con mejores condiciones de sustrato y presas, reflejando una abundancia mayor de tortugas.	Juveniles	N/A	Juárez-Sánchez, M. (2012). Estudio prospectivo de la tortuga carey <i>Eretmochelys imbricata</i> (Testudines: Cheloniidae) en el Parque Nacional Arrecifes de Cozumel, Quintana Roo, México. Ciencia y Mar, 16(48), 45-50.

Continúa...

... viene.

N.º	País	Año	Describir acción resumida	Nombre marco de la estrategia	Conocimiento base	Formulación de acciones	Acción sobre la especie	Acción sobre comunidades humanas	Resultados	Población de interés	Datos relacionados con densidad de población	Cita/Fuente
14	Colombia	2012	Análisis de movimientos satelitales de tortuga carey en el Caribe colombiano	First Satellite Track of a Head-started Juvenile Hawksbill in the Colombian Caribbean	X		X		Seguimiento satelital de un juvenil durante un período de 6 meses, viajando dentro de las corrientes superficiales para llegar a áreas documentadas conocidas por la anidación y alimentación de tortugas marinas. Es necesario aumentar el número de tortugas rastreadas, tanto las iniciadas como las silvestres, para comparar rutas y confirmar que los proyectos iniciales son una herramienta de conservación valiosa y apropiada.	Tortuga juvenil	N/A	Pabón-Aldana, K., Noriega-Hoyos, C. & Jaúregui, G. (2012). First satellite track of a head-started juvenile Hawksbill in the Colombian Caribbean. Marine Turtle Newsletter, 133(4), 4-7.
15	Caribe	2012	Investigación sobre el movimiento y la dispersión de las tortugas carey para informar mejor la discusión sobre los impactos de su captura	Patterns of dispersal of hawksbill turtles from the Cuban shelf inform scale of conservation and management	X		X		El marcado de aletas y el rastreo satelital demuestran que la mayoría de las tortugas de estudio permanecieron en aguas territoriales cubanas: de 1170 tortugas carey marcadas (525 adultas y 606 juveniles), el 12 % (n = 143) fueron recapturadas.	Juveniles y adultos	Todos los adultos recapturados (16 machos, 38 hembras anidadoras y 30 hembras adultas en el agua) estaban en aguas cubanas. De los 59 juveniles recapturados, solo cuatro recapturas fueron fuera de aguas cubanas	Moncada, F., Hawkes, L., Fish, M., Godley, B., Manolis, S., Medina, Y. & Webb, G. (2012). Patterns of dispersal of hawksbill turtles from the Cuban shelf inform scale of conservation and management. Biological Conservation, 148(1), 191-199.
16	Colombia	2012	Monitoreo con transmisores satelitales para determinar ruta migratoria	Seguimiento satelital de las rutas migratorias y/o residenciales de dos juveniles de tortuga carey <i>Eretmochelys imbricata</i> (Linnaeus, 1766)	X		X		La obtención de coordenadas georreferenciadas permitieron delimitar de una manera específica tramos de rutas tanto residenciales como migratorias demarcadas por los dos juveniles, confirmando que la telemetría satelital es una herramienta confiable que facilita el monitoreo de los desplazamientos generando información sobre parte de la ecología de estos quelonios.	Juveniles	2 tortugas monitoreadas	Bernal (2012). Seguimiento satelital de las rutas migratorias y/o residenciales de dos juveniles de tortuga carey <i>Eretmochelys imbricata</i> (Linnaeus, 1766).
17	Panamá	2013	Reporte anual	Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas [PANAMÁ] Informe Anual 2013	X		X		Reporta los mismos resultados que el informe de Panamá de 2012, a excepción de 64 nidadas.	Nidos	64 nidos	Guardia, T. & Zurita, M. (2013). Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas [PANAMÁ]. Informe Anual 2013.
18	Colombia	2013	Estudios genéticos del ADN mitocondrial permiten el apoyo de planes de manejo y conservación	Estandarización de la técnica de PCR para amplificar el genoma mitocondrial de las tortugas cabezona (<i>Caretta caretta</i>) y carey (<i>Eretmochelys imbricata</i>) anidantes del Caribe colombiano	X		X		Estudio de técnicas moleculares.	Tortugas adultas	N/A	Fernández, J., Acevedo, K., Beltran, G. & Daza, L. (2013). Estandarización de la técnica de PCR para amplificar el genoma mitocondrial de las tortugas cabezona (<i>Caretta caretta</i>) y carey (<i>Eretmochelys imbricata</i>) anidantes del Caribe colombiano. Revista Mutis, 3(2), 21-30.
19	Honduras	2013	Reporte anual	Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas Honduras Informe Anual 2013	X		X		Divulgación de la Estrategia Nacional para la Conservación de las Tortugas Marinas. Estudios de marcaje satelital y de conformación y vegetación de playas de anidamiento.	Hembras y nidos	31 hembras y 14 nidos	Amaro, R. (2013). Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas. Honduras. Informe Anual 2013.

Continúa...

... viene.

N.º	País	Año	Describir acción resumida	Nombre marco de la estrategia	Conocimiento base	Formulación de acciones	Acción sobre la especie	Acción sobre comunidades humanas	Resultados	Población de interés	Datos relacionados con densidad de población	Cita/Fuente
20	República Dominicana	2013	Protección de las nidadas de tortugas de la depredación humana por medio de incubación artificial	Running against time: conservation of the remaining hawksbill turtle (<i>Eretmochelys imbricata</i>) nesting population in the Dominican Republic			X		Durante el período de estudio (2007-2010) registramos 400 nidadas, de las cuales el 38,2% fueron depredadas por humanos, el 40,7% fueron incubadas artificialmente y el 21% fueron incubadas <i>in situ</i> . En general, el programa de incubación artificial permitió la liberación de 12340 crías.	Nidos	100 nidos tenidos en cuenta	Revuelta, O., Leon, Y., Aznar, F., Raga, J. & Tomás, J. (2013). Running against time: conservation of the remaining hawksbill turtle (<i>Eretmochelys imbricata</i>) nesting population in the Dominican Republic. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 93(4), 1133-1140.
21	Belice	2014	Reporte anual	Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas. Belice. Informe Anual 2014	X		X		Actividades de revisión de botes tanto locales como de turistas para verificar si poseen tortugas carey o alguno de sus derivados.	Nidos	69 nidos	Majil, I. (2014). Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas. Belice. Informe Anual 2014.
22	Costa Rica	2014	Reporte anual	Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas. Costa Rica. Informe Anual 2014	X		X		Las playas de arribadas se caracterizan por tener éxito de eclosión muy baja, normalmente menor al 10% del total de nidos depositados. Además, los nidos que sobreviven a la sobreexcavación tienen porcentajes de éxito de eclosión entre el 20% al 40%. Esto debido a las altas densidades de nidos por metro cuadrado, por ejemplo se han reportado entre 7 a 14 nidos por metro cuadrado en la PPA. Reportes de la ADIO indican que el máximo número de nidos colectados por arribada rondó los 8000 nidos.	Nidos y huevos	49 nidos	Asch, J. (2014). Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas. Costa Rica. Informe Anual 2014.
23	Honduras	2014	Reporte anual	Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas HONDURAS Informe Anual 2014		X	X	X	Actividades de concientización a turistas, monitoreo de hábitat en sitios índices de anidación.	Hembras y nidadas	20 hembras y 38 nidos	Amaro, R. (2014). Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas. Honduras. Informe Anual 2014.
24	México	2014	Reporte anual	Convención Interamericana para la Protección y Conservación de Tortugas Marinas MÉXICO Informe Anual 2014	X	X	X		A través de la CICAA y la CIAT se han establecido medidas para la protección y conservación de las tortugas marinas, atendiendo así el mandato de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), a través de las directrices para reducir la mortalidad de las tortugas marinas debido a las operaciones de pesca.	Nidos	801 nidos	Luna. (2014). Convención Interamericana para la Protección y Conservación de Tortugas Marinas MÉXICO Informe Anual 2014.
25	Panamá	2014	Reporte anual	Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas [Panamá]. Informe Anual 2014		X	X		La Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá, a través de la Dirección General de Inspección, Vigilancia y Control, realiza inspecciones periódicas para verificar el cumplimiento del uso del Dispositivo Excluidor de Tortugas (DET).	N/A	N/A	Brea. (2014). Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas [Panamá]. Informe Anual 2014.
26	República Dominicana	2014	Análisis estado de conservación de la anidación de tortugas marinas colonias en la República Dominicana	Biology and conservation of marine turtle nesting in the Dominican Republic	X		X		El programa de incubación artificial realizado en Saona de 2007 a 2010 permitió la liberación de más de 12000 crías de carey. No hay diferencias en la eclosión. Se encontró éxito de emergencia entre nidadas <i>in situ</i> e incubadas artificialmente.	Nidadas	12000 crías de carey	Revuelta, O. (2014). Biology and conservation of marine turtle nesting in the Dominican Republic.

Continúa...

... viene.

N.º	País	Año	Describir acción resumida	Nombre marco de la estrategia	Conocimiento base	Formulación de acciones	Acción sobre la especie	Acción sobre comunidades humanas	Resultados	Población de interés	Datos relacionados con densidad de población	Cita/Fuente
27	Cuba	2014	Muestra los resultados alcanzados durante 20 años por especialistas en la conservación de las tortugas marinas en el archipiélago cubano	El Centro de Investigaciones Marinas y la Conservación de las Tortugas Marinas en Cuba	X		X		Fomentó 10 líneas de investigación sobre la vida marina (no hay resultados específicos sobre las especies).	Nidos	N/A	Azanza-Ricardo, J. (2014) El Centro de Investigaciones Marinas y la Conservación de las Tortugas Marinas en Cuba.
28	Honduras	2014	Rastreo de el periodo crítico de migración de las crías de tortuga carey desde el nido hasta el agua	P-26 Hawksbill Turtle (<i>Eretmochelys imbricata</i>) Density and the Effect of Pollution Debris on the Crawling Rates of Hawksbill Hatchlings in Utila, Honduras	X		X		El plástico es un factor de riesgo para los recorridos de los neonatos hacia el mar.	Neonatos	48 huevos eclosionados	Sung, K. (2014). Effects of Plastic Pollution Density on the Crawling Rates of Hawksbill Hatchlings in Utila, Honduras.
29	Honduras	2014	Investigar el potencial para automatizar los procesos de búsqueda a través de medios informáticos	Recognition of juvenile hawksbills <i>Eretmochelys imbricata</i> through face scale digitization and automated searching	X		X		Rescate de ejemplares capturados por cazadores, identificación visual de las tortugas realizando una base de datos óptima para futuros estudios.	Juveniles	N/A	Dunbar, S., Ito, H., Bahjri, K., Dehom, S. & Salinas, L. (2014). Recognition of juvenile hawksbills <i>Eretmochelys imbricata</i> through face scale digitization and automated searching. Endangered Species Research, 26(2), 137-146.
30	Honduras	2015	Análisis del impacto del buceo recreacional en la población de tortugas carey para futuros trabajos de conservación	Recreational Diving and Hawksbill Sea Turtles (<i>Eretmochelys imbricata</i>) in a Marine Protected Area		X		X	Los resultados de este estudio permitirán la gestión local y oficial para implementar regulaciones efectivas para las interacciones entre buzos y tortugas marinas.	Tortugas marinas	N/A	Hayes, C. (2015). Recreational Diving and Hawksbill Sea Turtles (<i>Eretmochelys imbricata</i>) in a Marine Protected Area. Loma Linda University.
31	Nicaragua	2015	Cuantificación de la actividad de anidación de 11 cayos y monitorear las condiciones del nido	WCS Hawksbill Conservation Project 2014 annual report-Pearl Cays, Nicaragua			X	X	475 puestas, el número de puestas en 2014 representó un aumento del 41,4 % desde 2013 y un aumento del 208,4 % desde 2000. El porcentaje medio de aumento en el total de puestas por temporada durante los 15 años del proyecto fue del 9,9%.	Nidos	475 nidos	Irvine, L., Fletcher, P. & McCoy, W. (2015). WCS Hawksbill Conservation Project 2014 annual report-Pearl Cays, Nicaragua.
32	Belice	2015	Reporte anual	Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas Belice Informe Anual 2015	X		X		Se nombra la ubicación de 82 nidos, también se reporta actividades de marcajes de aletas y programas de telemetría por satélite.	Nidos	82 nidos	Figuerola, V. (2015) Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas. Belice. Informe Anual 2015.
33	Costa Rica	2015	Reporte anual	Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas Costa Rica Informe Anual 2015	X	X	X	X	Registro de 10 sitios de anidación en el Área de Conservación La Amistad Caribe y 16 en el área de Conservación Osa (ACOSA). Charlas, folletos, museos, asociaciones de guías y su respectiva capacitación para que las comunidades humanas puedan involucrarse en los programas de monitoreo e investigación. Observación de 81 nidadas en la playa Cahuita.	Nidos	81 nidos	Solano, M. (2015). Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas. Costa Rica. Informe Anual 2015.

Continúa...

... viene.

N.º	País	Año	Describir acción resumida	Nombre marco de la estrategia	Conocimiento base	Formulación de acciones	Acción sobre la especie	Acción sobre comunidades humanas	Resultados	Población de interés	Datos relacionados con densidad de población	Cita/Fuente
34	Guatemala	2015	Reporte anual	Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas Guatemala Informe Anual 2015		X	X	X	Se menciona como plan nacional para la conservación La Estrategia Nacional de Manejo y Conservación de Tortugas Marinas 2014-2024, –ENTM–, además de diferentes talleres y capacitaciones a autoridades ambientales y para el resto de la comunidad humana como la actividad “Festival de la Tortuga”.	Nidos, adultos	N/A	López, A. (2015). Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas. Guatemala. Informe Anual 2015.
35	México	2015	Reporte anual	Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas. México. Informe Anual 2015	X	X	X	X	Se reporta el proyecto de Protección, Conservación y Recuperación de Tortuga Carey <i>Eretmochelys imbricata</i> cuyo objetivo es lograr la conservación y recuperación de las poblaciones de tortuga carey en México, además de otros 8 que involucran distintos planes de conservación. Se ubican 459 nidadas en Chenkan, Camp; 342 en la Isla y 586 en el Santuario playa adyacente a la RB Ria, sitios tentativos para delimitar áreas de conservación.	Crías, hembras anidadoras, juveniles en áreas de alimentación	Se ubican 459 nidos en Chenkan, Camp; 342 en la Isla y 586 en el Santuario playa adyacente	Luna, D. (2015). Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas MÉXICO Informe Anual 2015.
36	Honduras	2015	Reporte anual	Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas (Honduras) Informe Anual 2015	x	x	x		Se menciona La Estrategia Nacional Para la conservación de las Tortugas Marinas aprobada en junio del 2014, la cual involucra actividades de monitoreo y marcaje. Se ubican las playas índices de anidación para la conservación.	Nidos, juveniles y adultos	25 nidos	Amaro, R. (2015). Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas (Honduras) Informe Anual 2015
37	Salvador	2015	Surgimiento de la conservación de tortugas marinas en El Salvador	Connecting international priorities with human wellbeing in low-income regions: lessons from hawksbill turtle conservation in El Salvador	X		X		La compra de huevos por parte de los criaderos es una estrategia de conservación socialmente justa que beneficia tanto a las tortugas carey como al bienestar humano; y las oportunidades para que los residentes locales participen en la toma de decisiones con respecto a la conservación de las tortugas marinas son limitadas y deberían incrementarse.	Huevos	N/A	Liles, M., Peterson, M., Lincoln, Y., Seminoff, J., Gaos, A. & Peterson, T. (2015). Connecting international priorities with human wellbeing in low-income regions: lessons from hawksbill turtle conservation in El Salvador. Local Environment, 20(11), 1383-1404.
38	Cuba	2015	4 tipos de monitoreo de anidaciones para la conservación de tortugas marinas en Cuba	Effectiveness of monitoring techniques employed to determine reproductive success of marine turtles in Cuba			X		La cobertura del monitoreo fue <50 % en las tres especies y para la mayoría de las playas de anidación, aunque en estado más crítico se encuentra <i>E. imbricata</i> para la cual se cubrió <30 % de la temporada en la mayoría de las áreas.	Nidos	N/A	Azanza-Ricardo, J., Gerhartz-Muro, J., Martín-Viña, Y. & Moncada-Gavilán, F. (2015). Effectiveness of monitoring techniques employed to determine reproductive success of marine turtles in Cuba. Latin American Journal of Aquatic Research, 43(3), 548-556.
39	República Dominicana	2015	Comprender los patrones espaciales y temporales de uso del hábitat para proteger tanto la alimentación y los criaderos de especies de interés son cruciales para una conservación exitosa	Evaluating the importance of Marine Protected Areas for the conservation of hawksbill turtles <i>Eretmochelys imbricata</i> nesting in the Dominican Republic			X		Las áreas protegidas del país son vitales para la conservación de la tortuga carey, y la aplicación de la legislación existente que rige las áreas protegidas es crucial. También corrobora que las aguas frente a Nicaragua y Honduras son áreas de alimentación excepcionalmente importantes para las tortugas carey en el Caribe, lo que demuestra la vulnerabilidad de la tortuga en estas aguas.	Hembras juveniles	9 tortugas	Revuelta, O., Hawkes, L., León, Y., Godley, B., Raga, J. & Tomás, J. (2015). Evaluating the importance of Marine Protected Areas for the conservation of hawksbill turtles <i>Eretmochelys imbricata</i> nesting in the Dominican Republic. Endangered Species Research, 27(2), 169-180.

Continúa...

... viene.

N.º	País	Año	Describir acción resumida	Nombre marco de la estrategia	Conocimiento base	Formulación de acciones	Acción sobre la especie	Acción sobre comunidades humanas	Resultados	Población de interés	Datos relacionados con densidad de población	Cita/Fuente
40	Antillas menores	2015	Primer estudio exhaustivo de las playas de anidación de tortugas marinas en este sitio del sur del Caribe	First Documented Evidence of a Rookery of the Critically Endangered Hawksbill Sea Turtle (<i>Eretmochelys imbricata</i>) in North East Tobago			X		Las tortugas marinas son constante y fuertemente explotadas en el noreste de Tobago a pesar de la protección total exigida por la legislación nacional. Una reducción dramática en los eventos de caza furtiva registrados en las playas de 2011 a 2012 puede deberse a patrullajes intensivos en 2012.	Hembras anidadoras	58 tortugas carey fueron identificadas en las playas durante el período de patrullaje, 49 fueron etiquetadas, 32 anidaron más de una vez en la misma playa	Walker, G. & Gibson, K. (2015). First documented evidence of a rookery of the Critically Endangered Hawksbill sea turtle (<i>Eretmochelys imbricata</i>) in north east Tobago. Chelonian Conservation and Biology, 14(1), 95-99.
41	Antillas menores	2015	Monitoreo satelital para determinar rutas migratorias de las tortugas	Green and hawksbill turtles in the Lesser Antilles demonstrate behavioural plasticity in inter-nesting behaviour and post-nesting migration	X		X		Durante los patrullajes, se marcaron las aletas de tres tortugas carey que se encontraron mientras anidaban en la playa de Zeelandia, San Eustaquio. Los informes de los censos registran el número de nidos (probables y confirmados) de 104 (carey) de un total de 152 actividades de anidación.	3 hembras anidadoras	104 nidos de un total de 152 actividades de anidación	Esteban, N., van Dam, R., Harrison, E., Herrera, A. & Berkel, J. (2015). Green and hawksbill turtles in the Lesser Antilles demonstrate behavioural plasticity in inter-nesting behaviour and post-nesting migration. Marine Biology, 162(6), 1153-1163.
42	México	2015	Protocolo estandarizado para el conteo de tortugas marinas desde buques	Protocolo para el conteo de tortugas marinas por el método de transecto: experiencias en buques oceanográficos	X		X		Este estudio amplía el conocimiento de la ecología poblacional de tortugas marinas y contribuye al conocimiento de su distribución espacial y temporal; así como a la estimación de su abundancia y densidad en ambientes neríticos y oceánicos.	Tortugas marinas	N/A	Palafox, E., Liceaga, M. & Cuevas, E. (2015). Protocolo para el conteo de tortugas marinas por el método de transecto: experiencias en buques oceanográficos. Ciencia y Mar, 24(56), 51-64.
43	México	2016	Formulación de modelos de población para evaluar el tamaño y el estado de la población	Quantitative Tools for Monitoring Strategy Evaluation and Assessment of Sea Turtle Populations	X		X		Desarrollo de una nueva herramienta basada en simulación: Evaluación de estrategia de monitoreo (MoSE) para determinar qué fuente de datos produce la información más útil para las evaluaciones de población.	Tortugas marinas	N/A	Piacenza, S. (2016). Quantitative Tools for Monitoring Strategy Evaluation and Assessment of Sea Turtle Populations.
44	Caribe y Atlántico	2016	Buscar algunas respuestas frente a la conservación de la vida silvestre	Reflexiones acerca de la investigación y conservación de las tortugas marinas.	X		X		Compendio de reflexiones y charlas acerca de las acciones de científicos de conservación.	Tortugas marinas	N/A	Domingo, A., Miller, P. & Borrat, V. (2016). Reflexiones acerca de la investigación y conservación de las tortugas marinas.
45	Belice	2016	Reporte anual	Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas Belice Informe Anual 2016	X		X		Estudios de marcaje, monitoreo y de hábitat, reporte de 60 nidos en áreas protegidas.	Nidos, juveniles y adultos	60 nidos	Figueroa, V. (2016). Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas, Belice Informe Anual 2016.
46	Costa Rica	2016	Reporte anual	Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas Costa Rica Informe Anual 2016	X		X	X	Diagnóstico, a través de talleres con la finalidad de conformar un foro permanente de discusión, análisis y emisión de recomendaciones. Delimitación de 7 áreas para conservación, donde prima la educación ambiental. Actividades de marcaje en playas de anidación.	hembras	14 hembras	Solano, M. (2016). Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas Costa Rica Informe Anual 2016.
47	Región Caribe	2016	Monitoreo satelital para determinar rutas de migración y lugares de anidación	Hawksbill Satellite-tracking Case Study: Implications for Remigration Interval and Population Estimates	X		X		Evaluación de corredores migratorios y potenciales amenazas durante las diferentes etapas de la vida de la tortuga.	Juvenil hembra	N/A	Iverson, A., Hart, K., Fujisaki, I., Cherkiss, M., Pollock, C., Lundgren, I. & Hillis-Starr, Z. (2016). Hawksbill satellite-tracking case study: implications for remigration interval and population estimates. Marine Turtle Newsletter, (148), 2.

Continúa...

... viene.

N.º	País	Año	Describir acción resumida	Nombre marco de la estrategia	Conocimiento base	Formulación de acciones	Acción sobre la especie	Acción sobre comunidades humanas	Resultados	Población de interés	Datos relacionados con densidad de población	Cita/Fuente
48	Belice	2017	Reporte anual	Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas Belice Informe Anual 2017	X	X	X	X	Monitoreo de playas índices de anidación para la conservación. Determinación de patrones de comportamiento y monitoreo, taller de capacitación para la comunidad humana relacionada directamente con la especie.	Adultos, nidos y hembras	88 nidos	Figuerola, V. & Forman, C. (2017). Convención Interamericana para la Protección y Conservación de Tortugas Marinas. Belice. Informe Anual 2017.
49	Costa Rica	2017	Censos realizados a diferentes nidos de diferentes especies de tortugas marinas para la conservación de estas	Reporte Final del Programa de Tortugas Marinas 2015 Tortuguero, Costa Rica			X		El programa anual de investigación de la STC no incluye la colecta de muestras biológicas. Por lo tanto, este reporte no incluye ningún tipo de información acerca de muestras físicas colectadas (i.e., muestra de tejidos, cantidad, uso del material, destino del material). Este reporte si incluye datos recolectados de cada uno de los animales que fueron trabajados por nuestro personal durante el 2016.	Nidos	N/A	Conservancy, S. & Harrison, E. (2017). Reporte Final Del Programa De Tortugas Marinas 2015 Tortuguero, Costa Rica.
50	México	2017	Reporte anual	Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas MÉXICO Informe Anual 2017	X	X	X		Se plantea el Programa Nacional de Conservación de Tortugas Marinas (PNTM) en el marco del Programa de Recuperación de Especies en Riesgo (PROCER). Se describen 6 proyectos para la conservación.	Nidos, hembras, juvenil y subadulto	Se han desarrollado programas de marcaje, y se han ubicado 1097 nidos y observado 208 hembras	Luna, D. (2017). Convención Interamericana para la Protección y Conservación de Tortugas Marinas. México. Informe Anual 2017.
51	República Dominicana	2018	Reporte anual	Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas REPÚBLICA DOMINICANA Informe Anual 2018	X	X	X		Estudios de marcaje, migración y monitoreo de playas índices de anidación. Programa de Manejo de Tortugas Marinas Acuario Nacional. Rescate y rehabilitación.	Nidos, juveniles y adultos	Liberación de 12 individuos (8 adultos y 4 juveniles). Monitoreo 1. 132 nidos, 48 hembras	Garabitos, C. (2018). Convención Interamericana para la Protección y Conservación de Tortugas Marinas República Dominicana Informe Anual 2018.
52	Costa Rica	2018	Proyecto de anidación en playa Pacuare en Costa Rica de tres especies de tortugas marinas	Final Report of Sea Turtles Nesting in Pacuare Beach			X	X	Se protegieron 6 nidos de tortuga carey. El porcentaje de emergencia de los nidos exhumados de tortuga es 87,57 %, de los cuales se liberaron 810 neonatos.	Nidos y neonatos	64,53 % de los nidos fue protegido, número que ha ido aumentando cada año	Carrasco, F., Chacón-Chaverri, D. & Rica, C. (2018). Final Report Of Sea Turtles Nesting In Pacuare Beach.
53	Antillas francesas	2018	Descripción de movimientos horizontales y verticales de las tortugas a lo largo de la isla	Identification of marine key areas across the Caribbean to ensure the conservation of the critically endangered hawksbill turtle		X	X		Estudio de la distribución y el comportamiento de buceo de tortugas carey adultas y juveniles en aguas de Martinica.	Tortugas juveniles y adultas	3 juveniles, 11 hembras adultas y 2 machos adultos	Nivière, M., Chambault, P., Pérez, T., Etienne, D., Bonola, M., Martin, J.,... & Chevallier, D. (2018). Identification of marine key areas across the Caribbean to ensure the conservation of the critically endangered hawksbill turtle. Biological Conservation, 223, 170-180.
54	Región del Caribe	2019	Comportamiento reproductivo de las tortugas carey y parentesco masculino	Population and Kin Structure of Hawksbill Turtles: Insights on Natal Homing Precision, Time to Maturity and the Male Component of the Breeding Population		X	X		Se reconstruyeron los genotipos paternos de 23 hembras y sus cohortes de crías, lo que indica una proporción de sexos casi igual para la población reproductora. Contribuciones paternas a los nidos sugieren que la paternidad única es común para los nidos de carey del Caribe Oriental, un hallazgo consistente con estudios de paternidad de tortuga carey de otras regiones.	Hembras anidadoras	N/A	Levasseur, K. (2019). Population and Kin Structure of Hawksbill Turtles: Insights on Natal Homing Precision, Time to Maturity and the Male Component of the Breeding Population (Doctoral dissertation, University of South Carolina).

Continúa...

... viene.

N.º	País	Año	Describir acción resumida	Nombre marco de la estrategia	Conocimiento base	Formulación de acciones	Acción sobre la especie	Acción sobre comunidades humanas	Resultados	Población de interés	Datos relacionados con densidad de población	Cita/Fuente
55	Costa Rica	2019	Realización de patrullajes diurnos y nocturnos, relocalización de nidadas, monitoreos de viveros y entrenamientos y capacitaciones	Informe final de la anidación de tortugas marinas: Barra Norte de Pacuare, Costa Rica (Temporada 2019)			X	X	El porcentaje de emergencia general para las nidadas exhumadas de tortuga carey fue de 83,99 % (SD = 10,89, n = 10), liberando aproximadamente 1186 neonatos. Este porcentaje es muy similar a lo registrado en temporadas anteriores.	Nidos y neonatos	31 eventos de anidación de tortuga carey de los cuales 11 fueron exitosos	Chacón-Chaverri, D. (2019). Informe final de la anidación de tortugas marinas: Barra Norte de Pacuare, Costa Rica (Temporada 2019). Asociación Latin American Sea Turtles (LAST), Wider Caribbean Sea Turtle Conservation Network, del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF). Costa Rica.
56	México	2019	Este estudio examina la composición, la estructura de la población y las áreas de alimentación de la tortuga carey en la península de Yucatán	Genetic structure, origin, and connectivity between nesting and foraging areas of hawksbill turtles of the Yucatan Peninsula: A study for conservation and management	X		X		Destacaron la importancia de identificar unidades de manejo en áreas de anidación y alimentación para desarrollar programas de monitoreo y manejo a escalas geográficas apropiadas.	Colonias de nidos	N/A	Labastida-Estrada, E., Machkour-M'Rabet, S., Díaz-Jaimes, P., Cedeño-Vázquez, J. & Hénaut, Y. (2019). Genetic structure, origin, and connectivity between nesting and foraging areas of hawksbill turtles of the Yucatan Peninsula: A study for conservation and management. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 29(2), 211-222.
57	Región del caribe	2019	Monitoreo satelital	Satellite tracking of hawksbill turtles nesting at Buck Island Reef National Monument, US Virgin Islands: Inter-nesting and foraging period movements and migrations		X	X		Nuestros resultados muestran patrones de uso del hábitat previamente desconocidos y resaltan áreas concentradas de uso dentro y adyacentes a un área protegida de EE. UU. durante la temporada de reproducción. Además, nuestros resultados demuestran claramente la necesidad de la conservación internacional para proteger a las tortugas carey, ya que las tortugas migratorias cruzaron entre dos y ocho jurisdicciones diferentes.	Juveniles y adultos	31 tortugas	Hart, K., Iverson, A., Benscoter, A., Fujisaki, I., Cherkiss, M., Pollock, C. ... & Hillis-Starr, Z. (2019). Satellite tracking of hawksbill turtles nesting at Buck Island Reef National Monument, US Virgin Islands: Inter-nesting and foraging period movements and migrations. Biological Conservation, 229, 1-13.
58	Costa Rica	2020	Recorridos nocturnos, patrullajes diurnos, identificación de hembras, biometría, nidadas <i>in situ</i> o relocalizadas en playa o en vivero, capacitaciones, entrenamientos y limpieza de playas	Anidación de tortugas marinas Barra Norte de Pacuare, Costa Rica. Informe Final			X	X	Un total de 334 neonatos de tortuga carey fueron liberados en el vivero para este 2020. El promedio de éxito de emergencia fue de 66,73 % (N= 4; SD= 27,21). El promedio de incubación para estos cuatro nidos fue de 68 días.	Nidadas y hembras anidadoras	Protección de cuatro nidos y 334 neonatos de tortuga carey además del marcaje de dos hembras anidadoras	Urbina, E. & Chacón-Chaverri, D. (2020). Anidación de tortugas marinas Barra Norte de Pacuare. Asociación Latin American Sea Turtles (LAST) y Wider Caribbean Sea Turtle Conservation Network, del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF). Costa Rica.
59	Caribe, Pacífico, Atlántico	2020	Revisión bibliográfica de las características de las tortugas carey, alimentación, hábitat, amenazas, etc.	Hawksbill Turtle (<i>Eretmochelys imbricata</i>) 2013-2020	X		X		Conglomerado de estudios de la tortuga carey en el mar Caribe y a nivel mundial.	Ciclos de la tortuga	NA	Rowley, K. (2020). Hawksbill Turtle (<i>Eretmochelys imbricata</i>) 2013-2020.

Continúa...

... viene.

N.º	País	Año	Describir acción resumida	Nombre marco de la estrategia	Conocimiento base	Formulación de acciones	Acción sobre la especie	Acción sobre comunidades humanas	Resultados	Población de interés	Datos relacionados con densidad de población	Cita/Fuente
60	El Caribe	2016	Plan de Acción de Conservación de las Tortugas Marinas a Nivel Latinoamérica	Marine Turtle Action Plan 2015-2020		X	X	X	Para mitigar las amenazas actuales sobre las poblaciones de tortugas marinas. Las intervenciones y las metas anuales del MTAP-LAC están incluidas en un plan de trabajo de tres años que no es parte de este documento.	Tortugas marinas	NA	Amoroch, D., A. Leslie, M. Fish, E. Sanjurjo, S. Amoros, I. C. Ávila, V. Toral, J. L. Gerhartz, K. Bilo, P. Guerrero, L. A. Zapata & K. Douthwaite. (2016). Marine Turtle Action Plan. WWF Latin America and the Caribbean: 2015-2020. Amoroch, D. & C. A. Dereix (Eds.).WWF-Colombia. Cali, Colombia. 122 pp.

Anexo 2. Estrategias de conservación aplicadas a la tortuga carey en los países del Gran Caribe

Conocimiento base	Antigua y Barbuda	Las Bahamas	Barbados	Belice	Colombia	Costa Rica	Cuba	Dominica	República Dominicana	El Salvador	Granada
Conocimiento base	0	0	0	7	5	3	1	0	3	1	0
Formulación acciones	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0
Acción sobre la especie	0	0	1	7	4	7	3	0	6	0	0
Acción sobre comunidades humanas	0	0	0	2	1	5	0	0	0	1	0
Total	0	0	2	17	10	16	4	0	10	2	0

Conocimiento base	Guatemala	Guyana	Haití	Honduras	México	Jamaica	Nicaragua	Panamá	Caribe	Antillas	Total
Conocimiento base	0	0	0	4	6	0	0	1	7	1	39
Formulación acciones	1	0	0	3	4	0	0	1	3	1	17
Acción sobre la especie	1	0	0	5	7	0	1	2	8	3	55
Acción sobre comunidades humanas	1	0	0	3	1	0	1	0	3	0	18
Total	3	0	0	15	18	0	2	4	21	5	129

Anexo 3. Síntesis de las metodologías empleadas en las estrategias de conservación

Países	Metodologías implementadas en las estrategias								
	Captura y marcaje	Reubicación de nidos	Monitoreo de playas	Telemetría	Identificación de individuos	Delimitación de áreas protegidas	Observación/ conteo	Liberación de neonatos	Capacitaciones/ talleres
Barbados	2261 hembras marcadas en un periodo de 7 años (Horrocks <i>et al.</i> , 2011).								
Belice	26 capturas y 19 tortugas equipadas con transmisores (Scales <i>et al.</i> , 2011).	Reubicación de 82 nidos (Figueroa, 2015).	Mayor abundancia de tortugas carey en las playas de estudio (Scales <i>et al.</i> , 2011) observación de 88 nidos (Figueroa & Forman, 2017). Estudios de marcaje y monitoreo de hábitats con reporte de 60 nidos en áreas protegidas (Figueroa, 2016).	Abundancia, comportamiento e importancia de la zona para la alimentación y forrajeo de juveniles (Jackson <i>et al.</i> , 2010).		Áreas restringidas de pesca y revisión de botes para evitar el contrabando de productos de carey (Majil, 2014).			
Colombia				Los juveniles pueden realizar recorridos de 1463,66 km desde Colombia hasta Panamá. (Pabón, 2010). Durante 6 meses, un juvenil viajó por corrientes superficiales para llegar a áreas conocidas de anidación y alimentación. (Pabón <i>et al.</i> , 2012). Las coordenadas georeferenciadas permitieron delimitar tramos de rutas residenciales y migratorias demarcadas por dos juveniles (Bernal, 2012).	Las poblaciones con mayor variación genética y las que contienen variantes genéticas únicas ayudan a determinar áreas prioritarias para la conservación de comunidades de la especie (Fernández <i>et al.</i> , 2013).		Reporte de un porcentaje de eclosión del 58,16 % en playas de Isla Fuerte (Laguna, 2012).		
Costa Rica	Se encontraron en 23 ocasiones tortugas carey durante el estudio, donde 12 registros de tortugas marcadas por primera vez y 9 previamente marcadas (Conservancy & Harrison, 2017).		Las playas de arriba se caracterizan por tener éxito de eclosión muy baja, normalmente menor al 10 % del total de nidos depositados (Asch, 2014). Registro de 26 sitios de anidación en las áreas de estudio (Solano, 2015).			Delimitación de 7 áreas para conservación en las playas del país (Solano, 2016).	Observación de 81 nidadas en la playa Cahuita (Solano, 2015).	De los 6 nidos de tortuga carey, el porcentaje de emergencia fue del 87,57 %, de los cuales se liberaron 810 neonatos (número que ha ido aumentando cada año) (Carrasco <i>et al.</i> , 2018). De 31 eventos de anidación 11 fueron exitosos, donde el porcentaje de emergencia para las nidadas exhumadas fue de 83,99 %, liberando aproximadamente 1186 neonatos (Chacón-Chaverri, 2019). Un total de 334 neonatos de tortuga carey fueron liberados y el promedio de éxito de emergencia fue de 66,73 % (Urbina & Chacón-Chaverri, 2020).	Existen charlas, folletos, museos, asociaciones de guías y su respectiva capacitación para que las comunidades humanas puedan involucrarse en los programas de monitoreo e investigación (Solano, 2015). Diagnóstico, a través de talleres con la finalidad de conformar un foro permanente de discusión, análisis y emisión de recomendaciones con el fin de fomentar la educación ambiental (Solano, 2016).

Continúa...

... viene.

Países	Captura y marcaje	Reubicación de nidos	Metodologías implementadas en las estrategias					
			Monitoreo de playas	Telemetría	Identificación de individuos	Delimitación de áreas protegidas	Observación/ conteo	Liberación de neonatos
Cuba			El monitoreo de la captura comercial permitió observar que la talla media se mantuvo estable y la proporción sexual (favorable a las hembras) mostró un incremento sostenido (Moncada <i>et al.</i> , 2011). Por medio de la realización de monitoreos esporádicos y sistemáticos, se vio que la tortuga carey es la especie que se encuentra en estado más crítico y fue la especie con la que se cubrió menor área de estudio (<30 %) de la temporada (Azanza <i>et al.</i> , 2015).			El número total de careyes capturadas anualmente estuvo por debajo de la cuota establecida gracias a los esfuerzos de delimitación de áreas protegidas restringiendo el paso de barcos pesqueros (Moncada <i>et al.</i> , 2011).		Información útil para evidenciar las investigaciones y estudios que se han venido realizando en los últimos años con respecto a las tortugas marinas en Cuba (Azanza, 2014).
República Dominicana	La cantidad de tortugas capturadas y vistas en una hora de censo ha aumentado ligeramente o permanecido estable para la mayoría de los sitios con un total de 214 tortugas capturadas y 19 nidos registrados (León <i>et al.</i> , 2010).	El 40,7 % fueron incubadas artificialmente y el 21 % fueron incubadas <i>in situ</i> (Revuelta <i>et al.</i> , 2013).	Se registraron 400 nidadas, de las cuales el 38,2 % fueron depredadas por humanos (Revuelta <i>et al.</i> , 2013). Monitoreo de 1132 nidos y 48 hembras anidadoras (Garabitos, 2018).	Se adjuntaron transmisores satelitales a un total de 9 tortugas carey anidando en las playas del país mostrando la importancia de estas zonas para la anidación y alimentación de esta especie (Revuelta <i>et al.</i> , 2015).	Las escamas timpánicas se consideraron la característica facial más útil para el reconocimiento individual de la tortuga carey (Félix <i>et al.</i> , 2010).		El programa de incubación artificial permitió la liberación de 12 340 crías (Revuelta <i>et al.</i> , 2013). El programa de incubación artificial realizado permitió la liberación de más de 12 000 crías de carey (Revuelta, 2014). Liberación de 12 individuos (8 adultos y 4 juveniles) del programa de rescate y rehabilitación de tortugas marinas (Garabitos, 2018).	
Salvador							Plantea la compra de huevos de tortuga carey en mercados locales como estrategia de conservación para las tortugas y para bienestar de las comunidades (Liles <i>et al.</i> , 2015).	Promueve oportunidades para que los residentes locales participen en la toma de decisiones con respecto a la conservación de las tortugas marinas más allá de aspectos económicos (Liles <i>et al.</i> , 2015).
Guatemala								Se sugiere la implementación del “Festival de la Tortuga”, el cual provee diferentes talleres y capacitaciones a autoridades ambientales y para el resto de la comunidad humana (López, 2015).

Continúa...

... viene.

Países	Metodologías implementadas en las estrategias								
	Captura y marcaje	Reubicación de nidos	Monitoreo de playas	Telemetría	Identificación de individuos	Delimitación de áreas protegidas	Observación/ conteo	Liberación de neonatos	Capacitaciones/ talleres
Honduras			Se realizó el monitoreo de 31 hembras y 14 nidos en playas de Honduras por un periodo de entre 3 y 5 meses (Amaro, 2013). 20 hembras y 38 nidos (Amaro, 2014). 25 nidos (Amaro, 2015).		Rescate de ejemplares capturados por cazadores, creando una identificación visual de las tortugas para realizar una base de datos óptima para futuros estudios (Dunbar, 2014).		Análisis del impacto del buceo recreacional en la población de tortugas Carey para futuros trabajos de conservación (Hayes, 2015).	Con respecto a la eclosión y liberación de 48 crías, se determinó que el plástico es un factor de riesgo para los recorridos de los neonatos hacia el mar (Sung, 2014).	Implementación de actividades de concientización a turistas sobre el monitoreo de hábitat en sitios con altos índices de anidación (Amaro, 2014). Campañas publicitarias de no consumo de sus subproductos, así como capacitaciones en escuelas del no uso y conservación de los hábitats de la tortuga Carey (Amaro, 2015).
México	Se han desarrollado programas de marcaje (Luna, 2017).	Se ubican 459 nidadas en en playas del Caribe, específicamente, 342 en la Isla y 586 en el Santuario playa, los cuales son sitios tentativos para delimitar áreas de conservación (Luna, 2015). Se han ubicado 1097 nidadas y observado 208 hembras (Luna, 2017).	Se evidencia que las Carey prefieren zonas de forrajeo con mejores condiciones de sustrato y presas reflejando una abundancia mayor de tortugas en lugares con estas características (Juárez, 2012). Reporte de 801 nidos (Luna, 2014).		Resalta la importancia de evaluar rasgos de la historia de vida de las tortugas marinas, como la probabilidad de reproducción, el tamaño y la edad de madurez, esto debido a la importancia para las evaluaciones de la población y para detectar con precisión los cambios en la abundancia de la población (Piacenza, 2016).	A través de directrices planteadas por entidades ambientales, se delimitan áreas libres de operaciones de pesca para reducir la mortalidad de las tortugas marinas (Luna, 2014). Se destaca la importancia de identificar unidades de manejo en áreas de anidación y alimentación para desarrollar programas de monitoreo y manejo a escalas geográficas apropiadas (Labastida <i>et al.</i> , 2019).	Ejecución del protocolo estandarizado para el conteo de tortugas marinas desde buques para ampliar el conocimiento de la ecología poblacional, distribución espacial y temporal, y la estimación de abundancia y densidad de estas especies (Palatfox <i>et al.</i> , 2015).		
Nicaragua							Se observaron 475 puestas, mostrando un aumento del 41,4 % desde 2013 y un aumento del 208,4 % desde 2000 (Irvine <i>et al.</i> , 2015).		

Continúa...

... viene.

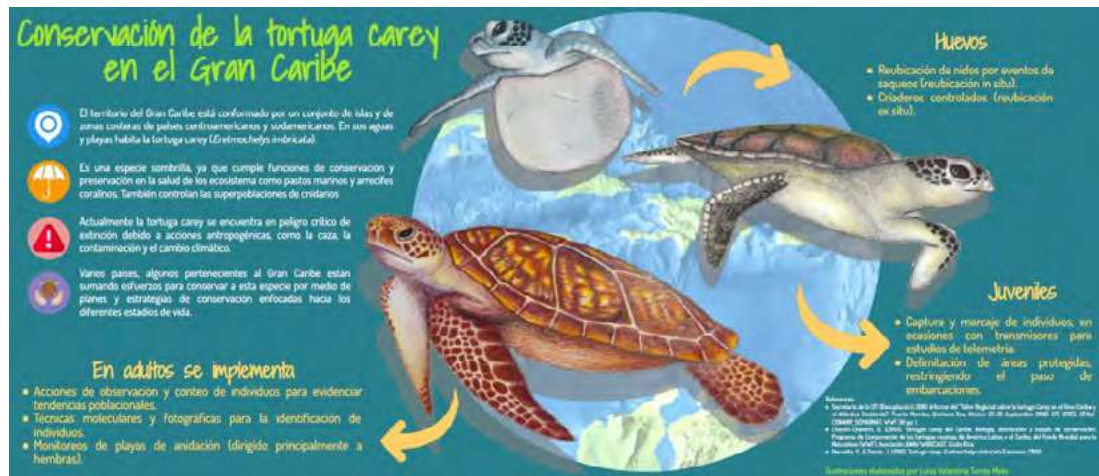
Países	Metodologías implementadas en las estrategias								
	Captura y marcaje	Reubicación de nidos	Monitoreo de playas	Telemetría	Identificación de individuos	Delimitación de áreas protegidas	Observación/ conteo	Liberación de neonatos	Capacitaciones/ talleres
Panamá							Se observa una recuperación paulatina de las poblaciones anidadoras de tortugas carey en la zona, registrándose un total de 1987 nidos (Guardia, 2013).	Algunas organizaciones se han organizado para proteger la tortuga carey en la Isla Masargandub, para el 2013 se contabilizaron 5386 huevos puestos y 5145 neonatos liberados (Brea 2014).	
Caribe	Demuestran claramente la necesidad de la marcaje y seguimiento como solución ante la conservación internacional para proteger a las tortugas carey, ya que al ser migratorias cruzan entre dos y ocho jurisdicciones diferentes. (Hart <i>et al.</i> 2019).	Se observaron 1311 tortugas marinas en sitios de anidación en 43 países y territorios que se extienden desde las Bermudas, un territorio británico de ultramar en el Atlántico Norte, al sur de Brasil, de 2535 sitios de anidación específicos de especies, donde la tortuga carey estaba presente en dos tercios de los sitios de anidación identificados (Piniak & Eckert, 2011).		El marcado de aletas y el rastreo satelital demuestran que la mayoría de las tortugas de estudio permanecieron en aguas del caribe: de 1170 tortugas carey marcadas (525 adultas y 606 juveniles), el 12 % (n = 143) fueron recapturadas (Moncada <i>et al.</i> , 2012). La telemetría satelital permite rastrear tortugas durante varios años y durante múltiples ciclos de alimentación e interanidación, proporcionando así un complemento para documentar los retornos en la playa de anidación (Iverson <i>et al.</i> , 2016). El ADN de 91 individuos juveniles permitió la cuantificación de la conectividad de la población entre áreas específicas de alimentación y poblaciones regionales de anidación, necesaria para la evaluación de amenazas y el desarrollo de acciones de mitigación (Rowley, 2020).	Se reconstruyeron los genotipos paternos de 23 hembras y sus crías que proveen un hallazgo con estudios de paternidad de tortuga carey de otras regiones (Levasseur, 2019). Se quiere delimitar áreas protegidas contra los múltiples riesgos que enfrentan las tortugas como la captura incidental, la sobreexplotación en áreas de anidación y alimentación, la destrucción / modificación del hábitat, e impactos del cambio climático (Amoroch <i>et al.</i> , 2016).	Debido a que la tortuga carey es una de las especies que mayores índices de pesca presenta, 47,5 % aproximadamente, se plantean zonas de alimentación y forrajeo seguras para esta especie (Hailey <i>et al.</i> , 2011).			Plantea entender las contradicciones en la conservación para no caer en ilusiones románticas sobre las grandes organizaciones. Es decir, que lo ideal sería estar mejor informado para ser más eficiente y más efectivo como conservacionista (Domingo <i>et al.</i> , 2016). Plantea la iniciativa de Adaptación al Cambio Climático para las Tortugas Marinas que está desarrollando la capacidad regional para abordar los desafíos del cambio climático (Fish, 2012).

Continúa...

... viene.

Países	Metodologías implementadas en las estrategias								
	Captura y marcaje	Reubicación de nidos	Monitoreo de playas	Telemetría	Identificación de individuos	Delimitación de áreas protegidas	Observación/ conteo	Liberación de neonatos	Capacitaciones/ talleres
Antillas	Los informes de los censos registran el número de nidos (probables y confirmados) de 104 (carey) de un total de 152 actividades de anidación (Esteban, 2015).		Las tortugas marinas son constante y fuertemente explotadas en el noreste de Tobago a pesar de la protección total exigida por la legislación nacional. Una reducción dramática en los eventos de caza furtiva registrados en las playas de 2011 a 2012 puede deberse a patrullajes intensivos en 2012 (Walker & Gibson, 2015).		Descripción de movimientos horizontales y verticales de las tortugas a lo largo de la isla de 3 juveniles, 11 hembras adultas y 2 machos adultos (Nivière <i>et al.</i> , 2018).				

Anexo 4. Infografía divulgada en redes sociales



Fuente: <https://www.facebook.com/photo/?fbid=136766985847193&set=pob.100085416775284>

Análisis del crecimiento y producción de orellana *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) P. Kumm. 1871, en tres sustratos diferentes

Analysis of growth and production of orellana *Pleurotus ostreatus*; (Jacq. ex Fr.) P. Kumm. 1871, in three different substrates

Catalina Rodríguez Borray,¹ Miguel Sepúlveda Ortiz² y Mary Lee Berdugo-Lattke³

Resumen

Se analizó el crecimiento y producción de *Pleurotus ostreatus* en cáscara de banano, fibra de coco, cascarilla de arroz y una mezcla. El micelio (semilla de trigo) se inoculó en sustratos esterilizados, en cinco réplicas por tratamiento (relación 16 gr/400 gr). Durante cinco semanas se monitoreó la humedad, temperatura y características cualitativas; al concluir el tiempo se cosecharon las setas para determinar su biomasa, diámetro del píleo, altura total y altura del pie. Se registraron temperaturas entre 19 °C a 36 °C y niveles de humedad entre 25 % y 92 %; en estas condiciones el micelio fructificó con la fibra de coco y la cáscara de banano (*Musa × paradisiaca*); mientras que en el control, la cascarilla de arroz y la mezcla, no se observaron setas y se propagó *Trichoderma* cf. *harzianum*. En conclusión, la producción de *P. ostreatus* en términos de biomasa seca fue mayor para la fibra de coco y en contenido de agua para la cáscara de banano (sin diferencias significativas), estos sustratos pueden ser ideales para mejorar las características de producción de este hongo y una forma de aprovechar los residuos de la cáscara de banano para la producción de orellanas.

Palabras clave: *Pleurotus ostreatus*, orellanas, crecimiento.

Créditos

Autores

- ¹ Estudiante del programa de Biología, quinto semestre, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Universidad Central, Semillero Tygua.
crodriguez14@ucentral.edu.co
- ² Estudiante del programa de Biología, quinto semestre, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Universidad Central, Semillero Tygua.
msepulvedao@ucentral.edu.co
- ³ Ph. D. en Ciencias – Biología (UNAL). Profesora de tiempo completo del programa de Biología, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Universidad Central, Semillero Tygua.
mberdugol@ucentral.edu.co

Abstract

The growth and production of *Pleurotus ostreatus* on banana peel, coconut fiber, rice husk and a mixture were analyzed. The mycelium (wheat seed) was inoculated on sterilized substrates, five replicates per treatment (ratio 16 gr/400 gr). Humidity, temperature and qualitative characteristics were monitored for five weeks. At the end of this period, the mushrooms were harvested to determine their biomass, diameter of the stalk, total height and stipe height. Temperatures between 19 °C and 36 °C, and humidity levels between 25 % and 92 % were recorded. Under these conditions the mycelium fructified with coconut fiber and banana peels (*Musa × paradisiaca*); while in the control, rice husk and mixture, no mushrooms were observed and *Trichoderma cf. harzianum* was propagated. In conclusion, the production of *P. ostreatus* in terms of dry biomass was higher for coconut fiber and in water content in banana peel (without significant differences). These substrates can be ideal for improving the production characteristics of this fungus and a way to use banana peel waste for oyster mushroom production.

Keywords: *Pleurotus ostreatus*, oyster fungus, growth.

Cómo citar:

Rodríguez, C., Sepúlveda, M. & Berdugo-Lattke, M. (2023). Análisis del crecimiento y producción de orellana *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) P. Kumm. 1871, en tres sustratos diferentes. *Ingeciencia*, 8, 63-76.

1. Introducción

El cultivo formal de *Pleurotus ostreatus* tuvo su origen en Europa en la década de 1960, aunque, previamente, estas setas solían recolectarse de troncos de árboles en descomposición, sitios ideales para la recolección de los carpóforos. Con el tiempo se desarrollaron técnicas de cultivo más sofisticadas en diversos países europeos, como Francia, Hungría, Italia y Checoslovaquia. En estas regiones se incubaban los hongos en zanjas rellenas de troncos en descomposición y se sometían a riego constante para estimular el proceso de fructificación (López *et al.*, 2008). A partir de la década de 1990, *P. ostreatus* se convirtió en uno de los hongos más cultivados en todo el mundo, con una producción promedio de 25 000 toneladas aproximadamente. En Colombia, los primeros intentos de cultivo de este hongo se llevaron a cabo en el Laboratorio de Microbiología de la Universidad de Antioquia y, posteriormente, se desarrollaron métodos de cultivo más rústicos en los departamentos de Caldas y Cundinamarca (López *et al.*, 2008). Este avance en el cultivo de *P. ostreatus* no solo ha tenido un impacto significativo en la producción de alimentos, sino que también ha brindado oportunidades importantes para la investigación y el desarrollo de prácticas sostenibles en la producción de hongos comestibles.

Por otro lado, es importante destacar que los sustratos basados en fibras vegetales han demostrado tener un impacto positivo en el cultivo de *P. ostreatus*. En el estudio de Pardo-Giménez *et al.* (2012), el uso de fibra de coco y corteza de pino se asoció con el aumento significativo en el número de setas producidas, así como en las características de color relacionadas con sus propiedades nutricionales. Sin embargo, el tamaño de las setas fue ligeramente menor en comparación con el promedio.

Otro sustrato es la cáscara de banano (*Musa x paradisiaca*), reconocida por su contenido de lípidos, fibra, carbohidratos, fósforo, potasio, proteínas y compuestos fenólicos (Zaini *et al.*, 2022), además exhibe una marcada actividad antioxidante, antibacteriana y antibiótica; estas características favorecen el cultivo de hongos, su uso podría duplicar la producción en comparación con otros sustratos.

Por otra parte, la cascarilla de arroz es reconocida por su aporte nutricional en términos de nitrógeno, fósforo, potasio y materia orgánica, con una notable capacidad de drenaje, lo que reduce la retención de humedad y previene la compactación del sustrato (Molina, 2010). A pesar de su ligereza, esta cascarilla favorece la aireación y es resistente al fuego.

Finalmente, la fibra de coco es un sustrato renovable y fácilmente disponible en el mercado; contiene pectina y lignina, lo que le confiere resistencia a la tracción, elasticidad y ligereza (Cruz-Crespo *et al.*, 2013); adicionalmente, su alta porosidad y capacidad de drenaje garantizan una excelente retención de humedad, mientras que su pH ácido, que oscila entre 5 y 6, y su inercia térmica le permiten ceder o absorber calor de manera eficiente (Jerez, 2007). La granulometría de la fibra de coco puede variar, desde fina (similar a la tierra) hasta gruesa (con pedazos más grandes); este tamaño influye directamente en la disponibilidad de agua para el hongo y favorece su producción en sustratos de granulometría gruesa (Larrazabal, 2019, como aparece en Fonseca, H., 2022).

En esta investigación se analizó el crecimiento y producción de *P. ostreatus* en tres sustratos, cascarilla de arroz, fibra de coco y cáscara de plátano, y una mezcla de estos, bajo condiciones ambientales variables durante cinco semanas de observación, con el fin de establecer diferencias en la producción de biomasa de las setas, el diámetro del píleo y la altura del pie. Se espera incentivar el cultivo de orellana blanca desde el hogar o en el auge de pequeños negocios, con el sustrato que facilite una mayor producción de setas. Además, estos cultivos se relacionan con acciones de sostenibilidad de pequeños sistemas agrícolas por medio del reciclaje de materia orgánica (compost), esto podría promover su consumo masivo y su inclusión en programas de seguridad alimentaria y dietas nutritivas para la sociedad (Sahagún, 2021).

2. Cuerpo del trabajo

2.1 Materiales y métodos

El cultivo se ubicó en el invernadero de la Universidad Central. En este lugar se instaló un espacio de dos metros de ancho, un metro de largo y un metro de alto, para este se usaron tubos de PVC de dos centímetros de diámetro unidos por codos, luego fue cubierto por cartón y bolsas de plástico negras para dar la condición de oscuridad. En la entrada se dispuso una polisombra ajustada a las medidas (2 m * 1 m) para mantener el 80 % de sombra y garantizar la aireación.

En la fase de laboratorio se procedió con la preparación y esterilización de los siguientes sustratos: fibra de coco, cascarilla de arroz y cáscara de banano. En todos los casos, se usó 8 kg de tierra comercial (grandes superficies) de la marca Anasac Jardín, para completar las bolsas de crecimiento, aunque este hongo es lignocelulósico (Sánchez, 2010), la tierra humificada favorece el desarrollo del micelio, mientras que las fuentes de lignina favorecen el desarrollo de los basidiocarpos (Ríos-Ruiz y Ladislao, 1993).

La esterilización se realizó con el uso de autoclave, según Yang *et al.* (2013), durante 120 minutos con una temperatura de 121 °C, en la autoclave, alternando su uso, se dispusieron los sustratos de la siguiente manera: 15 bandejas de aluminio con 500 g de tierra, con la cascarilla de arroz y fibra de coco en vasos de precipitado de 500 ml, todos los recipientes y bandejas fueron forradas con papel Kraft. Para la cáscara de banano se siguieron indicaciones de Manjarrés *et al.* (2010), donde se modificaron los cortes en cuadritos de 1x1 cm hasta obtener un peso de 1,05 kg y se depositaron en una bandeja con 450 ml de hipoclorito de sodio 1 % y 60 ml de agua destilada durante 20 minutos; después de este tiempo se les retiró el líquido y se guardaron en bolsas transparentes de polipropileno y luego se dejaron en la cámara de flujo laminar con luz UV durante 15 minutos para esterilizarlas (Yang *et al.*, 2013).

2.2 Siembra de micelio y diseño experimental

Se implementó lo recomendado por Yang *et al.* (2013); se sembraron 380 g de semillas de micelio comercial de *P. ostreatus*, adquiridas en Ticsa Takal S. A. S., inoculada en trigo para cada muestra (bolsa) y mantenida en oscuridad de acuerdo con la fuente comercial. El diseño experimental consistió en cinco tratamientos, incluyendo el control, cada uno con cinco réplicas, la unidad experimental fue cada una de las bolsas, para un total de 25 (tabla 1). Al finalizar la siembra, las bolsas fueron trasladadas al sitio de crecimiento siguiendo recomendaciones de (Salamea-Tigsi, 2019), se realizó un suministro de agua dos veces a la semana por aspersión con un atomizador y agua destilada. Adicionalmente, se registró la temperatura y la humedad dos veces por semana, con el uso de dos termohigrómetros con sonda, durante cinco semanas. Según Sánchez (2010),

después de inocular el sustrato, en aproximadamente 6 semanas se obtiene la primera producción, en este caso el tiempo fue menor por el acceso al invernadero; sin embargo, se observó la formación de cuerpos fructíferos desde la tercera semana.

Tabla 1. Proporciones de peso por tratamiento y la cantidad de micelio aplicada en bolsas de polipropileno.

Tratamiento	Proporciones
Control (C)	200 g de tierra + 16 g de micelio + 200 g de tierra
Fibra de coco (FC)	200 g de tierra y fibra de coco + 16 g de micelio + 200 g de tierra y fibra de coco
Cascarilla de arroz (CA)	100 g de tierra + 50 g cascarilla de arroz + 12 g de micelio + 100 g de tierra + 50 g cascarilla de arroz
Cáscara de banano (CB)	200 g de tierra y cáscara de banano + 16 g de micelio + 200 g de tierra y cáscara de banano
Mix	105 g de tierra + 40 g de fibra de coco + 40 g de cascarilla de arroz + 0,5 g de cáscara de banano + 16 g de micelio + 105 g de tierra + 40 g de fibra de coco + 40 g de cascarilla de arroz + 0,5 g de cáscara de banano

Fuente: elaboración propia.

2.3 Recolección y análisis de los datos

El monitoreo se realizó durante cinco semanas consecutivas, se registraron características cualitativas sobre cada bolsa. En la cosecha se cortaron las setas con una altura mayor a un centímetro y se registró el diámetro del píleo, la altura total, la altura del pie con un calibrador y se estimó la biomasa de las setas según cada sustrato; para esto se registró el peso fresco y el peso seco de las setas. Todos los datos fueron tabulados en una hoja de datos, seguidamente con el uso del *software* PAST (Hammer *et al.*, 2001); se realizaron análisis descriptivos e inferenciales, según lo descrito en Guisande *et al.* (2014), para establecer si los datos eran normales (Shapiro-Wilk y Anderson Darling) y homocedásticos (Levene), también para determinar medidas de tendencia central como el promedio y el coeficiente de variación. En este caso, los datos no cumplieron con los supuestos de normalidad y homocedasticidad, por esta razón se realizaron las pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis y la suma de rangos de Wilcoxon (Mann-Whitney) para establecer diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los datos de las variables registradas para los tratamientos. Por otro lado, se realizaron gráficas de *boxplot* para observar la variación de temperatura, humedad y las biológicas para fijar tendencias (Guisande *et al.*, 2014). Finalmente, se realizó una revisión de información con el uso de palabras clave y operadores booleanos para la discusión de los resultados.

3. Resultados y discusión

3.1 Caracterización de la temperatura y humedad relativa durante el crecimiento de *P. ostreatus*

Los valores promedio se presentaron entre 21 °C y 22,5° C para todos los tratamientos. En la figura 1 (I) se observa en términos generales una variación de temperatura

entre 18 °C y 28 °C; sin embargo, se evidencia una mayor variación con la cascarilla de arroz con un coeficiente de variación (CV) de 8,8 °C, seguido por la cáscara de banana (T CB) con un CV de 8,5 °C. En contraste, el control (T C) y la fibra de coco (T FC) presentaron la menor variación con CV de 4,6 °C y 5,2 °C, respectivamente. En el caso de la fibra de coco, se presentó un rango ideal (18-23 °C) para la colonización del micelio, según Flores y Contreras (2012), relacionado con la amortiguación térmica frente a la variación ambiental de la temperatura; en consecuencia, mejora la retención de humedad (Basurto y Vera, 2022).

En la figura 1(II), la humedad presentó variación entre el 20 % y 100 %, se observa el mayor coeficiente de variación (CV) con el 42,2 % en el tratamiento con cáscara de banana (25 %-92 %). Mientras que con la fibra de coco se obtuvo el menor CV con el 36,9 %; la cascarilla de arroz (T CA) y el Mix (T Mix) presentaron menor humedad con valores promedio de 39,5 % y 36,8 %, respectivamente. Según Basurto y Vera (2022), este resultado puede relacionarse con la alta porosidad que ocasiona baja retención de humedad en los sustratos con menor humedad. Además, Mas-Diego *et al.* (2015) plantea que, por efecto del aire, el agua suele condensarse rápidamente, lo que disminuye los porcentajes de humedad de forma rápida, sumado a la continua exposición al ambiente. En promedio, para todos los tratamientos se presentó una humedad entre 36 % y 49 %.

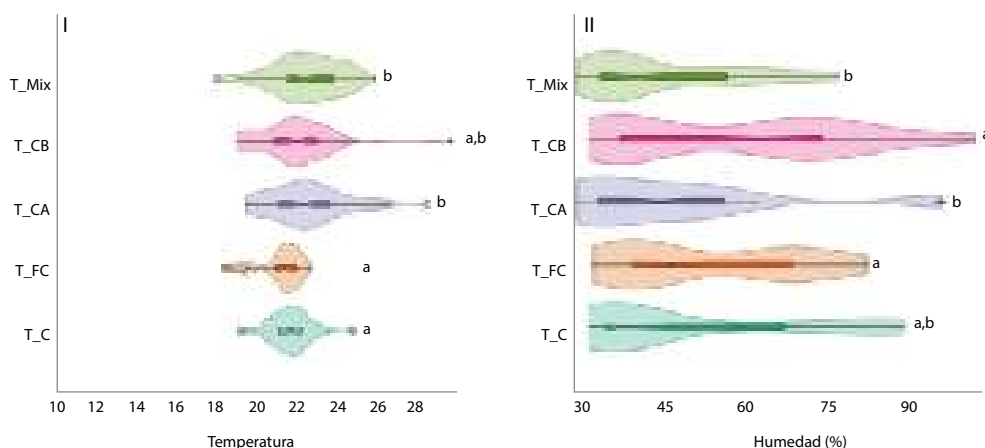


Figura 1. Gráficas de *boxplot* para la temperatura en °C (I - izquierda) y humedad relativa (II - derecha)

Nota. Para ambas variables se registran datos de cinco semanas para el tratamiento control (T C), cascarilla de arroz (T CA), cáscara de banana (T CB) y mixto (T Mix). Las letras indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Fuente: elaboración propia.

3.2 Caracterización crecimiento y fructificación de *P. ostreatus*

Se observó una rápida colonización del micelio durante la primera semana, especialmente en el sustrato de fibra de coco, cáscara de banana y control (figura 2 [A y B]). En contraste, la cascarilla de arroz y la mezcla no presentaron la misma expansión del micelio y en la tercera semana se observó la contaminación de los sustratos con otro hongo de color verde (Figura 2 [C y D]). Según la revisión bibliográfica, los hongos que contaminan con más frecuencia el cultivo de orellana es *Trichoderma* cf. *harzianum* (Tapias y Rodríguez, 2019); los autores indican que presenta la misma coloración y es el principal competidor de *P. ostreatus*, este inhibe el crecimiento micelial y le impide el consumo del sustrato.

Por otro lado, Gaitán *et al.* (2006) indica que la contaminación suele ocurrir en la fase de inoculación; además la propagación de *T. cf. harzianum* es favorecida por la alta humedad en el ambiente, altas temperaturas, luz directa y sustrato mal esterilizado (figura 2 [C y D]). En este caso, su presencia en estos sustratos se relaciona con la cascarilla de arroz, posiblemente se requiera otro método de esterilización o la preferencia del hongo competidor por este tipo de sustrato; por lo tanto, no se recomienda para el cultivo de *P. ostreatus*.



Figura 2. Fotografías del proceso de colonización del micelio durante las primeras semanas

Nota. En las imágenes A y B se observa la colonización del micelio en la primera semana para los sustratos de fibra de coco, banana y control, en contraste las imágenes C y D muestran la contaminación causada por *T. cf. Harzianum*.

Fuente: elaboración propia.

3.3 Comparación entre sustratos

El proceso de fructificación comenzó desde la tercera semana en el sustrato de fibra de coco (25 setas) y en la cáscara de banano (28 setas), donde las setas más prominentes se presentaron en cuatro de las cinco bolsas para la fibra de coco y en todas las bolsas para la cáscara de banano; mientras que en el control, en la cascarilla de arroz y en el mix no se presentaron setas. Por lo tanto, se discuten los resultados obtenidos para dos tratamientos.

En cuanto al diámetro del píleo (figura 3 [a]), no se observaron diferencias significativas entre la cáscara de banano y la fibra de coco; sin embargo, se registró un promedio de 1,53 cm (desviación estándar [DE] de 1,66) en la cáscara de banano con respecto a la fibra de coco, con un promedio de 1,18 cm (DE 0,77). De acuerdo con estos resultados, es posible que la cáscara de banano sea un mejor sustrato para el desarrollo de píleos más grandes, esto se corrobora con el estudio de Rivera *et al.* (2013), quienes obtuvieron un promedio de 3,1 cm en el diámetro del píleo de *P. ostreatus* en tratamientos con cáscara de banano. Por otro lado, Álvarez y Bautista (2021) obtuvieron valores entre 3,3-0,7 cm para *P. sajor caju* con el mismo sustrato, relacionaron esta respuesta con la retención de humedad y las propiedades físicas del sustrato. Por último, Ma *et al.* (2020) obtuvieron valores en el diámetro entre 8-0,9 cm, resultados que pueden ser semejantes a la tendencia señalada, aunque el tiempo de crecimiento no sea el mismo, pues en esta investigación se realizó durante cinco semanas. Con respecto a la fibra de coco, Donado (2014) y Lindao (2016) reportan promedios de 6,08 cm para *P. ostreatus* y afirman que este parámetro se relaciona con el sustrato. Asimismo, en Menon *et al.* (2021) se registró un promedio de 10,26 cm, valor relacionado con la temperatura, humedad y material compacto del sustrato de fibra de coco. Esto sugiere un control en sinergia de las tres variables de nuestro estudio, puesto que favorecen la temprana maduración de los cuerpos fructíferos o una respuesta limitante al volumen del sustrato (bolsas), por lo general se manejan bolsas con capacidades mayores a seis kilogramos (Romero *et al.*, 2010).

En la altura total de las setas (A) (figura 3 [b]) y el pie (figura 3 [c]) no se presentaron diferencias estadísticamente significativas; sin embargo, en las dos variables se observa un mayor promedio en el sustrato con cáscara de banano con 5,1 cm (DE 2,6) y 3,5 cm (DE 1,7), en comparación con la fibra de coco 4,7 cm (DE 2,1) y 3,3 cm (DE 1,4). Esta tendencia observada puede relacionarse con los resultados de Ma *et al.* (2020), donde la altura del pie fue mayor con cáscara de banano (5,3 y 0,5 cm) para *P. ostreatus*. Por otro lado, estudios en *P. sajor caju* de Álvarez y Bautista (2021) registran un rango entre 2,3-1,2 cm con el mismo sustrato, ellos relacionan esta respuesta con el efecto de la luz, donde pies más largos resultan en condiciones con menos luz, mientras que longitudes cortas se relacionan con una mayor cantidad de luz, en nuestro caso es posible que, al aumentar la reducción de luz con la polisombra, sin perder la ventilación, aumente la altura de la seta y del pie. Con respecto a la fibra de coco, según Menon *et al.* (2021), el promedio registrado para el pie de *P. ostreatus* fue

de 9,96 cm e indicó que la preparación de los sustratos y el espacio de colonización influyen en estas variables. Nuevamente consideramos que el volumen de este experimento incide en setas más pequeñas en relación con otros estudios, pero la respuesta de crecimiento fue semejante; esto demuestra las ventajas de usar cáscara de banano con respecto a la fibra de coco o, quizás, una mezcla entre los sustratos.

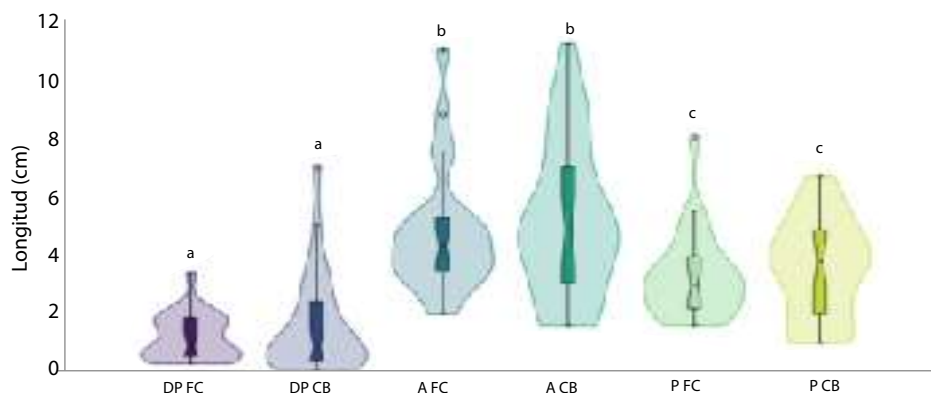


Figura 3. Comparación del diámetro del píleo (DP), altura total (A) y altura del pie (P)

Nota. Para cada sustrato: fibra de coco (FC) y cáscara de banano (CB), todas las medidas se tomaron en centímetros. Las letras para cada una de las variables, en este caso iguales para los tratamientos, indican que no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$).

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, en la tabla 2 se presentan los resultados para la comparación de la biomasa obtenida en los dos sustratos, se aclara que la cantidad promedio de setas por bolsa fue mayor en el tratamiento de fibra de coco (FC) con respecto a la de cáscara de banano (CB). Por otro lado, el promedio del peso seco fue mayor en el tratamiento de fibra de coco (7,11 g), mientras que la cantidad de agua fue mayor con la cáscara de banano (4,19 ml), lo que puede estar relacionado con una mayor retención de humedad con la cascara de banano, esto confirma lo señalado por Álvarez y Bautista (2021) para *P. sajor caju*, aunque ambos sustratos tienen retención. En cuanto al porcentaje de materia seca, se evidencia un mayor promedio (46,2 %) con la fibra de coco, en relación al otro sustrato. Esto evidencia que, según las propiedades que se requieran del cultivo, se podría realizar una mezcla entre estos dos sustratos para mejorar características de contenido hídrico, ya sea para venta de la orellana fresca o, también, para mejorar las propiedades de la orellana para venta en seco.

Tabla 2. Número de setas, valores de biomasa fresca y seca, cantidad de agua y porcentaje de biomasa para las setas según el sustrato de fibra de coco (FC) y cáscara de banano (CB)

Tratamiento	Bolsa	N.º setas	Peso fresco (gr)	Peso seco (gr)	Cantidad de agua (ml)	% biomasa seca
FC	1,1	9	7,90	7,37	0,53	48,3
	1,2	7	7,59	7,04	0,55	48,1
	1,3	5	9,05	7,33	1,72	44,8
	1,4	4	8,60	6,70	1,90	43,8
	% (DE)	6,25 (2,2)	8,28 (0,7)	7,11 (0,3)	1,17 (0,7)	46,2
CB	3,1	5	9,58	7,14	2,44	42,7
	3,2	6	11,54	7,36	4,18	39,0
	3,3	7	16,24	8,30	7,94	33,8
	3,4	6	6,28	5,84	0,44	48,2
	3,5	4	12,66	6,68	5,97	34,6
	% (DE)	5,6 (1,1)	11,25 (3,7)	7,06 (0,9)	4,19 (2,9)	39,6

Nota. Se presentan los promedios (%) y la desviación estándar (DE) en negrilla.

Fuente: elaboración propia.

Algunos estudios sugieren una mayor producción de *P. ostreatus* con fibra de coco, por ejemplo, en Sánchez *et al.* (2007) la producción en peso seco fue de 216 g, comparado con el estudio de Álvarez y Bautista (2021) que reportó en peso seco 75,51 g con cáscara de banano.

No obstante, Lindao (2016) advierte que el efecto de la temperatura es un factor determinante sobre la producción de *P. ostreatus*, donde el rango debe situarse con temperaturas inferiores a 20 °C. Además, realizó una comparación en la biomasa e indicó que bajo estas condiciones la producción podría ser mayor con la cáscara de banano con respecto a la fibra de coco. En nuestro caso (figura 4), las condiciones térmicas de la fibra de coco pueden tener un efecto positivo sobre la fructificación en términos de biomasa. Otra razón subyace con la ecología de *P. ostreatus*, ya que se caracteriza por degradar materia orgánica rica en celulosa y lignina, en este caso, la fibra de coco tiene mayor concentración de estos componentes comparado con la cáscara de banano, lo que da como respuesta una mayor producción de orellana (Lindao, 2016). Sin embargo, la mezcla de estos dos sustratos podría permitir un mayor aprovechamiento de la cáscara de banano, según lo citado en Manjarrés *et al.* (2010), las cáscaras presentan una fuente importante de lignocelulosa con la presencia de celulosa, hemicelulosa (14 %) y lignina (17 %); esto permite evaluar su potencial para producir subproductos enzimáticos de importancia industrial como lacasas, lignina peroxidasas, xilanasas, CMCase y Fpase (Reddy *et al.*, 2003; Ly *et al.*, 2004; Granda *et al.*, 2005; Motato *et al.*, 2006; Osma *et al.*, 2007; Dufor *et al.*, 2007). Consideramos oportuno, para futuras investigaciones, aumentar el tiempo de producción, establecer un control sobre la contaminación del sustrato, la humedad y frecuencia de riego para fortalecer las conclusiones

de esta investigación. Para trabajos futuros se debería incorporar la medición de las enzimas de interés industrial con el potencial de su producción a gran escala.

Setas CB:



Setas FC:



Figura 4. Comparación de las setas producidas en cinco semanas

Nota. En la fila superior se encuentra el sustrato de cáscara de banano (CB) y en la fila inferior, la fibra de coco (FC).

Fuente: elaboración propia.

4. Conclusiones

La cáscara de banano ofrece una mayor variación de temperatura, mientras que la fibra de coco, por su capacidad térmica, reduce la variación, esto genera un rango ideal para el cultivo de *P. ostreatus* principalmente para la colonización del micelio. En cuanto a la humedad, con la cáscara de banano se presentaron mayores valores, condición que se relaciona con una mayor cantidad de agua en las setas, mientras que la fibra de coco presentó menor variación en la humedad.

No se recomienda el uso de la cascarilla de arroz y la mezcla de los tres sustratos debido a que favorece la llegada de otros hongos que compiten con *P. ostreatus*, en este caso se reporta la contaminación por *Trichoderma* cf. *harzianum*, condición relacionada con la porosidad de los sustratos, una variable para incluir en futuros estudios.

No encontramos diferencias significativas entre la fibra de coco y la cáscara de banano, para el diámetro del píleo, altura total y altura del pie. Esto responde a los múltiples factores que inciden en la fructificación como la temperatura, la humedad, la textura del sustrato y la luz. Sin embargo, encontramos una tendencia mayor con la cáscara de banano, posiblemente por los contenidos de polímeros como la celulosa, la lignina y la hemicelulosa, sustratos óptimos para este hongo.

La mayor producción y promedio de peso seco se obtuvo en el tratamiento de fibra de coco debido a su propiedad para reducir la variación térmica, esto favorece una mayor

biomasa seca, mientras que la cáscara de banano favorece una mayor cantidad de agua. Se recomienda realizar nuevos experimentos con la mezcla de estos dos sustratos en condiciones controladas y con volúmenes comparables con los cultivos a gran escala, así como aumentar el tiempo de monitoreo según los estándares del cultivo y hacer seguimiento en la producción de enzimas con uso potencial en la industria.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Central por disponer de las instalaciones, los equipos y parte de los insumos para realizar esta investigación, asimismo agradecemos al programa de Biología por fomentar los espacios académicos para fortalecer nuestro perfil como investigadores. Adicionalmente, agradecemos a la tutora doctora Mary Lee Berdugo-Lattke por su paciencia, apoyo, tiempo, dedicación y empatía para enseñarnos y motivarnos a investigar. A nuestras familias por el incondicional apoyo y por su respaldo de nuestra formación como biólogos. Igualmente, a Diego Orjuela por sus comentarios y recomendaciones para el cultivo de *P. ostreatus*, a Fabián Velásquez por sus recomendaciones y a Juan Felipe Rojas de Ticsa Takal S. A. S. por darnos las observaciones y proveer la semilla del micelio. Finalmente, a la doctora Laura Afanador por la evaluación de este manuscrito, recomendaciones y comentarios que mejoraron el documento final.

Referencias

- Álvarez, L. & Bautista, A. (2021). Growth and yield performance of *Pleurotus* on selected lignocellulosic wastes in the vicinity of PUP main campus, Philippines. *Indian Journal of Science and Technology*, 14(3), 259-269.
- Basurto, C. & Vera, P. (2022). *Evaluación de los residuos agrícolas cascarilla de arroz (Oryza sativa) y fibra de coco (Cocos nucifera) como sustratos para sistemas acuapónicos* [Tesis de pregrado, Calceta: ESPAM MFL].
- Cruz-Crespo E., Can-Chulim, A., Sandoval-Villa, M., Bugarín-Montoya, R., Robles-Bermúdez, A. & Juárez-López, P. (2013). Sustratos en la horticultura. *Revista Biociencias*, 2(2), 17-26.
- Donado, T. (2014). *Evaluación de tres sustratos para la producción de hongo ostra (Pleurotus ostreatus), Moyuta, Jutiapa* [Tesis de pregrado, Universidad Rafael Landívar].
- Dufour, D., Giraldo, A., López, X., Castellanos, F., Sánchez, T., Fernández, A. & Díaz, A. (2007). Diversidad del plátano de cocción consumido en Colombia. *Alimentación Ciencia e Ingeniería*, 16 (1), 168-172.
- Flores, A. & Contreras, M. (2012). *Manual de cultivo de hongo seta (Pleurotus ostreatus) de forma artesanal*. UNAM. <https://bit.ly/3WEmaum>
- Gaitán-Hernández, R., Salmones, D., Pérez-Merlo, R. & Mata, G. (2006). *Manual práctico del cultivo de setas: aislamiento, siembra y producción*. Instituto de Ecología, AC.

- Granda, D., Mejía, A. & Jiménez, G. (2005). Utilización de residuos de plátano para la producción de metabolitos secundarios por fermentación en estado sólido con el hongo *Lentinus crinitus*. *Vitae*, 12(2), 13-20.
- Guisande C., Heine, J., González-Dacosta, J. & García-Roselló, E. (2014). *Rwizard* (versión 4.3) [Software]. StatR Manual. University of Vigo.
- Hammer, Ø., Harper, D. & Ryan, P. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1), p. 9.
- Jerez, Z. (2007). *Comparación del sustrato de fibra de coco con los sustratos de corteza de pino compostada, perlita y vermiculita en la producción de plantas de Eucalyptus globulus (Labill)* [Monografía, Universidad Austral de Chile].
- Larrazabal, M. (2019) Sustrato de fibra de coco. Tipos, formatos, características y propiedades. Como aparece en Fonseca, H. (2022). *Elaboración de un material compuesto por una matriz de resina poliéster y fibra natural de coco para su caracterización mecánica a tensión y flexión* [Tesis de pregrado, Fundación Universidad de América].
- Lindao, J. (2016). *Producción y análisis bromatológico del hongo ostra (Pleurotus ostreatus), cultivado con sustratos de cáscara de cacao, plátano, coco y raquis de palma africana* [Tesis de pregrado, Quevedo: UTEQ].
- López-Rodríguez, C., Hernández-Corredor, R., Suárez-Franco, C. & Borrero, M. (2008). Evaluación del crecimiento y producción de *Pleurotus ostreatus* sobre diferentes residuos agroindustriales del departamento de Cundinamarca. *Universitas Scientiarum*, 13(2), 128-137.
- Ly, J., Postal, G. & Brava, P. (2004). Bananas y plátanos para alimentar cerdos: aspectos de la composición química de las frutas y de su palatabilidad. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*, 11(3).
- Ma, N., Khoo, S., Peng, W., Ng, C., Teh, C., Park, Y. & Lam, S. (2020). Green application and toxic risk of used diaper and food waste as growth substitute for sustainable cultivation of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Journal of cleaner production*, 268, 122-272.
- Manjarrés, K., Castro, A. & Rodríguez, E. (2010). Producción de lacasa utilizando *Pleurotus ostreatus* sobre cáscaras de plátano y bagazo de caña. *Revista Lasallista de investigación*, 7(2), 9-15.
- Mas-Diego, S., Rodríguez-Rico, I., Martínez-Manrique, C. & Michelena-Álvarez, G. (2015). Fermentación en estado sólido de *Trichoderma harzianum* bajo campos magnéticos. *Sobre los derivados de la caña de azúcar*, 49(1), 40-45.
- Menon, S., Ayesha, S. & Pavithra, K. (2021). Growth and nutritional indices of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) on different substrates. *Current Trends in Biotechnology and Pharmacy*, 15(5), 365-372.
- Molina, E. (2010). *Evaluación del uso de la cascarilla de arroz en la fabricación de bloques de concreto* [Tesis de pregrado, Instituto Tecnológico de Costa Rica].

- Motato, K., Mejía, A. & León, A. (2006). Evaluación de los residuos agroindustriales de plátano (*Musa paradisíaca*) y aserrín de abarco (*Cariniana piriformes*) como sustratos para el cultivo del hongo *Pleurotus djamor*. *Vitae*, 13(1), 24-29.
- Osma, J., Herrera, J. & Couto, S. (2007). Banana skin: A novel waste for laccase production by *Trametes pubescens* under solid-state conditions. Application to synthetic dye decolouration. *Dyes and Pigments*, 75(1), 32-37.
- Pardo-Giménez, A., Figueirêdo, V., Zied, D. & Pardo, J. (2012). Sustratos de cobertura y suplementación del compost en cultivo de champiñón. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47, 1125-1132.
- Reddy, G., Babu, P., Komaraiah, P., Roy, K. & Kothari, I. (2003). Utilization of banana waste for the production of lignolytic and cellulolytic enzymes by solid substrate fermentation using two *Pleurotus* species (*P. ostreatus* and *P. sajor-caju*). *Process Biochemistry*, 38(10), 1457-1462.
- Ríos-Ruiz, R. & Ladislao, R. (1993). Aislamiento y cultivo del hongo comestible *Pleurotus afim ostreatus* (Jacq. ex Fr) Kumm en Tingo María. *Folia amazónica*, 5(1-2), 5-14.
- Rivera, R., Martínez, C. & Morales-Velasco, S. (2013). Evaluación de residuos agrícolas como sustrato para la producción de *Pleurotus ostreatus*. *Luna azul*, (37), 89-100.
- Romero, O., Huerta, M., Damián, M., Macías, A., Tapia, A., Parraguirre, J. & Juárez, J. (2010). Evaluación de la capacidad productiva de *Pleurotus ostreatus* con el uso de hoja de plátano (*Musa paradisíaca* L., cv. Roatan) deshidratada, en relación con otros sustratos agrícolas. *Agronomía Costarricense*, 34(1), 53-63.
- Sahagún, F. (2021). Aprovechamiento sostenible de hongos comestibles; hacia una seguridad alimentaria. *Meio Ambiente*, 2(5).
- Salamea-Tigsi, N. (2019). *Estudio de factibilidad para la instalación de una planta de cultivo de champiñones ubicada en la parroquia de Conocoto del distrito metropolitano de Quito para comercialización en el mercado mayorista de Quito* [Tesis de tecnólogo, Instituto Superior Tecnológico].
- Sánchez, C. (2010). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and other edible mushrooms. *Applied microbiology and biotechnology*, 85, 1321-1337.
- Sánchez, J., Carrera, D., Mata, G. & Lara, H. (2007). *El cultivo de setas Pleurotus spp en México*. Ecosur. 380.
- Tapias, W. & Rodríguez, W. (2019). *Cultivo de Pleurotus ostreatus (Orellana) utilizando cisco de café, cascarilla de arroz, pulpa de cartón y heno encontrados en la ciudad del Socorro, Santander* [Tesis de pregrado, Universidad Libre].
- Yang, W., Guo, F. & Wan, Z. (2013). Yield and size of oyster mushroom grown on rice/wheat straw basal substrate supplemented with cotton seed hull. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 20(4), 333-338.
- Zaini, H., Roslan, J., Saallah, S., Munsu, E., Sulaiman, N. & Pindi, W. (2022). Banana peels as a bioactive ingredient and its potential application in the food industry. *Journal of Functional Foods*, 92, 105054.

Evaluación del comportamiento de 15 especies de aromáticas y medicinales bajo un esquema de labranza cero en las condiciones edafoclimáticas de Barrancabermeja, Santander

Evaluation of the behavior of 15 aromatic and medicinal species under a no-till scheme in the edaphoclimatic conditions of Barrancabermeja, Santander

José Rafael Arrieta Vergara¹, Silvio Daza Rosales² y Oswaldo Ríos Carrascal³

Resumen

Las plantas aromáticas y medicinales presentan características agronómicas que les permiten adaptarse a condiciones variadas de clima. Su uso se ha incrementado en la cocina y en la medicina, generando un crecimiento en su demanda y convirtiéndose en una alternativa de ingreso para los pequeños productores. El estudio evaluó el comportamiento de 15 plantas bajo las condiciones edafoclimáticas de Barrancabermeja, en un esquema de labranza cero y con aplicaciones de abono orgánico. Los parámetros valorados estuvieron relacionados con la germinación, establecimiento y producción. Fue una investigación cuasiexperimental del tipo descriptivo. Se desarrolló en un área de 23 338,56 m², establecido en 86 caballones donde se intercalaron plantas aromáticas, medicinales y hortalizas. Las especies con un mejor comportamiento fueron sábila, limonaria, citronela, toronjil, jengibre, árnica, anís, acetaminofén, prontoalivio, lengua de suegra, ruda, ají picante, ají dulce, achiote, orégano y culantro, las cuales respondieron adecuadamente a las condiciones de sequía. La simbiosis entre aromáticas, medicinales y hortalizas posibilitan un uso eficiente de las áreas mínimas y permiten un adecuado control de plagas y enfermedades por el empleo de estas como repelentes o atrayentes o como cultivos de protección.

Créditos

Autores

¹ Magíster en Educación, Esp. en IA, líder investigador INYUBA (UNIPAZ), miembro de IREC (UNP), docente de UNIPAZ. rafael.arrieta@unipaz.edu.co

² Magíster en Educación, Esp. y Lic., investigador INYUBA (UNIPAZ) e IREC (UPN), docente de UNIPAZ. silvio.daza@unipaz.edu.co

³ Magíster en Educación, Esp. y IA, investigador INYUBA (UNIPAZ), docente en UNIPAZ. oswaldo.rios@unipaz.edu.co

Cómo citar:

Arrieta, J., Daza, S. & Ríos, O. (2023). Evaluación del comportamiento de 15 especies de aromáticas y medicinales bajo un esquema de labranza cero en las condiciones edafoclimáticas de Barrancabermeja, Santander. *Ingeciencia*, 8, 77-89.

Palabras clave: sistemas integrados de producción agropecuaria sostenible, aromáticas, medicinales, aliños, labranza cero.

Abstract

Evaluation of the behavior of 15 aromatic and medicinal species under a no-till scheme in the edaphoclimatic conditions of Barrancabermeja, Santander

Aromatic and medicinal plants have agronomic characteristics that allow them to adapt to varied climate conditions. Their use has increased in cooking and medicine, generating a growth in their demand and becoming an alternative source of income for small producers. The study evaluated the behavior of 15 plants under the soil and climate conditions of Barrancabermeja, in a zero-tillage scheme and with applications of organic fertilizer. The parameters evaluated were related to germination, establishment and production. It was a descriptive quasi-experimental investigation. It was developed in an area of 23 338.56 m², established in 86 ridges where aromatic, medicinal and vegetable plants were interspersed. The species with the best performance were: aloe, lemongrass, citronella, lemon balm, ginger, arnica, anise, acetaminophen, prontoalivio, mother-in-law's tongue, rue, chili pepper, sweet pepper, achiote, oregano and cilantro, which responded adequately to drought conditions. The symbiosis between aromatic, medicinal and vegetable crops enables efficient use of minimal areas and allows for adequate pest and disease control by using these as repellents and/or attractants or as protective crops.

Keywords: integrated systems of sustainable agricultural production, aromatic, medicinal, dressings, no-till.

1. Introducción

El Sistema Integrado de Producción Agropecuario Sostenible (SIPAS) es una propuesta de rediseño productivo que favorece el uso de bioinsumos que propende por la autosuficiencia productiva con prioridad de los saberes autóctonos (Muñoz y Montico, 2021, 4). Está configurado como un sistema de cultivo con varias especies y que

tradicionalmente se siembra para cubrir las necesidades alimenticias de los pequeños productores. Además de producir alimentos, el SIPAS contempla un módulo de aromáticas y medicinales que, al tiempo en que genera valor agregado, puede ser una fuente para prevenir la mala salud, especialmente en aquellos lugares donde los servicios son inciertos, además de costosos; donde la medicina es escasa y el Estado es indiferente con la población.

La producción de las aromáticas y medicinales es muy antigua y la subsistencia del hombre antes del fuego dependía de las hierbas, los frutos y los jugos que extraían de las plantas. Existen reportes de su uso en la elaboración de alimentos en el Mediterráneo, Asia central y el Medio Oriente (Calfuquir, 2020, p. 1). El mundo moderno, caracterizado por el sedentarismo y los limitados esquemas de alimento y salud para los pobladores, propicia el uso de la medicina tradicional y de estas plantas para fines curativos y alimentarios.

El uso de las aromáticas y medicinales está relacionado con la medicina tradicional y son aquellas especies vegetales con “principios activos” las que pueden ser nocivas o beneficiosas para la salud. Dentro de este grupo, las plantas estrictamente aromáticas son aquellas cuyos principios activos son compuestos volátiles (aceites esenciales) que les confieren el aroma que las caracteriza; esta propiedad organoléptica concede a las comidas y a las bebidas aromas, colores y sabores diferentes, los que las hacen más apetitosas, sabrosas y más gratas al olfato, a la vista y al paladar, convirtiéndolas en insumos relevantes para la industria alimentaria y licorera (Paunero *et al.*, 2016).

El uso de las plantas medicinales ha sido parte importante de la vida cotidiana para hacer frente a las enfermedades; en Colombia empieza a vislumbrarse su importancia. El país cuenta con más de 6000 especies aromáticas y medicinales, pero se cultivan más de 200 especies. Los departamentos más productores de estas especies son Cundinamarca, Antioquia y Tolima, pero ha venido en aumento en Boyacá y el Valle del Cauca, según Argonet (<https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/inicio.aspx>).

Para Pascual (2018), el cultivo de plantas aromáticas y medicinales (PAM) puede ser muy importante en las pequeñas fincas por el significativo aumento de la demanda (p. 1). Aunque su producción es atomizada y en baja escala, puede ser un gran potencial, si se tiene en cuenta que responde muy bien a las condiciones edafoclimáticas de la región del Magdalena Medio. Las hierbas más requeridas son las que presentan propiedades medicinales como antiinflamatorias, antioxidantes, antihistamínicas, digestivas y antibacterianas, igualmente las nutricionales, especialmente las ricas en polifenoles, minerales y vitaminas. Entre las especies más apetecidas tenemos albahaca, tomillo, romero, cebollín, menta, estragón, orégano, eneldo, mejorana y salvia.

Para Procolombia (2021), las tendencias de consumo saludable en el mundo han contribuido al crecimiento de los cultivos de plantas aromáticas y herbales en

Colombia, que tienen gran potencial en el mercado internacional y cuyo consumo local también ha subido. El Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (2017) referencia las aromáticas, condimentarias y medicinales en otros grupos que representan un 0,8 del área total sembrada, de 892 128 ha (p. 16); fue una participación de 2760 ha, la cual fue muy pequeña (tabla 1).

Tabla 1. Área sembrada, cosechada y producción en Colombia

Especies	Área sembrada (ha)	Área cosechada (ha)	Producción (t)
Aromáticas, condimentarias y medicinales	2760	1635	9225

Fuente: DANE (2017). Encuesta nacional agropecuaria ENA-2016, Boletín técnico, Colombia.

La seguridad y el componente alimentario promueven la inocuidad de los alimentos y la nutrición, pero ambos están asociados a un buen estado de salud. Cuando no hay alimentación balanceada, los problemas pueden agrandarse y disminuir la capacidad productiva, lo que da fundamentos para contemplar en el SIPAS un módulo de aromáticas y medicinales como una manera de posibilitar plantas que propicien hábitos saludables en los pequeños productores.

Las aromáticas y medicinales del SIPAS pueden ser utilizadas en la salud preventiva y en la saborización de alimentos. Pueden ser producidas a bajo costo y ser un generador de valor agregado en el sistema solo con el uso de pequeñas áreas dentro de la finca (Dickie, 2017, p. 1). Rodríguez, citado por Arrieta y Martínez (2020), indica que la integración en el SIPAS posibilita una mayor eficiencia en el empleo de los recursos, se minimizan los problemas de eliminación de residuos (reciclaje de nutrientes), se mejoran los ingresos y se disminuyen los costos.

2. Diseño metodológico

El componente de aromáticas y medicinales hizo parte integral del SIPAS. Fue una investigación donde se valoró el comportamiento de especies regionales. La investigación se realizó en los predios del Centro de Investigación Santa Lucía del Instituto Universitario de la Paz, ubicado a 14 km en la vía Barrancabermeja-Bucaramanga, Santander, Colombia.

Se propuso un enfoque cuasiexperimental del tipo descriptivo porque solo se observó y se registraron los datos. Los parámetros evaluados fueron porcentaje de germinación, viabilidad de la semilla, número de frutos o parte productiva, peso promedio de frutos y rendimiento. Se sembraron 86 caballones, intercalando las aromáticas y medicinales con hortalizas, para un área total de 23 338,56 m².

3. Resultados

3.1 Aromáticas y medicinales establecidas

La selección de las plantas se hizo teniendo en cuenta la tradición de siembra de los productores de la vereda de San Luis, Barrancabermeja; los estudios de Ríos *et al.* (2015) que reportaron 56 plantas medicinales correspondientes a 33 familias y 49 géneros en el barrio Buenavista (p. 51); a Ríos *et al.* (2014) que encontraron 68 plantas que corresponden a 38 familias y 65 géneros (p. 168); y, finalmente, a Ríos *et al.* (2019) quienes identificaron 51 especies de plantas medicinales de 30 familias y 48 géneros en el barrio El Campestre de Barrancabermeja (p.168). La mayoría de ellas se establecen en los patios durante todo el año y con mínimo manejo (Moreno, 2009, p. 68) (tabla 2).

Tabla 2. Especies aromáticas y medicinales que componen el SIPAS

Especies	Nombre científico
Albahaca	<i>Ocimum basilicum</i> L.
Limonaria	<i>Cymbopogon citratus</i>
Citronela	<i>Cymbopogon schoenanthus</i>
Prontoalivio	<i>Lippia alba</i>
Anís	<i>Pimpinella anisum</i>
Ají dulce	<i>Capsicum annuum</i>
Orégano	<i>Origanum vulgare</i>
Acetaminofén o boldo	<i>Plectranthus ornatus codd</i>
Artemisa	<i>Artemisia vulgaris</i>
Ají picante	<i>Capsicum frutescens</i>
Jengibre	<i>Zingiber officinale</i>
Sábila	<i>Aloe Vera</i>
Culantro o cilantro cimarrón	<i>Eryngium foetidum</i>
Ruda	<i>Ruta graveolens</i>
Ruda/toronjil/yerbabuena/menta	<i>Ruta graveolens/Melissa officinalis/Mentha spicata/Mentha piperita</i> L.
Achiote	<i>Bixa orellana</i>

3.2 Prueba de germinación

Según García *et al.* (2016), la prueba de germinación se determina la viabilidad de las semillas y permite calcular la cantidad de semillas que se pueden usar en la siembra. Se colocaron 20 semillas en papel humedecido y se esperó hasta que el 75 % de estas hubieran germinado; los resultados muestran que el porcentaje de germinación estuvo por encima del 80 % y los días para la germinación estuvo entre 5 a 45 días (tabla 3).

Tabla 3. Prueba de germinación

Especies	Días a la germinación	Porcentaje de germinación
Albahaca	8-15	80
AjÍ dulce	10-15	90
AjÍ picante	5-7	90
Cilantro cimarrón	12	82
Ruda	6	85
Ruda/toronjil/Yerbabuena	6/11/45	

3.3 Número de caballones sembrados con aromáticas y medicinales

El cultivo en caballones es una práctica que armoniza la labranza mínima y lo tradicional, puede hacerse con azadón y es muy útil porque facilita las actividades, mejora la aireación y la infiltración de agua, reduce la competencia de malezas y ofrece una cama adecuada para el desarrollo de las raíces de las plantas. Se construyeron caballones de 5 y 20 metros de largo, cada uno con una anchura de un metro y una altura de 0,60 m. Se establecieron 28 caballones (tabla 4).

Tabla 4. Número de caballones sembrados con aromáticas y medicinales

Especies	Caballones de 5 metros	Caballones de 20 metros	Total caballones sembrados
Albahaca	1	1	2
Limonaria	2	1	3
Citronela	1	1	2
Prontoalivio	1	1	2
Anís	1	1	2
AjÍ dulce	1	1	2
Orégano	2	1	3
Acetaminofén	1	1	2
Artemisa	1	0	1
AjÍ picante	1	1	2
Jengibre	1	0	1
Sábila	1	1	2
Cilantro cimarrón	1	1	2
Ruda	1	0	1
Ruda/toronjil/yerbabuena/Menta	0	1	1
Achiote	0	0	0
Total	16	12	28

Alrededor de los caballones de cinco metros se sembró achiote cada tres metros como cultivo de protección. Igualmente, al inicio y final de cada caballón de 20 metros se establecieron plantas de limonaria.

3.4 Área sembrada con aromáticas y medicinales

El área total sembrada fue de 1473,2 m² distribuidos en 158,5 m² en el primer lote, 414,7 m² en el segundo lote y 900 m² en achiote (tablas 5, 6 y 7).

Tabla 5. Área sembrada con aromáticas y medicinales en el lote 1

Área sembrada	Área caballón 1	Ancho	Altura caballones	Entre hileras	Número de caballones	Área 1 (m ²)
Albahaca	5	1,1	0,6	1	1	10,2
Limonaria	5	1,1	0,6	1	2	20,4
Citronela	5	1,1	0,6	1	1	10,2
Prontoalivio	5	1,1	0,6	1	1	10,2
Anís	5	1,1	0,6	1	1	10,2
Ají dulce	5	1,1	0,6	1	1	5,5
Orégano	5	1,1	0,6	1	2	20,4
Acetaminofén	5	1,1	0,6	1	1	10,2
Artemisa	5	1,1	0,6	1	1	10,2
Ají picante	5	1,1	0,6	1	1	10,2
Jengibre	5	1,1	0,6	1	1	10,2
Sábila	5	1,1	0,6	1	1	10,2
Cilandro cimarrón	5	1,1	0,6	1	1	10,2
Ruda	5	1,1	0,6	1	1	10,2
Ruda/toronjil/yerbabuena	0	-	-	0	0	0
Área total						158,5

Tabla 6. Área sembrada con aromáticas y medicinales en el lote 2

Área sembrada	Área caballón	Ancho	Altura caballones	Entre hileras	Número de caballones	Área (m ²)
Albahaca	20	1,1	0,6	1	1	35,7
Limonaria	20	1,1	0,6	1	1	35,7
Citronela	20	1,1	0,6	1	1	35,7
Prontoalivio	20	1,1	0,6	1	1	35,7
Anís	20	1,1	0,6	1	1	35,7
Ají dulce	20	1,1	0,6	1	1	22
Orégano	20	1,1	0,6	1	1	35,7

Continúa...

... viene.

Área sembrada	Área caballón	Ancho	Altura caballones	Entre hileras	Número de caballones	Área (m ²)
Acetaminofén	20	1,1	0,6	1	1	35,7
Artemisa	20	1,1	0,6	1	0	0
Ají picante	20	1,1	0,6	1	1	35,7
Jengibre	20	1,1	0,6	1	0	0
Sábila	20	1,1	0,6	1	1	35,7
Cilantro cimarrón	20	1,1	0,6	1	1	35,7
Ruda/toronjil/yerbabuena	20	1,1	0,6	1	0	35,7
Área total						414,7

Tabla 7. Área sembrada con achiote

Especie	Número de plantas	Distancia entre plantas (m)	Distancia entre hileras (m)	Área total (m ²)
Lote 1 de achiote	80	3	3	720
Lote 2 de achiote	20	3	3	180
Área total				900

3.5 Densidad de siembra

Es el número de plantas por unidad de área lo que afecta directamente la producción (Arcila, 2007, p. 132) y es muy importante establecerlas con una densidad de siembra adecuada lo que favorece el desarrollo de la planta. En el componente SIPAS se sembraron un total de 1097 plantas, con un mayor porcentaje en la limonaria, 12 %, y la artemisa presentó el menor porcentaje, 1 % (tabla 8).

Tabla 8. Número de plantas sembradas

Especie	Distancia entre plantas	Número de caballones	# plantas por caballón (5 m)	# plantas por caballón (20 m)	Total plantas	Porcentaje (%)
Albahaca	0,4	1	13	50	63	6
Limonaria	0,3	2	34	67	133	12
Citronela	0,3	1	17	67	83	8
Prontoalivio	0,3	1	17	67	83	8
Anís	0,3	1	17	67	83	8
Ají dulce	0,3	1	17	67	83	8
Orégano	0,4	2	13	50	75	7
Acetaminofén	0,5	1	10	40	50	5
Artemisa	0,5	1	10	0	10	1

Continúa...

... viene.

Especie	Distancia entre plantas	Número de caballones	# plantas por caballón (5 m)	# plantas por caballón (20 m)	Total plantas	Porcentaje (%)
Ají picante	0,3	1	17	67	86	8
Jengibre	0,3	1	17	0	17	2
Sábila	0,4	1	13	50	63	6
Cilantro cimarrón	0,3	1	17	67	83	8
Ruda	0,3	1	17	0	17	2
Ruda/toronjil/ yerbabuena/menta	0,3	0	0	68	68	6
Achiote	3				100	9
Total plantas		16	224	749	1097	100

3.6 Distancias de siembra

La distancia de siembra es el espacio entre plantas, para su definición se tuvo en cuenta la altura, el follaje, el sistema de siembra y se buscó obtener un mayor número de plantas por área. Las distancias oscilaron entre 0,3 y 0,4 m, a excepción del achiote que fue de 3 m (tabla 9).

Tabla 9. Distancias de siembra

Especie	Distancia de siembra
Albahaca	0,4
Limonaria	0,3
Citronela	0,3
Prontoalivio	0,3
Anís	0,3
Ají dulce	0,3
Orégano	0,4
Acetaminofén	0,3
Artemisa	0,3
Ají picante	0,3
Jengibre	0,3
Sábila	0,4
Cilantro cimarrón	0,3
Ruda	0,3
Ruda/toronjil/yerbabuena/	0,3
Achiote	3

3.7 Sistemas de siembra

Es un sistema de plantación donde se configura espacialmente el cultivo; para las aromáticas y medicinales se hizo una siembra en línea teniendo en cuenta los caballones. El achiote se sembró en cuadrado y alrededor de los caballones de cinco metros (tabla 10).

Tabla 10. Sistemas de plantación

Especie	Configuración espacial
Albahaca	En caballones
Limonaria	En caballones
Citronela	En caballones
Prontoalivio	En caballones
Anís	En caballones
Ají dulce	En caballones
Orégano	En caballones
Acetaminofén	En caballones
Artemisa	En caballones
Ají picante	En caballones
Jengibre	En caballones
Sábila	En caballones
Cilantro cimarrón	En caballones
Ruda	En caballones
Ruda/toronjil/yerbabuena/	En caballones
Achiote	Cuadrado

3.8 Periodo vegetativo y reproductivo de las aromáticas y medicinales

Está determinado por el tipo de planta, ya sea de ciclo corto o perennes como el achiote, para la cosecha se tuvo en cuenta la especie y el nivel de maduración de los frutos, en algunas especies, como el ají, se hicieron varias cosechas (tabla 11).

Tabla 11. Periodo vegetativo de las aromáticas y medicinales

Especies	Días a la siembra
Albahaca	65
Limonaria	90
Citronela	180
Prontoalivio	48
Anís	110

Continúa...

... viene.

Especies	Días a la siembra
Ají dulce	28
Orégano	65
Acetaminofén	132
Artemisa	150
Ají picante	76
Jengibre	130
Sábila	200
Cilantro cimarrón	65
Ruda	95
Ruda/toronjil/Yerbabuena/ Menta	95/90/65
Achioté	180

3.9 Criterios de cosecha

Se cosecharon hojas, flores o inflorescencias, frutos inmaduros y maduros y raíces. Esta labor se realizó con base en el estado fisiológico del cultivo, las características fenológicas y el tamaño de la parte cosechada (tabla 12).

Tabla 12. Criterios para la cosecha

Especies	Parte de la planta a cosechar	Señal de cosecha
Medicinales	Hojas, frutos y raíces	Hojas y raíces grandes y plantas y frutos en madurez fisiológica
Aromáticas	Hojas	Hojas grandes y antes de producir semillas

3.10 Rendimientos de las aromáticas y medicinales

El rendimiento es la cantidad de producto cosechado que se obtiene en un momento determinado y en un área específica. Este rendimiento depende de los factores edafoclimáticos, del potencial de la planta y del manejo técnico que se brinde, en especial la distancia de siembra, agua, manejo de plagas y enfermedades, las malezas y la nutrición de las plantas. Se encontró que las plantas con mayor cantidad de frutos fue el ají dulce; con la mayor cantidad de hojas, la sábila; y la citronela y el jengibre presentaron la mayor cantidad de raíces (tabla 13).

Tabla 13. Rendimiento de las aromáticas y medicinales

Especie	Número de frutos/ hojas y raíces por planta	Peso por unidad (g)	Peso por planta (g)	Peso a la cosecha (g)
Albahaca	20	15	300	300
Limonaria			700	700
Citronela			2600	2600
Prontoalivio			500	500
Anís			50	50
AjÍ dulce	300	4	1160	1160
Orégano			75	75
Acetaminofén			465	465
Artemisa			250	250
AjÍ picante	229	1,7	389,3	389,3
Jengibre	6	12	129	72
Sábila	20	250	5000	5000
Cilantro cimarrón	2	73	146	146
Ruda			110	110
Ruda/toronjil/Yerbabuena/			110/1200/300	110/1200/300
Achiote			2500	2500

4. Conclusiones

Dentro de las especies que deben tenerse en cuenta para la siembra y explotación de las aromáticas son las que tradicionalmente siembran los productores y se encuentran adaptadas a las condiciones de la región.

El manejo agronómico debe realizarse dentro del marco de la labranza cero, especialmente en caballones y utilizando prioritariamente abono orgánico.

Los multicultivos permiten usar eficientemente las áreas mínimas; en el área de aromáticas y medicinales deben sembrarse hortalizas. Esa simbiosis permite hacer un control de plagas y enfermedades al emplearse plantas como repelentes, atrayentes o como cultivos de protección.

Entre las especies valoradas, las que presentaron mejor comportamiento y adaptabilidad fueron el ajÍ dulce, el ajÍ picante, la limonaria, la citronela y el achiote.

Referencias

- Arcila, J. (2007). Densidad de siembra y productividad de los cafetales. En H. Ospina & S. Marín (Eds.), *Sistemas de producción de café en Colombia* (132-143). FNC-Cenicafé. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/720>
- Arrieta, J. & Martínez, L. (2020). Los SIPAs: una alternativa de producción alimentaria para la región del Magdalena Medio. Memorias VI seminario Internacional y VII seminario nacional de SENISPA. *Revista ACOVEZ*, 3(49), p. 41. <https://bit.ly/495tpmt>
- Calfuquir, J. (2020). *Producción orgánica de melisa (Melissa officinalis) con utilización de aguas residuales de la industria frigorífica en la localidad de Cabildo* [Tesina de grado, Universidad Nacional del Sur]. Repositorio institucional - Universidad Nacional del Sur. <https://bit.ly/4h7D6ms>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2017). *Encuesta nacional agropecuaria ENA-2016*. Boletín técnico.
- Dickie, M. (2017). *Aromáticas, su importancia en la huerta orgánica*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- García, J., Ruiz, N., Lira, R., Vera, I. & Méndez, B. (2016). *Técnicas para evaluar germinación, vigor y calidad fisiológica de semillas sometidas a dosis de nanopartículas*. Repositorio CIQA. <http://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/334>
- Moreno, S. (2009). *Agricultura Urbana Manual de Tecnologías*. Imprenta Grafiset de Colombia LTDA.
- Muñoz, G. & Montico, S. (2021). Sistema integrado de producciones agroecológicas: aportes para el manejo de la transición en agroecosistemas extensivos. *Agromensajes*, 59.
- Pascual, A. (2018). *Cultivo de aromáticas, buenas perspectivas ante el aumento de la demanda mundial*. Efeagro. <https://bit.ly/43mawbh>
- Paunero, I., Spotorno, V. & Poggi, L. (2016). *Memoria Técnica: Investigaciones en plantas aromáticas y medicinales*. Ediciones INTA. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/188>
- Procolombia. (2021). *Hierbas aromáticas que existen en Colombia*. <https://bit.ly/439ozRu>
- Ríos, O., Dávila, D. & Flórez, D. (2014). *Descripción del uso y utilización de plantas medicinales, en la comuna 6 del municipio de Barrancabermeja, Santander* [Trabajo de grado, Instituto Universitario de la Paz].
- Ríos, O., Grandett, Y. & Tarazona, L. (2019). *Caracterización del uso de plantas medicinales en el barrio el campestre de la comuna siete del municipio de Barrancabermeja, Santander* [Trabajo de grado, Instituto Universitario de la Paz].
- Ríos, O., Gutiérrez, E. & Rangel, S. (2015). *Registro etnobotánico de plantas medicinales, en el barrio Buenavista del municipio de Barrancabermeja, Santander*. [Trabajo de grado, Instituto Universitario de la Paz].

Sobreexpresión de la tetraspanina CD9-GFP como estrategia de seguimiento y caracterización de vesículas extracelulares derivadas de células humanas

Overexpression of the tetraspanin CD9-GFP as a strategy for tracking and characterizing extracellular vesicles derived from human cells

David Hernández¹ y Gustavo Salguero¹

Resumen

Las vesículas extracelulares (EV) son nanoestructuras cruciales en la comunicación celular y su estudio es de gran interés en la investigación biomédica. En este estudio se desarrolló una metodología para caracterizar las vesículas extracelulares mediante la sobreexpresión de la tetraspanina CD9 fusionada con la proteína verde fluorescente (GFP) en fibroblastos humanos MRC-5. La eficiencia de la transducción lentiviral en las células MRC-5 superó el 95 %, lo que aseguró una alta expresión de CD9-GFP. La localización perinuclear de CD9-GFP sugiere su participación en la formación de EV y cuerpos multivesiculares (MVB). La cuantificación de transcritos de CD9 y ALIX confirmó un aumento en la fluorescencia de las EV, lo que permitió su identificación y caracterización con citometría de flujo. Esta metodología facilita el seguimiento y la caracterización reproducible de EV humanas. Además, la expresión constitutiva de CD9-GFP reduce el ruido de fondo en las mediciones y simplifica la inmunocaptura de EV, potencialmente elimina la necesidad de un segundo anticuerpo para su visualización. En resumen, este estudio sienta las bases para investigaciones futuras sobre el papel de CD9 en la biogénesis de EV y su aplicabilidad en la investigación biomédica, lo que ofrece una herramienta valiosa para el estudio de estas nanoestructuras esenciales en la comunicación celular.

Créditos

Autores

- ¹ Unidad de Terapias Avanzadas, Instituto Distrital de Ciencia, Biotecnología e Innovación en Salud (IDCBIS), Bogotá, Colombia.

Cómo citar:

Hernández, D. & Salguero, G. (2023). Sobreexpresión de la tetraspanina CD9-GFP como estrategia de seguimiento y caracterización de vesículas extracelulares derivadas de células humanas. *Ingeciencia*, 8, 90-100.

Palabras claves: vesículas extracelulares, citometría de flujo, tetraspanina, transducción lentiviral.

Abstract

EVs are crucial nanostructures in cellular communication, and their investigation holds significant interest in biomedical research. In this study, a methodology was developed to characterize extracellular vesicles (EVs) through the overexpression of tetraspanin CD9 fused with green fluorescent protein (GFP) in MRC-5 human fibroblasts. The efficiency of lentiviral transduction in MRC-5 cells exceeded 95%, ensuring high CD9-GFP expression. The perinuclear localization of CD9-GFP suggests its involvement in EV and multivesicular body (MVB) formation. Quantification of CD9 and ALIX transcripts confirmed an increase in EV fluorescence, enabling identification and characterization via flow cytometry. This methodology simplifies the reproducible tracking and characterization of human EVs. Furthermore, constitutive CD9-GFP expression reduces background noise in measurements and streamlines EV immunocapture, potentially eliminating the need for a second antibody for visualization. In summary, this study lays the foundation for future research on the role of CD9 in EV biogenesis and its applicability in biomedical research, providing a valuable tool for the study of these essential nanostructures in cellular communication.

Keywords: Extracellular Vesicles, Flow Cytometry, Tetraspanin, Lentiviral Transduction.

1. Introducción

Las vesículas extracelulares (EV) son nanoestructuras esféricas rodeadas de bicapas lipídicas que son liberadas por cualquier tipo celular y, además, desempeñan un papel fundamental en la comunicación celular. Desde su descubrimiento en la década de 1950, las EV han suscitado un creciente interés científico debido a su participación en una amplia variedad de procesos biológicos (Bazzan *et al.*, 2021). Estos procesos comprenden desde la regulación de la homeostasis celular hasta la influencia en desafíos patológicos como el cáncer, las enfermedades neurodegenerativas y las enfermedades autoinmunes. Otra característica sobresaliente de las EV es su capacidad para transportar una amplia variedad de biomoléculas, incluyendo proteínas, lípidos y ácidos nucleicos codificantes (ARNm), así como reguladores (micro-ARN) (Burnouf *et al.*, 2023;

Yáñez-Mó *et al.*, 2015). Lo anterior lo realiza de manera eficiente, protege el cargo de posible degradación enzimática y genera efectos en las células receptoras. Este atributo, junto con su baja inmunogenicidad, baja toxicidad y presencia en varios fluidos corporales humanos, ha suscitado un creciente interés en el campo biomédico, donde las EV se perfilan como candidatas prometedoras para actuar como nanotransportadores de biofármacos y vacunas (Fernández-Delgado *et al.*, 2020; Popowski *et al.*, 2022).

Las EV se dividen en tres categorías principales según su tamaño y biogénesis: exosomas, microvesículas (MV) y cuerpos apoptóticos. A pesar de los avances en la comprensión de los mecanismos moleculares y la formación de EV, la caracterización completa de las rutas de formación de los diversos subtipos de EV sigue siendo un área de investigación activa, donde aún persiste la falta de una caracterización completa de las rutas de formación de los diferentes subtipos de EV. En este contexto, el complejo de clasificación endosómica necesario para el transporte (ESCRT) y proteínas asociadas como ALIX (también conocida como PCD6IP) ha sido ampliamente estudiado debido a su papel esencial en varias etapas de la formación de exosomas y microvesículas (Ju *et al.*, 2021). Las tetraspaninas CD9, CD81 o CD63 son proteínas presentes en las membranas de las EV y son utilizadas como marcadores por diversas técnicas, incluida la citometría de flujo. Sin embargo, también se ha observado que estas tetraspaninas participan en la selección, inclusión, regulación y empaquetamiento de las biomoléculas al interior de las EV. En este proceso, las tetraspaninas, como CD9, desempeñan un papel crucial al formar un complejo con la sintetina, lo que facilita el reclutamiento de las proteínas de carga (Mathieu *et al.*, 2021). Por su naturaleza constitutiva en la estructura del componente vesicular, las CD9 tiene el potencial de usarse para optimizar el aislamiento y caracterización de EV para posteriores aplicaciones en biomedicina. Teniendo en cuenta que los rangos de tamaño de exosomas y las microvesículas pueden estar entre los 50 y los 1000 nanómetros, se requieren técnicas de microscopía electrónica de emisión o de barrido para observar su estructura, o técnicas como el análisis de seguimiento de partículas (*nano tracking analysis*) para determinar tamaño y concentración. Estas técnicas son costosas y no siempre están al alcance de la mayoría de los laboratorios, lo que dificulta establecer ensayos de medición de EV reproducibles entre los diferentes grupos de investigación que trabajan con microvesículas y exosomas. Por otro lado, la citometría de flujo es una técnica de laboratorio mucho más asequible, que permite caracterizar el tamaño, la cantidad y la concentración de EV utilizando la tetraspaninas como marcadores de superficies (Jia *et al.*, 2022; Tiwari *et al.*, 2021).

Este estudio se enfoca en el desarrollo de una metodología basada en la transducción de la proteína recombinante que codifica la tetraspanina CD9 fusionada a una proteína fluorescente verde (GFP) en fibroblastos humanos (CLM), MRC-5, con el propósito de enriquecer estas proteínas en las membranas de EV, lo que favorece su detección mediante citometría de flujo. Esta investigación tiene el potencial de influir

en la modulación del contenido de EV y el desarrollo de métodos optimizados para la identificación de EV.

2. Metodología

En el marco de esta investigación, se desarrolló una línea celular MRC-5 con una expresión constitutiva de la tetraspanina CD9. Esta modificación se llevó a cabo mediante el uso de un constructo de ADN recombinante, el cual codifica una proteína que fusiona la tetraspanina CD9 con una proteína verde fluorescente (GFP), lo que permitió una visualización y seguimiento efectivo durante la investigación. Esta proteína recombinante fue previamente clonada en un plásmido lentiviral para lograr una expresión continua de la proteína de interés. Por otra parte, las células MRC-5, adquiridas de la American Type Culture Collection (ATCC), se almacenaron en nitrógeno líquido hasta su empleo y se cultivaron en un medio Dulbecco's Modified Eagle Medium (DMEM) suplementado con un 10 % de suero fetal bovino (SFB) y un 1 % de penicilina/estreptomicina a 37 °C bajo una atmósfera de 5 % de CO₂. El cambio de medio se efectuó cada tres días y se realizó pases celulares cuando se alcanzó una confluencia del 90 %.

En una etapa posterior, se generaron partículas lentivirales que contenían el constructo con la proteína recombinante CD9-GFP, utilizando células HEK293. Luego, se infectaron 100 000 células MRC-5 con 800 000 partículas lentivirales. Transcurridas 24 horas, se procedió al reemplazo del medio celular por uno fresco. La eficiencia de transducción se determinó mediante la medición del porcentaje de fluorescencia utilizando citometría de flujo. Cuando se logró una eficiencia de transducción superior al 80 %, se prosiguió con el aislamiento de las vesículas extracelulares (EV).

Para evaluar el efecto de la transducción del CD9-GFP en el incremento de la expresión de CD9, se llevó a cabo la cuantificación relativa de los transcritos de ARNm que codifican la tetraspanina CD9. Este proceso implicó la extracción de ARN total de las células después de la transducción con las partículas. Para la extracción de ARN se empleó un kit comercial de extracción de ARN total basado en columnas de Invitrogen. La transcripción reversa y la reacción en cadena de la polimerasa cuantitativa (RT-qPCR) se llevaron a cabo utilizando el kit Luna® Universal One-Step RT-qPCR Kit de New England Biolabs Inc. Se diseñaron *primers* específicos para anillar en la región codificante del gen CD9. Además, se incluyó un gen constitutivo, como B2M, para la cuantificación relativa de la expresión génica mediante el método del $2^{-\Delta\Delta Ct}$.

En lo que respecta al aislamiento de las EV, se procedió al cambio del medio de cultivo de las células transducidas, el cual estaba privado de suero fetal bovino (SFB). Después de 48 horas, se cosecharon las vesículas extracelulares de los medios condicionados a través de una serie de centrifugaciones seriadas destinadas a eliminar restos celulares y enriquecer la suspensión vesicular. La medición de EV se llevó a cabo por citometría

de flujo utilizando un citómetro de espectro completo (Northern Lights, Cytek). Se realizó una medición directa tomando 400 μ l de cada una de las fracciones, microvesículas y exosomas, de las EV aisladas de las células MRC-5 transducidas con la proteína recombinante CD9-GFP y de las EV aisladas de células sin transducir. De igual forma, se realizó un ensayo de inmunocaptura con el kit ExoStep™ de Immunostep (Salamanca, España). Este kit contiene una solución con perlas fluoromarcadas en cuya superficie se inmovilizaron anticuerpos antitetraspaninas CD9. Estas perlas se incubaron con marcadores de tetraspaninas CD81 fluoromarcados durante 30 minutos a una temperatura de 4 °C. Finalmente, para la visualización y conteo de las EV y las microesferas se utilizó el *software* Spectroflo® y el análisis estadístico se efectuó con el paquete estadístico GraphPad®.

3. Resultados

Un incremento de la concentración de tetraspaninas en el interior de las células podría favorecer la formación de los microdominios lipídicos o balsas lipídicas en las membranas endosomal y plasmática descritas como paso necesario para la formación tanto de microvesículas como de los cuerpos multivesiculares que liberan los exosomas en la ruta independiente del complejo ESCRT. Para generar un aumento en la concentración de las tetraspaninas se hizo una línea celular que expresara de forma constitutiva alguna de las tetraspaninas. Se utilizó un constructo de ADN recombinante que codifica la tetraspanina CD9 fusionada con la proteína verde fluorescente GFP, lo que facilitó su cuantificación durante el proceso, ya sea por microscopía de fluorescencia o citometría de flujo. Para evaluar la eficiencia de la transducción de las células MRC-5 con las partículas lentivirales portadoras de la proteína CD9-GFP se procedió a estimación de la población de células CD9-GFP positivas a las 48 horas de la transducción por citometría de flujo. En este análisis se añadió el marcador CD90 el cual es expresado por CLM para confirmar que las células transducidas que presentaba la fluorescencia en GFP correspondían a células CLM (ver figura 1).

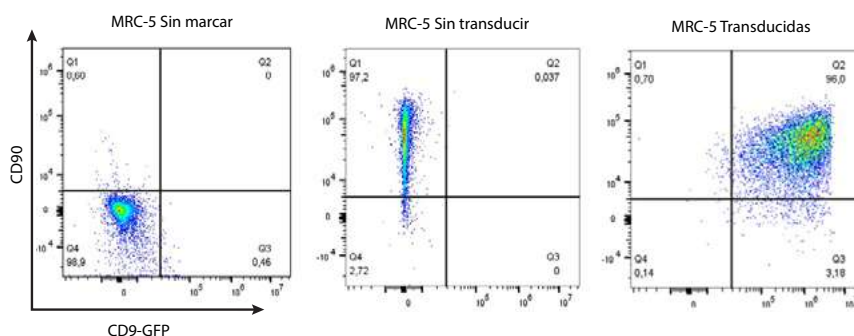


Figura 1. Análisis de citometría de flujo de las MRC-5 transducidas con CD9-GFP

La transducción presentó una eficiencia superior al 95 % en todas las réplicas. El siguiente paso consistió en la expansión de las células en 4 frascos T75 por tratamiento. Una vez alcanzada la confluencia del 70 %, se realizó un cambio de medio de cultivo retirando el SFB de este para dejar las células en un estado de privación de estimulantes del crecimiento por 48 horas. Esta condición de cultivo favorece a la generación de vesículas extracelulares por partes de las células. Las imágenes de microscopía de fluorescencia de las células transducidas posterior a las 48 horas indican que la expresión proteína CD9-GFP se concentró en el citoplasma y en algunas células se podía observar agregados de mayor intensidad de fluorescencia cercanos a la membrana plasmática, lo que podría corresponder a los cuerpos multivesiculares (MVB) enriquecidos con nuestra tetraspanina CD9. Las flechas rojas en la figura 2 señalan estos MVB cercanos a la membrana plasmática de las células con lo que se podría asumir que la inducción de la expresión de CD9 por nuestra transducción estaría favoreciendo la formación y liberación de exosomas.

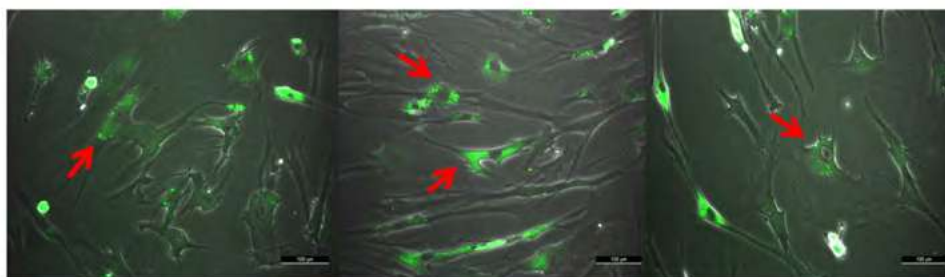


Figura 2. Imágenes de microscopía de fluorescencia de las MRC-5 transducidas con CD9-GFP

Los medios condicionados fueron colectados para recolectar las vesículas extracelulares. Las células fueron despegadas y congeladas para posteriores ensayos. Para confirmar que la transducción genera un efecto en el aumento de transcritos se procedió a realizar una cuantificación relativa de la expresión de CD9. Para esto se realizó la extracción de ARN total de una fracción de las células por kit comercial de columnas. Los extractos de ARN fueron cuantificados por absorbancia en un NanoDrop 2000 y se diluyeron a una concentración de 5 ng/ μ l de ARN de tal forma que en la reacción final de RT-qPCR tuvieran una concentración de 1 ng/ μ l en todos los tubos. Para la reacción de RT-qPCR se utilizó el kit Luna® Universal One-Step RT-qPCR Kit de New England Biolabs Inc en un termociclador ABI 7500. La cuantificación relativa de la expresión génica de CD9 se realizó mediante el método del $2^{-\Delta\Delta Ct}$, utilizando el gen de la betamiglobulina (B2M) como gen *housekeeping* y ARN de células MRC-5 sin transducir como tratamiento de referencia. Los resultados de la RT-qPCR arrojaron que la transducción de la proteína de CD9-GFP generó un aumento en la expresión de transcritos, aunque no es estadísticamente significativa la diferencia generada (ver figura 3). Igualmente, se analizó la variación de la expresión del gen ALIX en las células transducidas con CD9 para determinar si existía relación directa entre ambas proteínas. Los resultados de la RT-qPCR mostraron un incremento en el *fold change* de

0,5 para ambos genes, sin tener tampoco una significancia estadística. La expresión de los genes CD9 y ALIX tendrían una correlación lineal en las muestras analizadas.

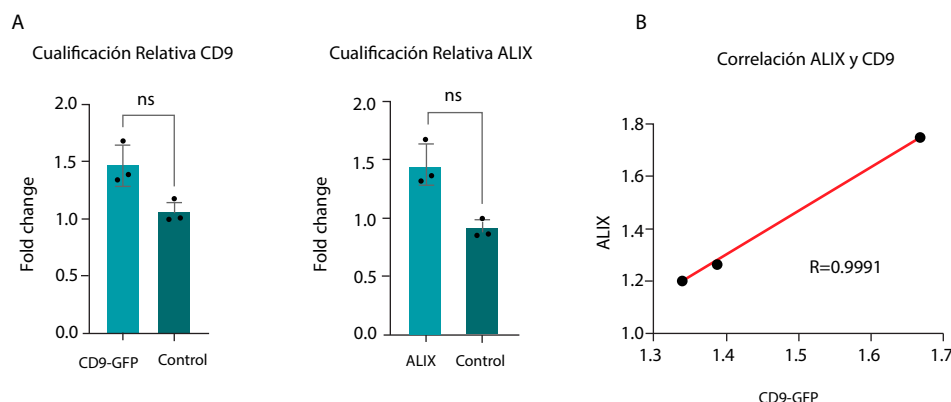


Figura 3. Cuantificación relativa de la expresión de los genes CD9 y ALIX y la correlación de su expresión

Los 40 ml de los medios condicionados fueron procesados mediante centrifugaciones seriadas para retirar los detritos celulares y cuerpos apoptóticos hasta obtener un *pellet* correspondiente a la fracción de microvesículas y exosomas. Ambas fracciones, de microvesículas y de exosomas, fueron resuspendidas en 1 ml de PBS doblemente filtrado y analizadas por citometría de flujo manteniendo fijo el volumen de adquisición en 50 μ l para cada una de las muestras. Se realizó una primera adquisición del PBS filtrado, de las perlas de 1000 nm y 500 nm del kit de referencia Flow Cytometry Sub-micron Particle Size (Invitrogen) y de las fracciones de EV, microvesículas y exosomas, obtenidas de células MRC-5 transducidas con la tetraspanina CD9-GFP. Luego se volvió a realizar la adquisición de estas muestras, esta vez incrementando el valor de intensidad de fluorescencia necesario para pasar el umbral en el canal B1 durante la adquisición de los eventos. El canal B1 corresponde al punto máximo de emisión de fluorescencia del GFP, por tal motivo las EV enriquecidas con la proteína CD9-GFP pasarían ese valor de umbral de intensidad mientras que otras partículas en suspensión vesicular o ruido no serían adquiridas. Se observó que, a medida en que el umbral aumentaba, el número de eventos de fondo se reducía considerablemente y la visualización de las EV en un *dotplot* FSC vs. SSC mejoró tanto en la fracción de microvesículas como en la fracción de exosomas (ver figura 4).

Igualmente, la expresión constitutiva de la tetraspanina CD9 facilitó la identificación de EV por inmunocaptura. Las fracciones de microvesículas y exosomas colectadas se incubaron con las perlas del kit de inmunocaptura por toda la noche a 4 °C. Al día siguiente se realizó una segunda marcación con las EV con el anticuerpo anti-CD81 y se realizó medición de perlas en el citómetro de flujo. La EV de colectas de las células transducidas se unen a las perlas y no requieren del segundo anticuerpo anti-CD81 para ser detectadas. La transducción de las células con el constructo CD9-GFP genera un enriquecimiento de la tetraspanina CD9, especialmente importante en la fracción

de microvesículas con respecto a las microvesículas obtenidas de células sin modificación (ver figura 5).

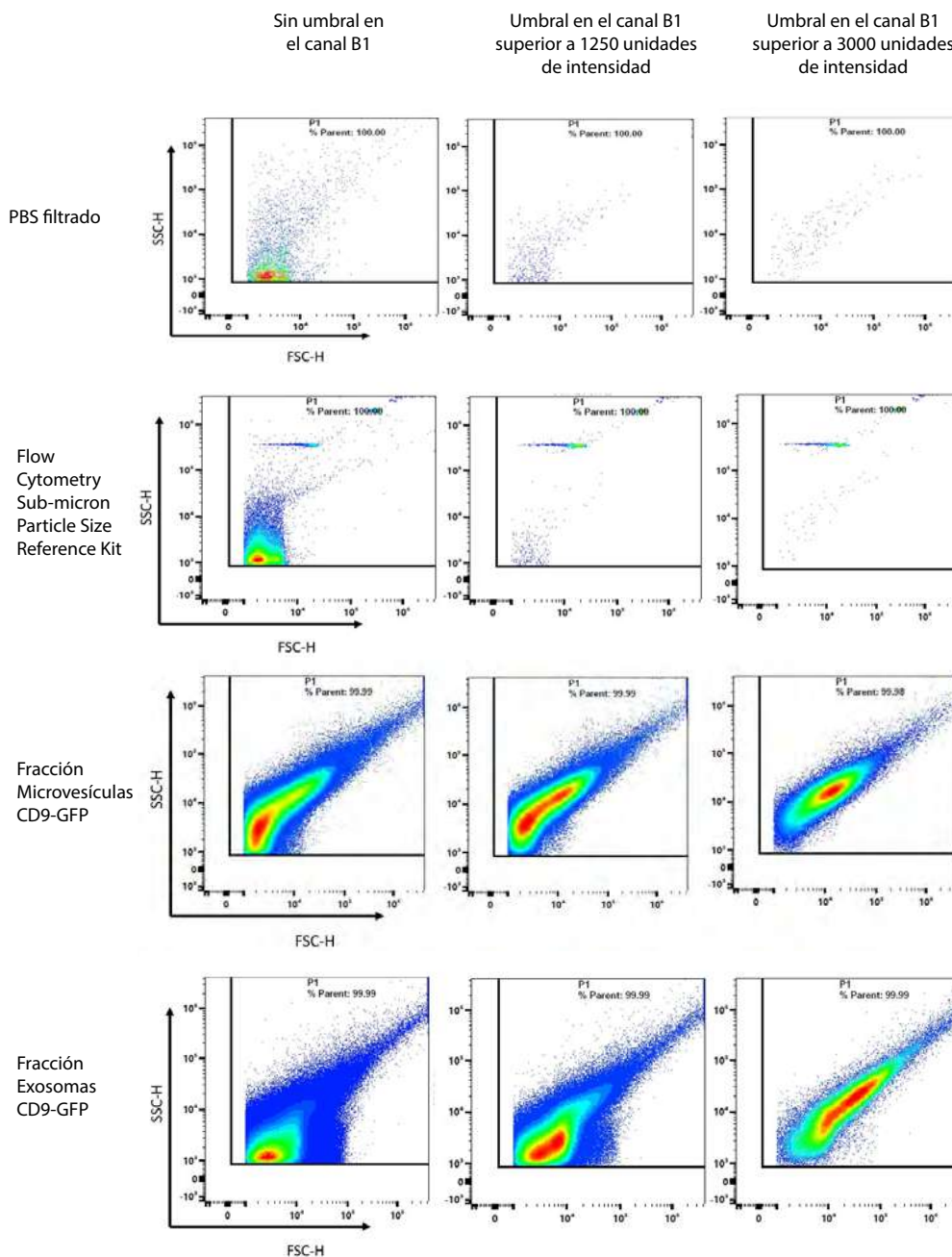


Figura 4. Análisis de citometría de flujo de las fracciones de EV con las diferentes estrategias de filtrado por umbral de intensidad

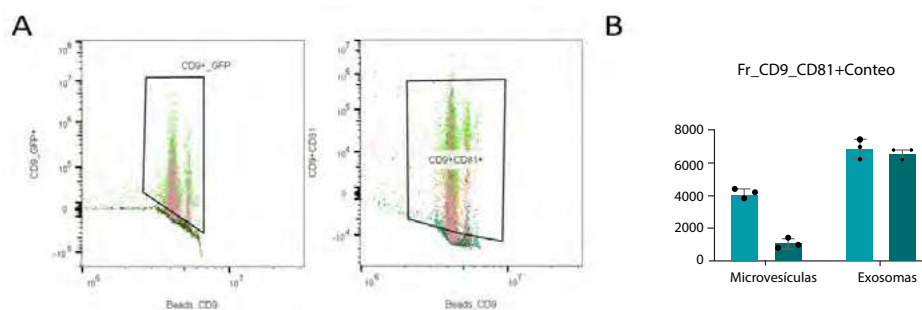


Figura 5. El ensayo de inmunocaptura utilizando perlas fluoro marcadas recubiertas en su superficie con anticuerpos anti-CD9

4. Conclusiones

La metodología propuesta en este estudio permite realizar el seguimiento y caracterización rápida de EV derivadas de células humanas mediante una tecnología asequible como es la citometría de flujo. La transducción lentiviral generó una alta eficiencia en la expresión de CD9 en células MRC-5, lo que generó un aumento de los transcritos del gen. La tetraspanina CD9-GFP transducida se localizó en el citoplasma y se observaron agregados cercanos a la membrana plasmática que podrían corresponder a la formación de MVB, lo que indica que se acopló a los mecanismos de formación de EV acumulándose en las superficies de microvesículas y exosomas. Aunque para confirmar dicho enriquecimiento es necesario utilizar técnicas, los ensayos de inmunocaptura indican que este aumento es especialmente significativo en las microvesículas.

A pesar de las limitaciones que posee la citometría de flujo, teniendo en cuenta la escala nanométrica en la que se trabaja, para el estudio de EV, como puede ser la formación de agregados de EV que generan subestimaciones del conteo total o pérdida de EV de tamaños inferiores al límite de detección del equipo, la metodología de análisis de citometría de flujo propuesta solventa otras dificultades como el conteo conjunto de lipoproteínas o partículas virales que tienen un tamaño similar pero no expresan CD9 en su superficie y, por tanto, no podrían ser cuantificadas. Además, al utilizar EV de las mismas células como referentes, tienen un índice de refracción igual o más cercano, a diferencia de los índices de las microesferas de poliestireno o sílice que son usadas normalmente en este tipo de ensayos (van der Pol *et al.*, 2021).

Por tanto, el análisis aquí propuesto permite una medición y una visualización de microvesículas y exosomas más acertada y limpia de residuos vesiculares, lipoproteína o partículas virales que pueden enmascarar los datos. Las EV obtenidas de células transducidas con CD9-GFP servirán como referentes o estándares, en reemplazo de las microesferas o sílice hoy usadas, lo que permite la comparación de futuros ensayos con EV y sienta las bases para futuras investigaciones sobre el papel preciso de CD9 en la biogénesis de EV y su potencial aplicabilidad en investigación biomédica.

Referencias

- Bazzan, E., Tinè, M., Casara, A., Biondini, D., Semenzato, U., Cocconcelli, E., Balestro, E., Damin, M., Radu, C., Turato, G., Baraldo, S., Simioni, P., Spagnolo, P., Saetta, M., & Cosio, M. (2021). Critical review of the evolution of extracellular vesicles' knowledge: From 1946 to today. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(12). <https://doi.org/10.3390/ijms22126417>
- Burnouf, T., Chou, M., Lundy, D., Chuang, E., Tseng, C. & Goubran, H. (2023). Expanding applications of allogeneic platelets, platelet lysates, and platelet extracellular vesicles in cell therapy, regenerative medicine, and targeted drug delivery. *Journal of Biomedical Science*, 30(1). <https://doi.org/10.1186/s12929-023-00972-w>
- Fernández-Delgado, I., Calzada-Fraile, D. & Sánchez-Madrid, F. (2020). Immune regulation by dendritic cell extracellular vesicles in cancer immunotherapy and vaccines. *Cancers*, 12(12), 1–23. <https://doi.org/10.3390/cancers12123558>
- Jia, Y., Yu, L., Ma, T., Xu, W., Qian, H., Sun, Y. & Shi, H. (2022). Small extracellular vesicles isolation and separation: Current techniques, pending questions and clinical applications. *Theranostics*, 12(15), 6548–6575. <https://doi.org/10.7150/thno.74305>
- Ju, Y., Bai, H., Ren, L. & Zhang, L. (2021). The role of exosome and the ESCRT pathway on enveloped virus infection. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(16). <https://doi.org/10.3390/ijms22169060>
- Mathieu, M., Névo, N., Jouve, M., Valenzuela, J., Maurin, M., Verweij, F., Palmulli, R., Lankar, D., Dingli, F., Loew, D., Rubinstein, E., Boncompain, G., Perez, F. & Théry, C. (2021). Specificities of exosome versus small ectosome secretion revealed by live intracellular tracking of CD63 and CD9. *Nature Communications*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24384-2>
- van der Pol, E., van Leeuwen, T. & Yan, X. (2021). Misinterpretation of solid sphere equivalent refractive index measurements and smallest detectable diameters of extracellular vesicles by flow cytometry. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03015-2>
- Popowski, K., Moatti, A., Scull, G., Silkstone, D., Lutz, H., López, B., George, A., Belcher, E., Zhu, D., Mei, X., Cheng, X., Cisló, M., Ghodsi, A., Cai, Y., Huang, K., Li, J., Brown, A., Greenbaum, A., Dinh, P. & Cheng, K. (2022). Inhalable dry powder mRNA vaccines based on extracellular vesicles. *Matter*, 5(9), 2960–2974. <https://doi.org/10.1016/j.matt.2022.06.012>
- Tiwari, S., Kumar, V., Randhawa, S. & Verma, S. (2021). Preparation and characterization of extracellular vesicles. *American Journal of Reproductive Immunology*, 85(2). <https://doi.org/10.1111/aji.13367>

Yáñez-Mó, M., Siljander, P., Andreu, Z., Zavec, A., Borràs, F., Buzas, E., Buzas, K., Casal, E., Cappello, F., Carvalho, J., Colás, E., Cordeiro-da Silva, A., Fais, S., Falcon-Perez, J., Ghobrial, I., Giebel, B., Gimona, M., Graner, M., Gursel, I., ... de Wever, O. (2015). Biological properties of extracellular vesicles and their physiological functions. *Journal of Extracellular Vesicles*, 4(15), 1–60.
<https://doi.org/10.3402/jev.v4.27066>

Exploración de tendencias en plataformas tecnológicas online para la agricultura sostenible

Exploring trends in online technological platforms for sustainable agriculture

Sandra Cecilia Bautista Rodríguez¹ y Vladimir A. Melgarejo Carreño²

Resumen

Este texto examina el impacto de las plataformas tecnológicas en la agricultura, hace hincapié en su uso en diversos aspectos de la industria, desde el desarrollo de la tecnología agrícola hasta la gestión de las cadenas de suministro y la comercialización de productos. La discusión también destaca cómo las tecnologías emergentes como la inteligencia artificial, el internet de las cosas y el Big Data se están integrando en estas plataformas para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad en la agricultura. El análisis de tendencias, utilizando el *software* VOSViewer, revela las últimas usadas en investigación, relacionadas con la inteligencia artificial, el internet de las cosas, la agricultura digital, las plataformas digitales y las recomendaciones inteligentes. En general, el texto afirma que estas plataformas tecnológicas están mejorando los procesos de toma de decisiones de los agricultores, aumentando la productividad, reduciendo los costos y promoviendo la sostenibilidad en la industria. El texto también reconoce el apoyo brindado por la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación del Gobierno de Cundinamarca, Colombia. En conclusión, este artículo destaca la importancia de investigar y desarrollar nuevas soluciones tecnológicas para abordar los desafíos del sector agrícola y mejorar la calidad de vida de los agricultores y la seguridad alimentaria mundial.

Palabras clave: plataformas tecnológicas en agricultura; tecnologías emergentes en agricultura; tendencias en investigación de plataformas tecnológicas.

Créditos

- ¹ Universidad Central, doctora en Ingeniería de Sistemas Industriales. <https://orcid.org/0000-0002-9856-4706>. sbautistar2@ucentral.edu.co
- ² Universidad Central, doctor en Agroecología. <https://orcid.org/0000-0003-4572-331X>

Cómo citar:

Bautista, S. & Melgarejo, V. (2022). Exploración de tendencias en plataformas tecnológicas online para la agricultura sostenible. *Ingeciencia*, 8, 101-112.

Abstract

This text examines the impact of technology platforms in agriculture, emphasizing their application across various aspects of the industry, from agricultural technology development to supply chain management and product marketing. The discussion also highlights how emerging technologies, such as artificial intelligence, the internet of things, and big data, are being integrated into these platforms to enhance efficiency and sustainability in agriculture. A trend analysis using VOSViewer software reveals the latest research applications related to artificial intelligence, the internet of things, digital agriculture, digital platforms, and smart recommendations. Overall, the text suggests that these technology platforms are improving farmers' decision-making processes, increasing productivity, reducing costs, and promoting sustainability in the industry. The text also acknowledges the support provided by the Secretariat of Science, Technology, and Innovation of the Government of Cundinamarca, Colombia. In conclusion, this article underscores the importance of researching and developing new technological solutions to address challenges in the agricultural sector and to enhance both the quality of life for farmers and global food security.

Keywords: Technological Platforms in Agriculture; Emerging Technologies in Agriculture; Trends in Agricultural Platforms Research.

1. Introducción

En la última década, las plataformas tecnológicas para la agricultura se han multiplicado exponencialmente. La variedad de propósitos de las plataformas, tipos de almacenamiento y procesamiento de datos, inteligencia artificial, entre otros, genera incertidumbre y desafíos para entender sus tendencias. En este sentido, el objetivo de esta exploración es acercarse a las tendencias de la investigación sobre plataformas tecnológicas en agricultura. Para ello se utilizó como metodología una revisión bibliográfica basada en la producción científica de artículos, presentaciones de conferencias, capítulos de libros y libros, en dos bases de datos reconocidas, Scopus y Web of Science. La generación de clústeres se utilizó como análisis a través del *software* bibliométrico VOSViewer.

2. Teorías existentes y trabajos anteriores

Las plataformas de tecnología agrícola se refieren a una infraestructura digital que integra tecnologías avanzadas y herramientas informáticas para mejorar la eficiencia y la productividad en el sector agrícola. Estas plataformas pueden incluir una variedad de tecnologías como inteligencia artificial, análisis de datos, internet de las cosas (IoT), robótica y automatización, entre otras. Las plataformas tecnológicas pueden ser diseñadas para asistir en diferentes aspectos de la agricultura, como el monitoreo climático, manejo del agua, fertilización, control de plagas y enfermedades, manejo de la cadena de suministro, optimización de cultivos, etc. En general, las plataformas tecnológicas agrícolas buscan mejorar la eficiencia y la productividad, reducir los costos, aumentar la calidad de los productos y promover prácticas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

En el marco de las plataformas tecnológicas existen algunas de innovación, cuyo objetivo desde 1999, según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (1999), es la introducción y utilización de nuevos conocimientos (tecnológicos o de otro tipo) en un proceso social o económico. Una plataforma de innovación puede comenzar como una red de trabajo informal y luego pasar a estructuras más formales que incluyan actores públicos, privados y otros cooperantes, con el objetivo de aumentar su autosuficiencia en un tema (Schut *et al.*, 2017).

De acuerdo con Schut *et al.* (2019):

El principio básico es que las partes interesadas dependen unas de otras para lograr resultados de desarrollo agrícola y, por lo tanto, necesitan un espacio donde puedan aprender, negociar y coordinar para superar los desafíos y aprovechar las oportunidades mediante un proceso de innovación facilitado. (p. 575)

Las plataformas tecnológicas de agricultura de precisión se basan generalmente en la web, en suscripciones y combinan diversas fuentes de información. Por lo general, son “cajas de herramientas” diseñadas para ayudar a los agricultores y agrónomos a gestionar sus cultivos. Combinan imágenes satelitales y de vehículos aéreos no tripulados con sensores montados en tractores para ofrecer datos pertinentes obtenidos mediante teleobservación, independientemente de las condiciones meteorológicas (Wyniawskyj *et al.*, 2019).

Otro tipo son las “plataformas empresariales” que incorporan modelos en los que las organizaciones son intermediarias en el sector agrícola y generan conexiones valiosas entre las partes interesadas (Evans & Gawer, 2016). Las partes ofrecen voluntariamente sus activos y utilizan los datos para crear valor y movilizar activos físicos, laborales o digitales de las partes sobre la base de un objetivo común (Parker *et al.*, 2017). La plataforma permite a las partes interactuar entre sí mediante la distribución de costos

y la internalización de beneficios. Así pues, las plataformas perfeccionan su servicio y siguen siendo pertinentes para las comunidades y los entornos que evolucionan continuamente (Turland & Slade, 2020).

3. Métodos

Se llevó a cabo una búsqueda exploratoria formal de literatura científica para proporcionar una visión general del tratamiento que se ha dado a las tecnologías relacionadas con las plataformas para el sector agrícola. Este enfoque establece los parámetros de búsqueda definidos en la tabla 1.

Tabla 1. Pasos y criterios de revisión de literatura

Paso	Criterio	Descripción
Estrategia de búsqueda	Tipo de estudio	Artículos científicos, actas de conferencias, capítulos de libros y libros.
	Ecuación booleana en inglés	TITLE-ABS-KEY ("agriculture platform" OR "platform for agricultural" OR "e-Platform agricultural" OR "platform agricultural" OR "Agriculture Platforms" OR "platforms for agricultural" OR "platform in agricultural")
	Ecuación booleana en español	TÍTULO-RESUMEN-PALABRA CLAVE ("plataforma agrícola" O "plataforma para agricultura" O "plataforma electrónica agrícola" O "plataforma agrícola" O "plataformas agrícolas" O "plataformas para agricultura" O "plataforma en agricultura")
	Periodo	2001 a enero de 2023
	Base de datos	Scopus, Web of Science
Analítica	Análisis de clúster y tendencias	Software VOS Viewer
Selección	Inclusión	Acceso completo al título, resumen y palabras clave
	Exclusión	Documentos aplicados a un sector distinto de la agricultura
		Documentos duplicados Documentos que no cumplen los criterios de tipo de estudio

4. Resultados

Al aplicar los criterios de búsqueda mencionados anteriormente, se encontraron 135 resultados en la base de datos Scopus y 30 en la Web of Science. Los resultados obtenidos se compararon aplicando el paso de selección y se encontraron 3 nuevos documentos en la base de datos de la Web of Science, dando como resultado un total de 138 estudios. A continuación, se aplicaron a estos estudios análisis de clúster y tendencias.

4.1. Evolución temporal de los estudios

Se observó un aumento significativo en el período analizado, pasó de 1 documento en 2001 a 20 documentos en 2022. Al trazar una línea de tendencia, se observó que el

comportamiento del gráfico tiende hacia un crecimiento exponencial, lo que indica un creciente interés en la comunidad científica por el tema de las plataformas tecnológicas en el sector agrícola (ver figura 1). Por lo tanto, se refuerza el argumento de este estudio que enfatiza en la necesidad de investigación y desarrollo en este campo.

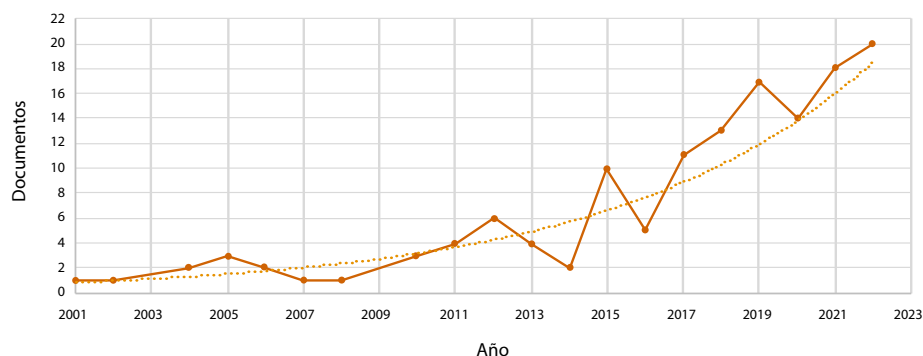


Figura 1. Documentos por año

4.2 Análisis de relación entre los estudios y los países que los generan

Hay varios países que lideran el desarrollo de plataformas de tecnología agrícola en todo el mundo. Algunos de los más destacados se presentan a continuación:

- Estados Unidos: el país cuenta con una amplia gama de empresas y *startups* de tecnología agrícola que desarrollan herramientas como drones, sensores, *software* de análisis de datos y aplicaciones móviles para el monitoreo y manejo de cultivos.
- Israel: es famosa por su tecnología de riego por goteo y ha desarrollado tecnologías avanzadas de control climático y sensores para el monitoreo de cultivos.
- China: tiene una industria emergente de tecnología agrícola que se centra en el desarrollo de inteligencia artificial, robótica y drones para la agricultura.
- Países Bajos: destaca por sus avanzadas soluciones tecnológicas en el campo de la horticultura, como la agricultura de invernadero y la iluminación led para el cultivo de plantas.
- Australia: está desarrollando tecnologías avanzadas de monitoreo de cultivos, incluyendo sensores, drones y satélites.

Además de los países mencionados, es crucial reconocer que muchos otros territorios a nivel mundial están haciendo inversiones significativas en tecnología agrícola, para forjar soluciones innovadoras destinadas a potenciar la eficiencia y productividad en el ámbito agrícola. La diversidad de enfoques y avances en este sector es palpable, como lo evidencia la figura 2, que destaca a los países líderes en esta esfera, medido por el número de publicaciones. Asimismo, en la región de Latinoamérica, se destaca el compromiso de Brasil con cinco publicaciones, mientras que Colombia

también contribuye con dos publicaciones en el periodo analizado. Este panorama global resalta la naturaleza dinámica y colaborativa de los esfuerzos internacionales para impulsar la innovación y el progreso en la agricultura mediante la implementación de tecnologías avanzadas.

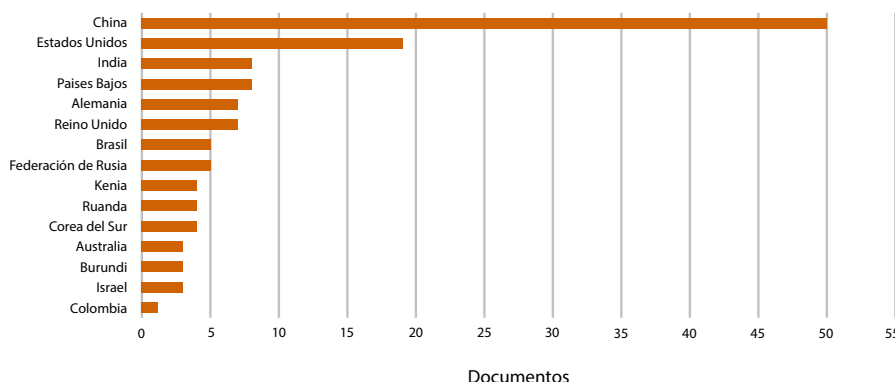


Figura 2. Documentos generados por países

Nota. Muestra de 15 países de un total de 26.

4.3 Análisis de clúster y tendencias

4.3.1 Análisis de clúster

Mediante el *software* de uso libre VOSViewer es posible realizar una observación de densidad en el contexto de técnicas de análisis de redes, hace referencia a la medida de cuántos vínculos o conexiones existen en relación con el número total posible de conexiones en una red. Este análisis es comúnmente utilizado en el campo de la teoría de redes para comprender la estructura y la conectividad de sistemas complejos. En términos generales, la densidad de una red se calcula al dividir el número real de conexiones presentes entre los nodos por el número total de conexiones posibles en la red. La densidad puede proporcionar información sobre la cohesión y la complejidad de la red. Una red densa tiende a tener más conexiones relativas, mientras que una red menos densa tiene menos conexiones en comparación con el número total posible.

Bajo un análisis de visualización de densidad, que se muestra en la figura 3, se observa una mayor densidad de vínculos con las temáticas analizadas en los artículos en relación a agricultura, inteligencia artificial (IA), aprendizaje automático, aprendizaje profundo, vehículos aéreos no tripulados (UAV) y redes neuronales convolucionales (CNR). Vale la pena señalar que el aprendizaje automático y el aprendizaje profundo son dos tipos de IA. El aprendizaje automático es la IA que puede adaptarse automáticamente con mínima interferencia humana, mientras que el aprendizaje profundo es un subconjunto de aprendizaje automático que utiliza redes neuronales artificiales

para imitar el proceso de aprendizaje del cerebro humano. Ambos tipos de aprendizaje están vinculados con UAV y CNR, código abierto, *big data*, agricultura digital y *cloud computing*.



Figura 3. Diagrama de densidad

A partir del análisis de densidad, se observa una serie de *clústeres* y se investigan ejemplos de plataformas que permitan mostrar con mayor claridad la aplicación de dicho *clúster* de investigación. (ver tabla 2).

Tabla 2. Agrupaciones identificadas y ejemplos de plataformas tecnológicas en la agricultura asociadas a las agrupaciones

Clúster	Ejemplos
Sistema de innovación agropecuario	Digital Green: es una organización sin fines de lucro que utiliza la tecnología para capacitar a los agricultores en técnicas agrícolas sostenibles y conectarlos con expertos en la materia. Digital Green utiliza vídeos educativos y aplicaciones móviles para ayudar a los agricultores a mejorar sus prácticas agrícolas y aumentar sus rendimientos. https://www.digitalgreen.org/
	FarmLogs: es una plataforma de gestión de cultivos que utiliza sensores, análisis de datos y aplicaciones móviles para ayudar a los agricultores a tomar decisiones informadas sobre la gestión de sus cultivos. FarmLogs proporciona información sobre el clima, el suelo y la salud de los cultivos para ayudar a los agricultores a optimizar sus prácticas agrícolas. https://www.farmlogs.com/
	AGvisorPRO: es una plataforma que conecta a los agricultores con expertos en agricultura en tiempo real. AGvisorPRO permite a los agricultores conectarse con asesores técnicos, consultores financieros y otros expertos en agricultura para obtener información y asesoramiento sobre cuestiones específicas en sus operaciones agrícolas. https://www.agvisorpro.com/

Continúa...

... viene.

Clúster	Ejemplos
Sistema de innovación agropecuario	Granular: es una plataforma de <i>software</i> que ayuda a los agricultores a gestionar sus operaciones agrícolas de manera más eficiente. Granular utiliza tecnologías como el análisis de datos, la inteligencia artificial y la automatización para ayudar a los agricultores a tomar decisiones informadas sobre el manejo de los cultivos y la rentabilidad. https://granular.ag/
Agricultura robot	Blue River Technology: es una empresa que utiliza robots para el control de malas hierbas en los cultivos. Su robot llamado See & Spray utiliza tecnología de visión artificial para identificar malezas individuales y luego aplica selectivamente herbicida a las malas hierbas detectadas. El objetivo es reducir el uso de herbicidas y aumentar la eficiencia en el manejo de malas hierbas. https://www.bluerivertechnology.com/
	Naio Technologies: es una empresa que desarrolla robots agrícolas para la gestión de cultivos. Ofrece robots para el desmalezado, la poda y la cosecha de frutas y verduras. Estos robots se pueden programar para trabajar en diferentes cultivos y terrenos. https://www.naio-technologies.com/en/
	AGCO Corporation: es una empresa de maquinaria agrícola que ha desarrollado el robot Fendt Xaver. Este robot autónomo utiliza tecnología de radar y sensores para llevar a cabo tareas como la siembra y la fertilización. https://www.agcocorp.com/
	Harvest Automation: es una empresa que desarrolla robots para la gestión logística en invernaderos y viveros. Sus robots pueden mover ollas, bandejas y otros productos para ayudar a los agricultores a ahorrar tiempo y reducir los costos de mano de obra. https://harvestai.com/
Cadena de suministro agrícola	Agrofy: es una plataforma que conecta a los agricultores con los proveedores y compradores de productos agrícolas. Agrofy proporciona herramientas para la gestión de la cadena de suministro, incluida la planificación de la producción, la gestión de pedidos y la logística. https://www.agrofy.com/
	TE-FOOD: es una plataforma de seguimiento de la cadena de suministro de alimentos que utiliza tecnología <i>blockchain</i> . TE-FOOD proporciona soluciones para el seguimiento de la producción, logística y distribución de alimentos, lo que permite a los consumidores rastrear los productos de la granja a la mesa. https://www.te-food.com/
	AgUnity: es una plataforma que utiliza tecnología <i>blockchain</i> para ayudar a los agricultores a rastrear la producción y venta de sus productos. AgUnity ofrece una aplicación móvil que permite a los agricultores registrar sus transacciones de forma segura y transparente, lo que ayuda a garantizar precios justos y una cadena de suministro más eficiente. https://www.agunity.com/
	Farmforce: es una plataforma que utiliza tecnología móvil para ayudar a los agricultores a rastrear la producción y venta de sus productos. Farmforce proporciona herramientas para la planificación de la producción, gestión de inventarios y logística, lo que permite a los agricultores conectarse con compradores y vender sus productos a precios justos. https://www.farmforce.com/
Plataformas de comercio electrónico	Mercado Libre Agro: es una plataforma de comercio electrónico para la venta de productos agrícolas en América Latina. Mercado Libre Agro conecta a los agricultores con compradores y ofrece herramientas para la gestión de pedidos y logística. https://www.mercadolibre.com.ar/categoria/agro-industria
	Farmy.ch: es una plataforma de comercio electrónico para la venta de productos orgánicos y locales en Suiza. Farmy.ch conecta a los agricultores con compradores y ofrece entrega a domicilio en toda Suiza. https://www.farmy.ch/
	Agroop: Es una plataforma que conecta a los agricultores con compradores y ofrece herramientas para la gestión de pedidos y logística. Agroop también proporciona herramientas para la planificación de la producción y el seguimiento de cultivos. https://www.agroop.net/

Continúa...

... viene.

Clúster	Ejemplos
Plataformas de comercio electrónico	<p>Agricool: es una plataforma que utiliza tecnología de agricultura en interiores para producir frutas y verduras frescas y locales en áreas urbanas. Agricool vende sus productos directamente a los consumidores a través de su sitio web y aplicación móvil. https://agricool.co/en/</p>
Agricultura inteligente	<p>Taranis: es una plataforma que utiliza tecnología de inteligencia artificial y aprendizaje automático para ofrecer soluciones de seguimiento y monitoreo de cultivos. Taranis usa drones y satélites para recolectar imágenes de alta resolución de los campos y proporciona información detallada sobre la salud de los cultivos, fertilización e irrigación. https://www.taranis.ag/</p>
	<p>Plataforma Prospera (https://www.prospera.ag/), Plataforma Agrosmart (https://agrosmart.com.br/) y Plataforma Climate FieldView (https://climatefieldview.com/): las tres plataformas utilizan tecnología de inteligencia artificial y análisis de datos para ofrecer soluciones de monitoreo y análisis de cultivos. Todas utilizan sensores para recopilar datos sobre los cultivos y proporciona información detallada sobre la salud de los cultivos, fertilización e irrigación.</p>
	<p>Adicionalmente las plataformas Agrosmart y Climate FieldView también ofrece herramientas de planificación de cultivos y ayuda a los agricultores a tomar decisiones informadas sobre la gestión de sus tierras.</p>
Aplicaciones móviles	<p>FarmLogs (https://farmlogs.com/) y Granular (https://granular.ag/): son dos plataformas similares usadas en la gestión de cultivos. Cada una ofrece una aplicación móvil que permite a los agricultores seguir datos de campo como el clima, las operaciones agrícolas y las tareas de mantenimiento. También ofrece herramientas de planificación y análisis de cultivos.</p>
	<p>AgriSync: es una plataforma que ofrece una aplicación móvil que permite a los agricultores conectarse con expertos en tiempo real para recibir consejos y soluciones a problemas de los cultivos. La aplicación también ofrece herramientas de seguimiento de problemas y solución de fallas en el cultivo. https://www.agrisync.com/</p>
	<p>Agworld: es una plataforma de gestión de cultivos que ofrece una aplicación móvil para ayudar a los agricultores a hacer un seguimiento de sus operaciones en el campo, incluyendo la planificación de cultivos, el seguimiento de insumos y la elaboración de informes. La aplicación también ofrece herramientas de análisis de datos y planificación de cultivos. https://www.agworld.com/</p>
Agricultura y desarrollo sostenible	<p>AgriFin: es una plataforma creada por el Banco Mundial que se enfoca en el desarrollo de servicios financieros para pequeños agricultores y empresas agrícolas. La plataforma ofrece recursos y herramientas para ayudar a los agricultores a mejorar sus prácticas agrícolas y acceder a financiamiento. https://www.agrifinfacility.org/</p>
	<p>CGIAR: es una organización global de investigación agrícola que trabaja en colaboración con socios locales y regionales para mejorar la productividad y sostenibilidad de la agricultura. La organización ofrece soluciones tecnológicas e innovadoras para abordar los desafíos agrícolas globales, como la seguridad alimentaria y la gestión de los recursos naturales. https://www.cgiar.org/</p>
	<p>CTA: es una organización que se enfoca en el uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) para mejorar la agricultura y el desarrollo rural en los países en desarrollo. La organización trabaja en colaboración con socios locales para desarrollar soluciones innovadoras y proporcionar recursos y herramientas para los agricultores y las empresas agrícolas. https://www.cta.int/</p>
	<p>Agribusiness TV: es una plataforma que se enfoca en el desarrollo de negocios agrícolas en África. La plataforma proporciona recursos y herramientas para ayudar a los agricultores y emprendedores a mejorar sus prácticas agrícolas y desarrollar negocios sostenibles. Además, ofrece videos educativos y estudios de caso para inspirar a otros a seguir el camino del éxito en el agronegocio. https://www.agribusinesstv.info/</p>

4.3.2 Análisis de tendencias

A través del ejercicio realizado con el *software* VOSViewer es posible analizar la temporalidad en el estudio de los temas identificados en los *clusters*. Así es cómo se clasifican los temas según el año de publicación vinculado al artículo donde se abordaron. En el

4.3.3 Aporte y contribuciones

5. Conclusiones

Universidad Central • Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas • Ingeciencia, vol. 8, 2023 | 110

Además hemos explorado el papel que juegan la inteligencia artificial, el internet de las cosas, el *big data* y otras tecnologías emergentes en la recolección y análisis de grandes volúmenes de datos y cómo estas tecnologías contribuyen a mejorar la eficiencia y la sostenibilidad en el ámbito agrícola.

En general, estas plataformas tecnológicas están ayudando a los agricultores a tomar decisiones más informadas, a optimizar la productividad y eficiencia en la producción de alimentos, a reducir costos y a fomentar la sostenibilidad en el sector agrícola. En la medida en que la tecnología sigue transformando la agricultura, es crucial continuar investigando y desarrollando nuevas soluciones tecnológicas para enfrentar los desafíos actuales y futuros del sector, mejorar la calidad de vida de los agricultores y fortalecer la seguridad alimentaria a nivel global.

Agradecimientos

Agradecemos a la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Gobernación de Cundinamarca, Colombia.

Referencias

- Evans, P. & Gawer, A. (2016). *The Rise of the Platform Enterprise: A Global Survey*. The Center for Global Enterprise, University of Surrey. <https://bit.ly/48wS2Zi>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. (1999). *Managing National Innovation Systems*.
- Parker, G., van Alstyne, M. & Jiang, X.(2017). Platform ecosystems: how developers invert the firm. *MIS Quarterly*, 41(1). <https://www.jstor.org/stable/26629646>
- Schut, M., Andersson, J., Dror, I., Kamanda, J., Sartas, M., Mur, R., Kassam, S., Brouwer, H., Stoian, D., Devaux, A., Velasco, C., Gramzow, A., Dubois, T., Flor, R., Gummert, M., Buizer, D., McDougall, C., Davis, K., Homann-Kee Tui, S. & Lundy, M. (2017). *Guidelines for Innovation Platforms in Agricultural Research for Development: decision support for research, development and funding agencies on how to design, budget and implement impactful Innovation Platforms*. International Institute of Tropical Agriculture & Wageningen University bajo la CGIAR Research Program on Roots Tubers and Bananas (RTB). <https://bit.ly/3WDzIWZ>
- Schut, M., Kamanda, J., Gramzow, A., Dubois, T., Stoian, D., Andersson, J., Dror, I., Sartas, M., Mur, R., Kassam, S., Brouwer, H., Devaux, A., Velasco, C., Flor, R., Gummert, M. Buizer, D., McDougall, C. Davis, K., Homann-Kee Tui, S. & Lundy, M. (2019). Innovation platforms in agricultural research for development: ex-ante appraisal of the purposes and conditions under which innovation platforms can contribute to agricultural development outcomes. *Experimental Agriculture*, 55(4), 575-596. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0014479718000200>

- Turland, M. & Slade, P. (2020). Farmers' willingness to participate in a big data platform. *Agribusiness*, 36(1), 20–36. DOI: <https://doi.org/10.1002/agr.21627>
- Wyniaowskyj, N., Napiorkowska, M., Petit, D., Podder, P., Wilson, J. & Woods, D. (28 de julio-2 de agosto, 2019). *KORE application: potatoes yield assessment* [Conferencia]. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Yokohama Japón. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2019.8898996>

Ética y el uso de IA en el diseño gráfico: de la controversia a la colaboración creativa

Ethics and AI use in graphic design: from controversy to creative collaboration

Camilo Orlando Gamboa¹, Guillermo Humberto Licir¹ y Cristian Camilo Fandiño¹

Resumen

La integración de la inteligencia artificial (IA) en el diseño gráfico ha generado un intenso debate en la comunidad creativa, que plantea interrogantes fundamentales sobre la autenticidad artística, la propiedad intelectual y el futuro de la profesión. Este artículo examina la evolución del diseño gráfico desde sus orígenes hasta la era digital actual y analiza el impacto transformador de herramientas de IA como MidJourney, DALL-E y Stable Diffusion. A través del análisis de debates en plataformas sociales como X (anteriormente Twitter) y Reddit, se exploran las perspectivas contrastantes de los profesionales del diseño: desde aquellos que ven la IA como una amenaza para la creatividad humana hasta quienes la abrazan como una herramienta complementaria. La investigación revela que mientras el 35 % de los diseñadores expresan preocupación por el futuro de su profesión, estudios de Adobe indican un aumento del 30 % en la productividad entre quienes integran la IA en su flujo de trabajo. El artículo también aborda casos emblemáticos como la controversia de *Secret invasion* de Marvel Studios y el retrato de Edmond Belamy, que ilustran los desafíos y oportunidades de esta tecnología. Se concluye que la IA, más que un reemplazo, representa un aliado potencial que puede liberar a los diseñadores de tareas rutinarias y permitirles enfocarse en aspectos más estratégicos y creativos de su trabajo, siempre que se mantenga un equilibrio entre la automatización y la visión artística humana.

Palabras clave: arte generativo, creatividad digital, diseño gráfico, ética del diseño, inteligencia artificial.

Créditos

Autores

¹ Estudiantes de décimo semestre del programa de Ingeniería en Sistemas, Facultad de Ingeniería de la Universidad Central 2024

Cómo citar:

Gamboa, C., Licir G. & Fandiño, C. (2022). Ética y el uso de IA en el diseño gráfico: de la controversia a la colaboración creativa. *Ingeciencia*, 8, 113-125.

Abstract

The integration of artificial intelligence (AI) in graphic design has generated intense debate within the creative community, raising fundamental questions about artistic authenticity, intellectual property and the future of the profession. This article examines the evolution of graphic design from its origins to today's digital age, analyzing the transformative impact of AI tools such as MidJourney, DALL-E and Stable Diffusion. Through the analysis of debates on social platforms such as X (formerly Twitter) and Reddit, the contrasting perspectives of design professionals are explored: from those who see AI as a threat to human creativity to those who embrace it as an additional tool. Research reveals that while 35% of designers express concern about the future of their profession, Adobe studies indicate a 30% increase in productivity among those who integrate AI into their workflow. The article also addresses emblematic cases such as the controversy of *Secret Invasion* by Marvel Studios and the portrait of Edmond Belamy, which illustrate the challenges and opportunities of this technology. It is concluded that AI, rather than a replacement, represents a potential ally that can free designers from routine tasks, allowing them to focus on more strategic and creative aspects of their work, provided that a balance is maintained between automation and human artistic vision.

Keywords: generative art, digital creativity, graphic design, design ethics, artificial intelligence.

1. Introducción

La inteligencia artificial transforma el diseño gráfico significativamente desde la automatización de tareas rutinarias, hasta la generación de imágenes plenamente nuevas. Sin embargo, no está exento de discusión. La colaboración entre humanos y máquinas puede aumentar la creatividad, al permitir que los programas informáticos sugieran opciones de diseño y añadan valor al proceso creativo (Earnshaw & Liggett, 2023, 65-71).

El debate ético en torno al uso de IA en el diseño gráfico es multifacético. Algunos ven en la IA una amenaza directa a sus medios de vida (Engawi *et al.*, 2022), preocupados por la posibilidad de ser reemplazados por algoritmos que generen logotipos, ilustraciones o incluso identidades visuales completas con un solo clic.

Los algoritmos constituyen el núcleo fundamental de la computación moderna, son procesos finitos y bien definidos que resuelven problemas específicos (O'Regan, 2023).

En el contexto de la generación de imágenes por IA, las tecnologías predominantes incluyen las redes generativas adversarias (GAN) y los modelos de difusión, que han demostrado ser altamente eficaces en la creación de imágenes realistas (Trevisan *et al.*, 2023).

Estos sistemas han revolucionado la manera en la que creamos y manipulamos imágenes digitales, lo que permite la generación de nuevas imágenes a partir de diferentes tipos de datos, como texto, gráficos y escenas (Elasri *et al.*, 2022).

Todo esto se refleja en plataformas como X (Twitter) y Reddit, en donde los diseñadores expresan sus preocupaciones hacia la creatividad y el impacto en la innovación del arte generado por IA. Esta incertidumbre por la creatividad y la autenticidad de las obras generadas por IA plantea preguntas fundamentales sobre la ética en el ingenio del arte y el diseño. ¿En qué punto debería permitirse que la IA participe en el tratamiento creativo?, ¿cómo pueden los diseñadores mantener su importancia en un panorama en plena evolución?

Este artículo explora estas preguntas y propone una perspectiva equilibrada entre ambos puntos de pensamiento. La primera perspectiva proviene de los diseñadores gráficos más tradicionales con su descontento expresado en redes sociales y la perspectiva de los diseñadores más entusiastas que creen que la IA sirve como una herramienta. La finalidad no es solamente adaptarse al cambio, sino adoptar estas nuevas tecnologías de manera que fortalezcan la identidad y la vigencia de la profesión del diseño gráfico.

En el presente documento, en el apartado 2, se habla un poco del diseño gráfico y su evolución en las secciones 3 y 4 se explican aspectos de la inteligencia artificial y su impacto en la industria del diseño gráfico, respectivamente. En el apartado 5 se analiza el debate en redes sociales entre la comunidad del diseño gráfico frente a la idea del arte hecho por IA; y en la última sección se encontrará una conclusión que envuelve todo lo visto en el documento junto con las opiniones de los autores sobre la idea de la inteligencia artificial junto con el diseño gráfico.

2. El diseño gráfico y su evolución

Los orígenes del diseño gráfico se remontan a las primeras formas de comunicación visual humana, desde las pinturas rupestres hasta los manuscritos iluminados medievales; sin embargo, como disciplina formal, emergió durante la Revolución Industrial, cuando la necesidad de comunicar mensajes comerciales y sociales a gran escala se volvió imperativa (Eskilson, 2019). El término “diseño gráfico” fue acuñado por William Addison Dwiggins en 1922 y marcó un punto de inflexión en la profesionalización de esta disciplina (Maher, 2021).

El diseño gráfico trasciende la mera experiencia visual-óptica, pues integra una perspectiva epistemológica que considera la visualidad como un fenómeno multisensorial y construido; el acto de ver no es simplemente un proceso cognitivo, sino una experiencia que involucra todos los sentidos y depende del cuerpo y la alteridad. Esta concepción amplia del diseño gráfico resalta la importancia del cuerpo como la génesis de la experiencia creativa y la semiosis de los artefactos diseñados (Peña, 2020). La evolución tecnológica del siglo XX transformó radicalmente la práctica del diseño gráfico, el campo se expandió para abarcar múltiples áreas: desde la creación de logotipos y la impresión, hasta el diseño de interfaces y empaquetado (Morales & González, 2021).

En la era digital, las tabletas gráficas y las aplicaciones móviles han transformado fundamentalmente la manera en la que los diseñadores crean y presentan sus obras. El surgimiento del internet y las redes sociales han ampliado exponencialmente las oportunidades para que los diseñadores alcancen un público global (Castro, 2023).

Las herramientas de diseño impulsadas por IA pueden generar rápidamente una gran cantidad de conceptos creativos y borradores de diseño y proporcionan a los diseñadores nuevas fuentes de inspiración. Sin embargo, esta revolución tecnológica plantea interrogantes fundamentales como ¿en qué punto debería permitirse que la IA participe en el tratamiento creativo?, ¿cómo pueden los diseñadores mantener su importancia en un panorama en plena evolución? Sobre la naturaleza de la creatividad y el papel del diseñador humano (O'Toole & Horvát, 2024), la preocupación surge ante la posibilidad de que una dependencia excesiva de estas herramientas pueda afectar la creatividad original de los diseñadores a través de la automatización (Liu & Liu, 2024).

3. Transformación de la industria del diseño gráfico por la IA: oportunidades y desafíos

La inteligencia artificial ha transformado radicalmente la industria del diseño gráfico con el surgimiento de herramientas como MidJourney, DALL-E y Stable Diffusion. Estas plataformas, basadas en modelos de aprendizaje profundo, han democratizado la creación de imágenes de alta calidad y, así, permiten que pequeñas empresas y emprendedores accedan a capacidades que anteriormente requerían años de experiencia técnica (Calvo *et al.*, 2023).

Por un lado, existe una preocupación significativa entre los diseñadores profesionales sobre la automatización de tareas técnicas tradicionalmente manuales. Estudios recientes realizados por World Economic Forum indican que el 35 % de los diseñadores gráficos encuestados manifestaron su inquietud sobre el futuro de su profesión ante la creciente adopción de estas tecnologías (Whiting, 2024).

Por otro lado, además de automatizar las tareas de diseño y generar diseños, la IA también se está utilizando para ayudar a los diseñadores con diversos aspectos de su

trabajo. Esto incluye herramientas que pueden asistir a los diseñadores en tareas como la selección de color, el diseño, la composición y la tipografía (Mustafa, 2023, 3).

Un estudio realizado por Adobe (2024) encontró que los diseñadores que integran IA en su flujo de trabajo informaron un aumento del 30 % en su productividad, ya que podían completar tareas de bajo valor técnico en una fracción del tiempo.

El debate sobre el impacto de la IA en la creatividad del diseño gráfico ha evolucionado más allá de una simple división entre humano y máquina, mientras que algunos argumentan que estas herramientas podrían disminuir la creatividad humana; la realidad es más compleja, la generación efectiva de imágenes mediante IA requiere el desarrollo de una nueva forma de creatividad literaria y conceptual (Croitoru *et al.*, 2024).

Los diseñadores deben desarrollar habilidades sofisticadas en la elaboración de *prompts*, combinando conocimientos técnicos, artísticos y lingüísticos para obtener los resultados deseados; este proceso ha dado origen a una nueva especialización conocida como *prompt engineering* o ingeniería de *prompts* (Korzyński *et al.*, 2023), donde la creatividad se manifiesta en la capacidad de traducir conceptos visuales en descripciones textuales precisas y sugerentes a cerca de la imagen deseada (Sharma & Bozkurt, 2024).

En este sentido, la industria del diseño gráfico podría experimentar una polarización: los diseñadores que se adapten a la IA como una herramienta complementaria podrían prosperar, mientras que aquellos que se resistan a su uso corren el riesgo de quedar relegados (Adobe, 2023). Con todo esto se inició un debate en diferentes foros de internet en plataformas como X y en Reddit.

4. Cuestiones de autenticidad y propiedad intelectual en el diseño gráfico con IA

Uno de los mayores desafíos en la aceptación de la IA en el diseño gráfico es la pregunta de la creación y certeza. Los diseños creados por IA, no técnicamente sofisticados, a menudo carecen del toque particular, el objetivo y el entorno formativo que son esenciales en el arte humano (Li *et al.*, 2024).

Esto lleva a cuestionamientos sobre qué significa ser verdaderamente creativo, pues la IA puede generar una inmensidad de variaciones con solamente unos clics; la crítica es primordial ya que estas herramientas no crean en el sentido tradicional, sino que generan nuevas imágenes a partir de patrones o algoritmos mencionados al inicio de este artículo (Ivcevic & Grandinetti, 2024).

Además, el uso de la IA en la creación de imágenes plantea preocupaciones sobre la propiedad intelectual. Muchas herramientas de IA, como DALL-E o Stable Diffusion, se entrenan con enormes cantidades de datos, que incluyen imágenes y obras de arte de creadores humanos (Hayes, 2024).

Esto ha generado controversia porque, en muchos casos, las imágenes utilizadas para entrenar estas IA no están debidamente licenciadas o atribuidas a los artistas originales. Además de esto, dependiendo de la IA para la generación de imágenes, estas pueden o no generar imágenes con personajes licenciados; si se le pide a la IA generar una imagen, por ejemplo, con un personaje de DC o MARVEL, esta inmediatamente dice que no puede ya que infringe los derechos de autor (Watiktinnakorn *et al.*, 2023).

La IA puede elevar la eficacia y el rendimiento, pero aún plantea preocupaciones sobre el valor del trabajo humano. La capacidad con la que las herramientas de IA pueden generar logotipos, gráficos e ilustraciones ha provocado inquietudes de los diseñadores hacia la pérdida de empleos y la desvalorización de sus habilidades (Spindler, 2019).

Un trabajo que anteriormente requería horas de esfuerzo creativo, ahora puede ser automatizado en minutos, lo que podría llevar a la impresión de que el diseño gráfico se convierte en una simple mercancía en lugar de una forma de arte (Solano-Sánchez *et al.*, 2024).

Se identifican cuatro áreas temáticas principales con varios enfoques técnicos, marcos legales y regulatorios, consideraciones éticas y sociales, y enfoques interdisciplinarios y de múltiples partes interesadas. Estos enfoques buscan avalar que los sistemas de IA sean desarrollados y desplegados de manera transparente, responsable y ética, que promuevan justamente el bienestar individual y benéfico (Cheong, 2024).

5. Debate sobre IA en el diseño gráfico en X y Reddit

El debate sobre el uso de la inteligencia artificial se ha venido desarrollando en las redes sociales X (Twitter) y Reddit y se han convertido en el foco central donde los diseñadores gráficos discuten las implicaciones del uso de la IA en su campo. El tema principal en discusión entre los profesionales en las plataformas se basa en que la IA, por un lado, puede ser una amenaza inminente a su profesión e identidad creativa, mientras que otros, en contraposición, la consideran una oportunidad para optimizar su trabajo y explorar nuevas formas de expresión artística.

Los usuarios que están en contra del uso de la IA en la generación de imágenes que son pasadas como *arte* argumentan que dichas creaciones carecen de *alma* y *creatividad* (VERTI, 2022), características que definen el trabajo de un artista o diseñador humano; afirman que la IA, aunque eficiente, se basa en la reproducción de patrones y datos preexistentes junto con el robo de estilos de los artistas con sus obras para aumentar las bases de datos en su entrenamiento, lo que elimina el aspecto humano de la creatividad. Para muchos, la IA es vista como una forma de *deshumanización* del arte (Carrot, 2024).

Por otro lado, existe un grupo creciente de diseñadores que ha adoptado un enfoque más pragmático, este grupo considera que la IA puede ser una herramienta poderosa para ahorrar tiempo y aumentar la eficiencia, que permite que los diseñadores se concentren en las partes más conceptuales y estratégicas de sus proyectos. Herramientas como DALL-E y MidJourney pueden generar rápidamente bocetos o conceptos visuales preliminares, lo que acelera la fase inicial de un proyecto y ofrece a los diseñadores más tiempo para perfeccionar y personalizar los resultados (Shoemaker, 2024).

Los defensores de la IA argumentan que, en lugar de reemplazar a los diseñadores, la IA debería verse como una extensión de sus habilidades creativas (R/aiArt, 2024).

En este sentido, muchos debates en redes sociales destacan la posibilidad de reinventarse como profesional del diseño. Los diseñadores que están abiertos a la colaboración con la IA suelen explorar nuevas fronteras creativas que antes no eran posibles, experimentan con estilos, técnicas y visualizaciones que los algoritmos pueden proponer. Algunos incluso utilizan la IA como una forma de experimentar con ideas que luego ajustan y perfeccionan manualmente, manteniendo el control sobre la visión final del proyecto (Carlo *et al.*, 2021).

La controversia sobre el uso de la IA en la producción audiovisual alcanzó un punto crítico con el estreno de *Secret invasion* de Marvel Studios (figura 1), la decisión de utilizar IA para crear la secuencia de introducción de la serie generó un intenso debate que trasciende la mera discusión técnica, tocó aspectos fundamentales sobre la autenticidad artística; este caso ejemplifica una preocupación más amplia en la industria del entretenimiento, coincidiendo con movimientos laborales que cuestionan el papel de la IA en la producción creativa.

El retrato de Edmond de Belamy (figura 2) es una obra emblemática que representa la fusión del arte y la tecnología moderna. Creado por el colectivo francés Obvious, este retrato fue generado mediante un algoritmo de inteligencia artificial conocido como GAN (Generative Adversarial Network); la pieza, que muestra a un personaje borroso vestido de negro con camisa blanca, simula el estilo de pintura del siglo XVIII y fue vendida en una subasta por 432 500 dólares, esto marcó un hito en la historia del arte generado por IA (Arbiza, 2020).



Figura 1. Introducción serie de Marvel Studios: Secret invasion

Nota. Adaptado de *Marvel Studios' Thunderbolts poster has a guy with 6 fingers lmao. It's clearly AI generated* [Imagen], por Bock, 2024, X (<https://bit.ly/48ZMUwQ>), en donde se muestra el uso de la IA para la creación de la introducción en la serie.



Figura 2. Retrato de Edmond Belamy

Nota. Adaptado de *A sign of things to come? AI-produced artwork sells for \$433K, smashing expectations* [Imagen], por Allyssia Alleyne, 2018, CNNstyle (<https://bit.ly/3KO7Eh6>), retrato de Edmond Belamy creada por IA vendida por 432 500 dólares.

La integración de la inteligencia artificial en la publicidad ha alcanzado un nuevo hito con la campaña de Ogilvy para La Lechera. Utilizando la herramienta de IA DALL-E, Ogilvy expandió creativamente la escena del icónico cuadro de Vermeer, *La lechera* (figuras 3 y 4), para narrar una historia más amplia en torno al personaje principal. Esta innovadora aplicación de la IA no solo refleja la fusión del arte clásico con la tecnología moderna, sino que también destaca el potencial de la IA en la dirección artística, hasta el punto de ser reconocida como asistente en la ficha técnica de la campaña (Gianatasio, 2022).



Figura 3. La lechera de Johannes Vermeer

Nota. Adaptado de *La lechera* [Pintura], por Vermeer, 1660, Rijksmuseum usado en Art and Culture (<https://bit.ly/4n1Hy7x>), *La lechera* es una de las pinturas más famosas de Vermeer.



Figura 4. La lechera, expansión con DALL-E

Nota. Adaptada de *Nestlé une el arte de Vermeer y la inteligencia artificial en una nueva campaña* [Imagen], por Seara, 2022, MarketingDirecto (<https://bit.ly/3KSUsra>), *La lechera* es una de las pinturas más famosas de Vermeer que fue adaptada por Nestlé en una campaña publicitaria por medio de la IA.

6. Conclusiones. La IA como aliado creativo: colaboración en el diseño gráfico

La fusión de IA y arte digital está dando lugar a tendencias de vanguardia y a la creación de arte generativo, que es el resultado de algoritmos complejos que producen obras visuales únicas. Estas herramientas de IA no solo optimizan los flujos de trabajo,

sino que también permiten a los profesionales centrarse en aspectos más estratégicos y creativos de sus proyectos (Sautoy, 2020).

La transparencia sobre el uso de la IA y la colaboración consciente entre la máquina y el diseñador son clave para mantener la integridad de la originalidad en el diseño gráfico. A medida que la tecnología avanza, es esencial que la industria del diseño gráfico continúe reflexionando y adaptándose a estas nuevas herramientas para asegurar que la originalidad y la creatividad humana sigan siendo el núcleo de la profesión (Mitchell, 2020).

Uno de los principales beneficios de la IA en el diseño gráfico es su capacidad para asumir tareas repetitivas y tediosas. En cualquier proyecto, hay aspectos que no requieren un alto nivel de creatividad, como la producción en masa de variaciones de un diseño o la edición de imágenes. La automatización de estos procesos mediante IA libera a los diseñadores para que se concentren en las etapas más artísticas y conceptuales del trabajo.

Otro aspecto importante de esta colaboración es que la IA puede servir como un punto de partida para los diseñadores. Los algoritmos de IA, al analizar y aprender de millones de imágenes, pueden generar ideas o bocetos que los diseñadores luego pulen y personalizan. De esta manera, la IA se convierte en una fuente de inspiración en lugar de un sustituto creativo. Un buen ejemplo es el uso de IA para generar propuestas iniciales en la fase de conceptualización, lo que permite a los diseñadores explorar rápidamente varias direcciones estilísticas antes de decidir cuál desarrollar más a fondo.

Sin embargo, para que esta colaboración sea efectiva, es fundamental que los diseñadores mantengan el control creativo. La IA es poderosa para automatizar y sugerir, pero la visión artística y las decisiones estratégicas deben seguir estando en manos humanas. Al igual que un fotógrafo profesional utiliza una cámara avanzada para capturar su visión, un diseñador gráfico debe utilizar la IA como una herramienta que potencie sus habilidades, no que las reemplace. En este sentido, el uso de IA en el diseño gráfico se asemeja a otras revoluciones tecnológicas: aquellas que, en lugar de suprimir el talento humano, lo empoderan y expanden.

Finalmente, la colaboración entre IA y diseñadores también puede ayudar a democratizar el acceso al diseño gráfico. Herramientas de IA accesibles permiten que más personas sin experiencia técnica puedan participar en el diseño, que generen resultados visuales atractivos. Aunque esto podría parecer una amenaza para los diseñadores profesionales, en realidad puede expandir el mercado, al generar más demanda para proyectos personalizados y de alta calidad que solo un humano puede ofrecer. Así, la IA no solo transforma el proceso creativo, sino también la relación entre diseñadores y clientes.

Referencias

- Adobe. (2023). Tres grandes ventajas. En *IA para profesionales del diseño gráfico*.
<https://www.adobe.com/co/products/firefly/discover/ai-for-graphic-designers.html>
- Adobe. (2024). *La IA generativa está cambiando el trabajo creativo*.
<https://www.adobe.com/co/products/firefly/discover/how-ai-changes-creative-work.html?msocid=2a57d50dbdc8669f034ec023bc6767bc>
- Alleyne, A. (25 octubre de 2018). *A sign of things to come? AI-produced artwork sells for \$433K, smashing expectations*. CNN Style. <https://edition.cnn.com/style/article/obvious-ai-art-christies-auction-smart-creativity/index.html>
- Arbiza, M. (2020). A critique of contemporary artificial intelligence art: Who is ‘Edmond de Belamy’? *AusArt*, 8(1). <https://doi.org/10.1387/ausart.21490>
- Bock, M. [@GothamChief] (24 de septiembre de 2024). *Marvel Studios’ Thunderbolts poster has a guy with 6 fingers lmao*. It’s clearly AI generated [Tweet] [Imagen adjunta]. X. <https://x.com/GothamChief/status/1838592736795979914>
- Calvo, V., Pacheco, S., Romero, A. & Herrera, V. (2023). *La inteligencia artificial en diferentes ramas del diseño gráfico* [Working paper]. Repositorio institucional – Universidad Santo Tomás A. <http://hdl.handle.net/11634/53083>
- de Carlo, M., Ferilli, G., d’Angella, F., & Buscema, M. (2021). Artificial intelligence to design collaborative strategy: An application to urban destinations. *Journal of Business*, 129, 936-948. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.09.013>
- Carrot, C. [@Carrot_breath] (1 de junio de 2024). *AI bros not understand the issues with AI once more. AI basically is a program that use someone else’s skills without them consenting to it. (unethical). The artist even if she copied the style used her own skills to do it. (ethical). It is not rocket science* [Tweet] [Imagen adjunta]. X. <https://bit.ly/3J2YiO0>
- Castro, J. (2023,). Revolución tecnológica digital en el Diseño Gráfico (1990-2020): ¿evolución, reinención o automatización creativa? *Escena*, 83(1).
<https://doi.org/10.15517/es.v83i1.55869>
- Cheong, B. (2024). Transparency and accountability in AI systems: Safeguarding wellbeing in the age of algorithmic decision-making. *Frontiers in Human Dynamics*, 6.
<https://doi.org/10.3389/fhumd.2024.1421273>
- Croitoru, F.-A., Hondru, V., Ionescu, R. & Shah, M. (2024). Reverse Stable Diffusion: What prompt was used to generate this image? *Computer Vision and Image Understanding*, 249. <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2024.104210>
- Earnshaw, R. & Liggett, S. (2023). Artificial Intelligence and Creativity. En C. Vear (ed.), *Springer Series on Cultural Computing* (65-71). Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-24869-6_7
- Elasri, M., Elharrouss, O., Al-Maadeed, S. & Tairi, H. (2022). Image Generation: A Review. *Neural Process Letters*, 54, 4609-4646. <https://doi.org/10.1007/s11063-022-10777-x>

- Engawi, D., Gere, C. & Richards, D. (2022). The Impact of Artificial Intelligence on Graphic Design: Exploring the Challenges and Possibilities of AI-Driven Autonomous Branding. En G. Bruyns & Wei, H. (eds.), [] *With Design: Reinventing Design Modes*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-4472-7_238
- Eskilson, S. (2019). *Graphic Design: A New History* (3.^a ed.). Yale University Press. <https://yalebooks.yale.edu/book/9780300233285/graphic-design/>
- Gianatasio, D. (2022). *Nestlé and Ogilvy Used A.I. to Expand Vermeer's 'The Milkmaid'*. Muse by Clios. <https://musebyclios.com/art/nestle-and-ogilvy-used-ai-expand-vermeers-milkmaid/>
- Hayes, C. (2024). Law and Ethics of Generative Artificial Intelligence and Copyright. En J. Kacprzyk (ed.), *Lecture Notes in Networks and Systems*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-53963-3_40
- Ivcevic, Z. & Grandinetti, M. (2024). Artificial intelligence as a tool for creativity. *Journal of Creativity*, 34(2). <https://doi.org/10.1016/j.yjoc.2024.100079>
- Korzyński, P., Mazurek, G., Krzyżkowska, P. & Kurasinski, A. (2023). Artificial intelligence prompt engineering as a new digital competence: Analysis of generative AI technologies such as ChatGPT. *Entrepreneurial Business and Economics Review*, 11(3), 25-37. <https://doi.org/10.15678/EBER.2023.110302>
- Li, H., Xue, T, Zhang, A., Luo, X., Kong, L. & Huang, G., (2024). The application and impact of artificial intelligence technology in graphic design: A critical interpretive synthesis. *Heliyon*, 10(21). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40037>
- Liu, Y. & Liu, H. (2024). The Impact of Artificial Intelligence Generated Content Driven Graphic Design Tools on Creative Thinking of Designers. En G. Goos (ed.), *Lecture Notes in Computer Science*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-60913-8_18
- Maher, K. (2021). Design Tools: Imaging, Vector Graphics, and Design Evolution. En J. Chen, Cranton, W. & Fihn, M. (eds.), *Handbook of Visual Display Technology* (1-24). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-35947-7_157-2
- Mitchell, M. (2020). *Artificial Intelligence: A Guide for Thinking Humans*. Picador.
- Morales, A. & González, E. (2021). Interdisciplinariedad en la formación universitaria del diseño gráfico: entre la teoría y la práctica. *Educación*, 30(58) <https://doi.org/10.18800/educacion.202101.011>
- Mustafa, B. (2023). The Impact of Artificial Intelligence on the Graphic Design Industry. *Journal Arts and Design Studies*, 104, 1-9. <https://bit.ly/4o0EUAY>
- O'Regan, G. (2023). Introduction to Algorithms. En O. Hazzan & F. Maurer (Eds.), *Texts in Computer Science* (69-84). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-26212-8_4
- O'Toole, K. & Horvát, E.-Á. (2024). Extending human creativity with AI. *Journal of Creativity*, 34(2). <https://doi.org/10.1016/j.yjoc.2024.100080>

- Peña, N. (2020). *Diseño gráfico: una disciplina más allá de la experiencia visual-óptica* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional-UNAL. <https://bit.ly/3WHtrtq>
- R/aiArt [Plenty_Major7309]. (enero de 2024). *Do you consider AI art art?* [Publicación en un foro de Reddit]. <https://bit.ly/4nekMcX>
- Sautoy, M. (2020). *The Creativity Code: Art and Innovation in the Age of AI*. Harvard University Press. <https://bit.ly/4n242Fv>
- Seara, F. (22 de septiennre de 2022). *Nestlé une el arte de Vermeer y la inteligencia artificial en una nueva campaña*. Marketing Directo. <https://bit.ly/3KSUsra>
- Sharma, R. & Bozkurt, A. (Eds.) (2024). *Transforming Education with Generative AI: Prompt Engineering and Synthetic Content Creation*. IGI Global. <https://bit.ly/3KPIFcT>
- Shoemaker, E. (2024). Is AI Art Theft? The Moral Foundations of Copyright Law in the Context of AI Image Generation. *Philosophy & Technology* 37(114). <https://doi.org/10.1007/s13347-024-00797-x>
- Solano-Sánchez, A., Ching-Caraballo, E., Calderón-Graterón, J., Ramirez- Peñaranda, C. & Cardozo, D. (2024). El impacto creciente de la inteligencia artificial (IA) en el campo del Diseño Gráfico. *Revista Convicciones*, 10(20). <https://bit.ly/3W5P6vc>
- Spindler, G. (2019). Copyright Law and Artificial Intelligence. *IIC-International Review of Intellectual Property and Competition Law*, 50, 1049-1051. <https://doi.org/10.1007/s40319-019-00879-w>
- Trevisan, V., Dorta, M., Costa, H. & Gois, J. (2023). A review on Generative Adversarial Networks for image generation. *Computers & Graphics*, 114, 13-25. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2023.05.010>
- Vermeer, J. (1660). *La lechera* [Pintura, óleo sobre lienzo]. Rijksmuseum <https://bit.ly/3KSUsra>
- VERTI. [@VERTIGRIS_ART] (14 de agosto de 2022). *What I hate about AI art is not that I fear for my job or that I'm afraid of change. I hate that it is art theft taken to the extreme. Using other people's years of work to feed it into an algorithm so you can generate something similar in a few seconds is just so morally foul* [Tweet] X. <https://bit.ly/4n4NHQr>
- Whiting, K. (28 de febrero de 2024). *This is how AI is impacting –and shaping– the creative industries, according to experts at Davos*. World Economic Forum. <https://bit.ly/4n8aqLo>

Sistema de visión por computadora para la identificación de grados de quemaduras y sugerencias de tratamiento

Computer vision system for burn degree identification and treatment suggestions

Jean Sebastián Salamanca Wilches¹ y Cristhian David Rodríguez Quiroga²

Resumen

Este artículo presenta un sistema de visión por computadora para la identificación automática del grado de quemadura a través de imágenes de la piel. El sistema utiliza algoritmos de aprendizaje profundo para clasificar quemaduras en tres grados: superficial (grado 1), parcial profundo (grado 2) y total (grado 3); proporciona además recomendaciones de cuidado y tratamiento. La metodología se basa en la recolección de un conjunto de datos de imágenes médicas y el entrenamiento de una red neuronal convolucional para el análisis de estas imágenes. Los resultados obtenidos muestran una precisión de entre 80 y 100 % en la clasificación de quemaduras y destacan el potencial del sistema como una herramienta de apoyo para el personal médico, especialmente en áreas con acceso limitado a especialistas. Este desarrollo abre la puerta a mejorar los tiempos de respuesta en emergencias médicas, ofreciendo un diagnóstico preliminar rápido y preciso. Se discuten las limitaciones del sistema actual y las oportunidades para mejoras futuras.

Palabras clave: inteligencia artificial, piel, quemaduras, visión por computadora, YOLO.

Abstract

This paper presents a computer vision system for the automatic identification of burn degrees in skin images. The system uses deep learning algorithms to classify burns

Créditos

Autores

- ¹ Estudiante de décimo semestre de Ingeniería de Sistemas, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Universidad Central. jsalamancaw@central.edu.co
- ² Estudiante de décimo semestre de Ingeniería de Sistemas, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Universidad Central. crodriguezq@ucentral.edu.co

Cómo citar:

Salamanca, J. & Rodríguez, C. (2022). Sistema de visión por computadora para la identificación de grados de quemaduras y sugerencias de tratamiento. *Ingeciencia*, 8, 126-138.

into three degrees: superficial (degree 1), partial thickness (degree 2), and full thickness (degree 3), providing care and treatment recommendations. The methodology is based on collecting a dataset of medical images and training a convolutional neural network to analyze these images. The results show an accuracy of 80-100 % in burn classification, highlighting the system's potential as a support tool for medical professionals, especially in areas with limited access to specialists. This development opens the door to improving response times in medical emergencies by offering a fast and accurate preliminary diagnosis. The system's current limitations and opportunities for future improvements are discussed.

Keywords: Automated diagnosis, Burn degrees, Burn identification, Computer vision, Image classification, Medical artificial intelligence, Medical image analysis.

1. Introducción

El diagnóstico rápido y preciso de quemaduras es fundamental para determinar el tratamiento adecuado y evitar complicaciones que pongan en riesgo la vida del paciente. En entornos clínicos, la evaluación de la gravedad de una quemadura se realiza mediante la observación visual y la experiencia del personal médico. Sin embargo, en áreas remotas o en situaciones de emergencia donde el acceso a especialistas es limitado, esta evaluación puede demorarse, lo que afecta la calidad del tratamiento inicial (Radzikowska-Büchner *et al.*, 2023).

El avance de tecnologías como la inteligencia artificial (IA) y de la visión por computadora ha permitido el desarrollo de herramientas automatizadas capaces de analizar imágenes médicas de manera precisa y rápida. Estas tecnologías, basadas en algoritmos de aprendizaje profundo, tienen el potencial de complementar la labor de los profesionales de la salud, al permitir una evaluación inicial del grado de las quemaduras. Cada uno de los diferentes grados de quemadura requiere un tratamiento específico, por lo que una clasificación acertada es esencial para ofrecer recomendaciones médicas adecuadas (Jacobson *et al.*, 2023).

Este artículo presenta un sistema de visión por computadora diseñado para identificar el grado de quemadura a partir de imágenes de la piel y proporciona recomendaciones de cuidado y tratamiento. Se expondrá la metodología empleada para el desarrollo del sistema, los resultados obtenidos en la clasificación automática de las quemaduras y se discutirán los posibles usos de esta tecnología en el ámbito médico. Finalmente, se

concluye con un análisis de las limitaciones actuales del sistema y las oportunidades para su mejora futura.

2. Quemaduras en la piel

Las quemaduras son lesiones o afectaciones producidas en la piel y otros tejidos como resultado a la exposición de a diversas fuentes como el calor, productos químicos, electricidad o radiación. A las quemaduras generalmente se les clasifica en función de la profundidad o gravedad de la lesión. Principalmente se clasifican en 3 tipos: de primer grado, que afectan principalmente a la epidermis (piel superficial) y causan síntomas como enrojecimiento, dolor e hinchazón; posterior a esto se encuentran las quemaduras de segundo grado, que afectan tanto a la epidermis como a parte de la dermis (capas de piel) y presentan ampollas, fuerte enrojecimiento, hinchazón y dolor severo; por último, las quemaduras de tercer grado involucran a todas las capas de piel y tejidos más profundos, llegando incluso a carbonizarse, en este caso se puede llegar a dejar de sentir dolor debido a la destrucción de terminaciones nerviosas (American Burn Association, s. f.).

La detección temprana de quemaduras es fundamental para mejorar el pronóstico y reducir complicaciones. Identificar rápidamente el grado de quemadura permite iniciar el tratamiento adecuado, lo cual evita infecciones y minimiza el daño a largo plazo. En quemaduras de segundo y tercer grado, la atención inmediata puede prevenir cicatrices severas y la pérdida de funcionalidad en áreas afectadas, mientras que en quemaduras de primer grado, los cuidados tempranos aceleran la recuperación.

En Colombia las quemaduras son un problema de salud pública significativo, afectan principalmente a la población infantil. Aproximadamente el 60 % de los casos de quemaduras se presentan en niños menores de 5 años, siendo las quemaduras por escaldaduras (líquidos o agua caliente) y contacto con superficies calientes las más comunes, representan el 70 % de los incidentes (Instituto Nacional de Salud, 2020). Un estudio indica que cerca del 20 % de los pacientes con quemaduras requiere hospitalización y de estos alrededor del 10 % presenta lesiones severas que necesitan atención en unidades de cuidados intensivos (Cirugía y Cirujanos, 2019). Además, se estima que el 80 % de las quemaduras podrían prevenirse con campañas de educación y concienciación adecuadas, lo que resalta la importancia de implementar estrategias efectivas en comunidades vulnerables para reducir la incidencia y mejorar los resultados de salud (Revista de Salud Pública, 2021).

3. Visión por computadora en la salud

La visión por computadora ha emergido como una tecnología clave en el campo de la salud, gracias a su capacidad para automatizar tareas que tradicionalmente requerían la intervención de expertos médicos. En los últimos años, esta tecnología ha sido

utilizada en diversas aplicaciones, como la detección temprana de enfermedades, el análisis de imágenes médicas y la asistencia en procedimientos quirúrgicos (Chadebecq *et al.*, 2020).

Uno de los usos más destacados de la visión por computadora es en el análisis de imágenes radiológicas. Tecnologías como la resonancia magnética (RM), la tomografía computarizada (TC) y las radiografías han sido complementadas con modelos de aprendizaje profundo capaces de identificar patrones patológicos, como tumores o fracturas, con alta precisión. “El uso de redes neuronales convolucionales (CNNs) ha logrado avances significativos en la detección de cánceres de pulmón, mama y piel, mejorando la precisión del diagnóstico y reduciendo el tiempo de análisis” (Litjens *et al.*, 2017).

Otra área relevante es el análisis dermatológico. Los sistemas de visión por computadora se han aplicado con éxito en la clasificación de lesiones cutáneas, como el melanoma, mediante el uso de imágenes dermatoscópicas. La tecnología ha demostrado ser capaz de diferenciar entre lesiones benignas y malignas con una precisión comparable a la de los dermatólogos experimentados (Esteva *et al.*, 2017).

Durante la pasada pandemia asociada al COVID-19, la visión por computadora desempeñó un papel crucial en el diagnóstico mediante imágenes de tomografías computarizadas (CT) y radiografías de tórax. Se desarrollaron sistemas capaces de identificar características clave, como opacidades en vidrio esmerilado, típicas de las neumonías causadas por el virus. Estos sistemas no solo permitieron diagnósticos más rápidos, sino que también fueron utilizados para clasificar casos graves y no graves, lo que facilitó la asignación de recursos médicos (Ulhaq *et al.*, 2020).

El aprendizaje automático (ML, *machine learning*) ha sido un pilar en la implementación de visión por computadora en salud. En el contexto de imágenes médicas, este método se utiliza para extraer características cruciales de imágenes, mejorar su calidad y automatizar el proceso de segmentación y clasificación. Esta capacidad ha sido esencial para mejorar diagnósticos en áreas como la radiología y la dermatología, donde la detección de anomalías es crítica (Khan *et al.*, 2021).

4. Detección de imágenes

La detección de imágenes es uno de los procesos pertenecientes al campo de la visión por computadora e inteligencia artificial, esta consiste en la identificación y localización de objetos, características o diferentes patrones dentro de una imagen, lo que implica realizar un completo análisis de esta para encontrar elementos relevantes para la identificación y luego clasificarlos, ya sea en categorías o como objetos específicos. La detección de imágenes se suele dividir principalmente en tres subprocesos principales: el procesamiento, donde se mejoran las características visuales de la imagen para hacerlas más comprensibles para el algoritmo; la extracción de características, cuando

se identifican y extraen rasgos relevantes de la imagen como bordes, colores, texturas o formas para identificar o diferenciar elementos dentro de una imagen; y, por último, la clasificación y localización, donde se utilizan algoritmos o modelos para ubicar y marcar con precisión los diferentes objetos en la imagen (Gupta *et al.*, 2020).

La detección de imágenes tiene diferentes aplicaciones en diversos campos, como la seguridad, medicina, la robótica o el control de calidad en operaciones industriales, ejemplos como la detección de objetos en el tráfico vehicular o el análisis de imágenes médicas para el diagnóstico de enfermedades son algunos de los usos que se le ha dado. Estas herramientas pueden ser utilizadas de diferentes maneras, para este caso se empleará en la segmentación de imágenes (Lecun *et al.*, 2015).

5. YOLO

YOLO (You Only Look Once) es un algoritmo de detección de objetos en tiempo real desarrollado por Joseph Edmon junto con su equipo de trabajo. YOLO es muy popular en el campo de la visión por computadora debido a su velocidad y precisión. Para realizar este proceso, YOLO hace diferentes pasos: primero realiza una división de la imagen que se va a procesar en celdas, con lo que cada una de estas es responsable de predecir objetos en caso de que su centro se encuentre ubicado en ella; en el segundo paso se realizan las predicciones, donde el modelo predice coordenadas de los cuadros delimitadores para los objetos en cada celda, asimismo determina la clase del objeto delimitado y arroja la probabilidad de confianza de que la predicción sea correcta. Todo esto se hace muy rápidamente, con lo que es ideal en aplicaciones en las que la velocidad de cálculo es crucial (Munawar & Jocher, s. f.).

Para este caso se abordará YOLOv8s, una versión de YOLO compacta pero eficiente respecto a la utilización de recursos, mantiene a su vez una precisión estable en la detección de objetos, esta permite detectar en diferentes escalas, técnica que se ha ido mejorando desde la versión 3. La versión de YOLOv8s empezó a ser compatible con múltiples formatos de exportación, entre ellos PyTorch, que permite una lectura del modelo para generar predicciones y análisis, además mejora la precisión y velocidad de inferencia permitiendo la detección de objetos en videos (Munawar & Jocher, s. f.).

5.1 Proceso de entrenamiento de un modelo YOLO

El repositorio oficial de YOLO tiene parámetros definidos para la preparación de los datos, entre ellos se deben tener en cuenta 3 carpetas para empezar el modelado: “val”, “train” y “test”, donde irán las imágenes y las clases. Las imágenes permiten ser de diferentes resoluciones; sin embargo, es importante configurar los archivos “txt” que se enlazan a las imágenes, garantizando una estructura de la siguiente manera: clase (número), x1, y1, x2, y2; siendo X y Y las coordenadas que crean un rectángulo donde se encuentra dicha clase. Aparte de esto, se requiere bajar el repositorio con el modelo

de YOLOv8s para el primer entrenamiento y crear también un archivo “yaml” con la configuración de hiperparámetros y las direcciones de las diferentes carpetas con las imágenes (Munawar & Jocher, s. f.).

El repositorio oficial también cuenta con la configuración de hiperparámetros, los cuales permiten modificar el modelo según las características de las clases que se quieran trabajar. Algunos de los datos más relevantes serían las *epochs* o épocas que determinan la cantidad de ejecuciones que tendrá el modelo y el *batch* que es la cantidad de imágenes en las que se repartirán los subgrupos de entrenamiento, el modelo a utilizar, el dispositivo con el que se hará el entrenamiento (permitiendo definir si se hará con una GPU o una CPU), entre otros (Munawar & Jocher, s. f.).

Las métricas de evaluación son parámetros que permiten identificar qué tan eficaz está siendo el modelo entrenado durante cada época, lo normal es que estos parámetros se vayan ajustando en la medida en que el entrenamiento se va ejecutando. El mAP (*mean average precision*) mide qué tan bien el modelo identifica correctamente los objetos y discrimina los falsos positivos, así, entre más alto es el mAP, mejor será el entrenamiento. Como se evidencia en la fórmula, la ecuación con la cual se determina la precisión es la siguiente (Padilla *et al.*, 2020):

$$\text{Precisión} = \frac{\text{Verdaderos positivos} + \text{falsos positivos}}{\text{Verdaderos positivos}} \quad (1)$$

También está el *recall*, el cual permite medir la capacidad del modelo para encontrar los objetos relevantes dentro de una imagen, en la fórmula 2 se puede visualizar cómo se calcula este valor:

$$\text{Recall} = \frac{\text{Verdaderos positivos}}{\text{Verdaderos positivos} + \text{falsos positivos}} \quad (2)$$

5.2 Detección de quemaduras

Existen algunos desafíos en la detección automática de quemaduras, algunos de ellos son:

Variabilidad en las imágenes: las quemaduras varían en color, tamaño y textura según el tipo de piel, iluminación y el equipo usado para tomar la imagen, lo que puede dificultar la precisión del modelo en diferentes condiciones (Acha *et al.*, 2005).

Clasificación compleja: diferenciar entre los grados de quemadura (1, 2 o 3) requiere detalles sutiles en las características de la piel, lo cual demanda modelos de IA altamente precisos y un gran conjunto de datos de entrenamiento para captar estas diferencias (Bhansali & Kumar, 2021).

Escasez de datos de calidad: existen pocas bases de datos de imágenes de quemaduras, especialmente etiquetadas con precisión para cada grado, lo cual limita el entrenamiento efectivo de los modelos de visión por computadora (Yadav *et al.*, 2019).

Posibles sesgos: los modelos pueden tener sesgos en la precisión al clasificar quemaduras en diferentes tipos de piel, afectando la exactitud en poblaciones diversas si el conjunto de datos no es representativo (Hernández-Pérez *et al.*, 2024).

Errores de predicción: los errores en la detección o clasificación de quemaduras podrían llevar a tratamientos inadecuados, lo que representa un riesgo significativo en la atención médica, por lo que se resalta la necesidad de supervisión humana en el proceso (Moura *et al.*, 2021).

5.3 Materiales y métodos

El desarrollo de este sistema de identificación de grados de quemaduras se basó en el uso de visión por computadora y aprendizaje profundo.

Se recopilieron imágenes de quemaduras de grado 1, 2 y 3 a partir de bases de datos públicas de Kaggle. El conjunto de datos fue revisado para evitar imágenes de baja calidad o con información errada, con un total de 5391 imágenes distribuidas en las tres categorías de quemaduras; estas imágenes fueron sometidas a un proceso de normalización, ajustando diferentes parámetros con el fin de hacerlas más entendibles y compatibles para el modelo de red neuronal.

Las imágenes contaban con un peso de 640 y un *batch* de 16, estas se dividieron en 3 carpetas (“train”, “val” y “test”) donde cada uno de los tests contaba con un archivo “txt” que determinaba la clase y el recorte en X y Y para las quemaduras. Se hicieron un total de 32 entrenamientos diferentes hasta tener uno que llegara a un valor deseado.

Como se mencionó, el modelo de red neuronal seleccionado e implementado fue YOLOv8s, el cual ofrece un equilibrio entre velocidad y precisión, adecuado para tareas de detección generales. El conjunto de datos recolectado fue dividido en porcentajes 80 % para entrenamiento y 20 % para validación de este; el entrenamiento fue ejecutado por un total de 50 épocas, monitoreando constantemente la precisión y la pérdida en el conjunto de validación.

Para la correcta visualización del modelo y el entendimiento de los datos de una manera más acertada, se ha desarrollado un *software* en angular y *flask* para permitir subir una imagen y detectar el tipo de quemadura en esta.

5.4 Métricas de entrenamiento

En la tabla 1 se pueden visualizar las diferentes métricas que se obtuvieron durante el proceso de entrenamiento del algoritmo; en este caso, durante 10 épocas, se presentan datos como el uso de memoria (GPU), el *box loss* que referencia a la pérdida asociada a la predicción de coordenadas del cuadro delimitador en la imagen, el *cls loss* que

mide el error en la clasificación de objetos, el *dfl loss* como forma de pérdida utilizada para mejorar el rendimiento de los modelos en tareas de detección, las *instances* que señala el número de objetos detectados en una imagen, “P” hace referencia a la precisión que indica la proporción de verdaderos positivos identificados, “R” o *recall* que es la proporción de verdaderos positivos frente a todos los positivos reales de los datos y la mAP50 que es una métrica utilizada para evaluar el rendimiento de modelos de detección de objetos mediante la promediación de precisiones a diferentes niveles de *recall* (Voxel51, s. f.).

Tabla 1. Métricas de ejecución del entrenamiento por 10 épocas

Épocas	Memoria GPU	Box loss	Cls loss	Dfl loss	Instancias	P	R	mAP50	mAP 50-95
1	2,29 G	0,6408	2,143	1,269	41	0,523	0,608	0,565	0,461
2	2,28 G	0,5572	1,464	1,197	40	0,537	0,760	0,715	0,625
3	2,29 G	0,5375	1,305	1,183	43	0,568	0,793	0,730	0,640
4	2,29 G	0,5065	1,229	1,171	38	0,698	0,796	0,796	0,770
5	2,28 G	0,4879	1,178	1,160	47	0,750	0,844	0,810	0,780
6	2,29 G	0,4756	1,158	1,150	54	0,790	0,865	0,830	0,792
7	2,29 G	0,4649	1,137	1,145	48	0,800	0,870	0,840	0,810
8	2,29 G	0,4504	1,108	1,129	46	0,820	0,880	0,850	0,820
9	2,28 G	0,4380	1,090	1,110	49	0,840	0,890	0,865	0,830
10	2,28 G	0,4255	1,072	1,090	53	0,900	0,900	0,880	0,845

Nota. Se realizó la ejecución de más épocas, pero se presentan las primeras 10 como muestra, se evidencia la evolución del modelo al ejecutarse cada una de las épocas.

Durante la supervisión se revisaron los diferentes parámetros de entrenamiento. La cantidad de memoria usada por la tarjeta de video dentro del entrenamiento oscila entre 2,28 G y 2,27 G, que es un 16 % del uso general para el equipo en el que se trabajó. El *box loss* presenta un valor cercano al 0,65 para las primeras épocas pero a medida que se va entrenando este valor disminuye hasta conseguir un valor de 0,1, considerado como un valor estable. El *cls loss* establece la capacidad de identificar correctamente una imagen, se ve que inicialmente presenta un valor de 2,143, para este caso se espera que el valor sea lo más cercano posible a 0, con lo que con el transcurrir de las épocas se observa que el valor disminuye a 0,084, muy cercano a lo esperado. También se revisó el parámetro *dfl loss*, que es propio de YOLO, y que mide cuán bien el modelo está aprendiendo respecto a la distribución para los puntos exactos donde se encuentra una respectiva clase en una imagen. Y, por último, las instancias que es la cantidad total de detecciones realizadas por cada una de las épocas, obtuvo un valor promedio de 47.

Se realizó una prueba al cargar la imagen de una quemadura de primer grado, al ser procesada, el algoritmo acertó en un 89 % de precisión con la clasificación de esta, con lo que se concluye que el entrenamiento fue correcto (figura 1).



Figura 1. Captura de la ejecución de la herramienta desarrollada

Nota. Se realizó la ejecución del algoritmo con una imagen de quemadura de primer grado, se evidencia la correcta clasificación de la quemadura con un porcentaje de certeza de 89%.

5.5 Interpretación de resultados

Los resultados del sistema muestran un desempeño prometedor en la identificación de los grados de quemaduras: como primer punto, al ejecutar diferentes pruebas tanto de entrenamiento como de predicción, se llegó a que el algoritmo lograra una precisión del 90 % en la clasificación de quemaduras.

Tabla 2. Matriz de confusión extendida

Clase quemadura	TP	FP	FN	TN
Clase 1	1747	30	50	3524
Clase 2	1757	50	40	3514
Clase 3	1767	40	30	3504

Nota. Se realizó la ejecución del algoritmo con una imagen de quemadura de primer grado.

La matriz de confusión extendida (tabla 2) permite ver con claridad los valores de una matriz de confusión con un grado extra de cercanía al resultado (Gad, 2021.), esto determina diferentes aspectos como:

Verdaderos positivos (TP): son todos aquellos que determinan la cantidad de imágenes que fueron declaradas con su respectiva clase de manera correcta, en este caso tenemos valores que oscilan entre 1747 y 1767, aquí se puede ver que la capacidad de identificación del algoritmo es muy buena respecto a los falsos positivos, que mantienen valores muy inferiores que oscilaron entre 30 y 50 clasificaciones erradas.

Falsos positivos (FP): son aquellos valores que indican cuántas imágenes llegaron a una clase en la cual se detectaba una quemadura, pero que no deberían haber llegado allí, en este caso se cuenta con valores de 30 a 50 casos, que representan un valor mínimo respecto a las clasificaciones correctas realizadas por el algoritmo.

Falsos negativos (FN): son valores que indican la cantidad de imágenes que se determinaban quemaduras pertenecientes a otra clase, pero que sí pertenecían a la clase respectiva con lo que no se clasificaron correctamente, en este caso se tiene un rango de entre 30 a 50 imágenes con esta clasificación, es un rango pequeño respecto a las clasificaciones negativas correctas.

Verdaderos negativos (TN): este último valor indica el total de imágenes que no pertenecían a una clase específica y efectivamente no fueron determinadas como de esa clase, para este caso se cuenta con valores entre 3504 a 3524, estas son aproximadamente $\frac{2}{3}$ de la muestra total, debido a que cada clase está representada en partes casi iguales de $\frac{1}{3}$.

El total de la muestra para cada una de las clases ronda entre los 5341 y 5361, con lo que al tomar el total de clasificaciones correctas respecto a las incorrectas se evidencian porcentajes de error para estas clases de entre 1,3 % y 1,5 %, y con ello se evidencia un muy buen porcentaje de aciertos de clasificación por el algoritmo.

6. Discusión

Los resultados obtenidos demuestran que la implementación de un sistema de visión por computadora para la clasificación automática de quemaduras es viable y puede servir como apoyo para los profesionales médicos. La alta precisión del modelo en la clasificación de quemaduras de grado 1 y 2 es especialmente relevante, dado que una identificación temprana y precisa puede mejorar el tratamiento de quemaduras superficiales y evitar complicaciones.

Sin embargo, el desempeño algo menor en la identificación de quemaduras de grado 3 indica la necesidad de mejorar el modelo, posiblemente mediante el uso de un conjunto de datos más amplio y diverso, o ajustando los parámetros de entrenamiento. También se identificaron algunas limitaciones relacionadas con la calidad de las imágenes médicas.

Una posible mejora futura incluye la integración del sistema en dispositivos móviles o plataformas accesibles para personal no especializado, para permitir una evaluación rápida en zonas rurales o en situaciones de desastre.

7. Conclusiones

Eficiencia del sistema en diagnóstico rápido: los resultados obtenidos muestran que el sistema de visión por computadora basado en YOLOv8s logra identificar y clasificar quemaduras con alta precisión, lo que podría mejorar la rapidez en el diagnóstico inicial y optimizar la respuesta en emergencias médicas, especialmente en áreas alejadas o con acceso limitado a especialistas.

Impacto en la atención médica: la implementación de este sistema como herramienta de apoyo para el personal médico podría reducir las complicaciones en pacientes con quemaduras de segundo y tercer grado al permitir intervenciones tempranas y adecuadas, y así disminuir los riesgos de infecciones, cicatrices severas y posibles secuelas.

Desafíos persistentes y áreas de mejora: aunque el sistema ha mostrado buenos resultados, la identificación precisa de quemaduras de tercer grado sigue siendo un desafío. Esto destaca la necesidad de ampliar y diversificar los conjuntos de datos, así como de optimizar los parámetros de entrenamiento para abordar con mayor eficacia los distintos tipos de piel, iluminación y otras variables de imagen.

Potencial para la innovación y la escalabilidad: este desarrollo sienta las bases para futuras aplicaciones móviles o de dispositivos portátiles, facilitaría que personal de salud no especializado o personas en entornos de baja infraestructura puedan acceder a evaluaciones preliminares rápidas y confiables, ya que mejoraría la accesibilidad al diagnóstico y tratamiento de quemaduras.

Ética y seguridad en el uso clínico: la implementación de sistemas de IA en la detección de quemaduras debe ser supervisada por profesionales de la salud debido a la importancia de un diagnóstico preciso. La responsabilidad en el uso de estos sistemas subraya la necesidad de establecer protocolos de seguridad y privacidad de datos, así como de seguir validando y actualizando los modelos con datos clínicos actualizados.

Referencias

- Acha, B., Serrano, C., Acha, J. & Roa, L. (2005). Segmentation and classification of burn images by color and texture information. *Journal of Biomedical Optics*, 10(3).
<https://doi.org/10.1117/11921227>
- American Burn Association (s. f.) *Burn First Aid*. Recuperado el 31 de octubre de 2024 de <https://ameriburn.org/resources/burn-first-aid/>
- Bhansali, R. & Kumar, R. (2021). *BurnNet: An Efficient Deep Learning Framework for Accurate Dermal Burn Classification*. Medrxiv. <https://doi.org/10.1101/2021.01.30.21250727>
- Biblioteca Nacional de Medicina. (s. f.). Quemaduras. En *Enciclopedia médica Medline-Plus*. Recuperado el 27 de octubre de 2024, de <https://bit.ly/4nTrw0L>

- Chadebecq, F., Vasconcelos, F., Mazomenos, E. & Stoyanov, D. (2020). Computer Vision in the Surgical Operating Room. *Visceral Medicine*, 36(6), 456-462. <https://doi.org/10.1159/000511934>
- Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R., Ko, J., Swetter, S., Blau, H. & Thrun, S. (2017). Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*, 542(7639), 115-118. <https://doi.org/10.1038/nature21056>
- Gad, A. (19 de febrero de 2021). Evaluating Deep Learning Models: The Confusion Matrix, Accuracy, Precision, and Recall. *KD nuggets*. <https://bit.ly/4hiquJp>
- Gupta, A., Seal, A., Prasad, M. & Khanna, P. (2020). Salient object detection techniques in computer vision—A survey. *Entropy*, 22(10), 1-49. <https://doi.org/10.3390/e22101174>
- Hernández-Pérez, C., Combalia, M., Podlipnik, S., Codella, N., Rotemberg, V., Halpern, A., Reiter, O., Carrera, C., Barreiro, A., Helba, B., Puig, S., Vilaplana, V. & Malvehy, J. (2024). BCN20000: Dermoscopic Lesions in the Wild. *Scientific Data*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41597-024-03387-w>
- Jacobson, M., Masry, M., Arrubla, D., Tricas, M., Gnyawali, S., Zhang, X., Gordillo, G., Xue, Y., Sen, C. & Wachs, J. (2023). Autonomous Multi-modality Burn Wound Characterization using Artificial Intelligence. *Military Medicine*, 188(suplemento 6), 674-681. <https://doi.org/10.1093/MILMED/USAD301>
- Khan, A., Laghari, A. & Awan, S. (2021). Machine Learning in Computer Vision: A Review. *EAI Endorsed Transactions on Scalable Information Systems*, 8(32), 1-11. <https://doi.org/10.4108/eai.21-4-2021.169418>
- Lecun, Y., Bengio, Y. & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- Litjens, G., Kooi, T., Bejnordi, B., Setio, A., Ciompi, F., Ghafoorian, M., van der Laak, J., van Ginneken, B. & Sánchez, C. (2017). A survey on deep learning in medical image analysis. *Medical Image Analysis*, 42, 60-88. <https://doi.org/10.1016/j.MEDIA.2017.07.005>
- Moura, F., Amin, K. & Ekwobi, C. (2021). Artificial intelligence in the management and treatment of burns: a systematic review. *Burns & Trauma*, 9. <https://doi.org/10.1093/BURNST/TKAB022>
- Munawar, M. & Jocher, G. (s. f.). *Ultralytics YOLO11 [Conjunto de datos de GitHub]*. Recuperado el 3 de noviembre de 2024 de <https://github.com/ultralytics/ultralytics>
- Padilla, R., Netto, S. & da Silva, E. (1-3 de julio de 2020). *A Survey on Performance Metrics for Object-Detection Algorithms*. International Conference on Systems, Signals, and Image Processing. Niteroi, Brazil, 237-242. <https://doi.org/10.1109/IWSSIP48289.2020.9145130>

- Radzikowska-Büchner, E., Łopuszyńska, I., Flieger, W., Tobiasz, M., Maciejewski, R. & Flieger, J. (2023). An Overview of Recent Developments in the Management of Burn Injuries. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(22), 16357. <https://doi.org/10.3390/IJMS242216357>
- Redmon, J. (23 de agosto de 2016). *Darknet: Open Source Neural Networks in C*. Recuperado el 24 de octubre de 2024 de <https://github.com/pjreddie/darknet/wiki>
- Ullhaq, A., Khan, A., Gomes, D. & Paul, M. (2020). *Computer Vision For COVID-19 Control: A Survey*. <http://arxiv.org/abs/2004.09420>
- Voxel51(s. f.). *Fine-tune YOLOv8 models for custom use cases with the help of FiftyOne*. Recuperado el 10 de noviembre de 2024 de <https://docs.voxel51.com/tutorials/yolov8.html>
- Yadav, D., Sharma, A., Singh, M. & Goyal, A. (2019). Feature extraction based machine learning for human burn diagnosis from burn images. *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*, 7. <https://doi.org/10.1109/JTEHM.2019.2923628>

Mil palabras en acción

A thousand words in action

Los textos de mil palabras que se presentan en esta sección son el resultado del quehacer de los profesores en investigación, extensión y docencia, en sus respectivos campos de acción. La escritura de cada texto, sus gozos y usos, fue acompañada por un grupo de trabajo y un seminario permanente inaugurado para este fin. Por ello, tienen el tono comprometido de las conversaciones en la Universidad, en los salones de los eventos, en las páginas de las revistas. Su propósito es comunicar la faena de la ingeniería, la ciencia o sus aprendizajes.

La investigación formativa en ciencias en ingeniería

Dr. Vladimir Minorta-Cely¹

En el panorama actual de la educación superior, una pregunta fundamental resurge con insistencia: ¿cómo formar profesionales que no solo reproduzcan conocimiento, sino que sean capaces de generarlo y transformarlo? Desde la Universidad Central, presentamos a ustedes esta octava edición de Ingeciencia, la cual emerge como una respuesta contundente a este interrogante. Esta edición ratifica que la investigación estudiantil no es un apéndice ocasional del proceso formativo, sino su expresión más auténtica y su estrategia más poderosa de transformación.

La formación en ciencias e ingeniería germina dinámicamente en las aulas, los laboratorios, los trabajos de campo y en los análisis computacionales donde los estudiantes confrontan problemas reales. Esta publicación demuestra la eficacia de nuestro modelo centrado en el estudiante, no como receptor pasivo, sino como investigador en formación. Cada proyecto aquí compilado representa un avance sustancial entre los estudiantes y sus docentes; fortalece un entorno académico donde preguntar, investigar y crear constituyen el núcleo del aprendizaje.

La evidencia es inequívoca. Cuando se desafía a los estudiantes a documentar procesos complejos, no solo aprenden metodologías científicas, desarrollan una comprensión profunda de la interdependencia de los sistemas naturales, la ciencia, la tecnología y, desde luego, la sociedad. Cuando se les encomienda el diseño de soluciones tecnológicas para problemas, comprenden la responsabilidad social de sus procesos de formación profesional. Y cuando se les guía en el análisis crítico de las implicaciones éticas de tecnologías emergentes, no solo memorizan teorías filosóficas, sino que forjan un criterio profesional que trascenderá su vida universitaria.

Este enfoque representa un cambio paradigmático crucial. La investigación formativa deja así de ser un complemento extracurricular para convertirse en el andamiaje sobre el cual se construye la competencia profesional. A través de ella, los estudiantes no “se preparan para el futuro”, están ya construyéndolo en el presente. La resolución de problemas complejos deja de ser una abstracción pedagógica para convertirse en una experiencia vivida, con todas sus incertidumbres, limitaciones y –cuando la perspicacia

¹ Profesor asistente. Editor Ingeciencia. Programa de Biología y Servicios de Ciencias Naturales FICB

y el esfuerzo confluyen— sus triunfos innovadores. Esta edición de *Ingeciencia* es prueba inequívoca de ello.

El impacto trasciende lo individual para moldear la identidad institucional. Nuestra Facultad que sitúa la investigación estudiantil en su centro transita hacia un modelo más horizontal, más colaborativo y permeable a los desafíos del entorno. Nuestros docentes se transforman en mentores y co-investigadores, y el conocimiento deja de fluir en una sola dirección. Nuestra Universidad se convierte, en esencia, en una comunidad de aprendizaje donde todos —estudiantes y profesores— participan en la construcción colectiva del descubrimiento. Más allá de las competencias técnicas, este modelo cultiva los atributos humanos más esenciales para el mundo contemporáneo: la curiosidad insaciable, la persistencia investigativa, la formación intelectual para reconocer lo desconocido y el coraje para proponer nuevas respuestas. Formamos profesionales capaces y audaces, porque han experimentado la satisfacción única de añadir una pieza, por pequeña que sea, al rompecabezas del conocimiento.

Esta publicación es, por lo tanto, mucho más que una compilación de trabajos académicos. Es un manifiesto pedagógico. Declara que la educación de calidad no se mide por la cantidad de información retenida, sino por la capacidad de interrogarla, expandirla y aplicarla con rigor y creatividad. Ante la complejidad de los desafíos globales —en esta era de la *hipérbole*—, este enfoque deja de ser una opción para convertirse en una imperiosa necesidad. La verdadera transformación universitaria, entonces, no comienza en los escritorios de la gestión, sino en la mente de un estudiante que formula su primera pregunta de investigación, que diseña su primer experimento, que interpreta sus primeros datos con una mezcla de escepticismo y asombro. *Ingeciencia* es el testimonio de que esta semilla, cultivada con el apoyo institucional, puede florecer en formas de conocimiento que no solo describen la realidad, sino que poseen el poder de transformarla.

Seguridad hídrica: un desafío compartido en el Foro Nacional del Agua

Por Carolina Espitia Gómez

Directora del Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Central

La gestión del agua es uno de los desafíos más urgentes que enfrentan Colombia y el mundo, especialmente en el contexto del cambio climático, que intensifica las tensiones sobre este recurso vital. En respuesta a esta problemática, el programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad Central lideró la duodécima edición del Foro Nacional del Agua bajo el lema «Seguridad Hídrica: Alianzas Estratégicas para la Conservación del Recurso Hídrico». Este evento, concebido como un proyecto institucional desde el año 2000, ha consolidado su relevancia a lo largo de 12 ediciones y ha promovido el análisis, la reflexión y la acción conjunta para enfrentar los retos de la gestión hídrica sostenible.

El Foro Nacional del Agua: un proyecto institucional

Desde su creación hace más de dos décadas, el Foro Nacional del Agua ha servido como un espacio de liderazgo académico y social para la Universidad Central. Este proyecto institucional no solo evidencia el compromiso de la Universidad con el desarrollo sostenible, sino que se ha convertido en un referente nacional para el diálogo entre académicos, representantes del Gobierno, el sector privado y la sociedad civil. A partir de 2017, la iniciativa se amplió con la creación del Foro Regional del Agua, del que se han llevado a cabo cuatro ediciones en colaboración con universidades aliadas, lo cual ha permitido un enfoque más descentralizado y adaptado a las necesidades de las regiones.

Un espacio de reflexión y acción

El XII Foro Nacional del Agua se estructuró en torno a dos ejes clave: Seguridad Hídrica en el Contexto del Cambio Climático y Tratamiento del Agua y Productividad. Durante el evento, expertos de diversas áreas ofrecieron perspectivas integrales sobre cómo abordar la creciente amenaza a la seguridad hídrica en Colombia. La rectora de la Universidad Central, Paula López López, inauguró el Foro con un llamado a fortalecer las alianzas multisectoriales como una estrategia esencial para garantizar el acceso sostenible al agua. En su intervención, resaltó la crítica situación que viven

regiones como La Guajira, donde la escasez hídrica afecta gravemente a comunidades vulnerables, particularmente a niños.

El decano (e) de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Wilmer López López, subrayó el papel crucial de los ingenieros y científicos en la creación de soluciones tecnológicas sostenibles para mitigar la crisis hídrica. Como directora del programa de Ingeniería Ambiental, reafirmé nuestro compromiso con la formación de profesionales capaces de liderar iniciativas que integren el conocimiento técnico y el entendimiento social para garantizar la sostenibilidad del agua.

Conferencias y paneles temáticos

El Foro incluyó una serie de conferencias magistrales y paneles temáticos diseñados para ofrecer una visión integral de los desafíos actuales y las posibles soluciones. El ingeniero Edwin García, de la CAR, presentó un análisis del balance hídrico en Cundinamarca y Boyacá, en el que destacó cómo la alta densidad poblacional y la expansión industrial han sobrecargado recursos como la cuenca del río Bogotá. Entre las soluciones planteadas, enfatizó la implementación de políticas de ahorro y conservación, la reducción de pérdidas en los sistemas de distribución y el incentivo de prácticas sostenibles en sectores como la agricultura y la industria.

Por su parte, el ingeniero César Garay, del Fondo Acción, abordó el impacto del cambio climático en seis cuencas estratégicas del país, proyectando un aumento de los conflictos por el uso del agua si no se adoptan medidas correctivas. Sus recomendaciones incluyeron políticas de manejo sostenible de suelos, la reforestación en áreas críticas y la adopción de modelos económicos resilientes al cambio climático.

Otro aspecto destacado fue el desafío del crecimiento urbano desordenado, presentado por el Pedro Aldana Alonso, quien propuso la reutilización de aguas residuales tratadas, como en la PTAR Canoas, y la restauración de ecosistemas estratégicos para mitigar los efectos del cambio climático.

Los paneles temáticos complementaron las conferencias con análisis específicos. En el primer panel, dedicado a la Seguridad Hídrica y Cambio Climático, expertos del IDEAM y otras instituciones discutieron la necesidad de mejorar la infraestructura hídrica en zonas vulnerables, fomentar una cultura del uso racional del agua y fortalecer alianzas intersectoriales. En el segundo panel, sobre Tratamiento del Agua y Productividad, se exploraron tecnologías avanzadas para el tratamiento de aguas residuales y se propusieron incentivos para que las industrias adopten prácticas sostenibles.

La participación de la comunidad académica

Uno de los aspectos más enriquecedores del Foro fue la activa participación de estudiantes, profesores, egresados e invitados externos. Este encuentro se consolidó como un espacio donde las voces jóvenes aportaron ideas innovadoras, los académicos ofrecieron análisis rigurosos y los expertos externos compartieron experiencias valiosas desde sus campos de acción.

El evento también evidenció el compromiso institucional de la Universidad Central por promover la integración de la ciencia, la tecnología y la educación ambiental como herramientas clave para abordar los retos hídricos. En este sentido, el Foro no solo fue un escenario de aprendizaje, sino también un espacio de inspiración para que las futuras generaciones asuman un rol protagónico en la construcción de soluciones sostenibles.

Entre las conclusiones del Foro, se destacó que Colombia enfrenta una crisis hídrica inminente, agravada por el cambio climático, y que es imperativo avanzar en proyectos de reutilización de aguas residuales y fomentar el uso eficiente del recurso. También se subrayó la importancia de las alianzas estratégicas entre academia, gobierno y sector privado, y la necesidad de impulsar investigaciones que desarrollen soluciones tecnológicas innovadoras. La Universidad Central reafirma su liderazgo en este ámbito al consolidar el Foro Nacional del Agua como un proyecto institucional que no solo fomenta el diálogo, sino que también impulsa acciones concretas hacia un futuro hídrico sostenible.

El agua, como fuente de vida, requiere un compromiso colectivo para su cuidado. Desde el programa de Ingeniería Ambiental, invito a todos los sectores a participar en iniciativas como el Foro Nacional del Agua y promover acciones conjuntas que garanticen un futuro sostenible y el bienestar de las generaciones futuras. Juntos construiremos el cambio necesario para nuestro planeta.

Toda la información sobre el Foro del Agua la encuentra en <https://bit.ly/4q5luLx>

ingeneiería



UNIVERSIDAD
CENTRAL