



Revista Científica

LA CALERA

ISSN 1998 - 7846

Volumen 24 - N° 43, diciembre 2024



LA CALERA

Información General

La Revista La CALERA es una publicación nacional y regional sobre avances y aplicaciones de las ciencias agropecuarias, forestales y ciencias ambientales en Nicaragua, para promover un aprovechamiento de los Recursos Naturales más acorde a las posibilidades ecológicas y necesidades sociales de la región.

Está dirigida a satisfacer las necesidades de información de investigadores, extensionistas, técnicos, agrónomos, zootecnistas, médicos veterinarios, forestales y planificadores en el campo de las ciencias agropecuarias y de los recursos naturales.

¿Por qué la Calera? La revista científica de la Universidad Nacional Agraria toma su nombre como un tributo a la historia de la investigación agropecuaria en Nicaragua. El primer centro experimental agropecuario de la región del pacífico de Nicaragua fue establecido en la hacienda La Calera, ubicada en km 12 ½ de la carretera Norte Managua, sitio ocupado en la actualidad por la Universidad Nacional Agraria.

Esta publicación es editada por la Dirección Académica de la Universidad Nacional Agraria a través de la Dirección del Departamento de Investigación e Innovación.

Datos de publicación: La Revista La Calera, es una publicación semestral (junio y noviembre) en versión impresa y electrónica; es editada en español y se distribuyen en forma gratuita a docentes investigadores, profesionales e instituciones colaboradoras de la UNA. Se autoriza la reproducción parcial o total de la información contenida en esta revista, siempre y cuando se cite la fuente.

La Revista La CALERA no asume la responsabilidad por las opiniones y afirmaciones expresadas por los autores en sus páginas. Las ideas expresadas por los autores no reflejan necesariamente el punto de vista de la institución.

La revista científica La Calera se encuentra en el catálogo 2.0 de Latindex :

<https://www.latindex.org/latindex/ficha/9618>

e indizada en los siguientes directorios, catálogos y repositorios:

DIALNET: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/revista?codigo=28057>

Directorio de revistas de acceso abierto: <https://doaj.org/>

Crossref: <https://search.crossref.org/?q=La+calera>

Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico: <https://redib.org/>

Central American Journal OnLine (CAMJOL): <https://camjol.info/index.php/CALERA>

Portal de revistas nacionales de Nicaragua: <https://www.revistasnicaragua.net.ni/index.php/CALERA>

Catálogo en línea CENIDA: <https://cenida.una.edu.ni>

Repositorio Centroamericano SIIDCA: <https://repositoriosiidca.csuca.org/>

Repositorio Universitario CNU: <https://repositorio.cnu.edu.ni/>

Repositorio Institucional UNA: <https://repositorio.una.edu.ni/>



Los artículos de la revista La Calera de la Universidad Nacional Agraria, Nicaragua, se comparten bajo términos de la licencia Creative Commons: Reconocimiento, No Comercial, Compartir Igual. Las autorizaciones adicionales a las aquí delimitadas se pueden obtener en el correo donald.juarez@ci.una.edu.ni

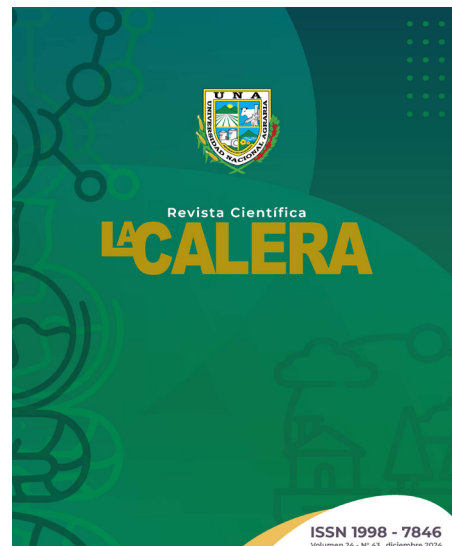
© Copyright 2024. Universidad Nacional Agraria

Revista La Calera

Revista Científica de la Universidad Nacional Agraria, volumen 24, N° 43, diciembre, 2024.

Publicación semestral: ISSN 1998 – 7846 (versión impresa) * 1998 – 8850 (versión electrónica).

Publicaciones periódicas, Nicaragua, Agricultura, Universidad Nacional Agraria.



REVISTA
CIENTÍFICA
DE LA
UNA

Colaboraciones

Con el propósito de promover mayor publicación de información generada por personas e instituciones relacionadas con las ciencias Agropecuarias y ambientales, y agilizar el proceso de edición e impresión de la revista, las colaboraciones (artículos, notas técnicas, etc.) solicitamos sean enviadas a la siguiente dirección:

Universidad
Nacional Agraria
(UNA)

Dirección Académica
Apartado postal 453
Managua, Nicaragua

(505) 2233-1265 / 2233-1267

donald.juarez@ci.una.edu.ni

Sitio web: www.una.edu.ni

Revista La Calera:
<https://lacialera.una.edu.ni>

Revista La Calera
Revista Científica de la Universidad Nacional Agraria, volumen 24, N° 43, diciembre, 2024.
Publicación semestral: ISSN 1998 – 7846 (versión impresa) * 1998 – 8850 (versión electrónica).
Publicaciones periódicas, Nicaragua, Agricultura, Universidad Nacional Agraria.

Publicación de la Universidad Nacional Agraria (UNA)

Autoridades Institucionales

Ing. Bosco Martín Castillo Cruz
Rector

Dra. Luz Adilia Luna Olivares
Vicerrectora

MSc. Erick Gustavo Cruz Pérez
Secretario General

Consejo editorial:

Ditector

MSc. Donald Juárez Gámez
Departamento de Investigación
donald.juarez@ci.una.edu.ni

Editor

MSc. Roberto C. Larios González
Departamento de Investigación
roberto.larios@ci.una.edu.ni

Miembros

Dr. Fernando Mendoza Jara
Universidad Nacional Agraria, Nicaragua
fmendoza@ci.una.edu.ni

Dr. Pedro Pablo del Pozo Rodríguez
Universidad Agraria de La Habana, Cuba
delpozo@unah.edu.cu

Dr. Leonardo Mendoza Blanco
Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
UNAN-León
lmendoza@ct.unanleon.edu.ni

Dra. Maricela María González Pérez
Universidad de Pinar del Río, Cuba
maricela@upr.cu

Dr. Róger E. Sánchez Alonso
Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua
roger.sanchez@di.uni.edu.ni

MSc. Juan Asdrúbal Flores Pacheco
Bluefields Indian & Caribbean University (BICU)
asdrubal.flores@do.bicu.edu.ni

Dra. Beverly Estela Castillo Herrera
Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua,
UNAN-Managua, CUR - Estelí
bcastillo@unan.edu.ni

PhD. Carlos Alberto Zúniga-González
Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
(UNAN-León)
czuniga@ct.unanleon.edu.ni

MSc. Teisey Teresa Allen Amador
Universidad de las Regiones Autónomas de la Costa
Caribe Nicaragüense (URACCAN), Nicaragua
teisey.allen@uraccan.edu.ni

Dra. Alba Veranay Díaz Corrales
Universidad Nacional de Ingeniería, CUR - Estelí,
Nicaragua
alba.diaz@norte.uni.edu.ni

MSc. Cristina Margalet Mori Alvez
Universidad de la República Oriental del Uruguay
moricristina332@gmail.com

Diagramación / Soporte técnico

Ing. Ernesto Correa Vásquez
Universidad Nacional Agraria, Nicaragua
ecorrea@ci.una.edu.ni

Contenido

CIENCIA ANIMAL

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE CERDOS ALIMENTADOS CON SUPLEMENTO FERMENTADO EN ESTADO SÓLIDO A BASE DE *Saccharum officinarum* L. Y *Moringa oleifera* Lam. Wendell Antonio Mejía Tinoco, Nadir Reyes-Sánchez, Bryan Gustavo Mendieta-Araica.

P 77-82

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

MODELO PREDICTIVO DEL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL COMO ESTRATEGIA DE MONITOREO DE OBRAS DE COSECHA DE AGUA: MICROCUENCA EL VARILLAL, SAN LUCAS, MADRIZ, NICARAGUA. Orlando Ismael Rodríguez Rodríguez, Cledys Liseth Zelaya Lanzas, Mariann José Espinoza Acuña.

P 83-91

CARBONO AZUL ALMACENADO EN LOS BOSQUES DE MANGLAR DEL PACÍFICO NORTE DE NICARAGUA. Oscar González-Quiroz, Manuel Vanegas, Eugenia Cerda, Melvin Lezama, Claudia Dolmus, Issamar Quiroz, María Paz, Carlos Solís, Eleazar Blanco, Marling Pérez.

P 92-101

CURVAS DE INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA DERIVADA DE LLUVIA MÁXIMA DIARIA A PARTIR DE DATOS DE SEIS ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN NICARAGUA. Miguel Enrique Blanco Chávez.

P 102-109

CIENCIA DE LAS PLANTAS

IDENTIFICACIÓN DE BACTERIAS FITOPATÓGENAS Y SU RELACIÓN CON LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE MAÍZ. Samuel Ezequiel Bustos-Meza, Isaías Ezequiel Sánchez Gómez, Eliézer Hazael Lanuza Rodríguez, Roger Iván Moreira Centeno.

P 110-117

BIOMASA AÉREA Y EDADES DE CORTE DE MORINGA EN BANCOS DE PROTEÍNA EN DOS LOCALIDADES DE MONAGAS, VENEZUELA. Javier Gómez-Martínez, Guillermo Romero-Marcano, Liseth Cárdenas-Ramírez, Ramón Silva-Acuña

P 118-124

DISPONIBILIDAD DE BIOMASA Y CONTENIDO DE PROTEÍNA CRUDA DE CUATRO ESPECIES DE PASTO ASOCIADAS CON *Leucaena leucocephala* CULTIVAR CUNNINGHAM EN SISTEMA DE PASTURAS EN CALLEJONES. Álvaro José González Martínez, Erick Alexander Gutiérrez Rosales.

P 125-133

ALTERNATIVAS BIOLÓGICAS Y BOTÁNICAS PARA EL MANEJO DE *Spodoptera frugiperda* (J.E. SMITH) EN EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.). Juan Carlos Morán Centeno, Aner Rober Velázquez Rivera.

P 134-140

CRECIMIENTO DE ESQUEJES DE LANTANA (*Lantana camara* L.) EN RESPUESTA A LA INTENSIDAD DE LUZ, UN FITORREGULADOR Y UN RETARDANTE DE LA MADURACIÓN. Roger Antonio Castro Castro, Marbell Danilo Aguilar Maradiaga.

P 141-149

AGROINDUSTRIA

LACTOSUERO, ESTABILIZANTES COMERCIALES Y FÉCULA DE MAÍZ EN LA PRODUCCIÓN DE HELADOS ARTESANALES. María Nelly Salazar Cerda, Jorge Antonio Gómez Martínez, Steven Paul Tablada Dávila, Robin Trinidad Flores Reyes, Roberto Carlos Larios González, Donald Alonso Juárez Gámez.

P 150-157

Comportamiento productivo de cerdos alimentados con suplemento fermentado en estado sólido a base de *Saccharum officinarum* L. y *Moringa oleifera* Lam

Productive performance of pigs fed with solid-state fermented supplement based on *Saccharum officinarum* L. and *Moringa oleifera* Lam

Wendell Antonio Mejía Tinoco¹, Nadir Reyes-Sánchez², Bryan Gustavo Mendieta-Araica³

¹ MSc. Producción animal sostenible, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8602-625X> / wendell.mejia@ci.una.edu.ni

² PhD. Nutrición animal, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5579-9396> / nadir.reyes@ci.una.edu.ni

³ PhD. Nutrición animal, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8077-7420> / bryan.mendieta@hotmail.com

Universidad Nacional Agraria, Dirección Específica de Ciencia Animal

Autor de correspondencia: wendell.mejia@ci.una.edu.ni



RESUMEN

Los suplementos alimenticios como alternativas en la alimentación animal pueden ser económica y biológicamente viable. Con el objetivo de evaluar el efecto de la suplementación con la fermentación en estado sólido de *Saccharum officinarum* L. y *Moringa oleifera* Lam. (FES-Moringa) sobre el comportamiento productivo de cerdos en engorde. Esta investigación se realizó en la Dirección Específica de Ciencia Animal de la Universidad Nacional Agraria; se utilizaron 15 cerdos con peso promedio inicial de 54.2 ± 2.8 kg distribuidos en un diseño completamente al azar con tres tratamientos y cinco repeticiones. Los tratamientos consistieron en niveles de inclusión de FES-Moringa en el concentrado comercial: El tratamiento uno fue 100 % de concentrado comercial; el tratamiento dos fue la mezcla de concentrado comercial más 15 % de FES-Moringa y el tercer tratamiento la combinación de concentrado comercial más 25 % de FES-Moringa. Las variables productivas evaluadas fueron: peso vivo final (kg), ganancia de peso total (kg), ganancia media diaria (g), conversión alimenticia (kg) y consumo de alimento (kg). El análisis estadístico se realizó mediante un análisis de varianza y comparaciones de medias usando la prueba de Tukey con 95 % de confiabilidad. En peso vivo final, ganancia de peso total, ganancia media diaria y conversión alimenticia no presentaron diferencias estadísticas entre los niveles de inclusión de FES-Moringa al 15 % y 25 %, sin embargo, son superados por el concentrado comercial,

ABSTRACT

Feed supplements as alternatives in animal feeding can be economically and biologically viable. The objective was to evaluate the effect of supplementation with solid-state fermentation of *Saccharum officinarum* L. and *Moringa oleifera* Lam. (FES-Moringa) on the productive behavior of fattening pigs. This research was carried out at the Specific Direction of Animal Science of the National Agrarian University; 15 pigs with an average initial weight of 54.2 ± 2.8 kg were distributed in a completely randomized design with three treatments and five replicates. The treatments consisted of levels of inclusion of FES-Moringa in the commercial concentrate: Treatment one was 100% commercial concentrate; treatment two was the mixture of commercial concentrate plus 15% FES-Moringa and the third treatment was the combination of commercial concentrate plus 25% FES-Moringa. The productive variables evaluated were final live weight (kg), total weight gain (kg), average daily gain (g), feed conversion (kg) and feed intake (kg). Statistical analysis was performed using an analysis of variance and mean comparisons using Tukey's test with 95% confidence. In final live weight, total weight gain, average daily gain and feed conversion showed no statistical differences between the inclusion levels of FES-Moringa at 15% and 25%, however, they were surpassed by the commercial concentrate, except for feed conversion. In the case of initial weight and feed intake, there were no differences. The inclusion of FES-

Recibido: 20 de febrero del 2024
Aceptado: 16 de agosto del 2024



Los artículos de la revista La Calera de la Universidad Nacional Agraria, Nicaragua, se comparten bajo términos de la licencia Creative Commons: Reconocimiento, No Comercial, Compartir Igual. Las autorizaciones adicionales a las aquí delimitadas se pueden obtener en el correo donauld.juarez@ci.una.edu.ni

© Copyright 2024. Universidad Nacional Agraria (UNA).

excepto para conversión alimenticia. En el caso del peso inicial y del consumo de alimento, no se presentan diferencias. La inclusión de FES-Moringa al 25 % presenta el menor costo total de alimento consumido (USD 34.23) y mayor utilidad bruta (USD 25.11). **Palabras clave:** FES-Moringa, peso vivo final, ganancia de peso total, ganancia media diaria, conversión alimenticia, consumo de alimento.

Moringa at 25% presents the lowest total cost of feed consumed (USD 34.23) and the highest gross profit (USD 25.11).

Keywords: FES-Moringa, final live weight, total weight gain, average daily gain, feed conversion, feed intake.

Los cereales han sido fuentes de alimento para la población humana y animal, “en países como Nicaragua no se puede desarrollar una producción animal sostenible con modelos productivos de países industrializados basados fundamentalmente en cereales y soya” (González *et al.*, 2003, p. 421), ya que las cantidades que se producen crean una competencia con el consumo humano, provocando una insostenibilidad de los sistemas productivos. Según la (Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2002, p. 13) “las previsiones para 2030 indican que el déficit comercial agrícola de los países en desarrollo aumentará al igual que las importaciones de cereales”.

Teniendo en cuenta, que la alimentación representa el 80 % de los costos totales de producción en una granja porcina, es necesario buscar fuentes alternativas de alimentación no convencionales de buena calidad nutricional, fácil consecución, constante producción durante el año y que puedan ser utilizadas en la dieta de los animales, ya sea como suplemento o como materia prima para la elaboración de concentrados y que conlleven a mejorar la producción y productividad de la empresa porcina a bajos costos.

López-Vigoa *et al.* (2017) afirma que el deterioro de la eficiencia productiva y rentabilidad de los sistemas de producción animal en los países tropicales, sumado al deterioro del ambiente, ha obligado a buscar alternativas de alimentación con equilibrio ambiental. Una alternativa para promover la sostenibilidad de los sistemas pecuarios es el uso de recursos locales de alta producción de biomasa, como el follaje de árboles, frutos y arbustos forrajeros, los cuales tienen gran potencial para mejorar los sistemas de producción animal.

La búsqueda de nuevas fuentes no convencionales de alimentación con alta concentración de proteína y energía es un reto para ganaderos e investigadores, sobre todo si se pretende lograr a partir de sistemas de producción convencional hacia sistemas de producción sostenible técnica, financiera y ecológicamente (García *et al.*, 2006).

Se han realizado estudios para mejorar los índices productivos de cerdos de engorde, utilizando otras fuentes

de alimentos no convencionales como: afrecho de yuca como sustituto parcial del maíz (Romero *et al.*, 2017, p. 54); utilización de subproductos industriales (Osorio *et al.*, 2003, p. 65); *Morus alba* (Morera) fresca o en forma de harina (Osorio *et al.*, 2007, p. 61), teniendo resultados positivos, sin embargo, es necesaria la búsqueda de nuevas alternativas alimenticias que estén disponibles para pequeños y medianos productores del país y la región.

La fermentación en estado sólido (FES), es un proceso biotecnológico para desarrollar nuevos alimentos a partir de la utilización de productos o subproductos agroindustriales ricos en carbohidratos solubles y estructurales, esta podría ser una opción viable para el desarrollo de una producción animal sostenible tanto en rumiantes como en monogástricos.

Reyes-Sánchez *et al.* (2018) se refieren a FES-Moringa como “el proceso mediante el cual se desarrollan microorganismos (levaduras), a través de la fermentación de la caña de azúcar de forma aeróbica, con inclusión de follaje fresco de Moringa, obteniéndose valores altos de proteína producto del desarrollo microbiano” (p. 6).

El objetivo de esta investigación es evaluar la inclusión FES-Moringa (fermentación en estado sólido de la mezcla de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) y moringa (*Moringa oleifera* Lam.) en el concentrado comercial como sustituto de granos y cereales y su efecto sobre el comportamiento productivo de cerdos en etapa de engorde.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Centro Académico de Formación Práctica (CAFoP-Porcino) de la Dirección Específica de Ciencia Animal en la Universidad Nacional Agraria (UNA) en Managua, Nicaragua; se localiza geográficamente según el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER, 2010) a 12°08'33" de latitud Norte y 86°10'31" longitud Oeste. Se sitúa a 57 msnm y presenta temperatura media anual de 27.3 °C, la precipitación histórica es de 1 119.8 mm anuales con humedad relativa del 72 %.

Se utilizaron 15 cerdos con un peso vivo inicial de 54.2 ± 2.8 kg, distribuidos en un diseño experimental completamente al azar, con tres tratamientos y cinco

CIENCIA ANIMAL

repeticiones por tratamiento. Los tratamientos en estudio fueron: 1) Concentrado comercial (CC), 2) CC con 15 % de inclusión de FES-Moringa, subsecuentemente FES-Moringa al 15 % y 3) CC con 25 % de inclusión de FES-Moringa, llamado en adelante FES-Moringa al 25 %.

Las variables productivas evaluadas fueron: peso vivo final (kg), ganancia de peso total (kg), ganancia media diaria (g), conversión alimenticia (kg) y consumo de alimento (kg), para esto los cerdos fueron alojados durante 60 días en corrales de 15 m², piso de concreto y equipados con comederos y bebederos. En el Cuadro 1 se muestran las dietas que se utilizaron, con sus respectivos ingredientes, siendo estas isoproteicas y se formularon de acuerdo con los requerimientos sugeridos por National Research Council (NRC, 1998, p. 113) para cerdos en finalización.

Cuadro 1. Ingredientes y composición nutricional de los tratamientos (raciones isoproteicas) para cerdos de engorde

| Ingredientes | CC | FES-Moringa al 15 % | FES-Moringa al 25 % |
|------------------------|--------------|---------------------|---------------------|
| FES-Moringa | 0.00 | 15.00 | 25.00 |
| Sorgo | 40.00 | 40.00 | 39.00 |
| Semolina | 29.20 | 18.20 | 11.00 |
| Melaza de caña | 4.00 | 5.00 | 5.00 |
| Harina de soya | 14.00 | 14.00 | 11.60 |
| Tankaje | 6.00 | 5.00 | 6.00 |
| Cascarilla soya molida | 0.40 | 0.40 | 0.00 |
| Cascarilla de maní | 4.00 | 0.00 | 0.00 |
| CaCO ₃ fino | 0.64 | 0.64 | 0.64 |
| Sal común | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| Salmex | 0.23 | 0.23 | 0.23 |
| Termitox | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| Biolys | 0.42 | 0.42 | 0.42 |
| Premix cerdos | 0.27 | 0.27 | 0.27 |
| Óxido de zinc | 0.06 | 0.06 | 0.06 |
| Metionina | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| Total | 100 | 100 | 100 |
| PB (%) | 15.79 | 16.08 | 16.27 |
| ED (Mcal) | 3 230 | 3 100 | 3 050 |
| FB (%) | 5.28 | 8.23 | 11.20 |

CC: Concentrado comercial, CaCO₃: Carbonato de calcio, PB: Proteína bruta, ED: Energía digestible, FB: Fibra bruta.

Los animales se alimentaron todos los días a la 8:00 am. Tuvieron acceso al alimento y al agua *ad libitum*. La cantidad de alimento ofrecida a los cerdos se ajustó diariamente de acuerdo con lo rechazado el día anterior, para garantizar que los animales tuvieran siempre alimento a libre disponibilidad. Durante el período experimental se realizaron estimaciones del consumo diario de alimento.

El pesaje de los cerdos se realizó en una báscula electrónica marca TRU-TEST serie EC 2000, con capacidad de 2 000 kg y precisión de 0.1 kg. El primer pesaje se realizó

al inicio de la prueba y subsecuentemente cada 14 días hasta completar los 60 días de evaluación. Para el último pesaje y sacrificio, los animales fueron sometidos a un ayuno de 16 horas. El procedimiento para el sacrificio fue por aturdimiento y posteriormente sangrado.

El análisis estadístico se realizó mediante un análisis de varianza (ANDEVA) y comparaciones de medias usando la prueba de Tukey al 5 % de margen de error. El programa estadístico usado fue Minitab versión 17.1.0 (2013).

Con la finalidad de comparar los costos por tratamiento y determinar la utilidad bruta al sustituir una de las raciones por otra, se realizó un análisis financiero utilizando la conversión alimenticia como factor de cálculo para estimar los costos de alimentación, considerando además el consumo total de alimento durante el periodo experimental, el costo total del alimento consumido y el precio del kilogramo de carne de cerdo en pie, para obtener el ingreso total y la utilidad bruta. Las diferencias entre las utilidades brutas indican si el cambio de una ración por otra se justifica o si el resultado fuera negativo o muy pequeño, el cambio no se justifica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables productivas. El aumento del peso vivo de un animal depende de factores relacionados intrínsecamente a este (edad, raza, consumo de alimento, digestión y aprovechamiento), y al alimento (cantidad suministrada, calidad de la materia prima utilizada en la formulación de la dieta).

Con relación al peso vivo final (PVF), ganancia de peso total (GPT), ganancia media diaria (GMD) y conversión alimenticia (Conv. A.), no se observan diferencias estadísticas entre los niveles de inclusión de FES-Moringa al 15 % y 25 %, sin embargo, para PVF, GPT y GMD el concentrado comercial supera a los tratamientos que incluyen FES-Moringa, excepto para conversión alimenticia (Conv. A.). En el caso del peso inicial (PI) y del consumo de alimento (Cons. A.), no hay

diferencias estadísticas (Cuadro 2).

El peso vivo final responde al consumo de alimento y expresa directamente el aprovechamiento que el animal realiza de los nutrientes presentes en el alimento. Si el alimento es digerido y la absorción de nutrientes es eficiente, de mayor magnitud será el peso que obtenga al final de un período determinado. El peso vivo final de los cerdos alimentados con concentrado comercial con niveles de inclusión de 15 % y 25 % de FES-Moringa (85.92 kg y 83.72 kg, respectivamente), son próximos a lo reportado

Cuadro 2. Comportamiento productivo en relación a la inclusión de FES-Moringa al 15 % y 25 % y concentrado comercial

| Tratamientos | Variables productivas | | | | | |
|-----------------------|-----------------------|----------|----------|----------------------------|---------------|---------------|
| | PI (kg) | PVF (kg) | GPT (kg) | GMD (g día ⁻¹) | Conv. A. (kg) | Cons. A. (kg) |
| Concentrado comercial | 56.74 | 92.20 a | 35.46 a | 590.8 a | 3.07 b | 108.73 |
| FES-Moringa al 15 % | 55.08 | 85.92 b | 30.84 b | 513.6 b | 3.51 a | 108.25 |
| FES-Moringa al 25 % | 53.60 | 83.72 bc | 30.12 bc | 502.0 bc | 3.45 a | 104.05 |

PI: Peso inicial, PVF: Peso vivo final, GPT: Ganancia de peso total, GMD: Ganancia media diaria, Conv. A.: Conversión alimenticia, Cons. A.: Consumo de alimento.

por González *et al.* (2003), quienes registraron un peso de 87.25 kg para cerdos alimentados con concentrado comercial con 25 % de harina de raíz de batata; Araque *et al.* (2005) también reportan valores similares de peso vivo en cerdos que consumieron concentrado comercial con 24 % de harina de hojas de *Morus alba* (80.22 kg) y de *Trichantera gigantea* (85.25 kg).

La ganancia de peso total durante un período de tiempo determinado es estimada mediante la diferencia entre el peso final y el peso inicial del cerdo en esa etapa, y es un componente indispensable para medir el desempeño en conversión alimenticia (Castellanos, 2022).

La ganancia media diaria (GMD) de un animal está relacionada con la ingesta de alimento y por ende afecta los índices económicos de la granja. En este estudio la GMD de los cerdos decreció significativamente a medida que se incrementó el nivel de inclusión de FES-Moringa en la dieta (Cuadro 2). Los valores obtenidos con 15 % y 25 % de inclusión de FES-Moringa (513.6 g día⁻¹ y 502 g día⁻¹) son similares a los reportados por Gómez *et al.* (2007), quienes evaluaron alternativas no convencionales y obtuvieron un rango entre 540.5 g día⁻¹ y 536.8 g día⁻¹ al probar niveles de inclusión de torta de palmiste en concentrado comercial; en cambio Ly *et al.* (2014) reportan valores superiores a los de este estudio, al registrar 653 g día⁻¹ de ganancia media diaria con el uso de miel rica como fuente energética en alimentación de cerdos de engorde.

La conversión alimenticia (Conv. A.) es un indicador de producción importante en la producción de cerdos de engorde, principalmente para la evaluación técnica y económica de la granja porcina, ya que indica la relación entre el consumo de alimento y la ganancia de peso que tienen los cerdos en un periodo de tiempo determinado; es decir que entre más bajo sea el valor de conversión alimenticia es mejor, porque significa que se necesita menos alimento para ganar 1 kg de peso vivo. En este estudio se encontró que a medida que se incrementaron los niveles de inclusión de FES-Moringa, la conversión alimenticia disminuye. Sin embargo, se obtiene menor conversión alimenticia con el concentrado comercial. Contino-Esquijerosa *et al.* (2017) reportan 3.7 kg de conversión alimenticia para cerdos alimentados con concentrado no convencional.

El consumo de alimento (Cons. A.) se regula a través de mecanismos neurobiológicos. El núcleo paraventricular del sistema nervioso central situado en el hipotálamo del cerdo, alberga el centro del hambre y el centro de la saciedad, por tanto, tiene un papel preponderante sobre el consumo voluntario

diario de concentrado (Olsen y Smith, 2012).

El consumo de alimento en este estudio no difiere estadísticamente (Cuadro 2) a pesar de que el contenido de fibra bruta fue superior en el tratamiento con FES-Moringa al 15 % (8.23 %) y FES-Moringa al 25 % (11.2 %) de inclusión en la ración, en comparación con el concentrado comercial (5.28 %) (Cuadro 1).

Existen diversos factores que influyen en el consumo de alimento en los porcinos: genética, manejo, estado de producción, sexo, condiciones ambientales y nutrición. La concentración energética de las dietas es ampliamente conocida como el primer factor determinante para establecer el consumo voluntario de concentrado (Palomo, 2024).

La principal limitante para la utilización de FES-Moringa como ingrediente alimenticio no convencional, con altos niveles de inclusión, es el “gran volumen” o “baja densidad energética” que limita el consumo de alimento y por su contenido en fibra, limita la utilización de nutrientes. Otro factor que afecta el consumo es la regulación física (retraso en la digestibilidad) debido al incremento del tiempo de retención en el estómago (Savón *et al.*, 2005).

Análisis financiero. El alimento es el principal insumo en el proceso de producción de cerdos, por lo tanto, es un indicador altamente sensible en el costo de producción; pequeñas variaciones en este indicador van a impactar directamente en la utilidad generada por esta actividad. En la actualidad el continuo incremento de los precios de las materias primas convencionales utilizadas para la producción de alimentos para cerdos ha tenido un impacto directo en el precio del alimento y consecuentemente en los costos de producción.

Al maximizar las utilidades se visualiza la diferencia entre el nivel de producción que constituye el óptimo técnico y aquel que representa el óptimo financiero. El óptimo técnico ilustra las posibilidades de producción de una cierta tecnología a partir del empleo de niveles sucesivos de insumos y que encuentra su máximo en términos de volumen de producción física. El óptimo financiero es donde se maximizan los beneficios (ingresos totales – costos totales) y esto depende del precio de la carne y de su estructura de costos.

CIENCIA ANIMAL

Cuadro 3. Análisis financiero del efecto de inclusión de FES-Moringa al 15 % y 25 % y concentrado comercial

| Tratamientos | CA | GPT (kg) | CTA (kg) | CAL (USD) | CTAC (USD) | PKCC (USD) | IT (USD) | UB (USD) |
|-----------------------|------|----------|----------|-----------|------------|------------|----------|----------|
| Concentrado comercial | 3.07 | 35.46 | 108.73 | 0.43 | 46.75 | 1.97 | 69.86 | 23.11 |
| FES-Moringa al 15 % | 3.51 | 30.84 | 108.25 | 0.349 | 37.78 | 1.97 | 60.75 | 22.97 |
| FES-Moringa al 25 % | 3.45 | 30.12 | 104.05 | 0.329 | 34.23 | 1.97 | 59.34 | 25.11 |

CA: Conversión alimenticia; GPT: Ganancia peso total; CTA: Consumo total de alimento; CAL: Costo kilogramo de alimento; CTAC: Costo total alimento consumido; PKCP: Precio kilogramo carne de cerdo; IT: Ingreso total venta de carne; UB: Utilidad bruta.

En este análisis financiero, se utiliza la conversión alimenticia como factor de cálculo para estimar los costos de alimentación y la utilidad bruta. En el Cuadro 3, se indica que FES-Moringa al 25 % presenta el menor costo total de alimento consumido (CTAC) y mayor utilidad bruta (UB).

CONCLUSIONES

Sobre la base de las variables del comportamiento productivo, la alimentación con concentrado comercial permite una mejor respuesta en ganancia de peso y conversión alimenticia, sin embargo, con el uso de la inclusión de FES-Moringa al 25 %, se obtiene menor costo por kilogramo de alimento y mayor utilidad bruta, por lo que se convierte en una alternativa viable económicamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araque, H., González, C., Pok, S. y Ly, J. (2005). Comportamiento productivo de cerdos en finalización alimentados con harina de hojas de morera y trichantera. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias*, 15(6), 517+. <https://link.gale.com/apps/doc/A499096793/IFME?u=anon~ec5f6ca1&sid=googleScholar&xid=ea22839e>
- Castellanos, E. (2022). *Impacto de la conversión alimenticia en el costo de producción*. <https://masporcicultura.com/impacto-de-la-conversion-alimenticia-en-el-costo-de-produccion/>
- Contino-Esquiverosa, Y., Herrera-González, R., Ojeda-García, F., Iglesias-Gómez, J. M. y Martín-Martín, G. J. (2017). Evaluación del comportamiento productivo en cerdos en crecimiento alimentados con una dieta no convencional. *Pastos y Forrajes*, 40(2), 152-157. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269158172013>
- García, D. E., Medina, M. G., Domínguez, C., Baldizán, A., Humbria, J. y Cova, L. (2006). Evaluación química de especies no leguminosas con potencial forrajero en el estado Trujillo, Venezuela. *Zootecnia Tropical*, 24(4), 401-415. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692006000400002&lng=es&tlng=es.
- González, C., Díaz, I., León, M., Ly, J., Vecchionacce, H. y Bianco, A. (2003). Rasgos de comportamiento y canal en cerdos alimentados con harina de raíz de batata (*Ipomoea batatas* L.). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 37(4), 421-425. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193018056012.pdf>
- Gómez, A. S., Benavidez, C. I. y Diaz, C. M. (2007). Evaluación de torta de palmiste (*Elaeis guineensis*) en alimentación de cerdos de ceba. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 5(1), 54-63. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/650>
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. (2010). *Registros estadísticos. Informe meteorológico Estación meteorológica del Aeropuerto Internacional Augusto Cesar Sandino. Código 69027*. INETER.
- López-Vigoa, L. V., Sánchez-Santana, T., Iglesias-Gómez, J. M., Lamela-López, L., Soca-Pérez, M., Arece-García, J. y Milera-Rodríguez, M. (2017). Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto actual de la ganadería tropical. *Pastos y Forrajes*, 40(2), 83-95. https://doi.org/http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942017000200001&lng=es&tlng=pt
- Ly, J. (2014). Miel rica o maíz, como fuente de energía para cerdos en crecimiento. Estudios de distribución de digesta en condiciones de ayuno. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(3), 277-280. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193032133012>
- MINITAB. (2013). *Minitab User's Guide 2. Data Analysis and Quality tools, Release 17.1.0 for Windows*. Minitab Inc.
- National Research Council. (1998). *Nutrient requirements of swine* (10 ed). The National Academies. <https://doi.org/10.17226/6016>
- Olsen Alstrup, A. K., & Smith, D. F. (2012). PET neuroimaging in pigs. *Scandinavian journal of laboratory animal science*, 39(1), 25-45. <https://ojs.utlib.ee/index.php/SJLAS/article/view/21594/16292>

- Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2002). *Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030*. FAO. <http://www.fao.org/3/y3557s/y3557s00.htm>
- Osorto, W. A., Lara, P. E., Sierra, A. C. y Sangines, J. R. (2003). Harina de morera como ingrediente de la ración alimenticia de cerdos en crecimiento y engorda. *XII Congreso Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico Agropecuario*. Conkal, México.
- Osorto, W. A., Lara, P. E., Magaña, M. A., Sierra, A. C. y Sanginés, J. R. (2007). Morera (*Morus alba*) fresca o en forma de harina en la alimentación de cerdos en crecimiento y engorde. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 41(1), 61-65. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193017666011.pdf>
- Palomo, A. (2024). *Consumo medio diario de alimentos en porcino*. *Setna Nutrición Sau*. <https://www.seleccionesveterinarias.com/consumo-medio-diariode-alimentos-en-porcino/>
- Reyes-Sánchez, N., Mendieta-Araica, B., Rodríguez, R. y Caldera, N. (2018). Fermentación en estado sólido de caña de azúcar y harina de hojas de *Moringa oleifera* para alimentación animal. *La Calera*, 18(30), 1-6. <https://camjol.info/index.php/CALERA/article/view/7732/7279>
- Romero de Armas, R., Alcivar Acosta, E. y Alpizar Muni, J. (2017). Afrecho de yuca como sustituto parcial del maíz en la alimentación de cerdos de engorde. *La Técnica, (Edición especial)*, 54-61. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6230432>
- Savón, L., Gutiérrez, O., Ojeda, F. y Scull, I. (2005). Harinas de follajes tropicales: una alternativa para la alimentación de especies monogástricas. *Pastos y Forrajes*, 28(1), 69-79. <https://www.redalyc.org/pdf/2691/269121628006.pdf>

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

Modelo predictivo del escurrimiento superficial como estrategia de monitoreo de obras de cosecha de agua: Microcuenca El Varillal, San Lucas, Madriz, Nicaragua

Predictive Model of Surface Runoff as a Monitoring Strategy for Water Harvesting Structures: El Varillal Micro-watershed, San Lucas, Madriz, Nicaragua

Orlando Ismael Rodríguez Rodríguez¹, Cledys Lisseth Zelaya Lanzas², Mariann José Espinoza Acuña³

¹ Ingeniero en Recursos Naturales, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6028-7352> / orlandorodrig841@gmail.com

² Ingeniera en Recursos Naturales, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1556-7930> / cledyszelaya934@gmail.com

³ Ingeniera Forestal, Dirección Específica de Ciencias Ambientales y Cambio Climático, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8862-8297> / mariann.espinoza@ci.una.edu.ni / mareacuna11@gmail.com

Autor para correspondencia: mariann.espinoza@ci.una.edu.ni



RESUMEN

El corredor seco nicaragüense tiene una alta vulnerabilidad ante el Cambio Climático. Madriz, departamento de la zona Central Norte de Nicaragua, al ser parte de éste, enfrenta grandes desafíos debido a la variabilidad climática. Ante el comportamiento errático del clima, resulta indispensable monitorear la escorrenría superficial y comprender su comportamiento bajo escenarios climáticos para la evaluación del potencial las Obras de Cosecha de Agua. El objetivo de este estudio es comparar el escurrimiento superficial bajo tres escenarios climáticos para identificar el impacto del cambio climático sobre dichas obras. Este estudio se realizó en la microcuenca El Varillal, en San Lucas, Madriz, Nicaragua utilizando Soil and Water Assessment Tool (SWAT), el cual modela el comportamiento hidrológico considerando las características del suelo, usos del suelo y clima. Se utilizó un registro climático histórico del 2000 al 2021, y las Sendas Representativas de Concentración (RCP) 2.6 y 8.5 para el periodo 2040 al 2069 como escenarios climáticos a comparar. La variable estudiada fue el escurrimiento superficial estimada a partir de las unidades de respuesta hidrológica de la microcuenca. La microcuenca presenta suelos arcillosos y usos agrícolas y pecuarios en pendientes escarpadas, lo que le atribuye un alto potencial para la cosecha de agua.

ABSTRACT

The Nicaraguan dry corridor is highly vulnerable to climate change. Madriz, a department in the Central-Northern region of Nicaragua and part of this corridor, faces significant challenges due to climate variability. Given the erratic behavior of the climate, it is essential to monitor surface runoff and understand its behavior under different climate scenarios to evaluate the potential of water harvesting structures. The objective of this study is to compare surface runoff under three climate scenarios to identify the impact of climate change on these structures. This study was conducted in the El Varillal micro-watershed, in San Lucas, Madriz, Nicaragua using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT), which models hydrological behavior by considering soil characteristics, land use, and climate. A historical climate record from 2000 to 2021 was used, along with Representative Concentration Pathways (RCP) 2.6 and 8.5 for the 2040 to 2069 period, as the climate scenarios to compare. The variable studied was surface runoff, estimated from the hydrological response units of the micro-watershed. The micro-watershed has clay soils and agricultural and livestock uses on steep slopes, giving it high potential for water harvesting. However, the effectiveness of the structures depends on proper maintenance and

Recibido: 22 de mayo del 2024

Aceptado: 5 de septiembre del 2024



Los artículos de la revista La Calera de la Universidad Nacional Agraria, Nicaragua, se comparten bajo términos de la licencia Creative Commons: Reconocimiento, No Comercial, Compartir Igual. Las autorizaciones adicionales a las aquí delimitadas se pueden obtener en el correo donald.juarez@ci.una.edu.ni

Copyright 2024. Universidad Nacional Agraria (UNA).

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

Sin embargo, la efectividad de las obras depende de su mantenimiento adecuado y la gestión del área de captación para evitar la erosión y asegurar la infiltración de agua. Bajo los escenarios climáticos futuros, se prevé que con la Senda Representativa de Concentración 2.6, el escurrimiento aumente en un 101,56%, y con la Senda Representativa de Concentración 8.5, un 109.48 %, en relación con el histórico. Esto indica que, ante eventos de precipitaciones, la integridad de las obras de cosecha de agua podría verse comprometida si no se implementan estrategias de conservación y manejo de cobertura.

Palabras clave: escorrentía, número de curva, balance hídrico, caudal, unidades de respuesta hidrológica.

management of the catchment area to prevent erosion and ensure water infiltration. Under future climate scenarios, it is expected that with the Representative Path of Concentration 2.6 scenario, runoff will increase by 101.56%, and with the Representative Path of Concentration 8.5 scenario, by 109.48%, compared to historical data. This suggests that, during rainfall events, the integrity of water harvesting structures could be compromised if conservation strategies and coverage management are not implemented.

Keywords: runoff, curve number, water balance, flow, hydrological response units.

Acorde al VI Informe sobre Cambio Climático y la tierra del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Arias *et al.*, 2021) la frecuencia e intensidad de algunas condiciones meteorológicas y eventos climáticos extremos han aumentado a consecuencia del calentamiento global y seguirán incrementando bajo escenarios de emisiones medias a altas. Se evidencia que los cambios en las condiciones de la tierra modulan la probabilidad, la intensidad y la duración de muchos eventos extremos, incluidas las olas de calor y eventos de precipitaciones intensas.

Nicaragua es uno de los países con alta vulnerabilidad al cambio climático, lo que se ha evidenciado en los impactos recientes de eventos climáticos, siendo el recurso agua el más afectado debido a los aumentos observados y proyectados en temperatura, evaporación y variabilidad en las precipitaciones (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC], 2007). “Parte del territorio de los departamentos de Madriz, Nueva Segovia, municipios del norte de León, Estelí, Chinandega y oeste de Matagalpa, conforman el denominado Corredor Seco de Nicaragua” (Blandón, 2018, p.3), los que presentan la mayor vulnerabilidad ante el Cambio Climático.

El escurrimiento es un proceso fundamental en la distribución de los recursos hídricos en la superficie terrestre, manteniendo el equilibrio en los ecosistemas y los acuíferos. El volumen de agua que escurre sobre la superficie e infiltra a los acuíferos está en dependencia del uso y manejo del suelo, la topografía y el tipo del suelo. Las prácticas de manejo del suelo en combinación con el manejo de la cobertura vegetal, influye directamente en el volumen de agua que escurre de manera superficial en una cuenca, por tanto, este proceso es de vital importancia para garantizar la seguridad hídrica, puesto que a través de obras de agua se almacena el volumen de agua que escurre superficialmente para servir como suministro de agua en actividades agropecuarias, en zonas donde la variabilidad de las precipitaciones es incierta debido a los efectos del cambio climática.

En Nicaragua muchas de las tierras de pastoreo se encuentran en áreas secas susceptibles al déficit hídrico; toda disminución en calidad posterior de los recursos hídricos afectará en gran medida la disponibilidad de agua para pastoreo, lo que implica un impacto sobre la productividad. (Blandón, 2018, p. 3)

Las obras de cosecha de agua son la alternativa más viable o quizás la más acertada para utilizarla como medida de adaptación, ya que permiten que los pobladores rurales cuenten con acceso al agua gracias a su almacenamiento a partir de la captura de la escorrentía superficial, garantizando así la resiliencia en los sistemas productivos. Considerando la relevancia de éstas ante la incertidumbre climática que vivimos, surge la necesidad de analizar el comportamiento de la escorrentía superficial para determinar el potencial de las obras de cosecha de agua bajo distintos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero.

Con el proyecto “Adaptación de la agricultura del cambio climático a través de la cosecha de agua en Nicaragua” realizado por la Universidad Nacional Agraria, en convenio con el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), se realizó una modelación hidrológico con Soil and Water Assessment Tool (SWAT) en El Varillal ubicada en el departamento de Madriz, para generar información base que sustente la toma de decisiones en función de la planificación y la implementación de acciones a nivel de manejo de recursos naturales, del sistema de cosecha de agua y la gestión integrada de los recursos hídricos de la zona.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. La microcuenca El Varillal se encuentra ubicada en las coordenadas UTM 534459.2 y 1481764.9. Está localizada en la parte alta del Río Coco, dentro de los municipios San Lucas (97 %) y Somoto (3%), en la zona Norte de Nicaragua. En su territorio se encuentran tres comunidades rurales: Mal Paso, La Playa, Valle de Sonís, donde se han establecido un total de 23 obras de cosecha de agua por escorrentía.

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

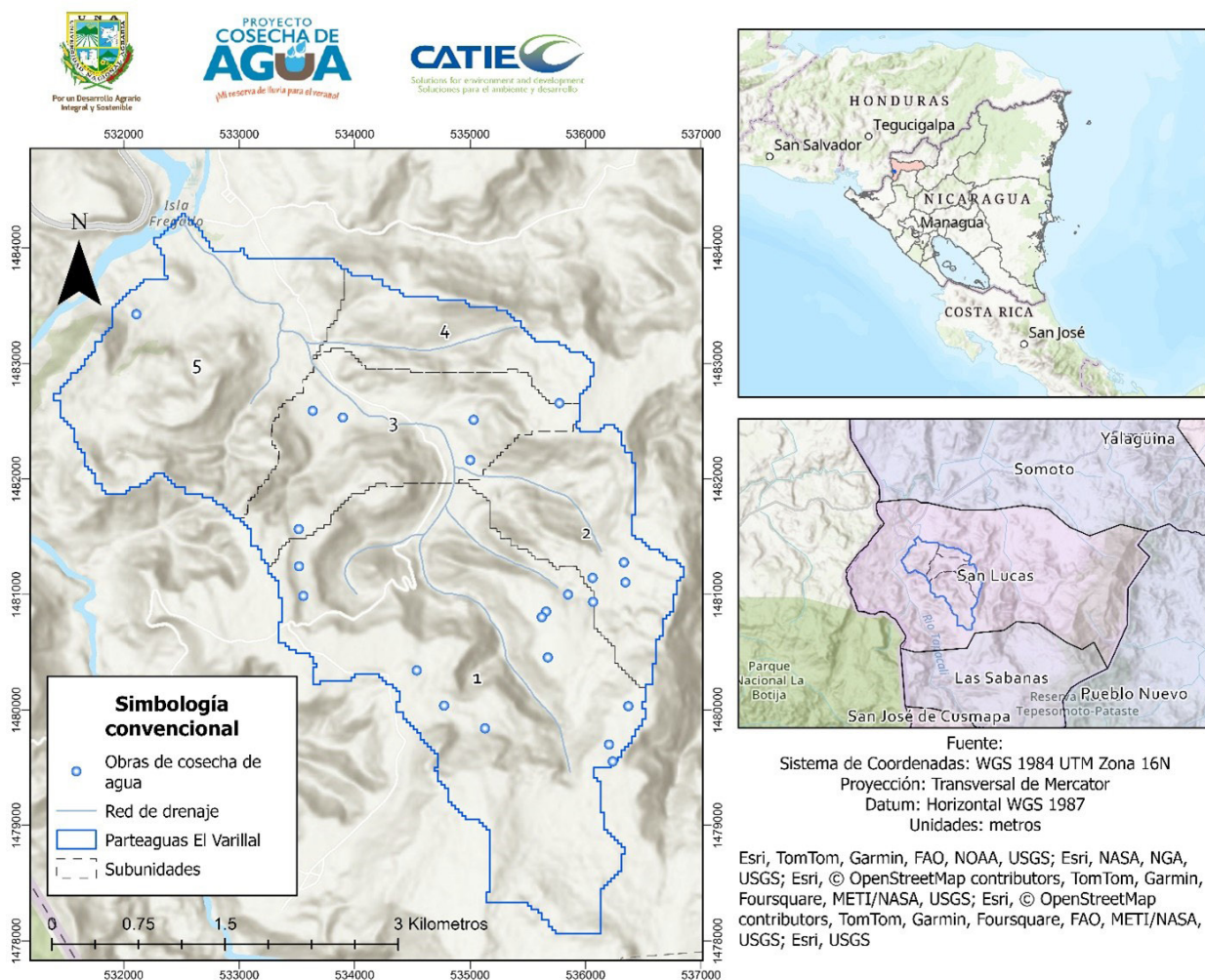


Figura 1. Ubicación geográfica de la microcuenca El Varillal y obras de cosecha de agua, San Lucas, Madriz, 2021.

Geológicamente la zona está constituida por depósitos aluviales del cuaternario reciente que se presentan en los valles y planicies. En las cordilleras, las formaciones geológicas son Matagalpa, coyol superior e inferior, Totogalpa, rocas intrusivas del Cretácico y rocas metamórficas del Paleozoico; cuya litología está dominada por rocas volcánicas de carácter ácido. (Alianza por la Resiliencia, 2014)

Según la clasificación de zonas de vida de Holdridge, el 90 % de la superficie de la microcuenca presenta Bosque Seco Subtropical (BSSt), y el restante, Bosque Seco Subtropical Premontano (BSSTP), el que comprende la parte alta de la microcuenca. En cuanto a la clasificación climática de Köppen, presenta un clima de sabana tropical, con temperaturas que oscilan entre 24 °C y 25 °C y precipitaciones anuales entre 630 mm y 800 mm.

Soil and Water Assessment Tool (SWAT). Es un modelo hidrológico semi distribuido para simular la calidad y cantidad

de agua superficial y subterránea y predecir el impacto ambiental del uso de la tierra, las prácticas de manejo de la tierra y el cambio climático en la producción de sedimentos y la contaminación del agua con agroquímicos.

El modelo hidrológico SWAT permite pronosticar el impacto del manejo del suelo en la generación de sedimentos y regulación del agua en la microcuenca. Este genera unidades de respuestas hidrológicas acorde al uso de suelo, tipo de suelo y relieve, permitiendo así determinar el aporte de agua en términos de escurrimiento superficial. A partir de esta variable, se infirió la viabilidad de las obras de cosechas de agua por escorrentía, considerando escenarios climáticos futuros.

SWAT requiere información detallada sobre variables climáticas, relieve, uso y tipo de suelo de una cuenca. A partir del modelo de elevación digital Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) con una resolución de 30 metros, se delimitó el parteaguas de la microcuenca y

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

su red de drenaje, lo que permitió la subdivisión del área en estudio en “subunidades” de análisis, cuyo punto de drenaje coincide con la ubicación de cinco puntos de aforo establecidos en la red de drenaje.

Unidades de respuesta hidrológica. Las Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU) corresponden a superficies con características de pendiente, uso actual del suelo y orden de suelo coincidentes. Su delimitación implica el reconocimiento de los gradientes de pendientes, uso actual de la tierra y características del suelo. La pendiente se obtuvo del modelo de elevación digital NASA (Shuttle Radar Topography Mission [SRTM], 2013).

La caracterización del suelo se realizó muestreo por toposecuencia con barrenadas según la metodología plantada por la (Universidad Nacional Agraria y Catholic Relief Services [UNA y CRS], 2017). Se describió a detalle cinco perfiles de suelo, clasificándolos a nivel de subgrupo taxonómico apoyado de la “Guía para la descripción de suelos”, de la (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación [FAO], 2009) y “Claves para la taxonomía de suelos” del (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA], 2014).

La clasificación del uso de la tierra, se realizó con la metodología desarrollada por el Programa Regional de Reducción de Emisiones de la Degradación y Deforestación de Bosques en Centroamérica y República Dominicana (REDD/CCAD-GIZ, 2014), que consiste en el levantamiento de puntos de control en los diferentes usos de suelo para realizar una clasificación supervisada con la regla de decisión “Máxima verosimilitud” utilizando una imagen satelital de Sentinel II de noviembre del 2021 de Earth Explorer.

Escenarios climáticos. Se comparó el comportamiento del escurrimiento superficial bajo tres escenarios climáticos constituidos por un registro diario de precipitaciones, temperatura máxima y mínima, velocidad del viento y radiación solar. El primer escenario corresponde a datos históricos del periodo 2000-2021, cuyas variables climáticas fueron obtenidas a través de la plataforma Climate Engine, con los datasets CHIRPS (Funk *et al.*, 2014) y CFS Reanalysis (Saha *et al.*, 2011).

Se utilizó dos escenarios climáticos futuros para el periodo 2040 al 2069 considerando las Sendas Representativas de Concentración (RCP) 2.6 y 8.5, obtenidos de MarkSim DSSAT weather file generator (Jones & Thornton, 2002). Estas Sendas Representativas de Concentración son trayectorias contrastantes de emisiones y concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero, emisiones de contaminantes atmosféricos y uso del suelo; la Senda Representativa de Concentración 2.6 es un escenario de emisiones bajas de CO₂; mientras que 8.5, corresponde

a un escenario que sigue la tendencia de incremento de emisiones (IPCC, 2015).

Escurrimiento superficial. Se establecieron cinco puntos de estaciones de aforo, distribuidos a lo largo del cauce principal. Se estimó el caudal circulante con el método velocidad/superficie (Hudson, 1997), utilizando un molinete digital, modelo Global Water FP111. Las mediciones fueron realizadas de manera mensual en el periodo de agosto del 2021 a abril del 2022. Estos datos fueron insumos para verificar si los caudales reales eran comparables con el caudal estimado por el modelo hidrológico a partir del escenario climático histórico.

El modelo hidrológico SWAT utiliza el método de número de curvas numéricas (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y el Servicio de Conservación de Suelo [USDA-SCS], 1972), basado en la estimación directa de una cantidad específica de precipitación partiendo de las características de suelo, usos y cobertura vegetal. SWAT divide la cuenca en subunidades, en este sentido definidas por los cinco puntos de estaciones de aforo, y genera las Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU, por sus siglas en inglés). Estas corresponden a superficies con características de pendiente, uso actual del suelo y orden de suelo coincidentes. Para cada subunidad de análisis definida con el modelo de elevación digital, SWAT estima el escurrimiento superficial mediante el método de número de curva a partir de las unidades de respuesta hidrológica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Unidades de respuesta hidrológica. La combinación de la pendiente, uso de la tierra y tipo de suelo permitió la identificación de 137 unidades de respuesta hidrológica dentro de la microcuenca (Figura 2).

La microcuenca presenta una elevación mínima de 704.2 msnm y máxima de 1156 msnm con una pendiente media de 21.07 %, y un terreno fuertemente accidentado en su parte media y alta. Los suelos se clasifican en dos órdenes, divididos en tres subgrupos taxonómicos siendo estos el orden entisol (Lithic ustorthents, Vertic ustorthents) y vertisol (Typic haplusterts). En términos generales, la microcuenca presenta mayoritariamente suelos entisoles pocos profundos, con afloramiento rocosos y con clases texturales predominantemente arcillosas, ocupando el 67.6% del área total.

Se identificó ocho usos de la tierra, siendo estos pastizales (PAST), cultivo anual (AGRL), vegetación arbustiva (RNGB), bosque latifoliado (FRSD), plantaciones forestales (FRST), suelos sin vegetación (BARR), caseríos y agua (WATR). El uso predominante en la microcuenca son los pastizales, que representan 59.01% del área total, seguido de la vegetación arbustiva, 17.42%; y bosque latifoliado, 17.38 %.

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

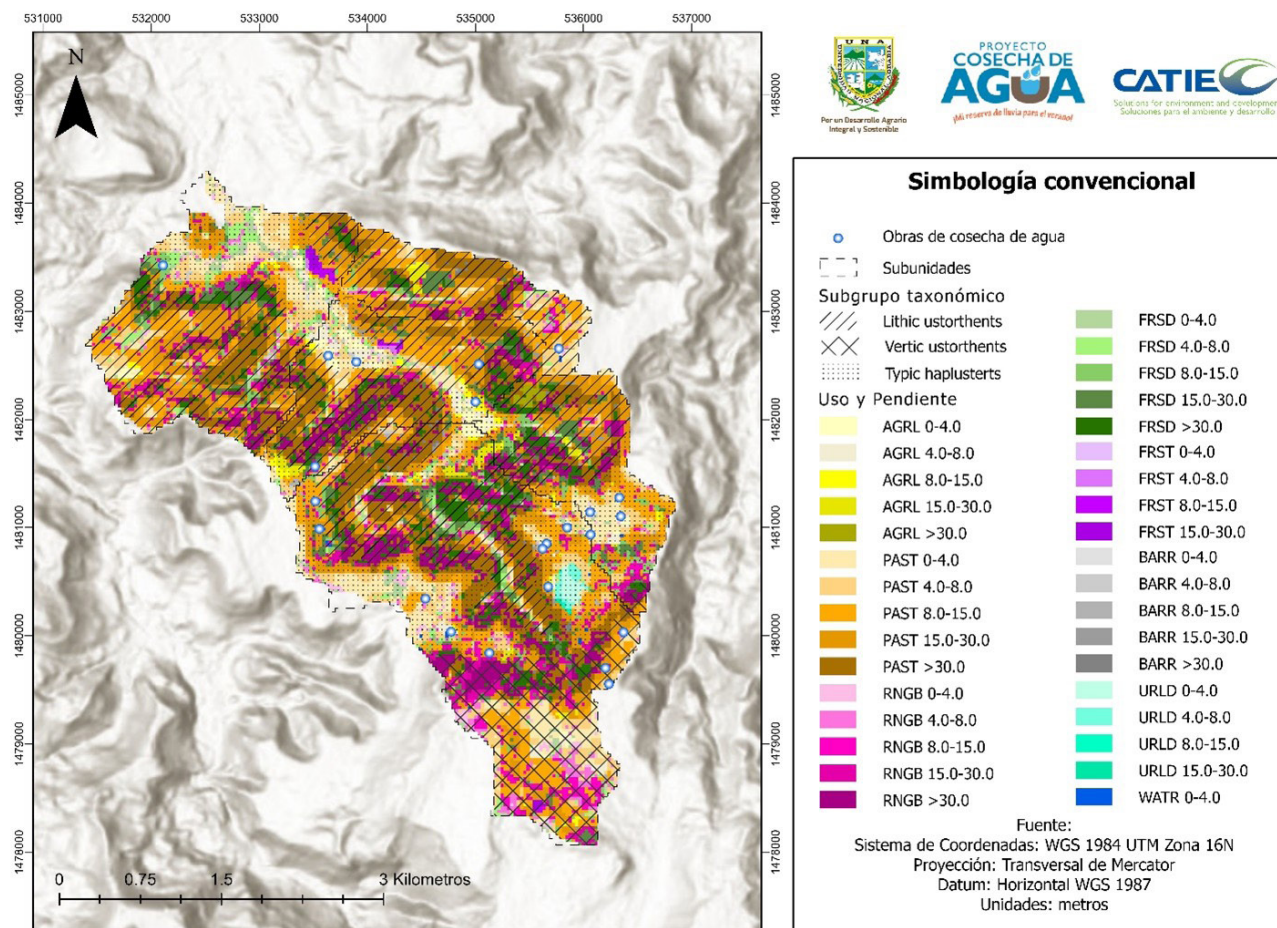


Figura 2. Unidades de respuesta hidrológica en la microcuenca El Varillal, 2021.

Escenarios climáticos. En la Figura 3, se muestra las variaciones entre los tres escenarios climáticos (Histórico, RCP 2.6 y RCP 8.5). Para finales del siglo, se prevé que aumente la frecuencia de ciclones categoría 4 y 5 (Comisión Económica para América Latina [CEPAL], 2012) y eventos climáticos como fuertes sequías y lluvias torrenciales en periodo pequeño (Arias *et al.*, 2021).

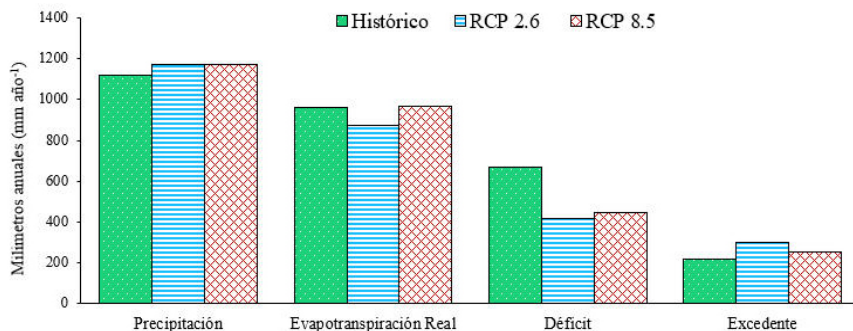


Figura 3. Escenarios climáticos (histórico y sendas representativas de concentración 2.6 y 8.5) en el balance climático de la microcuenca El Varillal.

Las precipitaciones considerando las Sendas Representativas de Concentración 2.6 (1174.74 mm) y 8.5 (1173.98 mm), son ligeramente mayores con respecto al registro histórico (1121.52 mm), lo que indica que, pese a que habrá un aumento de la precipitación que podría estar asociado a eventos lluviosos más intensos o mayor ocurrencia de precipitaciones convectivas (Espinoza Acuña, 2022), la distribución de las precipitaciones durante el tiempo será errática.

Tapasco *et al.* (2015) afirman que, “aunque la temperatura se incrementa, la precipitación también aumenta, lo que conlleva a que la mayor demanda evapotranspirativa sea compensada por los incrementos en la lluvia” (p. 30). La evapotranspiración real presenta un ligero incremento entre el registro histórico (960.89 mm) y la Senda Representativa de Concentración 8.5 (969.65 mm), en donde se espera un incremento de las temperaturas

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

globales de 2.6° a 4.8° C para finales del siglo XXI. (IPCC, 2015) Este incremento de las temperaturas globales se expresa como un incremento en la evaporación. Por otra parte, es notoria la disminución de la evapotranspiración real que se podría esperar con la Senda Representativa de Concentración 2.6 (872.80 mm), debido a la reducción de emisiones de CO₂, lo que implica incremento de las temperaturas globales de 0.3 a 1.7 °C (IPCC, 2015), mucho menor con respecto a la Senda Representativa de Concentración 8.5.

Así mismo, los excesos de agua están condicionados por la cantidad de evapotranspiración que se puede generar en la microcuenca; en la Senda Representativa de Concentración 2.6 (301.93 mm) se espera mayor exceso de agua con respecto al escenario histórico (220.35 mm) y la Senda Representativa de Concentración 8.5 (250.62 mm), relacionado a temperaturas menos cálidas, permitiendo de esta manera un mejor almacenamiento de agua en la microcuenca. El déficit de agua del escenario histórico (669.43 mm) con respecto a los escenarios futuros de las Sendas Representativas de Concentración 2.6 (419.33 mm) y 8.5 (446.12 mm) es notoria. La reducción del déficit está asociada al incremento de las precipitaciones y consecuentemente al excedente de agua.

Las Obras de Cosecha de Agua podrían verse afectadas debido a las precipitaciones con mayor intensidad y poca duración, lo que podría generar afectaciones en los taludes debido a la pobre vegetación circundante, además de generar mayor escorrentía superficial, sobrepasando la capacidad de almacenamiento, no obstante, este aumento generaría un mejor aprovechamiento en la utilización de las obras.

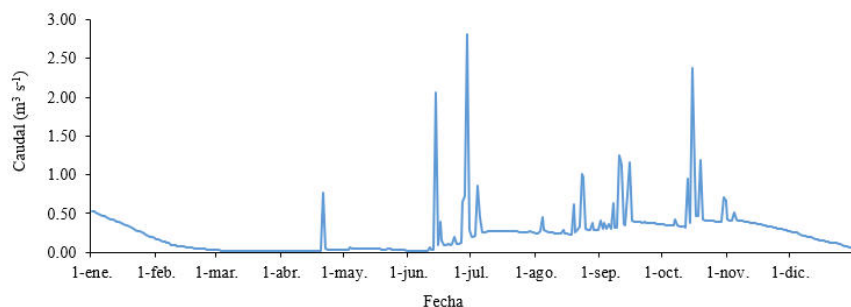


Figura 4. Hidrograma del año 2021 de la microcuenca El Varillal.

Escurrimiento superficial. De acuerdo con el Oceanic Niño Index (ONI) el 2021 fue un año La Niña moderado (Centro de Predicción Climática de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica [NOAA-NWS], s.f.), esto es notorio en el hidrograma del año 2021. (Figura 4)

Los caudales de enero a junio no exceden de 0.01 m³ s⁻¹, sin embargo, se registran constantes eventos de precipitación entre mediados de junio a noviembre, registrándose caudales de 2.80 m³ s⁻¹ en el mes de julio. También se puede visualizar una entrada tardía de las precipitaciones, y mayor frecuencia del incremento del caudal entre mediados de junio y julio, y posterior al periodo canicular, entre finales de agosto a noviembre. Esta irregularidad en los picos del caudal remarca la pertinencia del establecimiento de obras de cosecha de agua en la microcuenca. El caudal anual para el año 2021 es de 0.24 m³ s⁻¹, muy por debajo de los estimado con las Sendas Representativas de Concentración 2.6 y 8.5, en donde se espera un caudal anual medio de 0.46 m³ s⁻¹ para ambos escenarios. (Figura 5).

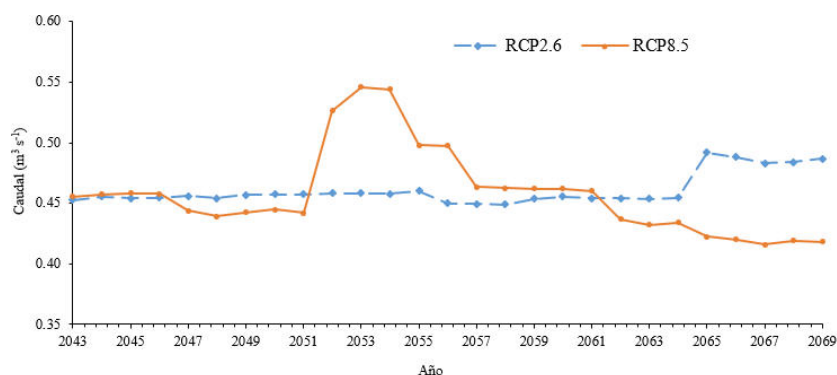


Figura 5. Caudales anuales (2043-2069) de la microcuenca El Varillal con escenarios climáticos RCP 2.6 y RCP 8.5.

Pese a que el caudal anual promedio para el periodo 2043-2069 con ambas Sendas Representativas de Concentración es de 0.46 m³ s⁻¹, el comportamiento de los caudales con la Senda Representativa de Concentración 2.6 presentan registros que no varían significativamente entre los años del 2043 al 2065, pero para el año 2065 se estima aumento del caudal anual de hasta 0.49 m³ s⁻¹, lo que está relacionado al aumento de las precipitaciones.

La Senda Representativa de Concentración 8.5 no presenta variaciones importantes en su caudal anual con respecto a la Senda Representativa de Concentración 2.6 hasta el año 2051, en donde se espera que el nivel de los caudales aumente hasta 0.54 m³ s⁻¹ y presente un comportamiento errático, pudiendo estar relacionado a la ocurrencia de huracanes o tormentas tropicales, generando así precipitaciones intensas en cortos o prolongados periodos de tiempo.

En cuanto al escurrimiento superficial, este variará notoriamente con respecto a las Unidades de Respuesta Hidrológica presente en la microcuenca y los escenarios

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

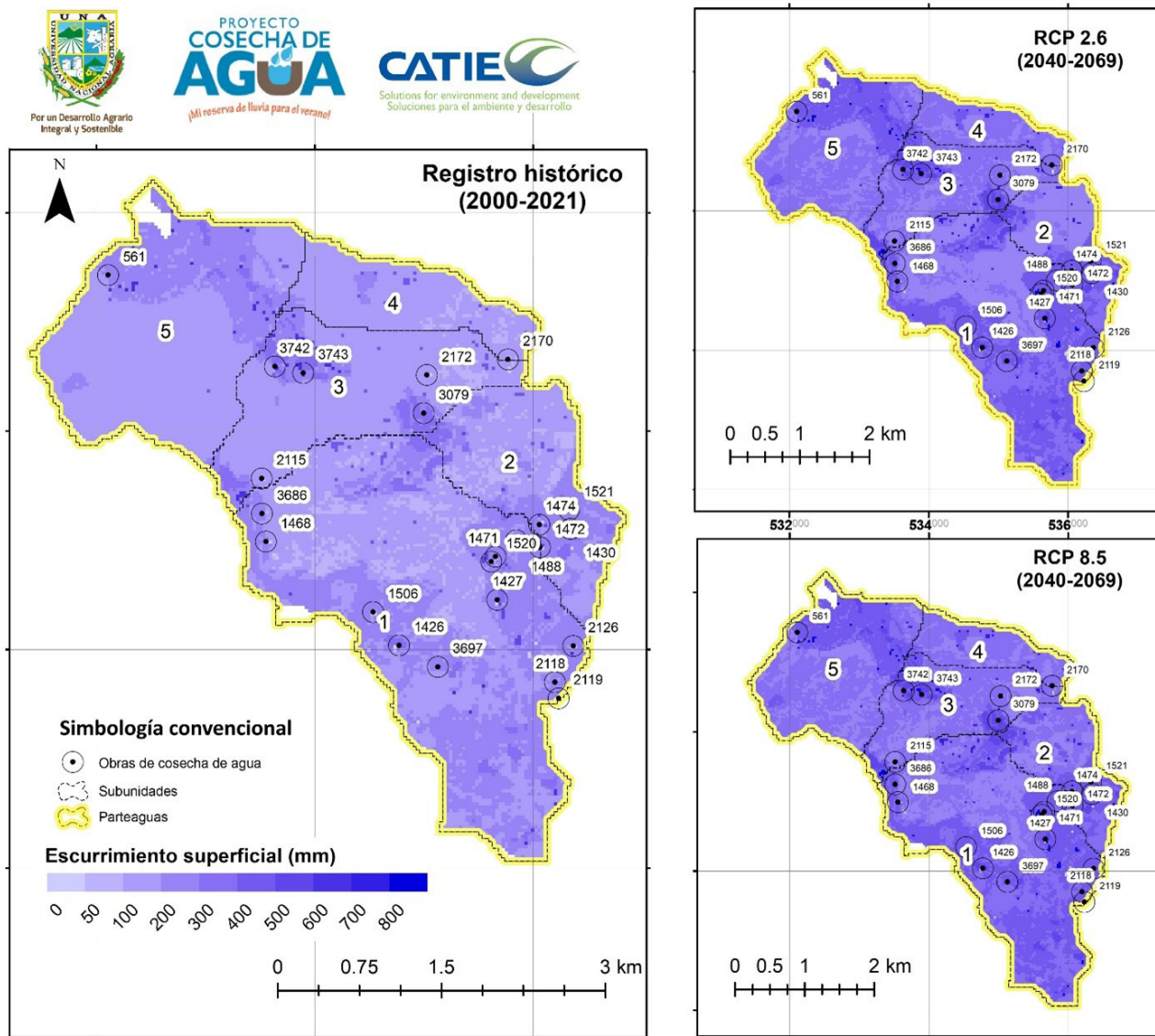


Figura 6. Esguerrimiento superficial según escenario climático (histórico y sendas representativas de concentración 2.6 y 8.5) en la microcuenca El Varillal, San Lucas, Madriz.

climáticos. Los mayores aportes del esguerrimiento ocurren en Unidades de Respuesta Hidrológica que presentan suelos Typic Haplusterts por ser de características arcillosas y con rápida saturación, uso actual con parcelas agrícolas y pastizales, los que poseen un sistema radicular idóneo para retener agua en pendientes inclinadas, además cuentan con un relieve que va de moderado a fuertemente escarpada, lo que facilita el flujo del esguerrimiento de agua superficial hacia las obras de cosechas de agua (Figura 6).

Otras Unidades de Respuesta Hidrológica que favorecen el esguerrimiento superficial son los que presentan combinaciones de usos de cultivos anuales o superficies desprovistas de vegetación, en suelos del subgrupo

Lithic Ustorthents y Typic Haplusterts y en pendientes moderadamente escarpadas a fuertemente escarpadas (mayores al 15 %).

El esguerrimiento superficial estimado a partir de las Sendas Representativas de Concentración con respecto al histórico para las cinco subunidades refleja un incremento del volumen de agua, siendo de 101.56 % para la Sendas Representativa de Concentración 2.6 y de 109.48 % para la Senda Representativa de Concentración 8.5, con respecto al registro histórico. (Cuadro 1).

Destaca la subunidad 1 correspondiente al área de captación de la microcuenca, la que presenta el mayor incremento en el esguerrimiento superficial no solo por la

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

dimensión de su superficie, si no por sus condiciones biofísicas como suelos compactados por sus usos agropecuarios, de texturas arcillosas y pendientes escarpadas. La subunidad 4 es la que genera menor aporte debido las Unidades de Respuesta Hidrológica que contiene que corresponden a pastizales en suelos Lithic Ustorthents en pendientes moderadamente escarpadas; así como pasturas en suelos en pendientes planas a ligeramente inclinadas.

Este incremento en el escurrimiento podría ser beneficioso para algunas obras de cosecha de agua por escorrentía, principalmente para aquellas que cuentan con un área de captación de la obra protegida con vegetación forestal y arbustiva. Sin embargo, se puede inferir que los usos agropecuarios en conjugación con las características físicas del suelo y las condiciones futuras desfavorables previstas considerando las Sendas Representativas de Concentración, podrían comprometer la estructura de las obras si no se le brinda un mantenimiento periódico, tanto a los taludes de la obra como a su área de captación.

Cuadro 1. Escurrimiento superficial por subunidad

| Subunidad | Área (km ²) | Escurrimiento superficial (mm) | | |
|-----------------|-------------------------|--------------------------------|---------------|---------------|
| | | Histórico | RCP 2.6 | RCP 8.5 |
| 1 | 6.66 | 188.11 | 373.93 | 388.59 |
| 2 | 1.97 | 173.53 | 348.78 | 368.13 |
| 3 | 2.55 | 171.66 | 347.76 | 360.51 |
| 4 | 1.29 | 147.38 | 310.62 | 326.70 |
| 5 | 3.72 | 173.38 | 353.42 | 363.65 |
| Promedio | 16.20 | 177.11 | 356.98 | 371.00 |

CONCLUSIONES

Los eventos climáticos serán diversos y dinámicos; las variables climáticas bajo escenarios de cambio climático

para un periodo de 30 años superarán los valores históricos, expresándose principalmente en el aumento de las precipitaciones, aunque con variaciones importantes en sus intensidades, frecuencia y duración, y consecuentemente en un impacto en el comportamiento de los caudales de la microcuenca.

Las condiciones biofísicas de la microcuenca, caracterizada por presentar Unidades de Respuesta Hidrológicas con suelos franco-arcillosos a arcillosos con cultivos anuales y pasturas en pendientes moderadamente escarpadas a escarpadas, favorecen el escurrimiento superficial, y por ende la posibilidad de captar agua de lluvia en las obras de cosecha de agua por escorrentía, siempre y cuando haya manejo forestal en el área de captación. Sin embargo, considerando que las condiciones actuales se mantuviesen en el tiempo, este incremento del escurrimiento bajo escenarios de cambio climático será más notorio, lo que podría repercutir negativamente en la integridad de la obra. Ante esto, se debe considerar estrategias de manejo y conservación de los taludes de la obra, así como del área de captación para garantizar que una fracción de la escorrentía infiltre y no se convierta en un riesgo para la obra.

AGRADECIMIENTO

A la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) por el financiamiento de esta investigación a través del proyecto “Cosecha de Agua” del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

A la MSc. Raquel Izaba Ruiz y al ing. Claudio González por su apoyo y atención durante el consolidado de este escrito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alianza por la Resiliencia. (2014). *Plan de manejo y gestión integral de la subcuenca del río Tapacalí*. https://preparecenter.org/sites/default/files/plan_de_manejo_tapacali_22022015.pdf

Arias, P.A., Bellouin, N., Coppola, E., Jones, R.G., Krinner, G., Marotzke, J., Naik, V., Palmer, M.D., Plattner, G. K., Rogelj, J., Rojas, M., Sillmann, J., Storelmo, T., Thorne, P.W., Trewin, B., Achuta Rao, K., Adhikary, B., Allan, R.P., Armour, K., ...Zickfeld, K. (2021). Technical Summary. En *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 35-144). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.002>

Blandón, L. C. (2018). *Influencia del uso de suelo en la dinámica hidrológica de las aguas superficiales en la Microcuenca río Pire, Municipio de Condega, Departamento de Estelí* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unan.edu.ni/10879/1/0707.pdf>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2012). *La economía del cambio climático en Centroamérica: Síntesis 2012*. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/2bbc10b3-4ab4-4d06-a7af-1ddabd3e150c/content>

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (2014). *Claves para la taxonomía de suelos* (12ª ed.). Soil Survey Staff. <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Spanish-Keys-to-Soil-Taxonomy.pdf>

Espinoza Acuña, M. J. (2022). Aplicación del modelo hidrológico SWAT en unidades hidrográficas de Nicaragua: Simulación del escurrimiento superficial. *La Calera*, 22(38), 24-29. <https://doi.org/10.5377/calera.v22i38.14116>

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

- Funk, C.C., Peterson, P.J., Landsfeld, M.F., Pedreros, D.H., Verdin, J.P., Rowland, J.D., Romero, B.E., Husak, G.J., Michaelsen, J.C., & Verdin, A.P. (2014). *A quasi-global precipitation time series for drought monitoring*. U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/ds832>
- Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. (2015). *Cambio climático 2014, Informe de síntesis*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_sp.pdf
- Hudson, N. W. (1997). *Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. <https://www.fao.org/4/T0848S/T0848S00.htm>
- Jones, P. G., & Thornton, P. K. (2002). *MarkSim. Versión 1*. <https://ccafs-climate.org/downloads/docs/MarkSim-manual.pdf>
- NASA Shuttle Radar Topography Mission. (2013). *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Global*. <https://doi.org/10.5069/G9445JDF>
- National Oceanic and Atmospheric Administration -National Weather Service. (s.f.). *Historical El Niño/La Niña episodes (1950-present): Cold & warm episodes by season*. https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. (2009). *Guía para la descripción de suelos* (4ª ed.). <https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>
- Programa Regional Reducción de Emisiones de la Deforestación y Degradación de bosques. (2014). *Metodología para el levantamiento de puntos de control en la verificación del mapa de superficie forestal y cobertura de la tierra de Honduras*. https://www.sica.int/documentos/nota-tecnica-metodologia-levantamiento-puntos-de-control-mapa-hn_1_124862.html
- Saha, S., Moorthi, S., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P., Behringer, D., Hou, Y., Chuang, H., Iredell, M., Ek, M., Meng, J., Yang, R., Peña Mendez, M., Dool, H. V. D., Zhang, Q., Wang, W., Chen, M., & Becker, E. (2011). *NCEP Climate Forecast System Version 2 (CFV2) 6-hourly Products. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory*. <https://doi.org/10.5065/D61C1TXF>
- Tapasco, J., Quintero, M., Uribe, N., Valencia, J., Calderón, S., Romero, G., Ordoñez, D. A., Álvarez, A., Sánchez-Aragón, L. y Ludeña, C. E. (2015). *Impactos económicos del Cambio Climático en Colombia: Recursos Hídricos*. Banco Internacional de Desarrollo. <https://publications.iadb.org/es/publicacion/15521/impactos-economicos-del-cambio-climatico-en-colombia-recurso-hidrico>
- U.S. Department of Agriculture-Soil Conservation Service. (1972). *SCS National engineering handbook, section 4, hydrology. Chapter 10, estimation of direct runoff from storm rainfall*. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, https://irrigationtoolbox.com/NEH/Part630_Hydrology/H_210_630_10.pdf
- Universidad Nacional Agraria y Catholic Relief Services. (2017). *Guía técnica para muestreo de suelos*. <https://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf>

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

Carbono azul almacenado en los bosques de manglar del Pacífico Norte de Nicaragua

Blue carbon stored in the mangrove forests of the north Pacific in Nicaragua

Oscar González-Quiroz^{1*}, Manuel Vanegas^{2*}, Eugenia Cerda^{3*}, Melvin Lezama^{4*}, Claudia Dolmus^{5*}, Issamar Quiroz^{6*}, María Paz^{7*}, Carlos Solís^{8*}, Eleazar Blanco^{9*}, Marling Pérez^{10*}

¹ Doctor en Ecología, Conservación y Restauración de Ecosistemas, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2775-801X> / oscar.gonzalez@ct.unanleon.edu.ni

² Máster en Química Fina, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1639-917X> / manuel.vanegas@ct.unanleon.edu.ni

³ Doctora en Biotecnología Agrícola, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8727-7014> / eugenia.castillo@ct.unanleon.edu.ni

⁴ Doctor en Planificación e Innovación Educativa, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4527-6855> / mjlezama@fh.unanleon.edu.ni

⁵ Doctora en Agrobiología Ambiental, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7280-939X> / claudia.dolmus@ct.unanleon.edu.ni

⁶ Licenciada en Biología, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1047-1943> / osejomena12@gmail.com

⁷ Licenciada en Biología, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9961-3812> / marriad.amador16@est.unanleon.edu.ni

⁸ Licenciado en Biología, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8991-8237> / carlosoolis1401@gmail.com

⁹ Licenciado en Biología, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3152-3138> / finoeleazar240397@gmail.com

¹⁰ Licenciada en Biología, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6245-8095> / Marlingperez7@gmail.com

* Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León (UNAN-León)

° Grupo de Investigación en Ecología Tropical

Autor para correspondencia: oscar.gonzalez@ct.unanleon.edu.ni



RESUMEN

El manglar se encuentra entre los ecosistemas más importantes del planeta, debido a los múltiples bienes y servicios ecosistémicos que brindan. El objetivo de esta investigación es determinar la cantidad de carbono azul almacenado en los bosques de manglar del Pacífico Norte de Nicaragua. Se establecieron 178 parcelas en seis sistemas de manglar (Puerto Sandino, Reserva Natural Isla Juan Venado, Corinto, Aserradores, Reserva Natural Padre Ramos y Potosí). Se registró la diversidad, abundancia, altura total y diámetro a la altura del pecho. Posteriormente se calculó la biomasa aérea y biomasa subterránea, así como el carbono orgánico almacenado en el suelo a través de la técnica volumétrica. Se descargaron imágenes satelitales del sensor Sentinel 2B (15 m x 15 m) para calcular el índice de vegetación de

ABSTRACT

The mangrove is among the most important ecosystems on the planet, due to the multiple ecosystem goods and services it provides. This research assesses the amount of blue carbon stored in the mangrove forests of the North Pacific in Nicaragua. A total of 178 plots were established in six mangrove systems (Puerto Sandino, Juan Venado Island Natural Reserve, Corinto, Aserradores, Padre Ramos Natural Reserve, and Potosí). Diversity, abundance, total height, and diameter at breast height were recorded. Subsequently, aboveground biomass, belowground biomass, and organic carbon stored in the soil were calculated using volumetric techniques. Satellite images from the Sentinel 2B sensor (15 x 15 m) were downloaded to calculate the normalized difference vegetation

Recibido: 8 de mayo del 2024
Aceptado: 3 de septiembre del 2024



Los artículos de la revista La Calera de la Universidad Nacional Agraria, Nicaragua, se comparten bajo términos de la licencia Creative Commons: Reconocimiento, No Comercial, Compartir Igual. Las autorizaciones adicionales a las aquí delimitadas se pueden obtener en el correo donauld.juarez@ci.una.edu.ni

© Copyright 2024. Universidad Nacional Agraria (UNA).

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

diferencia normalizada. Con la biomasa total y el índice de vegetación de diferencia normalizada, se realizó una regresión exponencial, a partir del cual se crearon los mapas de carbono azul al multiplicar el resultado por el factor de conversión 0.475. Al resultado se sumó el valor del carbono azul almacenado en el suelo. La especie con mayor abundancia fue *Rhizophora spp.*, a excepción de la Isla Juan Venado en la que prevaleció *Avicennia germinans*, y *Laguncularia racemosa* en Potosí. La mayor altura y el diámetro a la altura del pecho se identificaron en la zona de Potosí, seguida de la Isla Juan Venado. Hay diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las alturas de las cinco especies registradas. En los seis sistemas estudiados se identificaron 20 810.6 ha de manglar. Potosí presentó el valor más alto de biomasa total con 220.9 Mg ha⁻¹. El sumidero de carbono total para el Pacífico Norte de Nicaragua es de 3 254 613.1 Mg C (mega gramos de carbono). Anualmente el manglar de la zona de estudio tiene el potencial de capturar aproximadamente 104 052.8 Mg C.

Palabras clave: biomasa aérea, biomasa subterránea, sumidero de carbono, índice de vegetación.

Index. An exponential regression was performed using the total biomass and the normalized difference vegetation Index, from which blue carbon maps were created by multiplying the result by the conversion factor of 0.475. The value of blue carbon stored in the soil was added to the result. The most abundant species was *Rhizophora spp.*, except on Juan Venado Island where *Avicennia germinans* prevailed, and *Laguncularia racemosa* in Potosí. The greatest height and diameter at breast height were identified in the Potosí area, followed by Juan Venado Island. There is a significant difference ($p < 0.05$) in the heights of the five recorded species. A total of 20 810.6 ha of mangrove were identified in the six systems studied. Potosí had the highest total biomass value at 220.9 Mg ha⁻¹. The total carbon sink for the Pacific in Nicaragua is 3 254 613.1 Mg C (mega grams of carbon). Annually, the mangrove in the study area has the potential to capture approximately 104 052.8 Mg C.

Keywords: Aboveground biomass, belowground biomass, carbon sink, vegetation index.

Los manglares son ecosistemas marino-costeros que se ubican y desarrollan en las planicies costeras de los trópicos y subtropicales, principalmente alrededor de esteros y lagunas costeras, cerca de las desembocaduras de ríos y arroyos (Rodríguez Zúñiga *et al.*, 2013). Los bosques de manglares cubren un área de 152 000 km² en 123 naciones y territorios tropicales y subtropicales; esto es menos del 1 % de todos los bosques tropicales del mundo y menos del 0.4 % del total de bosques globales (Van Lavieren *et al.*, 2012).

Las actividades humanas emiten cantidades importantes de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) a la atmósfera, contribuyendo al incremento en la concentración de los gases de efecto invernadero (GEI) con repercusiones en el cambio climático global (Bautista-Olivas *et al.*, 2018; Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2013). El incremento es aún mayor producto de la deforestación del bosque de manglar, contribuyendo de manera desproporcionada a las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (Hamilton y Friess, 2018; Kauffman *et al.*, 2014; Moya *et al.*, 2005).

Los ecosistemas de manglar son esenciales para el ser humano, y funcionan de una manera tan complicada e interconectada entre sí que no pueden ser reemplazados por la tecnología (Daily *et al.*, 1997). Estos brindan servicios ecosistémicos (SE), que sirve como una herramienta para establecer un valor de los ecosistemas para las personas. Para el caso de los manglares, se ha evaluado su importancia a partir de los servicios ecosistémicos que brindan a distintas escalas de Groot *et al.*, (2012); Ewel *et al.*, (1998); Flores

et al., (2013); Getzner e Islam, (2020); Vo *et al.*, 2012). Las metodologías varían, desde la valoración propiamente económicas (Sarhan, 2014), hasta las perspectivas de los usuarios directos (Krause *et al.*, 2017; Nyangoko *et al.*, 2021).

El almacenamiento de CO₂ por parte de los manglares puede contribuir a la mitigación del cambio climático. Los bosques de manglares almacenan altas cantidades de carbono comparado con otros ecosistemas (Kauffman *et al.*, 2014; Richards *et al.*, 2020). A este carbono que almacenan los ecosistemas costeros y marinos se le denominan "carbono azul", ya que capturan grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂) y lo almacenan durante largos periodos de tiempo. Donato *et al.* (2011) indican que los manglares pueden almacenar un promedio de 1 023 Mg C ha⁻¹ (mega gramos de carbono por hectárea), siendo unos de los bosques más ricos en carbono en la región tropical. La información precisa sobre el sumidero de carbono en los manglares puede ayudar a la búsqueda de financiamiento para la protección, gestión y rehabilitación de los ecosistemas críticos (Bindu *et al.*, 2018). En el Pacífico de Nicaragua se estiman 19 700 ha de manglar, localizadas principalmente en la zona norte (Carvajal y Soto Valdivia, 2006).

Existe poco conocimiento sobre la cantidad de carbono azul almacenado en los ecosistemas costeros de Nicaragua, en especial de los manglares, aún con la importancia que representa en la escala local y global. Esta investigación tiene por objetivo estimar el carbono azul almacenado en los bosques de manglar del Pacífico Norte de Nicaragua (desde Puerto Sandino hasta Potosí).

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto se realizó en los manglares del Pacífico de Nicaragua, desde Puerto Sandino, en el departamento de León, hasta la Reserva Natural Estero Real en Chinandega (Figura 1). La zona se caracteriza por presentar un clima tropical de sabana con estación seca de seis meses entre los meses de noviembre-abril. Con una precipitación anual promedio que oscila entre los 1 150 mm y 1 300 mm, con una temperatura entre 26.9 °C y 29.3 °C. Se caracteriza por presentar una vegetación de manglar y bosque tropical seco, entre las especies del manglar encontramos a *Rhizophora mangle*, *R. harrisonii*, *R. racemosa*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans*, *A. bicolor* y *Conocarpus erectus*.

Estructura y almacenamiento de carbono del ecosistema de manglar.

Se seleccionaron 30 parcelas de muestreo para las mediciones de biomasa y estructura del bosque de manglar por cada zona, a excepción de Potosí que era un área más pequeña con solo ocho parcelas. Cada parcela media 20 m x 10 m (200 m²). Las parcelas por cada sitio fueron seleccionados al azar, en función de la heterogeneidad de la cobertura del bosque de manglar, para ello, se hizo uso de imágenes satelitales de Sentinel 2B con tamaño de píxel de 10 m x 10 m, las que fueron preprocesadas con el software QGIS 3.2 (acceso libre). Los análisis estadísticos y gráficos fueron realizados con el software RStudio 3.5.0 (acceso libre).

Para conocer la estructura del bosque de manglar, en cada parcela se identificaron las especies, la densidad poblacional, la regeneración natural, daños antrópicos y daños naturales. Se realizaron medición del diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura total para cada especie.

Cálculos de biomasa. Para determinar la biomasa aérea (AGB) y biomasa subterránea (BGB), se utilizaron ecuaciones alométricas (Komiyama *et al.*, 2005); tomando en cuenta los datos morfométricos para cada especie y el factor de densidad de cada especie (Bindu *et al.*, 2018).

Biomasa aérea

$$AGB = 0.251 * \rho * DBH^{2.46}$$

Donde: *AGB*: Biomasa aérea, 0.251: Constante, ρ : Densidad específica para cada tipo de especies, *DBH*: Diámetro a la Altura del Pecho.

Biomasa subterránea (raíces)

$$BGB = 0.199 * \rho^{0.899} * DBH^{2.22}$$

Donde: *BGB*: Biomasa subterránea, 0.199: Constante, ρ : Densidad específica para cada tipo de especies, *DBH*: Diametro a la altura del pecho.

La suma de la AGB y BGB corresponde a la biomasa total de la parcela, el cual fue usado para calcular la biomasa en toda la cobertura boscosa del ecosistema de manglar para cada sitio de muestreo.

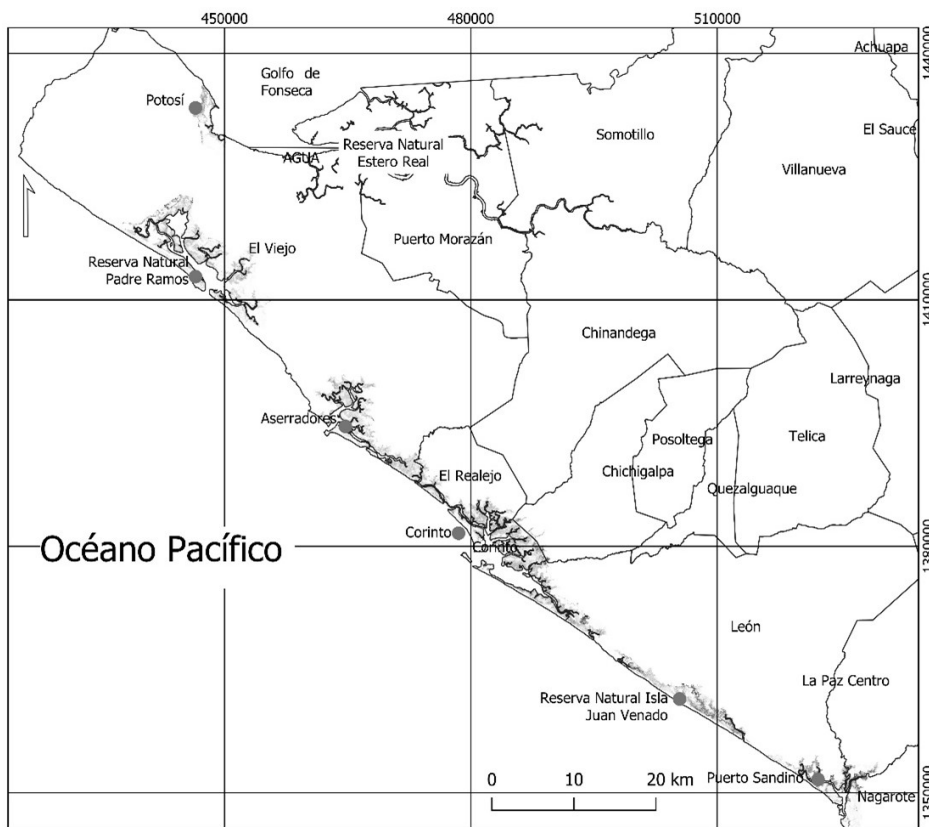


Figura 1. Ecosistemas de manglar en el Pacífico Norte de Nicaragua, desde Puerto Sandino hasta Potosí.

Las especies de manglar están bajo protección, dentro y fuera de las áreas protegidas. La zona de muestreo tiene tres reservas naturales; Isla Juan Venado, Padre Ramos y Estero Real (Potosí), todas ellas con planes de manejo y en proceso de actualización. Tanto Puerto Sandino, Corinto y Aserradores están fuera del sistema de área protegidas, pero con una importante área con cobertura de manglar.

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

Cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). Se descargaron imágenes satelitales con ayuda del sensor Sentinel 2B (imágenes corregidas atmosféricamente) de la página web <https://scihub.copernicus.eu/> de preferencia con un tamaño de píxel de 15 m x 15 m. Las imágenes fueron procesadas con el software QGIS 3.2 (acceso libre).

Una vez descargadas las imágenes se procedió a corregir vacíos (gaps), los cuales son causados por una falla en el instrumento que corrige las líneas escaneadas, provocando vacíos en las distintas imágenes adquiridas del satélite, que se rellenan usando el Phase 2 Gap- Fill Algorithm, propuesto y utilizado por el servicio geológico de los Estados Unidos (USGS), basado en un ajuste lineal local del histograma (Rocha, 1999).

Con las imágenes corregidas se calculó el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para estimar la vigorosidad de la vegetación (Rouse *et al.*, 1974). El NDVI está basado en la absorción del espectro rojo y el infrarrojo cercano.

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

Donde: *NDVI*: Índice de vegetación de diferencia normalizada, *NIR*: Espectro de infrarrojo cercano, *R*: Espectro rojo.

A partir de los datos de la biomasa aérea (AGB), biomasa subterránea (BGB) y los valores del NDVI para las parcelas seleccionadas, se realizó una regresión exponencial, a partir de la cual, se calculó la biomasa total para cada zona de muestreo, tomando en cuenta la fórmula de Myeong *et al.* (2006).

$$AGB = a * e^{(NDVI * b)}$$

Donde *a* y *b* son constantes que se obtuvieron de la regresión entre el valor del píxel del NDVI y el AGB (muestreo de campo) de las parcelas seleccionadas. El valor de la parcela se ajustará al tamaño del píxel.

Carbono total en el suelo. Las muestras de suelo se recolectaron en 10 parcelas seleccionadas al azar de las 30 parcelas del muestreo de estructura del bosque de manglar. La profundidad de muestreo fue de 20 cm, se depositaron en un recipiente limpio y seco, mezclando hasta obtener una muestra homogénea de aproximadamente 1 kg y transferida a bolsas plásticas Ziploc®.

Posteriormente las muestras fueron secadas sobre un papel limpio y seco, por un periodo de 48 horas. Una vez seca se tamizaron y se molieron con un mortero y luego se pasaron por un tamiz de 2 mm de diámetro. Posteriormente se empacaron en bolsas plásticas para su posterior análisis

químico del carbono almacenado en el suelo, a través de la técnica volumétrica en el laboratorio de química del suelo de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León (UNAN-León).

Carbono azul almacenado. Para el cálculo del carbono azul almacenado en el bosque de mangle, se usó el método estandarizado internacionalmente para las mediciones del almacenamiento de carbono azul en los ecosistemas, incluidos los manglares (Howard *et al.*, 2014). Es así que, para crear el mapa de carbono se multiplicó el total de la biomasa (aérea y subterránea) por el factor de conversión 0.475 (47.5 % de biomasa) (IPCC, 2013). Al resultado se sumó el valor del carbono total en el suelo, para obtener el valor total de reservorio de carbono en los bosques de manglar para cada zona de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La especie con mayor abundancia (individuos por hectáreas) fue *Rhizophora* spp, a excepción de la Isla Juan Venado y Potosí, donde predominaron *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa* respectivamente (Cuadro 1). Los registros de dominancia coinciden con Kauffman *et al.* (2020), en una evaluación realizada a escala global, que incluye datos de Honduras y Costa Rica. *Avicennia germinans* fue la segunda más dominante en el muestreo, principalmente en la reserva natural Isla Juan Venado, situación causada por fenómenos naturales y factores antrópicos. Al modificarse la estructura del bosque de manglar puede tener efectos en la biomasa y el reservorio de carbono (Velázquez-Pérez *et al.*, 2019).

En general se observan árboles de baja altura y diámetros pequeños correspondiente a bosques jóvenes (Cuadro 1). El mayor porcentaje de árboles son menores a los diez metros de altura, coincidiendo con datos registrados por (Carvajal y Soto Valdivia, 2006; Mendoza Hernández *et al.*, 2009). La zona de Potosí presenta altura y diámetros mayores que la media general para todas las especies, seguidos por los árboles de la Isla Juan Venado. El sector de Puerto Sandino presentó los valores más bajos. Estos resultados son comparativos con los registros de los bosques de manglar para Centroamérica (Alfaro-Sibaja *et al.*, 2015; Chicas *et al.*, 2016; Samper-Villarreal y Silva-Benavides, 2015).

Existe una disminución de las abundancias por hectárea de árboles de mangle comparado con los estudios de (Carvajal y Soto Valdivia, 2006; Mendoza Hernández *et al.*, 2009). Se registraron densidades entre 1807-964 árboles ha⁻¹, siendo medianamente bajos comparados con la investigación de (Samper-Villarreal y Silva-Benavides, 2015). La densidad de árboles influye significativamente en el contenido del carbono aéreo de los manglares (Velázquez-Pérez *et al.*, 2019).

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

Cuadro 1. Características estructurales del bosque de manglar en el Pacífico Norte de Nicaragua.

| Sitio | Especie | N | % | Altura (m) | DAP (cm) | Densidad (ind ha ⁻¹) |
|------------------|------------------------------|-------|------|------------|-----------|----------------------------------|
| Puerto Sandino | <i>Rhizophora</i> spp | 502 | 50.2 | 3.9±2.4 | 5.1±3.3 | 837 |
| | <i>Avicennia germinans</i> | 351 | 35.1 | 2.7±2.5 | 4.6±4.5 | 585 |
| | <i>Laguncularia racemosa</i> | 94 | 9.4 | 4.7±3.0 | 5.7±3.3 | 157 |
| | <i>Conocarpus erectus</i> | 53 | 5.3 | 5.6±3.3 | 8.1±4.6 | 88 |
| | Total | 1 000 | 100 | - | - | - |
| Isla Juan Venado | <i>Rhizophora</i> spp | 492 | 29.9 | 7.3±4.7 | 8.7±5.9 | 492 |
| | <i>Avicennia germinans</i> | 701 | 42.7 | 5.6±3.5 | 8.5±4.8 | 701 |
| | <i>Laguncularia racemosa</i> | 438 | 26.7 | 7.2±3.9 | 6.7±3.7 | 438 |
| | <i>Conocarpus erectus</i> | 12 | 0.7 | 2.7±1.0 | 12.7±6.6 | 12 |
| | Total | 1 643 | 100 | - | - | - |
| Corinto | <i>Rhizophora</i> spp | 654 | 71.8 | 5.9±3.4 | 6.4±4.4 | 1 022 |
| | <i>Avicennia germinans</i> | 234 | 25.7 | 4.7±3.7 | 7.1±6.3 | 366 |
| | <i>Laguncularia racemosa</i> | 23 | 2.5 | 5.6±3.8 | 5.9±3.2 | 36 |
| | Total | 911 | 100 | - | - | - |
| Aserradores | <i>Rhizophora</i> spp | 349 | 75.4 | 6.1±3.4 | 8.5±5.7 | 727 |
| | <i>Avicennia germinans</i> | 94 | 20.3 | 3.9±3.7 | 6.5±7.2 | 196 |
| | <i>Laguncularia racemosa</i> | 3 | 0.6 | 3.0±1.0 | 4.4±2.9 | 6 |
| | <i>Conocarpus erectus</i> | 4 | 0.9 | 1.3±0.5 | 2.2±1.1 | 8 |
| | <i>Avicennia bicolor</i> | 13 | 2.8 | 5.1±2.7 | 6.6±2.4 | 27 |
| | Total | 463 | 100 | - | - | - |
| Padre Ramos | <i>Rhizophora</i> spp | 626 | 90.5 | 5.7±3.9 | 8.2±5.5 | 1 010 |
| | <i>Avicennia germinans</i> | 56 | 8.1 | 5.2±2.6 | 10.4±7.2 | 90 |
| | <i>Laguncularia racemosa</i> | 8 | 1.2 | 4.1±2.4 | 5.2±6.2 | 13 |
| | <i>Avicennia bicolor</i> | 2 | 0.3 | 6.5±0.7 | 10.4±5.6 | 3 |
| Total | 964 | 100 | - | - | - | |
| Potosí | <i>Rhizophora</i> spp | 56 | 19.4 | 17.4±9.4 | 20.3±10.5 | 350 |
| | <i>Avicennia germinans</i> | 23 | 8.0 | 10.6±6.2 | 12.0±8.4 | 144 |
| | <i>Laguncularia racemosa</i> | 151 | 52.2 | 9.2±5.8 | 8.4±7.4 | 944 |
| | <i>Conocarpus erectus</i> | 9 | 3.1 | 5.4±0.9 | 11.1±2.5 | 56 |
| | <i>Avicennia bicolor</i> | 50 | 17.3 | 5.9±2.7 | 6.7±3.9 | 313 |
| Total | 692 | 100 | - | - | - | |

contrario al resto de muestreo, característico de lugares altamente afectados por las acciones antrópicas (González Quiroz, 2016).

Potosí tiene los valores promedio más alto de biomasa por hectárea (Mg ha⁻¹), superando las 200 Mg ha⁻¹. El valor más bajo de biomasa registrado fue en Puerto Sandino (Cuadro 2).

Se identificaron 20 810.6 ha de cubierta de manglar, con distintos niveles de salud. El área identificada coincide con datos reportados por (Carvajal y Soto Valdivia, 2006), quienes indican que la zona del Pacífico Norte de Nicaragua tiene unas 19 700 ha cubiertas por manglar. Corinto con sus 5 976 ha, representó el 28.7 % del manglar del Pacífico Norte de Nicaragua, seguidos de Padre Ramos con 22.7 % y Aserradores con 20.2 % (Cuadro 2).

El valor más alto de biomasa por hectárea se registró en la zona de Potosí, coincidiendo con las mayores alturas y diámetros registrados (esta zona pertenece al área protegida Estero Real). Corinto y Padre Ramos registraron los mayores valores de biomasa en total, debido a su mayor cobertura de mangle. De las tres áreas protegidas (Isla Juan Venado, Padre Ramos y Estero Real), la Reserva Natural Isla Juan Venado presentó los valores más bajo de biomasa con 155.9 Mg ha⁻¹. El promedio de biomasa fue de 182.2±123.3 Mg ha⁻¹, valores similares a los reportados por (Donato *et al.*, 2011; IPCC, 2013; Simard *et al.*, 2006). Estos valores suelen observarse en ecosistemas afectados por factores antrópicos (Velázquez-Pérez *et al.*, 2019). Los resultados son inferiores a las medias globales (166.48±84.97 Mg ha⁻¹; solo biomasa area) de los bosques tropicales (Hu *et al.*, 2016).

El sumidero de carbono azul para el Pacífico Norte de Nicaragua es de 1 792 507.8 Mg C para la parte

Biomasa (Mg ha⁻¹) y carbono (Mg C ha⁻¹). *Avicennia germinans* y *Rhizophora* spp presentaron los valores más alto de biomasa por hectáreas, siendo muy heterogénea a lo largo de los seis sitios de muestreo (Figura 2). La isla Juan Venado registró os mayores valores de biomasa con la especie de *A. germinans*,

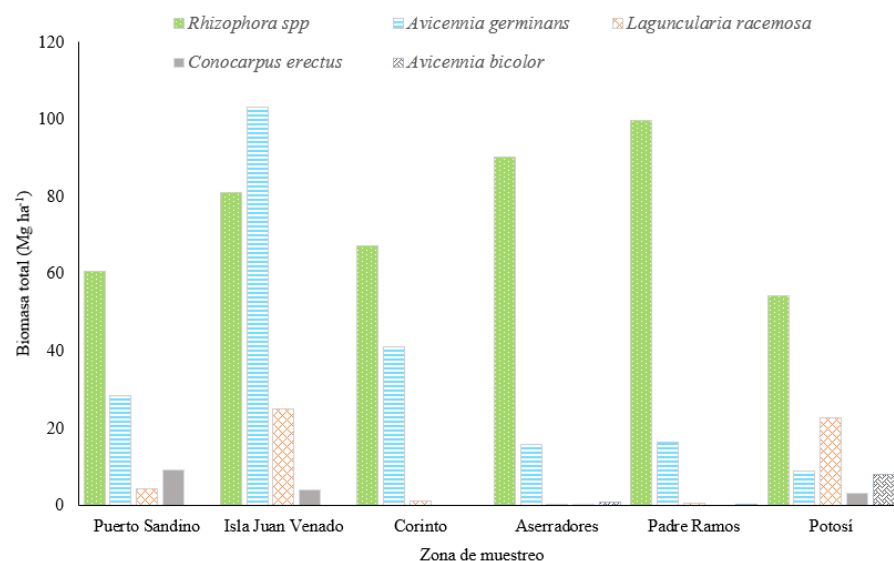


Figura 2. Biomasa aérea por especies según zona de muestreo.

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

aérea y subterránea de los árboles en las 20 810.6 ha de manglar estimadas. Esto representa $86.5 \pm 10.7 \text{ Mg C ha}^{-1}$ en promedio de almacenamiento para los seis sistemas de manglar evaluados (Cuadro 3). Los resultados son similares a los reportados por (Bautista-Olivas *et al.*, 2018) en el bosque El Sargento en Sonora (México) en una zona bien conservadas ($54.1\text{-}158.4 \text{ Mg C ha}^{-1}$), así mismo ligeramente superiores ($36\text{-}65.5 \text{ Mg C ha}^{-1}$) a zonas altamente afectada por factores antrópicos localizados en la Bahía del Tóbari, Sonora. El nivel de impactos antrópicos sobre los ecosistemas de manglar tiene efectos sobre el almacenamiento de carbono (Blanco-Libreros *et al.*, 2015).

Azul (Mg C) y Carbono en Suelo (Mg C), el bosque de manglar del Pacífico Norte de Nicaragua almacena $3\,254\,613.1 \text{ Mg C}$ en total (aéreo, subterráneo y suelo), con los mayores registros para Corinto con $940\,962.5 \text{ Mg C}$. En promedio se observaron $156.7 \pm 16.5 \text{ Mg C ha}^{-1}$ de carbono azul y carbono en el suelo para el Pacífico Norte de Nicaragua, superiores a los $122 \pm 16 \text{ Mg C ha}^{-1}$ reportados por (Doughty *et al.*, 2016) en Florida, USA.

De acuerdo con Zeng *et al.* (2021) Nicaragua tiene un potencial de financiamiento de $3\,900 \pm 600 \text{ ha}$, aportando un potencial de mitigación de cambio climático de $51\,000 \pm 14\,000 \text{ t CO}_2$ por año⁻¹, y con un valor presente neto de $1\,760\,000 \pm 645\,000 \text{ USD}$ por año⁻¹.

Cuadro 2. Biomasa acumulada en seis ecosistemas de manglar en el Pacífico Norte de Nicaragua

| Zona de muestreo | Número de píxel | Área (ha) | Biomasa aérea (Mg Píxel ⁻¹) | Biomasa subterránea (Mg Píxel ⁻¹) | Biomasa (Mg ha ⁻¹) | Total de biomasa |
|------------------|-----------------|-----------|---|---|--------------------------------|------------------|
| Puerto Sandino | 267 041 | 2 670.4 | 0.94±0.98 | 0.56±0.53 | 149.5 | 399 275.2 |
| Isla Juan Venado | 233 065 | 2 330.7 | 0.97±0.80 | 0.58±0.43 | 155.9 | 363 299.7 |
| Corinto | 597 661 | 5 976.6 | 1.14±0.77 | 0.68±0.41 | 181.6 | 1 085 543.0 |
| Aserradores | 420 751 | 4 207.5 | 1.13±0.65 | 0.68±0.35 | 180.6 | 759 971.5 |
| Padre Ramos | 472 272 | 4 722.7 | 1.29±0.96 | 0.75±0.50 | 204.6 | 966 211.8 |
| Potosí | 90 265 | 902.7 | 1.40±1.04 | 0.81±0.46 | 220.9 | 199 399.4 |
| | 2 081 055 | 20 810.6 | $\bar{x}=1.15 \pm 0.87$ | $\bar{x}=0.68 \pm 0.46$ | $\bar{x}=182.2$ | 3 773 700.6 |

En solo 20 cm de profundidad de suelo, se contabilizaron $1\,462\,105.3 \text{ Mg C}$ almacenado en el suelo de las seis zonas de estudio (Cuadro 3), evidenciando la importancia de los manglares como sumideros de carbono (Howard *et al.*, 2014). Los 20 cm representan tan solo el 23.1 % del total de carbono almacena en 100 cm de profundidad (Bhomia *et al.*, 2016). Los valores de carbono en suelo están relacionados con la biomasa, siendo Padre Ramos y Potosí los que presentaron los mayores registros en promedio con 76.2 y $80.3 \text{ Mg C ha}^{-1}$. Sumado los dos componentes de almacenamiento de carbono: Carbono

El total de carbono almacenado anualmente en los bosques de manglar del Pacífico Norte de Nicaragua podría ser parte del mercado de almacenamiento de carbono y además contribuir a la conservación a través de los fondos de este mecanismo. Los resultados evidencian que la cantidad de carbono almacenado podría aumentar en correspondencia con las estrategias de conservación. Es necesario garantizar mayor salud de bosque, restaurar y mantener las coberturas de manglar para conservar los importante e irremplazables servicios ecosistémicos del manglar, en especial el almacenamiento de carbono.

Cuadro 3. Carbono acumulado en seis ecosistemas de manglar en el Pacífico Norte de Nicaragua

| Zona de muestreo | Carbono Azul (Mg C) | Carbono en suelo (Mg C) | Carbono Azul Total (Mg C) | Carbono Azul (Mg C ha ⁻¹) | Carbono en Suelo (Mg C ha ⁻¹) |
|------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------------------|---|
| Puerto Sandino | 189 655.7 | 155 708.2 | 345 363.9 | 71.0 | 58.3 |
| Isla Juan Venado | 172 567.4 | 146 752.1 | 319 319.5 | 74.0 | 63.0 |
| Corinto | 515 632.9 | 425 329.6 | 940 962.5 | 86.3 | 71.2 |
| Aserradores | 360 986.5 | 301 963.4 | 662 949.9 | 85.8 | 71.8 |
| Padre Ramos | 458 950.6 | 359 873.0 | 818 823.6 | 97.2 | 76.2 |
| Potosí | 94 714.7 | 72 479.0 | 167 193.7 | 104.9 | 80.3 |
| | 1 792 507.8 | 1 462 105.3 | 3 254 613.1 | $\bar{x}=86.5$ | $\bar{x}=70.1$ |

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

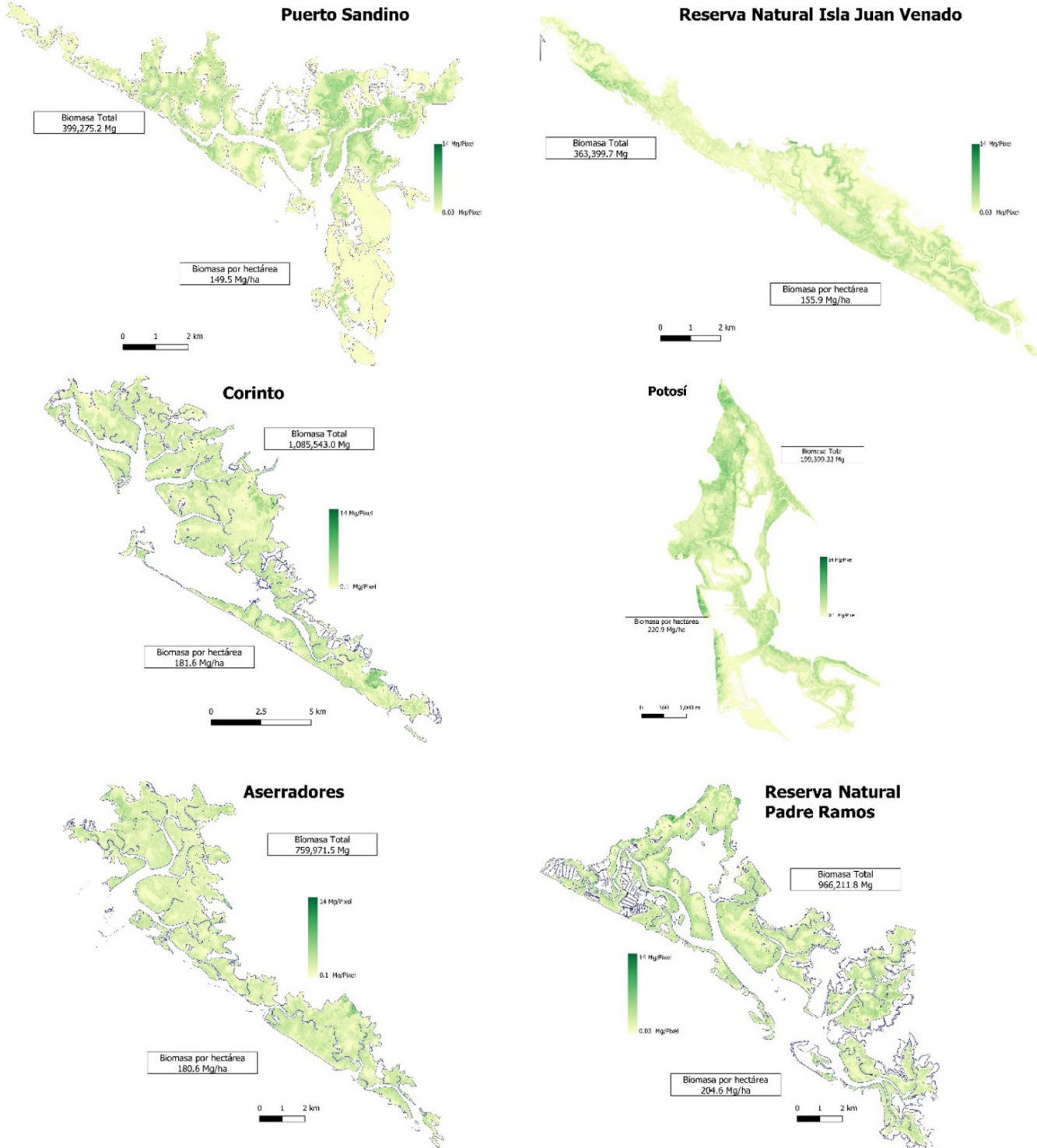


Figura 3. Distribución de biomasa en seis sistemas de manglar del Pacífico Norte de Nicaragua.

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

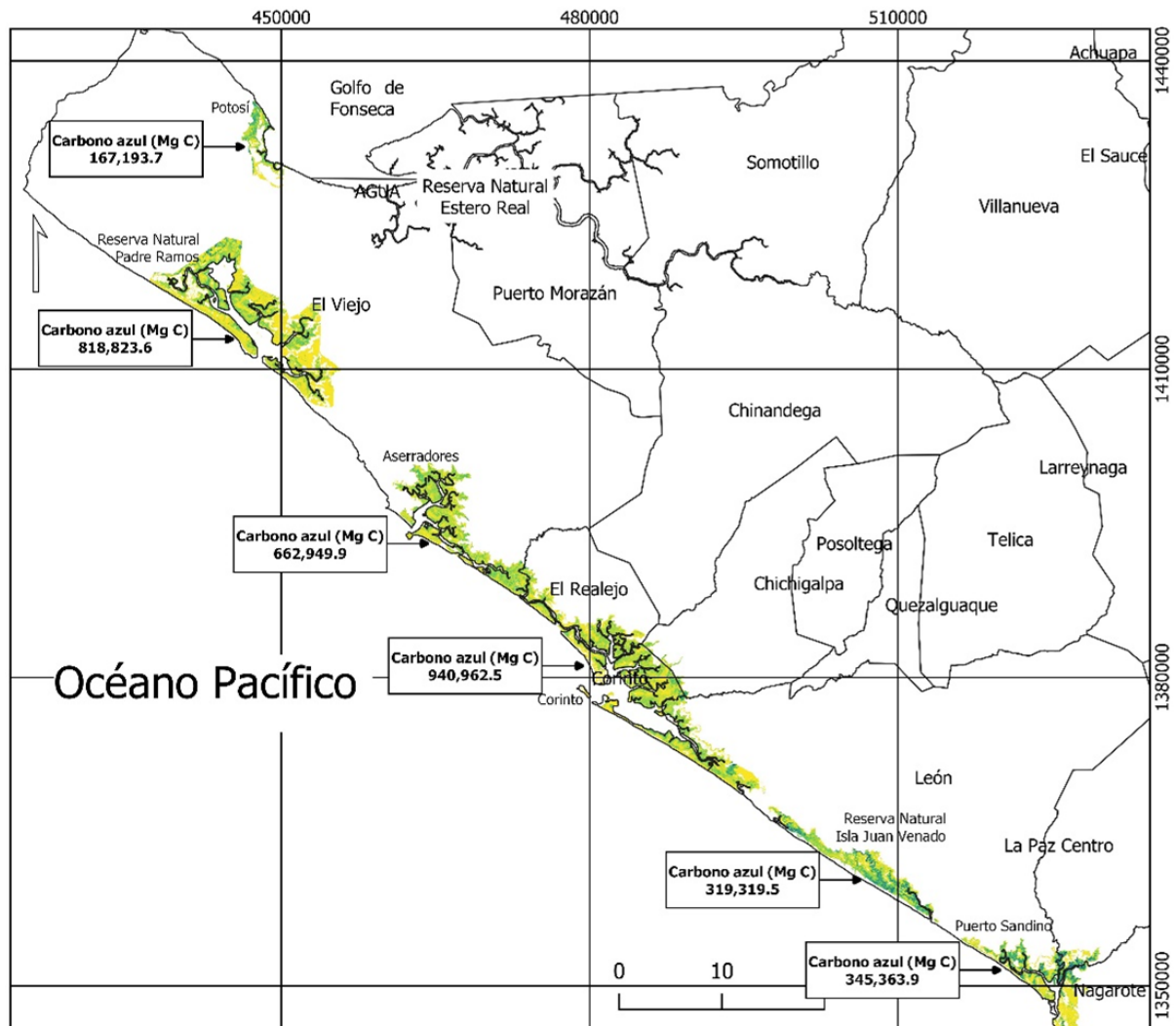


Figura 4. Carbono almacenado en los seis sistemas de manglar del Pacífico Norte de Nicaragua.

CONCLUSIONES

El bosque de manglar del Pacífico Norte de Nicaragua es joven, de bajas alturas y diámetros pequeños. Los mayores diámetros y alturas se observan en *Rhizophora* spp. El ecosistema de manglar contribuye al almacenamiento de carbono a escala local y global, evidenciado por la alta cantidad de carbono almacenado en los seis sistemas de manglar del Pacífico Norte de Nicaragua. El carbono azul que almacena anualmente el bosque de manglar, potencialmente podría ser parte del sistema de pago por almacenamiento de carbono para contribuir a las labores de conservación del ecosistema de manglar.

AGRADECIMIENTO

Esta investigación fue posible gracias al financiamiento del Consejo Nacional de Universidades (CNU) a través de los Fondos Concursables de Investigación. Los investigadores agradecen el apoyo brindado por el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA) y las comunidades locales de los seis sitios estudiados. Así mismo, al grupo de estudiantes del departamento de Biología de la UNAN-León que participaron en las actividades de campo.

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro-Sibaja, L., Barquero-Salgado, D., Fonseca, A., Montoya-Solano, R. A., Morales-Cerdas, V. y Ramírez-Arce, D. (2015). Estructura y composición vegetal del manglar Palo Seco, Quepos, Costa Rica. *Cuadernos de Investigaciones UNED*, 7(2), 325–332.
- Bautista-Olivas, A. L., Mendoza-Cariño, M., Cesar-Rodriguez, J., Colado-Amador, C. E., Robles-Zazueta, C. A., & Meling-López, A. E. (2018). Above-ground biomass and carbon sequestration in mangroves in the arid area of the northwest of Mexico: Bahía del Tóbari and Estero El Sargento, Sonora. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 24(3), 387–403. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2018.02.020>
- Bhomia, R. K., Kauffman, J. B., & McFadden, T. N. (2016). Ecosystem carbon stocks of mangrove forests along the Pacific and Caribbean coasts of Honduras. *Wetlands Ecology and Management*, 24(2), 187–201. <https://doi.org/10.1007/s11273-016-9483-1>
- Bindu, G., Rajan, P., Jishnu, E. S., & Ajith Joseph, K. (2018). Carbon stock assessment of mangroves using remote sensing and geographic information system. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 23(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.04.006>
- Blanco-Libreros, J. F., Ortiz-Acevedo, L. F. y Urrego, L. E. (2015). Reservorios de biomasa aérea y de carbono en los manglares del golfo de Urabá (Caribe colombiano). *Actualidades Biológicas*, 37(103), 131–141. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v37n103a02>
- Carvajal, E. L. y Soto Valdivia, R. S. (2006). *Estado actual del bosque de mangle en la Reserva Natural Estero Padre Ramos (Chinandega), Mayo- Noviembre 2005* [Tesis en Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-León (UNAN-León)]. Repositorio Institucional. <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/13131/1/201160.pdf>
- Chicas, F. A., Gonzales, J. A. y Sayes, J. A. (2016). Composición florística y estructura del manglar de la Bahía de La Unión, El Salvador. *Rev. COMUN. Cient. Tecnol.*, 2(1), 52–64.
- Daily, G. C., Alexander, S., Ehrlich, P. R., Goulder, L., Lubchenco, J., Matson, P. A., Mooney, H. A., Postel, S., Schneider, S. H., Tilman, D., & Woodwell, G. M. (1997). *Ecosystem Services: Benefits Supplied to Human Societies by Natural Ecosystems*.
- De Groot, R., Brander, L., van der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F., Braat, L., Christie, M., Crossman, N., Ghermandi, A., Hein, L., Hussain, S., Kumar, P., McVittie, A., Portela, R., Rodriguez, L. C., ten Brink, P., & van Beukering, P. (2012). Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*, 1(1), 50–61. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.005>
- Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarsa, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, 4(5), 293–297. <https://doi.org/10.1038/ngeo1123>
- Doughty, C. L., Langley, J. A., Walker, W. S., Feller, I. C., Schaub, R., & Chapman, S. K. (2016). Mangrove Range Expansion Rapidly Increases Coastal Wetland Carbon Storage. *Estuaries and Coasts*, 39(2), 385–396. <https://doi.org/10.1007/s12237-015-9993-8>
- Ewel, K. C., Twilley, R. R., & Ong, J. E. (1998). Different kinds of mangrove forests provide different goods and services. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 7(1), 83–94. <https://doi.org/10.2307/2997700>
- Flores, D., Céspedes, L. y Martínez, A. (2013). *Identificación de servicios ecosistémicos en el Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes*. <https://repositorio.igp.gob.pe/server/api/core/bitstreams/9328472d-cb88-4764-8715-330c0bbca038/content>
- Getzner, M., & Islam, M. S. (2020). Ecosystem services of mangrove forests: Results of a meta-analysis of economic values. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(16), 1–13. <https://doi.org/10.3390/ijerph17165830>
- González Quiroz, O. D. (2016). *Evaluación Integrada de Socioecosistemas para la Gestión de la Franja Marino-costera: Aplicación en la Costa Del Pacífico de Nicaragua*. Universidad de Alcalá.
- Hamilton, S. E., & Friess, D. A. (2018). Global carbon stocks and potential emissions due to mangrove deforestation from 2000 to 2012. *Nature Climate Change*, 8(3), 240–244. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0090-4>
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., & Pidgeon, E. (eds). (2014). *Coastal blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses meadows*. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature.
- Hu, T., Su, Y., Xue, B., Liu, J., Zhao, X., Fang, J., & Guo, Q. (2016). Mapping global forest aboveground biomass with spaceborne LiDAR, optical imagery, and forest inventory data. *Remote Sensing*, 8(7). <https://doi.org/10.3390/rs8070565>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). Coastal Wetlands. In H. Kennedy, D. Alongi, A. Karim, G. Chen, G. Chmura, S. Crooks, J. G. Kairo, B. Liao, & G. Lin (Eds.). *Supplement to the 2006 IPCC guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. IPCC.
- Kauffman, J. B., Adame, M. F., Arifanti, V. B., Schile-Beers, L. M., Bernardino, A. F., Bhomia, R. K., Donato, D. C., Feller, I. C., Ferreira, T. O., Jesus Garcia, M. del C., MacKenzie, R. A., Megonigal, J. P., Murdiyarsa, D., Simpson, L., & Hernández Trejo, H. (2020). Total ecosystem carbon stocks of mangroves across broad global environmental and physical gradients. *Ecological Monographs*, 90(2). <https://doi.org/10.1002/ecm.1405>
- Kauffman, J. B., Heider, C., Norfolk, J., & Payton, F. (2014). Carbon stocks of intact mangroves and carbon emissions arising from their conversion in the Dominican Republic. *Ecological Applications*, 24(3), 518–527. <https://doi.org/10.1890/13-0640.1>
- Komiyama, A., Pongpan, S., & Kato, S. (2005). Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *Journal*

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

- of *Tropical Ecology*, 21(4), 471–477. <https://doi.org/10.1017/S0266467405002476>
- Krause, M. S., Nkonya, E., & Griess, V. C. (2017). An economic valuation of ecosystem services based on perceptions of rural Ethiopian communities. *Ecosystem Services*, 26, 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.06.002>
- Mendoza Hernández, J. T., González, O. D. y Aguirre, J. R. (2009). *Evaluación del estado del bosque en la Reserva Natural Isla Juan Venado, sector Las Peñitas* [Tesis en Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-León (UNAN-León)]. Repositorio Institucional. <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/handle/123456789/2344>
- Moya, B. V., Hernández, A. E. y Elizalde Borrell, H. (2005). Los humedales ante el cambio climático. *Investigaciones Geográficas*, 37, 127. <https://doi.org/10.14198/ingeo2005.37.07>
- Myeong, S., Nowak, D. J., & Duggin, M. J. (2006). A temporal analysis of urban forest carbon storage using remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 101(2), 277–282. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.12.001>
- Nyangoko, B. P., Berg, H., Mangora, M. M., Gullström, M., & Shalli, M. S. (2021). Community perceptions of mangrove ecosystem services and their determinants in the Rufiji Delta, Tanzania. *Sustainability (Switzerland)*, 13(1), 1–23. <https://doi.org/10.3390/su13010063>
- Richards, D. R., Thompson, B. S., & Wijedasa, L. (2020). Quantifying net loss of global mangrove carbon stocks from 20 years of land cover change. *Nature Communications*, 11(1), 1–7. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18118-z>
- Rocha, P. (1999). *Informacion Tecnica Resumida – Landsat 7 Etm. LANSAT*.
- Rodríguez Zúñiga, M. T., Troche Souza, C., Vásquez Lule, A. D., Márquez Mendoza, J. D., Vásquez Balderas, B., Valderrama Landeros, L., Velásquez Salazar, S., Cruz López, M. I., Ressler, R., Uribe Martínez, A., Cerdeira Estrada, S., Acosta Velásquez, J., Díaz Gallegos, J., Jiménez Rosenberg, R., Fueyo MacDonald, L. y Galindo Leal, C. (2013). *Manglares de México: Extensión, distribución y monitoreo*. Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad.
- Rouse, J. W. J., Haas, R. H., Deering, D. W., Shell, J. A., & Harlan, J. C. (1974). *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation*. NASA/GSFCT.
- Samper-Villarreal, J. y Silva-Benavides, A. M. (2015). Complejidad estructural de los manglares de Playa Blanca, Escondido y Rincón de Osa, Golfo Dulce, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 63(suplemento 1), 199–208. <https://doi.org/10.15517/rbt.v63i1.23103>
- Sarhan, M. (2014). The Economic Valuation of Mangrove Forest Ecosystem Services : A Review. *The George Wright Forum*, 35(3), 1–16.
- Simard, M., Zhang, K., Rivera-Monroy, V. H., Ross, M. S., Ruiz, P. L., Castañeda-Moya, E., Twilley, R. R., & Rodriguez, E. (2006). Mapping height and biomass of mangrove forests in Everglades National Park with SRTM elevation data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72(3), 299–311. <https://doi.org/10.14358/PERS.72.3.299>
- Van Lavieren, H., Spalding, M., Alongi, D. M., Kainuma, M., Clüsener-Godt, M., & Adeel, Z. (2012). *Securing the future of mangroves. A Policy Brief*. UNU-INWEH, UNESCO-MAB
- Velázquez-Pérez, C., Tovilla-Hernández, C., Romero-Berny, E. I. y De Jesús-Navarrete, A. (2019). Estructura del manglar y su influencia en el almacén de carbono en la Reserva La Encrucijada, Chiapas, México. *Madera y Bosques*, 25(3). <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2531885>
- Vo, Q. T., Kuenzer, C., Vo, Q. M., Moder, F., & Oppelt, N. (2012). Review of valuation methods for mangrove ecosystem services. *Ecological Indicators*, 23, 431–446. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.04.022>
- Zeng, Y., Friess, D. A., Sarira, T. V., Siman, K., Zeng, Y., Friess, D. A., Sarira, T. V., Siman, K., & Koh, L. P. (2021). Global potential and limits of mangrove blue carbon for climate change mitigation. *Current Biology*, 31(8), 1737–1743. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.01.070>

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

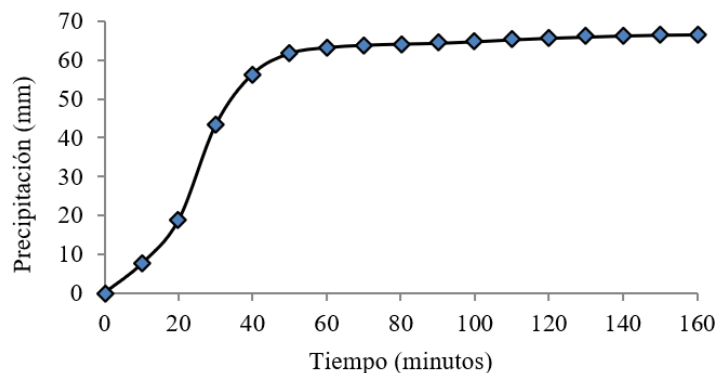
Curvas de intensidad, duración y frecuencia derivada de lluvia máxima diaria a partir de datos de seis estaciones meteorológicas en Nicaragua

Intensity, duration and frequency curves derived of diary maximum rainfall from data of six meteorological stations, Nicaragua

Miguel Enrique Blanco Chávez

MSc. Ingeniería Ambiental, Profesor Titular, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3138-4209> / meblanco_ch@yahoo.es

Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua



RESUMEN

En los sitios de proyectos de aprovechamiento de los recursos hídricos se requiere determinar las curvas intensidad, duración y frecuencia de lluvia para estimar caudales máximos. El objetivo de esta investigación fue estimar la correlación que hay entre la precipitación máxima diaria, las intensidades máximas para diferentes duraciones de lluvia, y los períodos de retorno, utilizando datos de lluvias de seis estaciones meteorológicas de la zona del Pacífico y zona Central del país. Se ha utilizado la función de distribución Gumbell para obtener las curvas intensidad, duración y frecuencia en las estaciones pluviográficas, para duraciones de cinco a 120 minutos. Con la prueba Smirnov-Kolmogorov, para un nivel de significancia de 5 %, se determinó que la función Gumbell tiene un buen ajuste con la probabilidad empírica de los datos analizados. Utilizando una relación potencial de las intensidades para diferentes duraciones, los períodos de retorno, y las precipitaciones máximas de 24 horas, se han obtenido ecuaciones que permiten estimar las curvas intensidad, duración y frecuencia (IDF) a partir de las precipitaciones máximas de 24 horas. Estas ecuaciones podrían ser utilizadas para estimar las curvas de intensidad, duración y frecuencia en sitios donde únicamente se dispone de datos de precipitaciones diarias en la zona de influencia de las seis estaciones meteorológicas.

Palabras clave: precipitación diaria, intensidad máxima, análisis de frecuencia, período de retorno.

ABSTRACT

In the places of hydraulics resources facility, it is required to estimate the intensity-duration-frequency rainfall curves, in order to estimate the maximum discharges. The aim of this study was to estimate the correlations between the annual diary maximum precipitation, the maximum intensities for different rainfall durations, and the returns periods, using rainfall data of six meteorological stations from the Pacific and Central zones of the country. The Gumbell distribution has been used to obtain the intensity-duration-frequency curves for the pluviograph stations, for durations of five to 120 minutes. Using the Smirnov-Kolmogorov test, with a 5% significant level, it was determined that the Gumbell distribution has a good adjustment with the analyzed data's empirical probability. Using a potential relation for the intensities with different durations, the return periods, and the 24 h maximum precipitations, equations were developed to allow to estimate the intensity-duration-frequency curves from the 24 h maximum precipitations. These equations could be used to obtain the IDF curves in those places where only available dairy precipitations, in the six meteorological stations.

Keywords: Dairy precipitation, maximum intensity, frequency analysis, return period.

Recibido: 29 de abril del 2024
Aceptado: 29 de octubre del 2024



Los artículos de la revista La Calera de la Universidad Nacional Agraria, Nicaragua, se comparten bajo términos de la licencia Creative Commons: Reconocimiento, No Comercial, Compartir Igual. Las autorizaciones adicionales a las aquí delimitadas se pueden obtener en el correo donauld.juarez@ci.una.edu.ni

© Copyright 2024. Universidad Nacional Agraria (UNA).

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

Las curvas intensidad, duración y frecuencia (IDF) son ampliamente utilizadas en los cálculos hidrológicos para el diseño de obras hidráulicas como alcantarillas, puentes, vertederos de presas, canales de drenaje pluvial, y en estudios de amenazas por inundaciones y erosión hídrica. Las curvas IDF sólo se puede obtener en estaciones meteorológicas que disponen de pluviógrafos, los cuales registran la precipitación acumulada a lo largo del tiempo, en un gráfico, donde se pueden hacer lecturas de la lluvia cada cinco minutos, y con eso estimar las intensidades. En Nicaragua la mayoría de las estaciones son pluviométricas, únicamente registran la precipitación total acumulada en 24 horas, por lo que en esos sitios no se dispone de información para la obtención de las curvas de intensidad, duración y frecuencia.

Campos (1978), como se citó en Torne Angulo, (2023), indica que cuando no hay registros horarios de lluvias, se proponen ecuaciones para estimar su intensidad con diferente duración a partir de las series de precipitación máxima en 24 horas, obteniendo buenos resultados.

Otros autores como Hassan El-Sayed (2017) en Egipto, Mejía Arrieta (2017) y Vargas y Díaz Granados (1998) en Colombia, determinaron ecuaciones que relacionan las intensidades máximas anuales y sus períodos de retorno con las precipitaciones máximas diarias, con coeficientes de determinación $R^2 > 0.80$. De igual manera en Turquía, Sen (2019), en la India, Basumatary y Sundar Sil (2017), presentaron modelos matemáticos para estimar las curvas IDF como función de la lluvia máxima diaria, obteniendo también buenos resultados.

Para el análisis de frecuencia de las intensidades máximas anuales de diferentes duraciones, se ha utilizado la función de distribución de probabilidad de valores extremos Tipo uno de Gumbell (Chow, 1953), porque se adapta bien a las distribuciones empíricas de probabilidad de eventos máximos de lluvias (Chow *et al.*, 1988). También se utilizó la función Gumbell para el análisis de las series de precipitación máxima diaria, para obtener sus valores para diferentes períodos de retorno. Se comprobó la bondad del ajuste de la función Gumbell mediante la prueba Smirnov-Kolmogorov (Villón Béjar, 2006).

Tomando en cuenta la insuficiente cantidad de estaciones pluviográficas en amplias regiones del país, se dificulta la precisión en la estimación de las intensidades máximas, y por consiguiente los caudales máximos de diseño asociados; se hace necesario plantear procedimientos que permitan solventar esta limitación en los estudios hidrológicos que se realizan en dichas zonas del país.

El objetivo de este estudio fue determinar las ecuaciones potenciales que relacionan los datos de las curvas de intensidad, duración y frecuencia con las precipitaciones

máximas de 24 horas, que nos permita estimar la intensidad, duración y frecuencia en aquellos sitios que únicamente disponen de datos diarios de precipitación, solventando así la escasa disponibilidad de datos pluviográficos para estimar las curvas intensidad, duración y frecuencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Análisis de independencia de las series de precipitación máxima diaria anual. Los supuestos del análisis de frecuencia de una serie de datos es que son aleatorios, que no dependen de los valores anteriores, garantizando así que son datos independientes. Para el análisis de independencia de las precipitaciones máximas de 24 horas, se utilizó el siguiente coeficiente de autocorrelación.

$$R_h = \frac{C_h}{C_o} \quad (1)$$

$$C_h = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-h} (Y_t - Y_m)(Y_{t+h} - Y_m) \quad (2)$$

$$C_o = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (Y_t - Y_m)^2 \quad (3)$$

Donde:

R_h = Coeficiente de autocorrelación

C_h = Función de auto covarianza

C_o = Función de varianza

h = Desfase en años

Y_t = Valor de la intensidad de lluvia en el año t

Y_m = Valor medio de la serie de intensidades de lluvia

N = Número de años de la serie de intensidades de lluvia.

El valor resultante de R_h oscilará entre -1 y +1.

Con los valores del coeficiente de autocorrelación R_h , con desfase h desde cero a diez años, se procede a graficar el desfase contra R_h (Figura 1), obteniendo así el correlograma de la serie de precipitaciones máximas de 24 horas.

Cuando los valores de R_h se aproximan a cero, los valores de la serie no son autocorrelativos, es decir, el valor actual no depende del valor anterior, y se puede inferir que la serie es independiente.

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

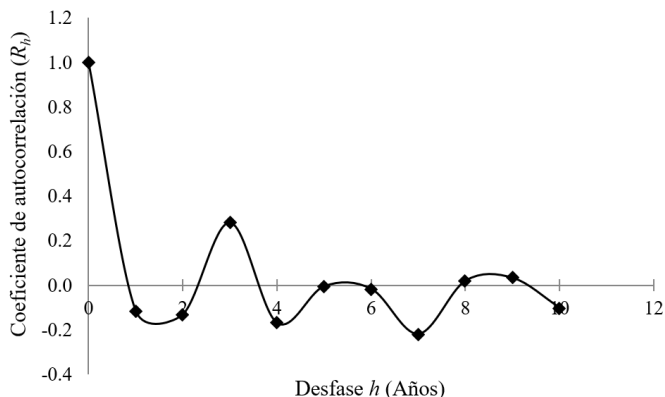


Figura 1. Correlograma de precipitación máxima de 24 horas.

Obtención de las curvas de intensidad, duración y frecuencia. Para obtener las curvas IDF se realizó el análisis de frecuencia con la función de probabilidad Gumbel (valores extremos tipo I), la que ajusta bien a las precipitaciones máximas anuales (Chow *et al.*, 1988; Muñoz y Zamudio, 2018; Wilches *et al.*, 2020). La función de distribución de probabilidad acumulativa para Valores Extremos Tipo I (EVI) es:

$$F(X) = \exp \left[-\exp \left(-\frac{x - \mu}{\alpha} \right) \right] \quad (4)$$

Para todo $-\alpha \leq x \leq \alpha$

Los parámetros de la función son estimados con:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} S \quad (5)$$

$$\mu = X_{med} - 0.5772 \alpha \quad (6)$$

Donde:

α = Parámetro de escala

μ = Parámetro de posición, llamado también moda de la distribución

S = Desviación estándar de la serie analizada x

X_{med} = Media de la serie analizada x

Se puede definir una variable reducida:

$$Y = \frac{X - \mu}{\alpha} \quad (7)$$

Sustituyendo:

$$F(x) = \exp[-\exp(-Y)] \quad (8)$$

Despejando Y :

$$Y = -\text{Ln} \left[\text{Ln} \left(\frac{1}{F(x)} \right) \right] \quad (9)$$

También se puede calcular con el período de retorno T la probabilidad acumulada $p(x \leq X)$:

$$F(x_T) = \frac{T - 1}{T} \quad (10)$$

Sustituyendo $F(x_T)$ en Y , se obtiene la variable Y_T :

$$Y_T = -\text{Ln} \left[\text{Ln} \left(\frac{T}{T - 1} \right) \right] \quad (11)$$

Para la distribución de Valores Extremos Tipo I (EVI), X_T está relacionado con Y_T por medio de:

$$X_T = \mu + \alpha Y_T \quad (12)$$

Donde X_T es valor máximo de la variable para un determinado período de retorno de la serie analizada.

Bondad del ajuste. Se revisó la bondad del ajuste de la distribución de probabilidad teórica de la función de Gumbel (EVI) a la distribución de probabilidad empírica de los datos de intensidades con la prueba de Smirnov-Kolmorov, en la que se compara las desviaciones máximas de la probabilidad de la función Gumbell respecto a la probabilidad empírica ΔP_{max} , con la desviación máxima de Smirnov-Kolmogorov Δ_{max} . En esta prueba se utilizó un nivel de significancia α de 5%. Para que se acepte el ajuste de la función Gumbell (EVI) se debe cumplir que $\Delta P_{max} \leq \Delta_{max}$ (Villón Béjar, 2006).

La distribución de probabilidad empírica (Chow *et al.*, 1988) se calculó con la fórmula de Weibull:

$$p = m/(N+1) \quad (13)$$

Donde:

p = Probabilidad empírica

m = Número de orden de una serie ordenada de menor a mayor

N = Número total de datos de la serie

Correlación de las IDF a partir de precipitaciones máximas de 24 horas. Se utilizó una ecuación tipo exponencial propuesta por Vargas y Díaz Granados (1998) que plantea:

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

$$I = \frac{a T^b M^d}{t^c} \tag{14}$$

Donde:

- I* = Intensidad de precipitación en milímetros por hora (mmh⁻¹).
- T* = Periodo de retorno en años, asociado a la intensidad *I*.
- M* = Precipitación máxima promedio anual en 24 horas (mm), a nivel multianual, para un determinado *T*
- t* = Duración de la lluvia en minutos
- a, b, c y d* = Parámetros de ajuste de la regresión

Para obtener los parámetros de la ecuación anterior se procedió a hacer una transformación de ecuación exponencial a una de tipo lineal, mediante la aplicación de logaritmos naturales a ambos lados de (14):

$$\ln I = \ln A - c \ln (t) \tag{15}$$

$$\ln A = \ln k + b \ln(T) \tag{16}$$

$$\ln k = \ln a + d \ln (M) \tag{17}$$

La aplicación de este artificio permite establecer una relación lineal entre los logaritmos de las variables, por lo que se puede aplicar la técnica de los mínimos cuadrados para determinar los valores óptimos de cada parámetro (Mejía Arrieta, 2017).

Se obtuvieron los coeficientes *A* y *c* de (15) por correlación lineal. Con el método de mínimos cuadrados se obtuvo la ecuación de la recta de mejor ajuste, usando como variable independiente *X* = ln (*t*) y variable dependiente *Y* = ln (*I*). Los valores *A* y *c* se obtuvieron para cada período de retorno en cada estación seleccionada. La calidad de esta correlación se evaluó mediante el coeficiente de determinación *R*². La correlación lineal se realizó en una hoja de cálculo de Microsoft Excel.

Una vez obtenidos los valores de *A* de cada período de retorno especificado (*T*), se procedió a resolver (16), correlacionando la variable independiente *X* = ln (*A*) con la variable dependiente *Y* = ln (*T*), aplicando nuevamente el método de mínimos cuadrados, para la estimación de los coeficientes "k" y "b" respectivamente.

Una vez obtenidos los valores de k, y con los valores de la variable independiente *M* de cada período de retorno especificado, se procedió a resolver (17), correlacionando la variable *X* = ln (*M*) con la variable dependiente *Y* = ln (*k*), aplicando nuevamente el método de mínimos cuadrados, para la estimación de los coeficientes "a" y "d" respectivamente.

De esta forma quedaron determinados los coeficientes *a, b, c, y d* de (14), la cual permite obtener las

intensidades máximas para duraciones de lluvia menores que 24 horas, para un determinado período de retorno.

Datos utilizados. Se utilizaron datos de seis estaciones meteorológicas, que disponían de series de intensidades máximas anuales para diferentes duraciones de lluvia, y las series de precipitaciones máximas anuales en 24 horas de duración. El Cuadro 1 muestra el nombre de las estaciones, el período de registro de información y el estado de la información según período de registro.

Cuadro 1. Estaciones meteorológicas seleccionadas en el estudio

| Estación | Período | Período faltante |
|--------------------|-----------|------------------|
| Managua Aeropuerto | 1971-2012 | Completo |
| Masaya Lagunas | 1977-2002 | Completo |
| Campos Azules | 1971-2001 | 1988-1992 |
| Rivas | 1975-2002 | Completo |
| Juigalpa | 1980-2001 | 1998 |
| Jinotega | 1975-2002 | 1998 |

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó la prueba de independencia de las series de precipitación máxima de 24 horas en las estaciones mediante el coeficiente de autocorrelación según la ecuación (1). Esto permitió obtener los correlogramas que se muestran de la Figuras 2 a la Figura 7.

En todas las series el correlograma muestra bajos valores del coeficiente de auto correlación *R_h*, indicando que los datos de las series no dependen de los datos de los años previos, esto es, la variable precipitación máxima de 24 horas es independiente o aleatoria, por lo que se pueden utilizar en el análisis de frecuencia con la función de distribución de valores extremos (EVI) de Gumbell. Esto se hace extensivo a las series de intensidades máximas con diferentes duraciones.

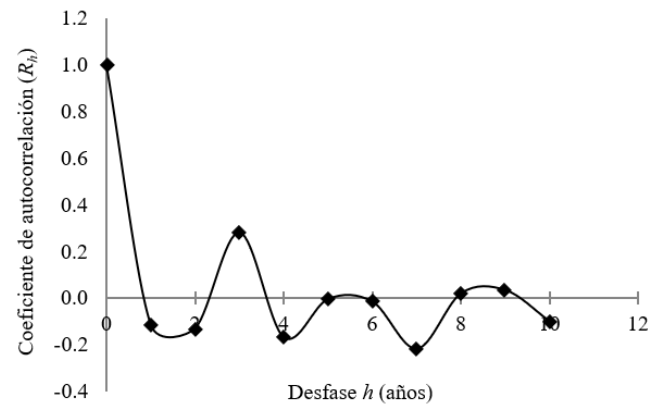


Figura 2. Correlograma de precipitación máxima de 24 h en la estación Managua Aeropuerto.

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

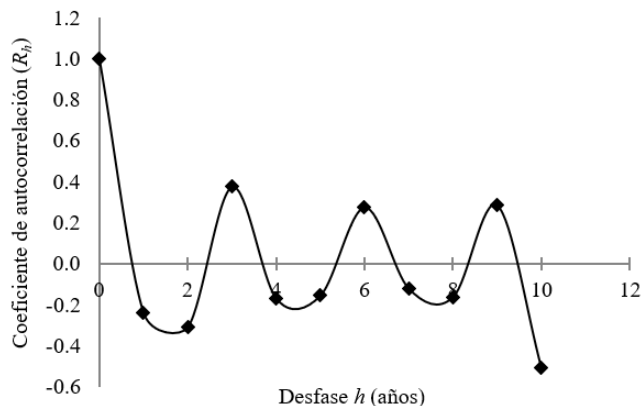


Figura 3. Correlograma de precipitación máxima de 24 h en la estación Masaya Lagunas.

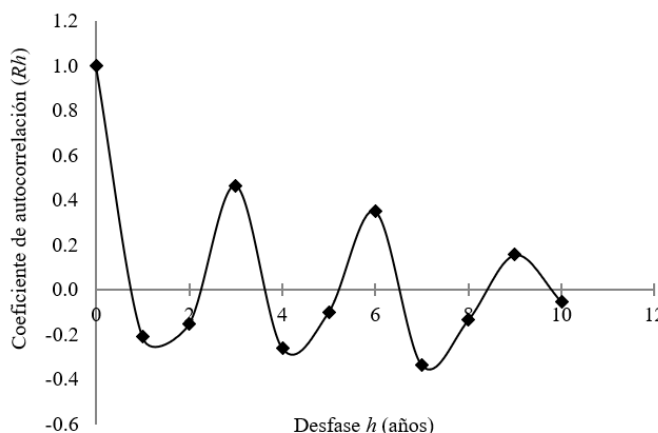


Figura 6. Correlograma de precipitación máxima de 24 h en la estación Juigalpa.

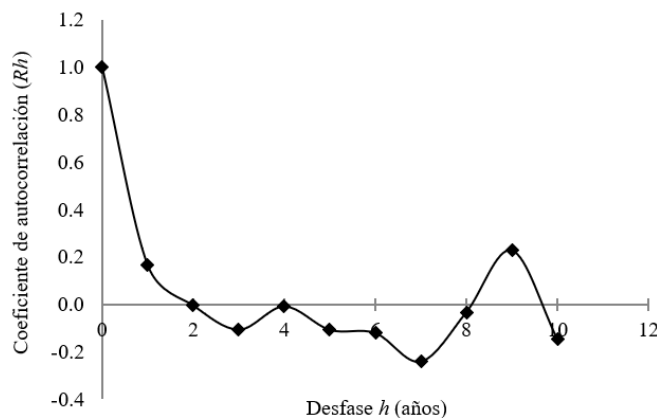


Figura 4. Correlograma de precipitación máxima de 24 h en la estación Campos Azules.

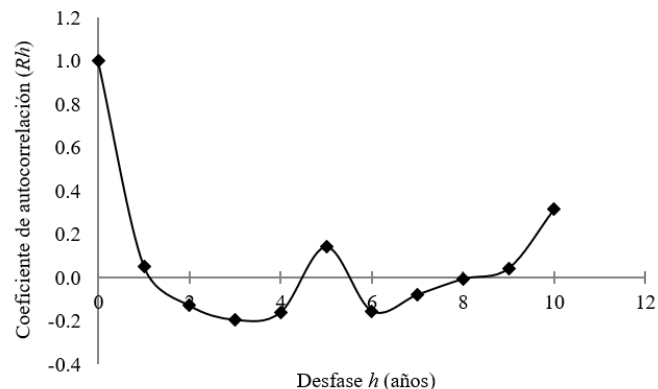


Figura 7. Correlograma de precipitación máxima de 24 h en la estación Jinotega.

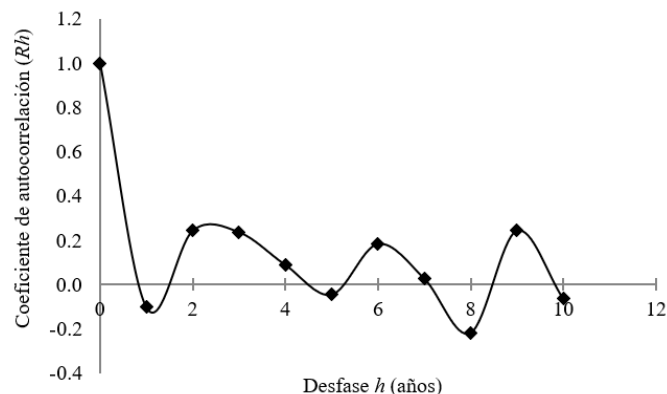


Figura 5. Correlograma de precipitación máxima de 24 h en la estación Rivas.

Para la obtención de las curvas IDF utilizando la función Gumbell (EVI), mediante el análisis de frecuencia se determinaron los parámetros de la ecuación (4), para las series de intensidades máximas y duraciones de lluvias de 5, 10, 15, 30, 60, 120 y 1 440 minutos. En el Cuadro 2 se indican los valores de dichos parámetros.

Posteriormente se realizó la prueba de bondad del ajuste Smirnov-Kolmogorov a la función Gumbell ajustada a los datos de intensidades máximas anuales de cada estación. En el Cuadro 3 se muestran los valores de desviaciones máximas obtenidas para las intensidades y diferentes duraciones de lluvia (ΔP) y la desviación máxima permitida (Δ máximo) de la prueba Smirnov-Kolmogorov.

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

Cuadro 2. Parámetros de la función Gumbell para las series de precipitación máxima de 24 horas

| Estación | Parámetro | Duración en minutos | | | | | | |
|------------|-----------|---------------------|---------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | | 5 | 10 | 15 | 30 | 60 | 120 | 1440 |
| Managua | α | 30.311 | 19.406 | 17.871 | 15.616 | 14.457 | 11.371 | 1.397 |
| Aeropuerto | μ | 140.398 | 117.716 | 97.489 | 67.827 | 43.022 | 23.423 | 3.160 |
| Masaya | α | 26.902 | 18.241 | 15.957 | 14.679 | 11.392 | 7.316 | 0.832 |
| Lagunas | μ | 130.453 | 106.179 | 89.928 | 66.962 | 44.013 | 25.512 | 2.298 |
| Campos | α | 115.350 | 10.350 | 11.744 | 10.058 | 10.506 | 5.803 | 0.992 |
| Azules | μ | 120.221 | 99.426 | 82.306 | 59.868 | 39.368 | 24.344 | 3.590 |
| | α | 29.577 | 16.778 | 16.527 | 12.300 | 13.057 | 8.441 | 1.174 |
| Rivas | μ | 123.271 | 99.166 | 86.261 | 63.283 | 43.171 | 24.221 | 3.802 |
| | α | 33.692 | 18.242 | 15.930 | 14.205 | 8.877 | 7.387 | 1.040 |
| Juigalpa | μ | 137.031 | 109.080 | 90.179 | 59.170 | 40.512 | 22.919 | 3.061 |
| | α | 29.867 | 23.100 | 20.303 | 13.072 | 8.203 | 6.308 | 0.864 |
| Jinotega | μ | 103.072 | 80.378 | 66.666 | 47.847 | 31.780 | 15.589 | 2.295 |

Cuadro 3. Desviaciones máximas ΔP para la función Gumbell ajustada a las intensidades

| Estación | Parámetro | Duración en minutos | | | | | | |
|------------|----------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 5 | 10 | 15 | 30 | 60 | 120 | 1440 |
| Managua | ΔP máx | 0.149 | 0.137 | 0.099 | 0.070 | 0.083 | 0.079 | 0.073 |
| Aeropuerto | Δ máx | 0.210 | 0.210 | 0.210 | 0.210 | 0.210 | 0.210 | 0.210 |
| Masaya | ΔP máx | 0.142 | 0.121 | 0.111 | 0.075 | 0.123 | 0.128 | 0.071 |
| Lagunas | Δ máx | 0.267 | 0.267 | 0.267 | 0.267 | 0.267 | 0.267 | 0.267 |
| Campos | ΔP máx | 0.176 | 0.188 | 0.105 | 0.157 | 0.104 | 0.098 | 0.177 |
| Azules | Δ máx | 0.267 | 0.267 | 0.267 | 0.267 | 0.267 | 0.267 | 0.267 |
| Rivas | ΔP máx | 0.199 | 0.098 | 0.084 | 0.078 | 0.113 | 0.111 | 0.117 |
| | Δ máx | 0.257 | 0.257 | 0.257 | 0.257 | 0.257 | 0.257 | 0.257 |
| Juigalpa | ΔP máx | 0.179 | 0.173 | 0.240 | 0.155 | 0.110 | 0.094 | 0.102 |
| | Δ máx | 0.284 | 0.284 | 0.284 | 0.284 | 0.284 | 0.284 | 0.284 |
| Jinotega | ΔP máx | 0.157 | 0.118 | 0.123 | 0.104 | 0.060 | 0.082 | 0.058 |
| | Δ máx | 0.262 | 0.262 | 0.262 | 0.262 | 0.262 | 0.262 | 0.262 |

ΔP máx es la desviación máxima que se presenta entre la probabilidad empírica de las intensidades observadas y la probabilidad teórica calculada con la función Gumbell para dichos datos, y Δ máx es la máxima desviación de probabilidad permitida en la prueba Smirnov-Kiomogorov para que se acepte el ajuste de la función Gumbell a los datos de intensidades analizadas.

Se observa que las desviaciones máximas de la función Gumbell ΔP son menores que las desviaciones máximas de la prueba Smirnov-Kiomogorov Δ máximo, por lo que se acepta el ajuste de (4) a los datos de intensidades máximas de diferentes duraciones en las seis estaciones del estudio.

Una vez verificada la bondad del ajuste, se procedió a obtener las intensidades máximas anuales con (4) ajustada, para cada estación seleccionada y para diferentes períodos de retorno, las que se muestran desde el Cuadros 4 al Cuadro 9.

Cuadro 4. Intensidades máximas anuales (mmh^{-1}) para la estación Managua Aeropuerto (69027)

| T | Duración en minutos | | | | | | |
|-----|---------------------|--------|--------|--------|--------|-------|------|
| | 5 | 10 | 15 | 30 | 60 | 120 | 1440 |
| 5 | 185.86 | 146.82 | 124.30 | 91.25 | 64.71 | 40.48 | 5.26 |
| 10 | 208.61 | 161.39 | 137.71 | 102.97 | 75.56 | 49.01 | 6.30 |
| 15 | 221.44 | 169.60 | 145.27 | 109.58 | 81.68 | 53.82 | 6.90 |
| 20 | 230.43 | 175.35 | 150.57 | 114.21 | 85.96 | 57.20 | 7.31 |
| 50 | 258.67 | 193.44 | 167.22 | 128.76 | 99.43 | 67.79 | 8.61 |
| 75 | 271.06 | 201.37 | 174.53 | 135.14 | 105.34 | 72.44 | 9.18 |
| 100 | 279.83 | 206.99 | 179.70 | 139.66 | 109.53 | 75.73 | 9.59 |

Cuadro 5. Intensidades máximas anuales (mmh^{-1}) para la estación Masaya Lagunas (69115)

| T | Duración en minutos | | | | | | |
|-----|---------------------|--------|--------|--------|-------|-------|------|
| | 5 | 10 | 15 | 30 | 60 | 120 | 1440 |
| 5 | 170.80 | 133.54 | 113.86 | 88.98 | 61.10 | 36.49 | 3.55 |
| 10 | 190.99 | 147.23 | 125.84 | 99.99 | 69.65 | 41.98 | 4.17 |
| 15 | 202.38 | 154.95 | 132.59 | 106.21 | 74.47 | 45.07 | 4.52 |
| 20 | 210.36 | 160.36 | 137.32 | 110.56 | 77.85 | 47.24 | 4.77 |
| 50 | 235.42 | 177.36 | 152.19 | 124.24 | 88.46 | 54.06 | 5.54 |
| 75 | 246.42 | 184.81 | 158.72 | 130.24 | 93.12 | 57.05 | 5.88 |
| 100 | 254.21 | 190.09 | 163.33 | 134.49 | 96.42 | 59.17 | 6.13 |

Cuadro 6. Intensidades máximas anuales (mmh^{-1}) para la estación Campos Azules (69129)

| T | Duración en minutos | | | | | | |
|-----|---------------------|--------|--------|--------|-------|-------|------|
| | 5 | 10 | 15 | 30 | 60 | 120 | 1440 |
| 5 | 143.25 | 114.95 | 99.92 | 74.95 | 55.13 | 33.05 | 5.08 |
| 10 | 154.76 | 122.72 | 108.73 | 82.50 | 63.01 | 37.40 | 5.82 |
| 15 | 161.26 | 127.10 | 113.71 | 86.76 | 67.46 | 39.86 | 6.24 |
| 20 | 165.81 | 130.17 | 117.19 | 89.74 | 70.57 | 41.58 | 6.54 |
| 50 | 180.12 | 139.81 | 128.13 | 99.11 | 80.36 | 46.99 | 7.46 |
| 75 | 186.39 | 144.04 | 132.93 | 103.22 | 84.66 | 49.36 | 7.87 |
| 100 | 190.83 | 147.04 | 136.33 | 106.13 | 87.70 | 51.04 | 8.15 |

Cuadro 7. Intensidades máximas anuales (mmh^{-1}) para la estación Rivas (69070)

| T | Duración en minutos | | | | | | |
|-----|---------------------|--------|--------|--------|--------|-------|------|
| | 5 | 10 | 15 | 30 | 60 | 120 | 1440 |
| 5 | 167.63 | 124.33 | 111.05 | 81.73 | 62.76 | 36.88 | 5.56 |
| 10 | 189.83 | 136.92 | 123.45 | 90.96 | 72.55 | 43.22 | 6.44 |
| 15 | 202.35 | 144.03 | 130.45 | 96.17 | 78.08 | 46.79 | 6.94 |
| 20 | 211.12 | 149.00 | 135.35 | 99.82 | 81.95 | 49.29 | 7.29 |
| 50 | 238.68 | 164.63 | 150.75 | 111.28 | 94.12 | 57.16 | 8.38 |
| 75 | 250.77 | 171.49 | 157.50 | 116.31 | 99.46 | 60.61 | 8.86 |
| 100 | 259.33 | 176.35 | 162.29 | 119.86 | 103.23 | 63.05 | 9.20 |

Cuadro 8. Intensidades máximas anuales (mmh^{-1}) para la estación Juigalpa (69037)

| T | Duración en minutos | | | | | | |
|-----|---------------------|--------|--------|--------|-------|-------|------|
| | 5 | 10 | 15 | 30 | 60 | 120 | 1440 |
| 5 | 187.57 | 136.44 | 114.07 | 80.48 | 53.83 | 34.00 | 4.62 |
| 10 | 212.85 | 150.13 | 126.03 | 91.14 | 60.49 | 39.54 | 5.40 |
| 15 | 227.12 | 157.85 | 132.77 | 97.15 | 64.25 | 42.67 | 5.84 |
| 20 | 237.10 | 163.26 | 137.49 | 101.36 | 66.88 | 44.86 | 6.15 |
| 50 | 268.50 | 180.26 | 152.34 | 114.60 | 75.15 | 51.74 | 7.12 |
| 75 | 282.27 | 187.72 | 158.85 | 120.41 | 78.78 | 54.76 | 7.54 |
| 100 | 292.02 | 192.99 | 163.46 | 124.52 | 81.35 | 56.90 | 7.84 |

Cuadro 9. Intensidades máximas anuales (mmh^{-1}) para la estación Jinotega (55020)

| T | Duración en minutos | | | | | | |
|-----|---------------------|--------|--------|--------|-------|-------|------|
| | 5 | 10 | 15 | 30 | 60 | 120 | 1440 |
| 5 | 147.87 | 115.03 | 97.12 | 67.46 | 44.08 | 25.05 | 3.59 |
| 10 | 170.28 | 132.36 | 112.36 | 77.27 | 50.24 | 29.78 | 4.24 |
| 15 | 182.93 | 142.14 | 120.95 | 82.80 | 53.71 | 32.45 | 4.61 |
| 20 | 191.78 | 148.99 | 126.97 | 86.67 | 56.14 | 34.32 | 4.86 |
| 50 | 219.61 | 170.51 | 145.89 | 98.86 | 63.79 | 40.20 | 5.67 |
| 75 | 231.82 | 179.96 | 154.19 | 104.20 | 67.14 | 42.78 | 6.02 |
| 100 | 240.46 | 186.64 | 160.06 | 107.98 | 69.51 | 44.61 | 6.27 |

Con los datos de intensidades anteriores y las precipitaciones máximas promedios anuales en 24 h (M) se obtuvieron los parámetros a, b, c, y d de (14), auxiliándonos de (15), (16) y (17). Los Cuadros 10 y 11 muestran los parámetros obtenidos para cada estación en estudio.

Cuadro 10. Parámetros de calibración de la ecuación de correlación (14).

| Estación | a | b | d |
|--------------------|--------|-------|-------|
| Managua Aeropuerto | 297.97 | 0.067 | 0.127 |
| Masaya Lagunas | 264.54 | 0.099 | 0.158 |
| Campos Azules | 202.55 | 0.047 | 0.206 |
| Rivas | 217.02 | 0.095 | 0.185 |
| Juigalpa | 309.82 | 0.107 | 0.138 |
| Jinotega | 255.19 | 0.145 | 0.159 |

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

Cuadro 11. Parámetro *c* de calibración de la ecuación de correlación (14)

| <i>T</i> | Managua Aeropuerto | Masaya Lagunas | Campos Azules | Rivas | Juigalpa | Jinotega |
|----------|-----------------------|-------------------|---------------|-------|----------|----------|
| 5 | 0.475 | 0.470 | 0.450 | 0.455 | 0.533 | 0.555 |
| 10 | 0.448 | 0.459 | 0.429 | 0.440 | 0.524 | 0.549 |
| 15 | 0.436 | 0.454 | 0.419 | 0.433 | 0.519 | 0.547 |
| 20 | 0.428 | 0.450 | 0.413 | 0.429 | 0.516 | 0.545 |
| 50 | 0.408 | 0.441 | 0.395 | 0.417 | 0.508 | 0.541 |
| 75 | 0.401 | 0.438 | 0.389 | 0.413 | 0.505 | 0.540 |
| 100 | 0.396 | 0.436 | 0.384 | 0.410 | 0.504 | 0.539 |

En la correlación de las intensidades y las duraciones, de (15), se obtuvieron coeficientes de determinación R^2 que variaron de 0.95 a 0.99, en la correlación del parámetro *A* y los períodos de retorno, de (16), se obtuvieron coeficientes de determinación R^2 de 0.99, y en la correlación del parámetro *k* y las precipitaciones máximas de 24 horas, de (17), se obtuvieron coeficientes de determinación R^2 de 0.97, como se puede ver en el Cuadro 12. Estos valores de R^2 se consideran altos, y nos indican que se ha obtenido una buena correlación de las intensidades y las precipitaciones máximas de 24 horas.

Cuadro 12. Coeficientes de determinación R^2 para (15), (16) y (17)

| Ecuación | Estaciones | | | | | |
|----------|-----------------------|-------------------|---------------|-----------|----------|-----------|
| | Managua Aeropuerto | Masaya Lagunas | Campos Azules | Rivas | Juigalpa | Jinotega |
| (15) | 0.98 - 0.99 | 0.976-0.977 | 0.955-0.975 | 0.97-0.98 | 0.99 | 0.97-0.98 |
| (16) | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 |
| (17) | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.97 |

Estos resultados son comparables con los obtenidos por Vargas y Díaz (1998) en Colombia, quienes obtuvieron valores de R^2 superior a 0.90, con excepción de la región del Caribe Colombiano donde en promedio fue de 0.73. De igual forma Mejía Arrieta (2017), en la región del Atlántico de Colombia, en un estudio para determinar curvas IDF a partir de precipitación máxima de 24 horas, obtuvo valores de R^2 entre 0.95 y 0.99. En el sur de Turquía, Sen (2019) desarrolló ecuaciones para obtener curvas IDF a partir de precipitación máxima de 24 horas, con errores relativos menores del 10%.

Se resalta que los parámetros *a*, *b* y *d* no varían con el período de retorno (Cuadro 10). El parámetro *a* de las cuatro estaciones de la Zona del Pacífico varía de 200 a 298, con el mayor valor en la estación Managua Aeropuerto, en cambio para las dos estaciones de la Zona Central varía de 255 a 309. El parámetro *b* de las cuatro estaciones de la Zona del Pacífico varía de 0.047 a 0.099, con el mayor valor en la estación Masaya, en cambio para las dos estaciones de la Zona Central varía de 0.107 a 0.145. El parámetro *d* no tiene una tendencia específica para la Zona del Pacífico como en la Central, sus valores son similares, variando de 0.127 a 0.206, en cambio los parámetros *a* y *b* han mostrado que en la Zona

Central se presentan sus mayores valores.

Los valores del parámetro *c* mostrados en el Cuadro 11, en general disminuyen al aumentar el período de retorno *T*, en la Zona del Pacífico se presentan sus valores más bajos, entre 0.384 y 0.475, en cambio en la Zona Central se presentan los valores más altos del parámetro *c*, que varían entre 0.504 y 0.555. Se ha evidenciado que hay una regionalización para los parámetros *a*, *b* y *c* de (14), la cual podría representar regímenes de precipitaciones diferentes de cada zona.

Finalmente se revisó la correlación de los datos de intensidades obtenidos con (12), la función Gumbell (Cuadros 4 al 9), con las intensidades obtenidas con (14) calibrada, obteniendo coeficientes R^2 mínimos que varían entre 0.974 y 0.994 (Cuadro 13), los valores más altos corresponden a la estaciones Managua Aeropuerto cuyo $R^2 = 0.988$ (se analizó un registro de 42 años) y Juigalpa cuyo $R^2 = 0.994$ (se analizó un registro de 21 años), en cambio los valores más bajos corresponden a Jinotega cuyo $R^2 = 0.974$ (se analizó un registro de 27 años) y Campos Azules cuyo $R^2 = 0.974$ (se analizó un registro de 26 años). Estos resultados confirman que el ajuste obtenido para (14) representa adecuadamente las intensidades máximas anuales derivadas con la función Gumbell.

Cuadro 13. Coeficientes de determinación R^2 para las intensidades obtenidos de (12) y (14)

| Estación | Managua Aeropuerto | Masaya Lagunas | Campos Azules | Rivas | Juigalpa | Jinotega |
|----------|-----------------------|-------------------|------------------|-------|----------|----------|
| R^2 | 0.988 | 0.984 | 0.974 | 0.982 | 0.994 | 0.974 |

CONCLUSIONES

Es posible calibrar una ecuación que relacione las series de intensidades máximas anuales de una estación pluviográfica con la serie de precipitación máxima de 24 horas, obteniendo coeficientes de determinación altos, $R^2 > 0.97$.

Los parámetros de la ecuación potencial de correlación de intensidades máximas anuales y precipitaciones máximas diarias *a*, *b*, y *c*, presentaron rangos de valores típicos para la Zona del Pacífico y Central del país, en cambio el parámetro *d* no presentó diferencias entre las dos regiones del país.

La ecuación ajustada con datos de intensidades de las seis estaciones con pluviógrafos permite obtener las curvas IDF para duraciones menores que 24 h, en las estaciones vecinas que sólo disponen de datos diarios de precipitación y que tienen régimen pluviométrico similar a las estaciones pluviográficas en estudio.

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Basumatary, V., & Sundar Sil, B. (2017). Generation of rainfall Intensity-Duration-Frequency curves for the Barak River basin. *Meteorology, Hydrology and Water Management*, 6, 1-11. <http://www.mhwm.pl/pdf-79175-15962?filename=Generation%20of%20Rainfall.pdf>
- Campos, D. (1978). *Cálculo de las curvas IDF a partir de registros de lluvia máxima en 24 horas y relaciones duración lluvia Promedio*. Subdirección Regional Noreste de Obras Hidráulicas e Ingeniería Agrícola para el Desarrollo Rural.
- Chow, V. T. (1953). *Frequency analysis of hydrologic data with special application to rainfall intensities, bulletin 414*. University of Illinois.
- Chow, V. T., Maidment, D. y Mays, L. (1988). *Hidrología aplicada*. McGraw Hill.
- Hassan El-Sayed, E. A. (2017). Development of synthetic rainfall distribution curves for Sinai area. *Ain Shams Engineering Journal*, 9(4), 1949-1957. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2017.01.010>
- Mejía Arrieta, B. S. (2017). *Estimación de curva IDF a partir de lluvias máximas en 24 horas en el departamento del Atlántico* [Tesis de grado, Universidad de la Costa]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/11323/238>
- Muñoz B., J.E. y Zamudio, H. E. (2018). Regionalización de ecuaciones para el cálculo de curvas de intensidad, duración y frecuencia mediante mapas de isolíneas en el departamento de Boyacá. *Tecnura*, 22(58), 53-64. <https://doi.org/10.14483/22487638.14295>
- Sen, Z. (2019). Annual daily maximum rainfall-based IDF curve derivation methodology. *Earth Systems and Environment*, 3, 463–469. <https://doi.org/10.1007/s41748-019-00124-x>
- Torne Angulo, L. M. (2023). *Construcción de las curvas de intensidad, duración y frecuencia en el Municipio de Arjona, Bolívar (1999-2020)* [Tesis de grado, Universidad de Cartagena]. Repositorio Digital. https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/16244/documento-final_corregido_20_f-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Vargas, M. R. y Díaz Granados, D. M. (1998). *Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia*. Universidad de los Andes.
- Villón Béjar, M. (2006). *Hidrología estadística*. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Wilches, F. J., Hernández Ávila, R., & Caballero Guerrero, A. R. (2020). IDF curves and maximum rainfall in 24 hours in the subregions of La Mojana and San Jorge in the northern Colombia. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 13(10), 2884-2894. <https://doi.org/10.37624/IJERT/13.10.2020.2884-2894>

CIENCIA DE LAS PLANTAS

Identificación de bacterias fitopatógenas y su relación con la germinación de semillas de maíz

Identification of Phytopathogenic Bacteria and Their Relationship with Maize Seed Germination

Samuel Ezequiel Bustos-Meza¹, Isaías Ezequiel Sánchez Gómez², Eliézer Hazael Lanuza Rodríguez³, Roger Iván Moreira Centeno⁴

¹ Ingeniero en Sanidad Vegetal, graduado de la Dirección de Ciencias Agrícolas, Universidad Nacional Agraria, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2097-4817>/ezequiel.bustos.33821@gmail.com

² MSc. en Sanidad Vegetal, Universidad Nacional Agraria, Dirección de Ciencias Agrícolas, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6604-1660> / isanchez@ci.una.edu.ni

³ MSc. en Innovación Agropecuaria, Universidad Nacional Agraria, Dirección de Ciencias Agrícolas, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9717-4709>/ eliezer.lanuza@ci.una.edu.ni

⁴ Licenciado en Extensión Agraria, Laboratorio Nacional de Diagnóstico Fitosanitario y Calidad de Semillas, Instituto de Protección y Sanidad Agropecuaria, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6883-5272>/ roger.moreira@ipsa.gob.ni

Autor para correspondencia: isanchez@ci.una.edu.ni



RESUMEN

En Nicaragua el maíz se produce principalmente por pequeños y medianos productores; parte de la producción se destina al comercio y el resto se destina como semilla (siembra), no obstante, la producción se ve afectada por problemas ocasionados por patógenos, particularmente el grupo de las bacterias. Esta investigación se desarrolló con el objetivo de identificar fitobacterias asociadas a semillas de maíz y su efecto sobre la germinación. Se utilizaron 50 muestras de semillas proporcionadas por el Instituto de Protección y Sanidad Agropecuaria, las que procedían de Managua, Chinandega, León y Matagalpa, departamentos de Nicaragua. Para el aislamiento e identificación de las fitobacterias se utilizó la metodología de cámaras húmedas, medios de cultivos específicos, diferenciales, pruebas fenotípicas y los postulados de Koch para observar síntomas en plantas de 20 días de edad. Se realizaron pruebas de germinación en 400 semillas (cuatro repeticiones) por fitobacteria identificada y para el testigo y se observaron los síntomas producidos por las fitobacterias en las plántulas. Se obtuvieron 16 aislados de *Burkholderia andropogonis*

ABSTRACT

In Nicaragua, corn is produced mainly by small and medium producers, part of the production is destined for commerce and the rest is destined as seed (planting), however, production is affected by problems caused by pathogens, particularly the group of the bacteria. This research was developed with the objective of identifying genera and species of phyto-bacteria associated with corn seeds and the effect on germination. 50 seed samples provided by the Agricultural Protection and Health Institute were used, which came from the departments of Managua, Chinandega, Matagalpa and León. For the isolation and identification of phyto-bacteria, the methodology of humid chambers, specific culture media, differentials, phenotypic tests and Koch's postulates were used. Germination tests were carried out on 400 seeds by identified phyto-bacteria and a control, using the humid chamber technique, to determine the effect of phyto-bacteria on the seeds and the symptoms observed. 16 isolates of *Burkholderia andropogonis* (Smith) Gillis et al and one isolate of *Pseudomonas syringae* Van Hall were

Recibido: 14 de enero del 2024

Aceptado: 15 de agosto del 2024



Los artículos de la revista La Calera de la Universidad Nacional Agraria, Nicaragua, se comparten bajo términos de la licencia Creative Commons: Reconocimiento, No Comercial, Compartir Igual. Las autorizaciones adicionales a las aquí delimitadas se pueden obtener en el correo donald.juarez@ci.una.edu.ni

© Copyright 2024. Universidad Nacional Agraria (UNA).

CIENCIA DE LAS PLANTAS

(Smith) Gillis *et al* y un aislado de *Pseudomonas syringae* Van Hall. Los síntomas ocasionados por *Burkholderia andropogonis* (Smith) Gillis *et al* se manifestaron como manchas en las hojas de colores rojizas castañas y *Pseudomonas syringae* Van Hall, presentó síntomas en forma de manchas claras de forma elípticas con halos amarillos en la punta de las hojas bajas. Mediante la prueba de germinación se comprobó que las fitobacterias no inciden en la germinación de las semillas de maíz, pero si se observaron síntomas de la enfermedad en las hojas verdaderas y en las raíces.

Palabras clave: postulados de Koch, bioquímica, patogenicidad.

obtained. The symptoms caused by *Burkholderia andropogonis* (Smith) Gillis *et al* manifested as reddish-brown spots on the leaves and *Pseudomonas syringae* Van Hall presented symptoms in the form of clear elliptical spots with yellow halos at the tip of the lower leaves. Through the germination test, it was proven that phyto-bacteria do not affect the germination of corn seeds, but they do affect the growth of seedlings, affecting the true leaves and roots.

Keywords: Koch's postulates, biochemistry, pathogenicity.

En los últimos años el comercio del grano de maíz ha aumentado en Nicaragua, así como la producción de semilla, esto trae como consecuencia la propagación de enfermedades provocadas por hongos y bacterias, estas últimas se propagan de manera más rápida lo que facilita su permanencia por largos periodos en el suelo y la semilla (Aviles *et al.*, 2021). Aproximadamente el 90 % de las plantas cultivadas a nivel mundial son propagadas por semillas, es común que éstas no tengan las condiciones óptimas de calidad fitosanitaria para su uso y comercialización, debido a la presencia de patógenos como las bacterias que pueden desarrollarse sobre o dentro de ellas. Las semillas se consideran la fuente más importante para la perpetuación de las bacterias; además, su longevidad es mayor en las semillas que en el suelo o en residuos de cosecha, y su estrecha relación con la semilla favorece las infecciones primarias tempranas (Navarrete *et al.*, 2014).

Las principales fitobacterias que afectan los tallos de la planta de maíz y ocasionan pérdidas en el cultivo son: *Dickeya zea*, que se transmite por semillas; *Xanthomonas translucens*, que afecta las hojas, *Clavibacter* spp., que se trasmite por semillas y está clasificada como un patógeno cuarentenado por representar un peligro de ingreso al país (Instituto de Protección y Sanidad Agropecuaria [IPSA], 2024). También *Pseudomonas syringae* y *Burkholderia andropogonis* que son patógenos foliares que afectan principalmente durante la fase vegetativa y se encuentran en reservorios en el suelo (Pérez *et al.*, 2012; Ocampo, 2013; Navarrete *et al.*, 2014).

Para evitar que fitobacterias en semillas contaminen el suelo y afecten a la producción, se debe de cumplir con lo establecido en el Reglamento Técnico Centro Americano 65.05.53:10 (Ministerio de Economía *et al.*, 2010), que indica que el material de propagación no debe de superar el 2 % de la presencia de microorganismo para la certificación fitosanitaria, dada por el Organismo Nacional de Protección Fitosanitaria (ONPF) del país, en el caso de Nicaragua, el Instituto de Protección y Sanidad Agropecuaria (IPSA).

El objetivo de esta investigación fue identificar fitobacterias asociadas a semillas de maíz (*Zea mays* L.) y su efecto sobre la germinación, lo que contribuirá a evitar la propagación de enfermedades bacterianas en los centros de producción y reducir las pérdidas económicas para los productores de semillas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio. La etapa de identificación de fitobacterias se desarrolló en el laboratorio de bacteriología, ubicado en el Centro Nacional de Diagnóstico Fitosanitario y Calidad de Semilla (CNDFC), del Instituto de Protección y Sanidad Agropecuaria (IPSA) en el km 12 ½ Carretera Sur, comarca San José de La Cañada 2 km al Noroeste en Managua, Nicaragua, situado en las coordenadas geográficas de 12°04'49" de latitud Norte y 86°20'05" de longitud Oeste; las pruebas de patogenicidad se realizaron en el invernadero de la Dirección de Ciencias Agrícolas de la Universidad Nacional Agraria (UNA) en las coordenadas 12°08'45" latitud Norte y 86°09'46" longitud Oeste.

Origen de las muestras. Se utilizaron 50 muestras de semillas de maíz, las que fueron proporcionadas y codificadas de acuerdo con el orden de ingreso por el Laboratorio Nacional de Diagnóstico Fitosanitario y Calidad de Semillas (LNDFC) del IPSA durante los meses de mayo a julio del 2023. Estas semillas fueron proveídas por fincas en proceso de certificación y distribuidas de la siguiente manera: 17 muestras provenientes de Managua, con códigos MG001 al MG017, seis de Chinandega con codificación de CH001 a CH006, 23 de León con codificación LE001 a LE023 y cuatro de Matagalpa con codificación MT001 a MT004.

Diseño metodológico. La investigación fue del tipo experimental de corte transversal. Se utilizó un kilogramo de semilla y a partir de la muestra total; se utilizaron 100 semillas para el montaje de cámaras húmedas y posteriormente se aislaron las bacterias en medios de cultivos diferenciales, para identificar características morfológicas particulares,

CIENCIA DE LAS PLANTAS

y cultivos específicos (crecimiento selectivo) a partir de exudados bacterianos usando un asa redonda bacteriológica.

Las pruebas de patogenicidad y germinación se realizaron en el invernadero de la Dirección de Ciencias Agrícolas de la Universidad Nacional Agraria, mediante un diseño completamente aleatorizado (DCA). Para cada especie de fitobacteria identificada se utilizaron 20 plantas y 100 µl de suspensiones bacterianas por planta, además se utilizó un testigo absoluto con el mismo número de observaciones, para un total de 60 plantas.

La prueba estándar de germinación se realizó basado en la metodología propuesta por la International Seed Testing Association (ISTA, 2016) utilizando 400 semillas por cada bacteria y el testigo absoluto (sin inoculación de fitobacteria), con el objetivo de obtener cuatro repeticiones de 100 semillas.

Aislamiento y purificación de fitobacterias a partir de semilla. Se empleó la metodología de aislamiento descrita por Sosa-Moss *et al.* (1997) que consiste en lavar con agua destilada la semilla para eliminar el tratamiento químico que se le aplica. Luego se agregó hipoclorito de sodio al 1 % durante 30 segundos y se procedió a lavar tres veces las muestras con agua destilada estéril con intervalos de un minuto entre lavado.

Las cámaras húmedas se realizaron utilizando platos Petri con un diámetro de 150 mm. Se depositó papel filtro en el fondo del plato Petri, posteriormente se adicionó agua destilada estéril, hasta obtener una humedad homogénea (Sosa-Moss *et al.*, 1997). Por cada muestra se utilizaron 100 semillas distribuidas en dos cámaras húmedas en las cuales se colocaron, con ayuda de una pinza estéril, 50 semillas por plato Petri (cámara húmeda). Las cámaras húmedas fueron incubadas por un periodo de 48 horas y a una temperatura entre 25 °C y 27 °C; finalizado el tiempo, se procedió a la observación de exudados bacterianos con el uso de un estereoscopio.

En las muestras que se observaron exudados bacterianos, se procedió al aislamiento y purificación de las bacterias, con ayuda de un asa redonda bacteriológica, se tomó una porción del exudado, y posteriormente se rayó en el medio de cultivo Agar Nutriente. Se incubaron los rayados bacterianos a 35 °C por 48 horas. Finalizada la incubación, se realizó la prueba de Gram con hidróxido de potasio (KOH) al 3 %, las bacterias que resultaron Gram negativas se transfirieron a medio de cultivo Agar Nutriente y se incubaron a 35 °C por 48 horas para continuar con el proceso de purificación.

Identificación de géneros de fitobacterias. Las colonias bacterianas purificadas se inocularon en medios de cultivo específicos, como: YDC (Levadura Dextrosa Carbonato, por su traducción al español), para observación de forma y

color de las colonias; oxidasa, para determinar citocromo-oxidasa, crecimiento a 40 °C para verificar la capacidad de desarrollo, fluorescencia, crecimiento aeróbico y anaeróbico, y crecimiento en medio agar *Xanthomonas* (XA). Esta metodología es la utilizada por el área de bacteriología del LNDFCS y las descritas por Schaad *et al.* (2001).

Pruebas fenotípicas para la identificación de especies de fitobacterias. Se aplicaron las pruebas bioquímicas descritas por Schaad *et al.* (2001) que consisten en: desdoblamiento de fuentes de carbono, di-hidrólisis de arginina, fluorescencia, licuefacción de la gelatina, crecimiento a 40 °C, tolerancia al NaCl (3 % y 5 %), crecimiento aeróbico y anaeróbico, oxidación-fermentación, oxidasa, reacciones bioquímicas en medios de cultivo King B (KB), *Xanthomonas agar* (XA), *Xanthomonas species* (SX), medio almidón (NAAL), caldo purpura de bromocresol (CPB). Para la inoculación de las pruebas bioquímicas se utilizó un asa bacteriológica y una asada por prueba líquida a utilizar, en el caso de medios sólidos se usó el método de rayado por estrías.

Prueba de patogenicidad (postulados de Koch). Cuando las fitobacterias estaban identificadas hasta especie, se prepararon suspensiones bacterianas con ayuda de la escala McFarland grado de turbidez 0.5 (uso comercial). Éstas se prepararon en tubos de ensayos con volumen de 10 ml de agua destilada estéril y con un asa redonda bacteriológica de tres milímetros se agregó el inoculo hasta obtener la turbidez deseada y una concentración de 1×10^8 UFC (unidades formadoras de colonias) aproximadamente. Se utilizaron aislados purificados con menos de 48 horas de crecimiento, para asegurar su virulencia (Chellemi *et al.*, 1994; McFarland 1907).

Se utilizaron 20 plantas sanas de maíz por cada fitobacteria inoculada, así como en el testigo absoluto (sin inoculación); estas fueron sembradas en un sustrato estéril para describir la sintomatología (Suryani *et al.*, 2012; Münch, 2003). A los 10 días después de la emergencia, se inocularon 250 µl de suspensión bacteriana en cada una de las plantas, específicamente el tallo, usando el método de punción con una jeringa hipodérmica. Se realizaron observaciones cada 24 horas hasta la aparición de síntomas en las plantas (Torres-González *et al.*, 2013). Al finalizar las observaciones (20 días después de la inoculación), se procedió a verificar mediante aislamiento y pruebas bioquímicas los patógenos identificados e inoculados.

Efecto de fitobacterias sobre la germinación. Se utilizaron 100 semillas de acuerdo con los procedimientos del laboratorio de bacteriología de los LNDFCS debido a que el cálculo de los porcentajes de síntomas observados en plántulas y porcentaje de semilla germinada se realizan con base a 100 semillas (Rueda-Puentes *et al.*, 2009).

CIENCIA DE LAS PLANTAS

Para inocular las semillas con las fitobacterias, primero se lavaron con hipoclorito de sodio al 1 % durante un minuto y se realizaron tres lavados de agua destilada estéril por 30 segundos cada lavado con el fin de eliminar restos de hipoclorito, posteriormente se secaron en papel toalla. Se preparó una suspensión bacteriana con agua destilada estéril a concentración de 1×10^8 ml (escala McFarland 0.5) y un volumen final de 100 ml. Las semillas fueron sumergidas en la suspensión bacteriana durante una hora (Beracochea, 2011; Suriani *et al.*, 2021; McFarland, 1907). Posteriormente se decantó el inóculo y se colocaron las semillas en cámaras húmedas para observar el efecto de las bacterias sobre la germinación; las cámaras se mantuvieron durante una semana a temperatura ambiente. Se utilizó un testigo absoluto que consistió en 120 semillas sin inoculación, únicamente se les aplicó agua destilada estéril (Beracochea, 2011; Suriani *et al.*, 2021).

VARIABLES EVALUADAS

Género y especie de fitobacterias. Se utilizaron medios de cultivos generales, selectivos y diferenciales y se complementó con pruebas fenotípicas.

Patogenicidad de fitobacterias. Se evaluó mediante los postulados de Koch donde se observaron los síntomas en las plantas, de tal manera que esto permitiera determinar la coincidencia con lo descrito en la literatura.

Efecto de las fitobacterias sobre la germinación. Se calculó el porcentaje de germinación sobre la base de 100 semillas por bacteria inoculada y el testigo absoluto, mediante el conteo del número de semillas emergidas diariamente y la presencia de la radícula, el porcentaje de germinación se determinó a los ocho días, además se observó el porcentaje de síntomas en las plántulas.

Análisis de datos. Se elaboró una base de datos en Microsoft Excel 365 empresarial. Las variables géneros y especies de fitobacterias, patogenicidad se analizaron con estadística descriptiva, mientras que el efecto de las fitobacterias sobre la germinación a través de un análisis de varianza.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Género y especie de bacterias. De 50 muestras analizadas, 23 presentaron exudados bacterianos, las que posteriormente fueron purificados en Agar Nutritivo (AN), y sometidas a pruebas rápidas como: Gram, oxidasa y catalasa, resultando ser fitobacterias. Estas pruebas indicaron que 16 aislados bacterianos resultaron ser Gram negativas y oxidasa negativa (Cuadro 1).

No hubo reducción de nitratos, ni producción de indol, además se obtuvieron resultados positivos en el medio Oxidación / fermentación (O/F) para reacciones aerobias facultativas, mostrando que todos los aislados crecen en condiciones aeróbica y a partir de estos resultados, se descartó

Cuadro 1. Pruebas bioquímicas para la identificación de especies de fitobacterias en muestras de semillas de maíz según origen

| Códigos de muestras | Origen | Pruebas bioquímicas | | | | | | | | | | | | Bacterias identificadas | |
|---------------------|------------|---------------------|----------|----------|-----------|----------|---------|--------|----------|---------|----------|---------|------------------|-------------------------|----------------------------------|
| | | KOH 3 % | Catalasa | Sacarosa | Threalosa | NaCl 3 % | Lactosa | H. Gel | Sorbitol | Oxidasa | Arginina | C 40 °C | O/F | | Fluorescencia |
| MG004 | Managua | + | + | - | + | - | + | + | + | - | - | - | ±OF ^A | - | <i>Burkholderia andropogonis</i> |
| MG012 | Managua | + | + | - | + | - | + | + | + | - | - | - | ±OF ^A | - | <i>Burkholderia andropogonis</i> |
| CH004 | Chinandega | + | + | + | - | - | - | + | + | - | - | - | ±OF ^A | + | <i>Pseudomonas syringae</i> |
| LE008 | León | + | + | - | + | - | + | + | + | - | - | - | ±OF ^A | - | <i>Burkholderia andropogonis</i> |
| MG008 | Managua | + | + | - | + | - | + | + | + | - | - | - | ±OF ^A | - | <i>Burkholderia andropogonis</i> |
| MG016 | Managua | + | + | - | + | - | + | + | + | - | - | - | ±OF ^A | - | <i>Burkholderia andropogonis</i> |
| LE005 | León | + | + | - | + | - | + | + | + | - | - | - | ±OF ^A | - | <i>Burkholderia andropogonis</i> |
| MG011 | Managua | + | + | - | + | - | + | + | + | - | - | - | ±OF ^A | - | <i>Burkholderia andropogonis</i> |
| MG002 | Managua | + | + | - | + | - | + | + | + | - | - | - | ±OF ^A | - | <i>Burkholderia andropogonis</i> |
| MG010 | Managua | + | + | - | + | - | + | + | + | - | - | - | ±OF ^A | - | <i>Burkholderia andropogonis</i> |
| LE003 | León | + | + | - | + | - | + | + | + | - | - | - | ±OF ^A | - | <i>Burkholderia andropogonis</i> |
| LE009 | León | + | + | - | + | - | + | + | + | - | - | - | ±OF ^A | - | <i>Burkholderia andropogonis</i> |
| LE020 | León | + | + | - | + | - | + | + | + | - | - | - | ±OF ^A | - | <i>Burkholderia andropogonis</i> |
| LE007 | León | + | + | - | + | - | + | + | + | - | - | - | ±OF ^A | - | <i>Burkholderia andropogonis</i> |
| LE011 | León | + | + | - | + | - | + | + | + | - | - | - | ±OF ^A | - | <i>Burkholderia andropogonis</i> |
| LE021 | León | + | + | - | + | - | + | + | + | - | - | - | ±OF ^A | - | <i>Burkholderia andropogonis</i> |

- reacciones negativas; + Reacciones positivas; ±OF^A para reacciones positivas en medio O/F en crecimiento aeróbico; NaCl3 %: crecimiento en cloruro de sodio al 3 %; Gel: licuefacción de la gelatina; C 40 oC: crecimiento a 40 oC; O/F: Oxidación / fermentación.

CIENCIA DE LAS PLANTAS

la presencia de *Dickeya zea*, debido a que crece en condiciones anaeróbicas. La prueba de Lugol en medio nutritivo enriquecido con almidón (NAAL), no mostró zona de inhibición, por tanto, no hay utilización del almidón, descartando la presencia de *Xanthomonas* spp en los aislados bacterianos.

Las colonias en el medio Yeast Dextrose Carbonate, por sus siglas en inglés (YDC) presentaron colores blancos-opacos, características similares a las descritas por Araque *et al.* (2008) y se determinó que todas las muestras, a excepción de la CH004 proveniente de Chinandega, no corresponde al género *Burkholderia* spp. Se determinó mediante pruebas bioquímicas que la bacteria identificada con el código CH004 presentó pigmentos fluorescentes no difusible, características similares a la obtenida por Sánchez *et al.* (2017), así como hidrólisis de la gelatina positivo, desdoblamiento de las fuentes de carbono: sacarosa y sorbitol, di-hidrólisis de la arginina negativo, oxidasa negativa y de acuerdo con Schaad *et al.* (2001) y Fernández (2015), identifican de manera fenotípica a esta fitobacteria como *Pseudomonas syringae* (Cuadro 1).

El género *Burkholderia* spp resultó con fluorescencia negativa, para las pruebas de desdoblamiento de fuentes de carbono sorbitol, lactosa, threalosa y licuefacción de la gelatina, resultados similares a los obtenidos por Quesada-González y García-Santamaría (2014) catalasa positiva, oxidasa negativa y sin crecimiento a 40 °C (Cuadro1). El resultado corresponde a la fitobacterias *Burkholderia andropogonis* según García y Rodicio (2007) y Fornos, *et al.* (2022).

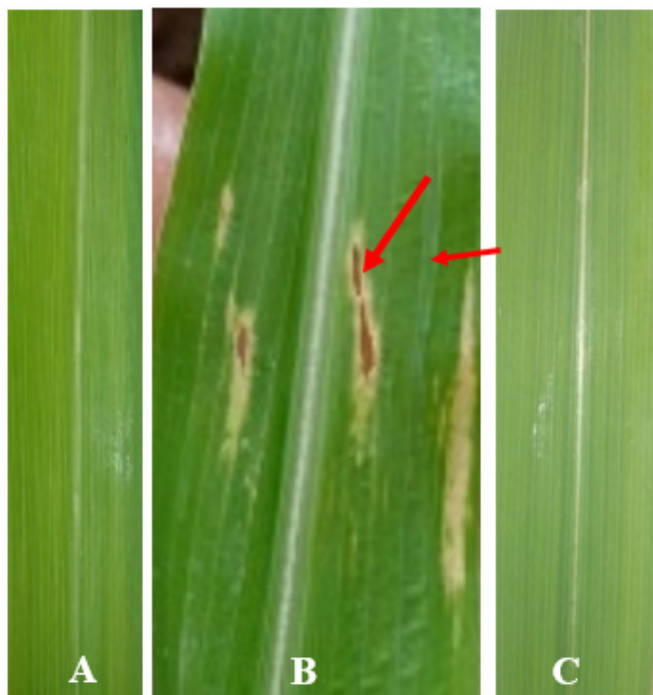


Figura 1. Sintomatología en plantas de maíz inoculadas con *Burkholderia andropogonis*. A: Rayado en hojas bajas, B: manchas rojizas en el centro de la hoja, C: rayado longitudinal en las hojas.

Patogenicidad de fitobacterias. En la prueba de patogenicidad con la bacteria *Burkholderia andropogonis* se observaron síntomas iniciales en forma de rayado sobre las hojas bajas durante los primeros cinco días después de inoculado, a los nueve días se observó cambio de color hasta llegar a manchas rojizas que fueron más notable al llegar a los 13 días, en otras plantas inoculadas hubo pérdida de turgencia en las hojas y disminución en el crecimiento (Figura 1). En el caso de la prueba con la bacteria *Pseudomonas syringae*, se observó a los ocho días posteriores a la inoculación los primeros síntomas de clorosis en las hojas y en la zona de inoculación, a los 10 días se observaron las primeras manchas blancas en las hojas y a los 13 días se observó pérdida de turgencia acompañada de manchas grises a tonos blancos de forma elíptica en las hojas y un halo amarillento (Figura 2).

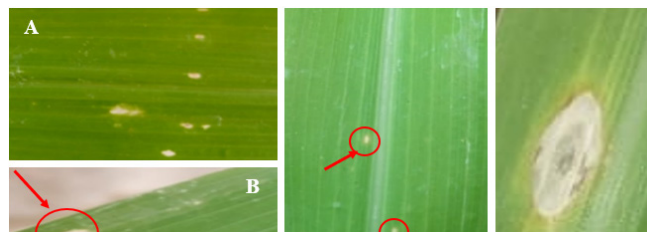


Figura 2. Sintomatología en hojas de maíz inoculadas con *Pseudomonas syringae*. A. manchas de color blanco, B. manchas blancas observadas en partes laterales de la hoja, C. manchas marrones iniciales en hojas basales, D. síntoma avanzado con halo

Los principales hospederos de *Burkholderia andropogonis* son las gramíneas y entre ellas el maíz, dañando las hojas y el crecimiento de las plantas jóvenes (etapa vegetativa). Se presenta como mancha con forma rectangular color marrón claro, frecuentemente rodeada de halo clorótico. Estas lesiones se extienden internervalmente hasta alcanzar unos 5 mm de ancho y entre 10 mm y 15 mm de largo, las que, en ocasiones, pueden coalescer (unirse). El tejido necrótico se torna claro y translúcido, con líneas evidentes a trasluz (Plazas *et al.*, 2019; De Rossi *et al.*, 2016).

Pérez *et al.* (2012) describen los síntomas producidos por *Burkholderia andropogonis* en las hojas como coloraciones rojas castañas, que pueden llegar a tener tonalidades amarillas en los bordes y que en su estado vegetativo las plantas pueden llegar a detener el crecimiento, estos síntomas coinciden con los observados en la prueba de patogenicidad en esta investigación.

Sil Palacios (2015), menciona que las manchas ocasionadas por *Pseudomonas syringae* son de color blanco o marrón, con un halo amarillento alrededor de ellas de forma circular o elíptica; en la prueba de patogenicidad en este estudio, se observa ésta misma característica.

Giménez *et al.* (2017) mencionan a *Pseudomonas syringae* como patógeno de la planta de maíz, ocasionando síntomas en la parte foliar, también puede permanecer de

CIENCIA DE LAS PLANTAS

manera inactiva en todo el ciclo del cultivo actuando como saprofito y endófito, lo que dificulta su detección, además de ser oportunista y en condiciones óptimas para su desarrollo, se vuelve una bacteria epífita y al ser transmitido por semillas, es común detectarlo en las primeras etapas fenológica.

Efecto de fitobacterias sobre la germinación. El porcentaje de germinación de las semillas inoculadas con *Burkholderia andropogonis*, *Pseudomonas syringae* y el testigo absoluto no difieren estadísticamente ($p=0.1654$), lo que indica que las semillas inoculadas con las bacterias no afectan la germinación, sin embargo, se presentan porcentajes mayores al 40 % de daños en raíces y hojas, que podrían afectar el crecimiento de las plantas (Cuadro 2).

Los síntomas observados en plántulas inoculadas con *Pseudomonas syringae* manifestaron manchas en hojas de color blanco o marrón, con un halo amarillento alrededor de ellas de forma circular o elíptica, también se observó necrosis en raíces, mientras que las plántulas inoculadas con *Burkholderia andropogonis* manifestaron manchas y necrosis en la primera hoja verdadera (fase fenológica V₁), con tonalidades rojizas-castañas; además se observó tejido necrosado en raíces. Las plántulas no inoculadas (testigo absoluto) no manifestaron síntomas de enfermedad (Figura 3).

Cuadro 2. Porcentaje de germinación y síntomas observados según inoculación con fitobacterias

| Bacterias inoculadas | PSG | SOEP (%) |
|----------------------------------|-----|----------|
| Testigo | 91 | 0 |
| <i>Burkholderia andropogonis</i> | 87 | 52 |
| <i>Pseudomonas syringae</i> | 88 | 43 |

PSG: Porcentaje de semilla germinada, SOEP: Síntomas de daño observados en plántulas.

Stefanova *et al.* (2009) y Ocampo (2013) mencionan que *Pseudomonas syringae* y *Burkholderia andropogonis* se pueden transmitir por escorrentías, salpicaduras y la más común por semilla; los síntomas se pueden observar en cualquier momento de la etapa vegetativa pero no afecta su poder germinativo, por lo tanto, los síntomas observados en las plántulas fueron ocasionadas por las fitobacterias, los que se presentan posterior a la emergencia, ocasionando daños únicamente en el crecimiento de las plantas.

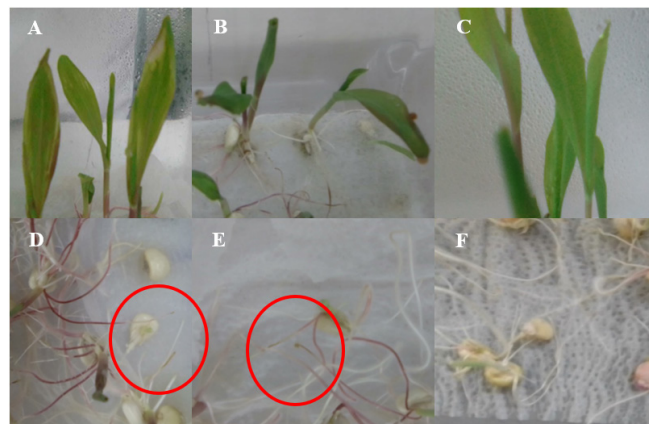


Figura 3. Síntomas observados en plántulas de maíz. A: semillas inoculadas con *Pseudomonas syringae*, B: semillas inoculadas con *Burkholderia andropogonis*, C: semillas sin inoculación, D: necrosis de color marrón en raíces producida por *Pseudomonas syringae*, E: necrosis de color marrón en raíces producida por *Burkholderia andropogonis*, F: raíces sin síntomas.

Navarrete- Maya (2013) menciona que las bacterias pueden llegar a la semilla antes de la cosecha y pueden sobrevivir durante meses. Al sembrarse y en presencia de las condiciones favorables como humedad y temperatura, esta infectará la planta mas no afectará el poder germinativo.

Barret *et al.* (2016) indican que existe un amplio número de microorganismos que afectan a las semillas, y señala que, para calcular el nivel de afectación de estos complejos bacterianos, se requiere de la observación de síntomas en plántulas emergidas. También explica que, el manejo de estos patógenos en la semilla es complejo porque se hospedan en el embrión, y aunque se trate la semilla con algún producto preventivo, los efectos causados por las bacterias aparecerán en etapas vegetativas iniciales o en las etapas reproductivas.

CONCLUSIONES

Se identificaron las fitobacterias *Pseudomonas syringae* y *Burkholderia andropogonis* y se determinó que no inciden en la germinación de las semillas, sin embargo, en la fase vegetativa se observan síntomas asociados a las afectaciones producidas por ambas fitobacterias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araque, Y., Vitelli-Flores, J., Ramírez, A., Alonso, G. y Rodríguez Lemoine, V. (2008). Identificación bioquímica y PCR especie-específica de cepas de *Burkholderia cepacia* de origen hospitalario y ambiental en Venezuela. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, 28(2), 82-88. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-25562008000200003&lng=es&tlng=es
- Aviles Peralta, Y. A., Rodríguez Ortega, E. y Betancourth Lagos, G. (2021). Estudio econométrico sobre el rendimiento productivo de granos básicos en Nicaragua (arroz, maíz y frijol), 2007-2017. *Revista de Investigación SIGMA*, 8(2), 31-41. <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/Sigma/article/view/2558>

CIENCIA DE LAS PLANTAS

- Barret, M., Guimbaud, J. F., Darrasse, A., & Jacques, M. A. (2016). Plant microbiota affects seed transmission of phytopathogenic microorganisms. *Molecular plant pathology*, 17(6), 791. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6638484/pdf/MPP-17-791.pdf>
- Beracochea, M. (2011). *Respuesta de variedades comerciales de maíz (Zea mays L.) a la inoculación con bacterias endófitas-diazótrofas nativas* [Tesis de licenciatura, Universidad de la República de Uruguay]. Repositorio Institucional. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/1666/1/uy24-15387.pdf>
- Chellemi, D. O., Dankers, H. A., Olson, S. M., Hodge, N. C., & Scott, J. W. (1994). Evaluating Bacterial Wilt-resistant Tomato Genotypes Using a Regional Approach. *Journal of the American Society for Horticultural Science* jashs, 119(2), 325-329. <https://doi.org/10.21273/JASHS.119.2.325>
- De Rossi, R., Guerra, F., Plaza, M. C., Vuletic, E., Brücher, E., Guerra, G. y Magnone, G. (2016). *Enfermedades del maíz en las últimas cinco campañas*. https://www.researchgate.net/profile/Roberto-De-Rossi-2/publication/310794438_ENFERMEDADES_DEL_MAIZ_EN_LAS_ULTIMAS_CINCO_CAMPANAS/links/5836f96b08ae3d91723bb044/ENFERMEDADES-DEL-MAIZ-EN-LAS-ULTIMAS-CINCO-CAMPANAS.pdf
- Fernández García, E. M. (2015). Variabilidade genética e fenotípica de *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*, agente causal do cancro da actinídea, na região do Entre Douro e Minho. *Agrotec: revista tecnico-científica agricola*. <http://www.agrotec.pt/noticias/variabilidade-genetica-e-fenotipica-do-agente-causal-do-cancro-da-actinidea-na-regiao-do-entre-douro-e-minho>
- Fornos Reyes, D. V., Herrera Peralta, N. J., Sanchez Gómez, I. E. y Rodriguez Zamora, M. J. (2022). Identificación fenotípica y molecular de *Burkholderia* spp en panículas de arroz (*Oryza sativa* L.). *La Calera*, 22(39), 134-139. <https://doi.org/10.5377/calera.v22i39.15205>
- García A, J. y Rodicio, M. R. (2007). Caída de botón floral en kiwi causada por *Pseudomonas viridiflava* y *Pseudomonas syringae* en el principado de Asturias. *Boletín de sanidad vegetal y plagas*, (33), 517-525. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_plagas/bsvp_33_04_517_525.pdf
- Giménez Pecci, M. P., Maurino, M. F., Druetta, M., Torrico, A. K., Oleszczu, D., Guerra, F. A., Guerra, G. D, De Rossi, R. L., Plaza, M. C., Brücher, E., Barontini, J., Ferrer, M. y Laguna, I. G. (2017). Enfermedades del maíz de siembra tardía causadas por virus, mollicutes y bacterias. En L. Borrás y S. Uhart (Eds), *El mismo maíz un nuevo desafío* (pp. 128-146). Dow Agrosociences. <http://www.maizar.org.ar/documentos/maiztardio/primerocompendio/compendio1.pdf>
- Instituto de Protección y Sanidad Agropecuaria. (2024). *Lista de plagas reglamentadas, Nicaragua 2024*. https://pflanzengesundheits-julius-kuehn.de/dokumente/upload/ni_2024-v5_qso_es.pdf
- International Seed Testing Association. (2016). *Reglas internacionales para el análisis de las semillas*. https://vri.umayor.cl/images/ISTA_Rules_2016_Spanish.pdf
- McFarland J, M. D. (1907). The nephelometer: an instrument for estimating the number of bacteria in suspensions used for calculating the opsonic index and for vaccines. *The Journal of the American Medical Association*, 49(14), 1176-1178. <https://jamanetwork.com/journals/jama/article-abstract/444820>
- Ministerio de Economía, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Ministerio de Fomento, Industria y Comercio, Secretaría de Industria y Comercio, Ministerio de Economía Industria y Comercio. (2010). *Reglamento técnico centroamericano RTCA 65.05.53:10: Insumos agropecuarios. Requisitos para la producción y comercialización de semilla certificada de granos básicos y soya*. <https://acortar.link/ydDYxJ>
- Münch, R. (2003). Review: on the shoulders of giants Robert Koch. *Microbes and Infection*, 5(1), 69–74. [https://doi.org/10.1016/S1286-4579\(02\)00053-9](https://doi.org/10.1016/S1286-4579(02)00053-9)
- Navarrete- Maya, R., Aranda -Ocampo, S., Rodríguez -Mejía, M. de L., Moya -Hernández, S. L. y González -Ochoa, M. G. (2014). Bacterias fitopatógenas en semillas: su detección y regulación. *Revista mexicana de fitopatología*, 32(2), 75-88. <https://www.redalyc.org/pdf/612/61243856001.pdf>
- Navarrete-Maya, R. (2013). Generalidades de la transmisión de bacterias fitopatógenas por semillas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 31(Suplemento 1). <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20153180140>
- Ocampo, S. A. (2013). Enfermedades bacterianas asociadas a semillas de cereales. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 31(1), 71-72. <https://rmf.smf.org.mx/suplemento/docs/suplemento.pdf>
- Pérez, T. R., Carmona, D. J. C., Cebada, R. J. A. y Munive, H. J. A. (2012). Patogenicidad bacteriana en maíz (*Zea mays*). *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 1(1), 1-15. <https://www.ciba.org.mx/index.php/CIBA/article/view/13/11>
- Plazas, M. C., Vilaró, M. L., Guerra, F. A., De Rossi, R. L., Vuletic, E., Conci, L. R. y Guerra, G. D. (2019). Bacteriosis foliares del cultivo de maíz en Argentina. *Investigación Ciencia y Universidad*, 3(4), 90. http://repositorio.umaza.edu.ar/bitstream/handle/00261/1596/ICU%20V3N4%202019_resumen%20p90.pdf?sequence=1&isAllowed=y

CIENCIA DE LAS PLANTAS

- Quesada-González, A. y García-Santamaría, F. (2014). Burkholderia glumae en el cultivo de arroz en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 25(2), 371-381. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/15452/14942>
- Rueda-Puente, E. O., Villegas-Espinoza, J. A., Gerlach-Barrera, L. E., Tarazón-Herrera, M. A., Murillo-Amador, B., García-Hernández, J. L., Troyo-Diéguez, E. y Preciado-Rangel, P. (2009). Efecto de la inoculación de bacterias promotoras de crecimiento vegetal sobre la germinación de Salicornia bigelovii. *Terra Latinoamericana*, 27(4), 345-354. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v27n4/v27n4a9.pdf>
- Sánchez, M. C., Clemente, G. E., Yommi, A. K., Alippi, A. M. y AdelC, R. (2017). *Detección y caracterización de Pseudomonas patógenas de kiwi en la provincia de Buenos Aires*. <https://host170.sedici.unlp.edu.ar/server/api/core/bitstreams/2594236c-4ddb-4c39-b1cc-ea3899fc88b6/content>
- Schaad, N. W., Jones, J. B., & Chun, W. (2001). *Laboratory guide for the identification of plant pathogenic bacteria*. In *Laboratory guide for the identification of plant pathogenic bacteria*. American Phytopathological Society (APS Press).
- Sil Palacios, G. (2015). *Caracterización de Pseudomonas sp. asociadas a diferentes variedades de maíz* [Tesis de licenciatura, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. Repositorio Institucional. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/server/api/core/bitstreams/594409fe-9cd3-4065-af53-8a1c633e0280/content>
- Sosa-Moss, C., Perdomo R, F., Braithwaite, C. W. y Salazar C, J. J. (1997). *Manual de técnicas para el diagnóstico de las enfermedades de las plantas. Diagnóstico fitosanitario II*. IICA. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/10352/BVE20067884e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Stefanova, M., Sala, P. I. A., Damasceno, J. P. y Marques, A. S. (2009). Optimización de la recuperación de Pseudomonas syringae pv. tabaci por la modificación de dos medios de cultivo. *Tropical Plant Pathology*, 34(3), 178-181. <https://www.scielo.br/j/tpp/a/GpPw8QCgbRLRF9BB7BYCqJG/?format=pdf&lang=es>
- Suriani, Patandjengi, B., Junaid, M., & Muis, A. (2021). The presence of bacterial stalk rot disease on corn in Indonesia: A review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 911, 1-11, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/911/1/012058/pdf>
- Suryani, L., Aini, L. Q., Sugiharto, A. N., & Abadi, A. L. (2012). Characterization of bacterial pathogen causing wilt and leaf blight on corn (Zea mays) by physiological, biochemical, and molecular methods. *Agrivita, Journal of Agricultural Science*, 34(3), 286-295. <https://agrivita.ub.ac.id/index.php/agrivita/article/view/169/572>
- Torres-González, C., Casas, M. y Díaz Ortiz, J. E. (2013). Manejo de Ralstonia solanacearum raza 2 a través de productos químicos y biológicos. *Itecknet*, 10(2), 217-223. <http://www.scielo.org.co/pdf/itec/v10n2/v10n2a09.pdf>

CIENCIA DE LAS PLANTAS

Biomasa aérea y edades de corte de moringa en bancos de proteína en dos localidades de Monagas, Venezuela

Aerial biomass and cutting ages of moringa in protein banks, in two localities of Monagas, Venezuela

Javier Gómez-Martínez¹, Guillermo Romero-Marcano², Liseth Cárdenas-Ramírez³, Ramón Silva-Acuña⁴

¹ Ing. Producción Animal, Departamento de Ingeniería en Producción Animal, áreas Nutrición Animal y Forrajes, Campus Los Guaritos, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2141-5343> / javier.j.gomex.m@gmail.com

² MSc. Producción Vegetal, Departamento de Ingeniería en Producción Animal, áreas Nutrición Animal y Forrajes, Campus Los Guaritos, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7324-4354> / guillermo.ro80@gmail.com

³ MSc. Administración agrícola, Departamento de Ingeniería en Producción Animal, áreas Nutrición Animal y Forrajes, Campus Los Guaritos, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9925-2413> / Apiudo@gmail.com

⁴ PhD. Fitopatología, Postgrado en Agricultura Tropical, Campus Juanico., ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1235-9283> / drramonsilvaa@gmail.com

Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Venezuela

Autor para correspondencia: guillermo.ro80@gmail.com



RESUMEN

Moringa oleifera es una planta tropical cuyo follaje es reconocido como valioso suplemento animal, su cultivo y aprovechamiento crece en las regiones ganaderas de Venezuela, entre ellas, las extensas sabanas del estado Monagas. Con el objetivo de evaluar la producción de biomasa de *Moringa*, cosechada a cinco edades de corte, en bancos proteicos de las localidades Juanico Sur y San Agustín de La Pica, municipio Maturín, Monagas, Venezuela, se condujeron experimentos bajo el diseño de bloques al azar, en ambas localidades, con cinco edades de corte correspondientes a 30, 45, 60, 75 y 90 días y tres repeticiones por tratamiento. Las variables cuantificadas fueron rendimiento en biomasa fresca y seca -total, hoja y tallo- (kg planta⁻¹), y a partir de estas, se estimó la capacidad de sustentación del cultivo (número de animales ha⁻¹) en cada localidad. Se aplicó comparación por prueba Mann Whitney (Localidades) y por procedimiento ANDEVA (Edades de corte). La producción de biomasa fue estadísticamente diferente entre localidades, siendo Juanico Sur superior, mientras que, entre las edades

ABSTRACT

Moringa oleifera is a tropical plant whose foliage is recognized as a valuable animal supplement, its cultivation and use grows in the livestock regions of Venezuela, including the extensive savannahs of the Monagas state. With the objective of evaluating the production of moringa biomass, harvested at five cutting ages, in protein banks of the Juanico Sur and San Agustín de La Pica localities, Maturín municipality, Monagas, Venezuela, experiments were conducted under the block design random, in both locations, with five cut-off ages corresponding to 30, 45, 60, 75 and 90 days and three repetitions per treatment. The variables quantified were yield in fresh and dry biomass -total, leaf and stem- (kg plant⁻¹), and from these, the sustaining capacity of the crop (Number of animals ha⁻¹) in each location was estimated. Comparison was applied by Mann Whitney test (Localities) and by ANDEVA procedure (Cut-off ages). Biomass production was statistically different between locations, with Juanico Sur being superior, while no significant

Recibido: 3 de junio del 2024
Aceptado: 2 de octubre del 2024



Los artículos de la revista La Calera de la Universidad Nacional Agraria, Nicaragua, se comparten bajo términos de la licencia Creative Commons: Reconocimiento, No Comercial, Compartir Igual. Las autorizaciones adicionales a las aquí delimitadas se pueden obtener en el correo donaud.juarez@ci.una.edu.ni

© Copyright 2024. Universidad Nacional Agraria (UNA).

CIENCIA DE LAS PLANTAS

de corte por localidad no se encontraron diferencias significativas. La biomasa foliar por hectárea en Juanico Sur tendría capacidad de sustentar 20 % de la ración durante 45 días de forma individual a 14 vacas de alta producción; 38 ovinos semiestabulados; 23 cerdos de engorde; 282 conejos o 1 000 gallinas ponedoras; mientras que en San Agustín de La Pica tendría capacidad para soportar aproximadamente solo el 15 % de esa carga animal. Las condiciones edafoclimáticas de San Agustín de La Pica resultaron restrictivas para la producción de biomasa del cultivo de moringa.

Palabras clave: *Moringa oleifera*, producción de follaje, rendimiento fresco y seco, variabilidad del rebrote, sustentación animal.

differences were found between cutting ages per location. The leaf biomass per hectare in Juanico Sur would have the capacity to sustain 20% of the ration for 45 days individually to 14 high-producing cows; 38 semi-stabled sheep; 23 fattening pigs; 282 rabbits or 1000 laying hens; while in San Agustín de La Pica it would have the capacity to support approximately only 15% of that animal load. The edaphoclimatic conditions of San Agustín de La Pica were restrictive for the production of biomass from the moringa crop.

Keywords: *Moringa oleifera*, foliage production, fresh and dry yield, regrowth variability, animal support.

M*oringa oleifera* es la especie más conocida del género *Moringa*, pertenece a la familia Moringaceae (González Minero, 2018). Es un árbol originario del sur del Himalaya, el nordeste de la India, Bangladesh, Afganistán y Pakistán, y se encuentra diseminado en gran parte del planeta (Magaña, 2012).

La moringa llegó a Venezuela hace más de un siglo. Es conocida como “Árbol de Ben”, “El árbol milagroso” y “Marango”. En el estado Zulia se le señala como “Flor de Guayrén” o “Guaireña”. En Venezuela, en diciembre del 2011 inició el Proyecto Moringa (Berroterán, 2015); al 2012 se habían sembrado 285 hectáreas en los estados de Zulia, Guárico, Aragua y Anzoátegui; posteriormente en 2014, el programa se expandió a otros estados como Barinas, Portuguesa, Trujillo, Apure, Carabobo, Cojedes, Lara, Miranda, Yaracuy y Monagas. Para este año (2014), existían 225 hectáreas de moringa sembradas para producción de semillas, con rendimientos de 150 kg ha⁻¹, y su forraje, destinado para los animales de pequeños productores, así como para el consumo humano (Ministerio del Poder Popular para la Agricultura Productiva y Tierras [MPPAPT], 2014).

Las podas en moringa son necesarias para estimular la producción de hojas frescas y es conveniente la eliminación parcial o total de la copa (Olson y Fahey, 2011). Reyes (2004) y Ledea-Rodríguez *et al.* (2020) recomiendan que el primer corte se realice entre cinco y seis meses después de la siembra; además, indican que, para la época lluviosa, el intervalo de cortes sea de 45 días y en la época seca de 60 días, con altura de corte entre 20 cm y 40 cm desde el suelo. En plantas adultas -tres años o más-, la altura de corte debe ser entre 1.2 m y 1.5 m.

Desde que la especie forrajera posea más de 15 % de proteína cruda, el bloque de siembra constituye un banco de proteína. Los bancos de proteínas con especies forestales, arbóreas y arbustivas han tenido gran aceptación, para enriquecer la dieta de los animales, y reducir el uso de alimentos balanceados comerciales, que son costosos y deficitarios. Estos bancos se emplean fundamentalmente

en la época seca, cosechando el follaje y llevándolo a los animales en un sistema de acarreo o al consumo directo a través de pastoreo racional (Bueno Guzmán *et al.*, 2015).

Los niveles de proteínas y vitaminas ubican a *Moringa oleifera* como un suplemento de importancia en la dieta de la ganadería de leche y de ceba (carne o engorde), así como en la dieta de aves, peces, cerdos, etc., (Garavito, 2008). El alto valor de proteína sobrepasante permite recomendar las hojas de moringa como fuente de proteína suplementaria para los rumiantes, con la que más aminoácidos llegan directamente al intestino delgado para ser usados con fines productivos (Alvarado-Ramírez *et al.*, 2018).

El objetivo de esta investigación fue evaluar la producción de biomasa del follaje de moringa, cosechado a cinco edades de corte, en bancos proteicos de las localidades Juanico Sur y San Agustín de La Pica, municipio Maturín, estado Monagas, Venezuela.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio. El experimento se realizó en bancos proteicos establecidos con moringa en dos localidades del municipio Maturín, estado Monagas, Venezuela. El primero ubicado en el sector Juanico Sur, parroquia San Simón, en las coordenadas 9°43'51.54" de latitud Norte y 63°09'40.92" de longitud Oeste, con temperaturas entre 26 °C y 27 °C, precipitaciones entre 955 mm y 1 743 mm y altitud de 68 m (Instituto Nacional de Estadística [INE], 2013), en las instalaciones del Parque ferial “Chucho Palacios” de la ciudad de Maturín. El segundo banco de proteínas se ubicó en el sector San Agustín de La Pica, parroquia La Pica, “Fundo San Gregorio”, geográficamente localizado a 9°45'57,96" de latitud Norte y a 63°03'42,2" de longitud Oeste, con temperatura promedio de 26 °C, precipitación entre 1 500 mm y 1 800 mm y altitud de 36 m (Calvani y Farías, 2014).

El suelo de la localidad Juanico Sur, se caracteriza por presentar 88.50 % de arena, 5.25 % de limo y 6.20 % de arcilla, calificado como suelo arenoso; en cuanto a la química del suelo, presenta pH de 3.98 y materia orgánica igual a 3.57 % (Rivas Salazar, 2019).

CIENCIA DE LAS PLANTAS

El suelo en el sector de San Agustín de La Pica, es de textura franco arcillosa, por presentar 72.8 % de arena, 13.6 % de limo y 13.6 % de arcilla; químicamente presenta 4.5 de pH y 1.72 % de materia orgánica. Ambas localidades pertenecen al ecosistema tropical lluvioso de sabana, con suelos del tipo Ultisol (INE, 2013; Calvani y Farías, 2014).

Bancos de proteína. El banco de proteína de Juanico Sur fue establecido en diciembre de 2013, y está compuesto por 192 plantas distribuidas en tres parcelas de siembra con poblaciones iguales -64 plantas parcela⁻¹-. La parcela se dividió en cinco secciones, manteniéndose una línea de bordura externa y líneas de bordura interna contiguas. El banco de proteína de San Agustín de La Pica, se estableció en junio de 2016, posee 240 plantas organizadas en tres franjas de igual población (80 plantas franja⁻¹), con separación de 3 m entre ellas; cada franja fue subdivida en cinco parcelas con separación de 1.5 m, formando 15 parcelas de 16 plantas cada una. Ambos bancos de proteína fueron establecidos con densidad de siembra igual a 1 planta m², por trasplante de plántulas de 42 días de edad, producidas en el vivero del Parque ferial “Chucho Palacios”, ciudad de Maturín. El manejo agronómico realizado en ambos bancos de proteínas, incluyó únicamente manejo de arvenses a intervalos de 15 días, contados a partir del primer mes posterior al trasplante, hasta realizar la última cosecha. No se realizaron prácticas de fertilización, ni manejo fitosanitario.

Cosecha del cultivo. Inicialmente se hizo un corte de uniformización a todas las plantas de ambos bancos de proteína a la altura de 1.5 m en la localidad Juanico Sur y de 0.5 m en la localidad San Agustín de La Pica. La cosecha del follaje se realizó a los 30, 45, 60, 75 y 90 días posteriores al corte de uniformización. La cosecha consistió en la poda de las plantas en cada sección (Juanico Sur) o parcela (San Agustín de La Pica), a las alturas antes indicadas.

El material cosechado fue pesado en una balanza digital H y F® con capacidad máxima de 20 kg, y posteriormente estratificado en fracción hoja y tallo, para el pesaje individual. El material por estrato fue almacenado en bolsas de papel debidamente identificadas y agujeradas para su posterior traslado al laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas.

Diseño experimental. En ambas localidades, se utilizó el diseño en bloques al azar, con cinco tratamientos y tres repeticiones, con un total de 15 unidades experimentales. Los tratamientos estuvieron diferenciados por las edades de corte de la moringa al momento de la cosecha -30, 45, 60, 75 y 90 días-; mientras que las repeticiones correspondieron a tres parcelas (Juanico sur) o franjas (San Agustín de La Pica) de siembra, donde en cada parcela o franja fueron distribuidos

al azar los tratamientos. La unidad experimental estuvo representada por secciones o parcelas de 16 plantas, de las cuales solo se utilizaron las cuatro plantas centrales.

Variables evaluadas

Rendimiento de biomasa fresca (kg planta⁻¹). El peso fresco del material cosechado -total, hoja y tallo- fue utilizado para determinar el rendimiento en biomasa fresca del cultivo (kg planta⁻¹), mediante la fórmula adaptada de González Aguiar *et al.* (2018)

$$\text{Biomasa fresca} = \frac{\text{Peso total de la muestra fresca (kg)}}{4 \text{ plantas centrales cosechadas}}$$

Rendimiento biomasa seca (kg planta⁻¹). Luego del pesaje en fresco, el material debidamente embolsado e identificado, se colocó en una estufa de aire forzado modelo CONTERM a temperatura de 65 °C por 48 horas. El material deshidratado fue pesado y posteriormente se determinó el rendimiento en biomasa seca -kg planta⁻¹- mediante la siguiente fórmula también adaptada de González Aguiar *et al.* (2018)

$$\text{Biomasa seca} = \frac{\text{Peso total de la muestra seca a 65 °C (kg)}}{4 \text{ plantas centrales cosechadas}}$$

Los rendimientos de biomasa fresca y seca (kg planta⁻¹) fueron posteriormente convertidos a rendimientos por superficie (t ha⁻¹), al multiplicar cada valor calculado por la constante 10 planta ha⁻¹ t kg⁻¹ (proveniente de la relación de densidad de 10 000 plantas ha⁻¹ dividido entre 1 000 kg t⁻¹).

Sustentación animal por hectárea. Basado en los rendimientos promedios de biomasa seca -hojas- obtenidos en ambas localidades, en relación con los requerimientos de consumo descritos por Church *et al.* (2002), para algunas especies de interés zootécnico (Bovinos, ovinos, porcinos, conejos y aves), se estimó la sustentación animal por hectárea, al suplementar 20 % de la ración durante 45 días (intervalo promedio entre cosechas).

Análisis estadístico. Se comprobó el supuesto de normalidad de los datos por localidad, para las variables biomasa fresca y biomasa seca a través de la prueba de Shapiro-Wilk. Entre edades de corte por localidad y entre localidades, se aplicó la prueba de Bartlett para determinar homogeneidad de varianzas. Se aplicó la prueba no paramétrica de Mann Whitney para comparar la producción de biomasa entre localidades. Los tratamientos (edad de corte) por localidad fueron comparados por vía paramétrica mediante procedimiento ANDEVA -análisis de varianza- y en cada localidad se calculó la estadística descriptiva de

CIENCIA DE LAS PLANTAS

las cinco edades de corte, basada en promedios. Todos los procedimientos estadísticos se realizaron en el programa InfoStat versión 2020 de Di Rienzo *et al.* (2020), con significancia al 5 % de probabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento en biomasa fresca y seca (kg planta⁻¹). En la comparación directa entre localidades, la estadística no paramétrica detectó marcada superioridad en producción de biomasa para las plantas de moringa ubicadas en la localidad Juanico Sur, respecto a las plantas de la localidad San Agustín de La Pica (Cuadro 1).

Cuadro 1. Comparación entre localidades del rendimiento en biomasa fresca y seca de *Moringa oleifera*

| Variables (Biomasa) | Juanico Sur | | | San Agustín de La Pica | | |
|------------------------|-------------|-------------------------|--------------------|------------------------|-------------------------|--------------------|
| | n | Mediana | | n | Mediana | |
| | | kg planta ⁻¹ | t ha ⁻¹ | | kg planta ⁻¹ | t ha ⁻¹ |
| Fresca total | 15 | 0.604 ^A | 6.04 | 15 | 0.048 ^B | 0.48 |
| Fresca en hojas | 15 | 0.220 ^A | 2.20 | 15 | 0.020 ^B | 0.20 |
| Fresca en tallos | 15 | 0.410 ^A | 4.10 | 15 | 0.032 ^B | 0.32 |
| Seca total | 15 | 0.175 ^A | 1.75 | 15 | 0.011 ^B | 0.11 |
| Seca en hojas | 15 | 0.050 ^A | 0.50 | 15 | 0.005 ^B | 0.05 |
| Seca en tallos | 15 | 0.131 ^A | 1.31 | 15 | 0.007 ^B | 0.07 |

Letras distintas en la línea, difieren entre sí por la prueba no paramétrica de Mann Whitney al 5 % de probabilidad.

Moringa, al igual que otras plantas forrajeras presenta, como respuesta al corte, un proceso de brotación basado en la removilización de reservas para la formación de nuevos órganos (Bernal, 1976), dicho proceso puede verse directamente influenciado por condiciones ambientales adversas, asociadas con cambios de fertilidad del suelo, humedad, temperatura y luminosidad (Santiago y Bezerra, 2017) e incluso puede cambiar de manera significativa entre variedades del cultivo, con materiales genéticamente predisuestos a formar rebrotes más vigorosos (Ojiako *et al.*, 2011).

Es posible que la alta variabilidad obtenida en el experimento en cuanto a rendimiento en biomasa verde (fresca) y seca del rebrote, este asociado a variaciones intrínsecas del material experimental manejado, siendo que el proceso de brotación en sí es de naturaleza aleatoria y puede variar con facilidad de un individuo a otro (Ledea-Rodríguez *et al.*, 2017).

La planta de moringa presenta habitualmente crecimiento aéreo acelerado asociado con alta variabilidad que dificulta la comparación entre tratamientos (Romero-Marcano *et al.*, 2021). Esta planta, luego de la poda, puede producir rebrotes que experimenten cambios morfológicos evidentes, en cuanto a número de hojas y prolongación de tallo, pero sin variación significativa en la biomasa aérea total (Ruiz-Hernández *et al.*, 2021).

Debido a la diferencia de edad -3.6 años- en el establecimiento de los bancos de proteína en San Agustín de La Pica y Juanico Sur, se presenta la alta variabilidad de respuesta en rendimientos y épocas de corte; además, de estas condiciones se suman las características edafoclimáticas, específicamente de la localidad de San Agustín de La Pica; donde el suelo es de textura franco arcillosa, por esta condición, retiene mayor humedad y permanece encharcado en la época lluviosa, con mayor volumen de precipitaciones pluviométricas, típico de regiones deltaicas, con bajos tenores de materia orgánica -1.72 %-, limitan de manera significativa la expresión de biomasa de moringa, distinto a lo ocurrido en Juanico Sur, donde el suelo es arenoso, y con tenores de materia orgánica de 3.57 %, favoreciendo la formación de la biomasa foliar, como se constató con estos resultados.

Reyes (2006) plantea que la moringa se desarrolla favorablemente en suelos neutros o ligeramente ácidos, de textura franco-arcillosa a franco arenosa; no tolera suelos arcillosos o de mal drenaje, debido a su alta susceptibilidad al anegamiento. De acuerdo con Padilla *et al.* (2017), moringa es un cultivo forrajero que se adapta a diferentes condiciones de clima y suelo; sin embargo, los factores edafoclimáticos pueden incidir bruscamente en su rendimiento y vida útil. No prospera en suelos inundables y tanto la sequía como el exceso de lluvias en suelos fértiles y bien drenados provocan la caída de sus hojas.

Al comparar las edades de corte, el análisis estadístico en ambas localidades no detectó diferencia significativa entre periodos. Los promedios de rendimiento en biomasa fresca y seca (kg planta⁻¹) total, en hojas y en tallos, según edad de corte y localidad, se presentan en el Cuadro 2.

Todas las variables de rendimiento en fresco o en seco, analizadas en la localidad Juanico Sur, mostraron tendencias numéricas a incrementar sus valores con la edad, lo que puede ser considerado normal, ya que toda planta forrajera debe acumular biomasa aérea como producto aprovechable (González Aguiar *et al.*, 2018); sin embargo, las plantas en la localidad San Agustín de La Pica, no mostraron esta tendencia en su totalidad, lo que puede asociarse posiblemente a condiciones ambientales desfavorables para el cultivo en esta zona, vinculadas principalmente con exceso de humedad del suelo, que pudiera modificar el ritmo

CIENCIA DE LAS PLANTAS

de crecimiento aéreo del cultivo (Flores y Jaime, 2004), adelantando incluso procesos fisiológicos como la floración, que limitan el rendimiento (Liu *et al.*, 2019).

Sustentación animal por hectárea. Los valores aproximados de sustentación animal por especie y localidad se muestran en el Cuadro 3, y se observa contundente superioridad (>85 %) para las parcelas de *Moringa oleifera* cultivadas en la

Cuadro 2. Biomasa fresca y seca de *Moringa oleifera* según edad de corte y localidad

| Localidad | Edad de corte (días) | Biomasa (kg planta ⁻¹) | | | | | |
|--------------------------------|----------------------|------------------------------------|-------|-------|-------|--------------|-------|
| | | Fresca | | | Seca | | |
| | | Total | Hoja | Tallo | Total | Hoja | Tallo |
| Juanico Sur | 30 | 0.410 | 0.087 | 0.323 | 0.064 | 0.022 | 0.042 |
| | 45 | 0.521 | 0.170 | 0.351 | 0.164 | 0.052 | 0.112 |
| | 60 | 0.703 | 0.239 | 0.463 | 0.202 | 0.057 | 0.145 |
| | 75 | 0.809 | 0.285 | 0.524 | 0.240 | 0.062 | 0.178 |
| | 90 | 1.663 | 0.633 | 1.029 | 0.328 | 0.079 | 0.248 |
| Promedio | | 0.821 | 0.283 | 0.538 | 0.199 | 0.055 | 0.145 |
| Promedio (t ha ⁻¹) | | 8.21 | 2.83 | 5.38 | 1.99 | 0.55* | 1.45 |
| San Agustín de La Pica | 30 | 0.027 | 0.012 | 0.014 | 0.007 | 0.004 | 0.004 |
| | 45 | 0.039 | 0.014 | 0.024 | 0.009 | 0.003 | 0.006 |
| | 60 | 0.057 | 0.024 | 0.033 | 0.013 | 0.006 | 0.007 |
| | 75 | 0.106 | 0.043 | 0.062 | 0.017 | 0.005 | 0.012 |
| | 90 | 0.068 | 0.025 | 0.043 | 0.019 | 0.008 | 0.012 |
| Promedio | | 0.059 | 0.024 | 0.035 | 0.013 | 0.005 | 0.008 |
| Promedio (t ha ⁻¹) | | 0.59 | 0.24 | 0.35 | 0.13 | 0.05* | 0.08 |

Se debe resaltar la tendencia general de mayor biomasa de los tallos en comparación con las hojas, obtenida en ambas localidades, dicho comportamiento estándar es representativo de las plantas arbustivas forrajeras, de las que se espera una relación hoja:tallo donde el follaje presenta mayor proporción (masa/masa) de tallos que de hojas (Meza-Carranco *et al.*, 2016).

Cuadro 3. Sustentación animal -individuos hectárea⁻¹- con hojas secas de moringa cosechadas cada 45 días según localidad y especie

| Especie | Animales sustentados por hectárea* | | Diferencial Juanico Sur - San Agustín de La Pica (%) |
|------------------------------------|------------------------------------|------------------------|--|
| | Juanico Sur | San Agustín de La Pica | |
| Bovinos de leche (Alta producción) | 14 | 2 | + 85.71 |
| Ovinos (Semi estabulación) | 38 | 4 | + 89.47 |
| Cerdos (Fase engorde) | 23 | 2 | + 91.30 |
| Conejos | 282 | 31 | + 89.01 |
| Gallinas ponedoras | 1 000 | 110 | + 89.00 |

*Número aproximado, bajo suplementación parcial con hojas secas de moringa (20 % de la ración) cosechadas cada 45 días; Diferencial = 100 – (Animales San Agustín de La Pica*100/Animales Juanico Sur).

localidad Juanico Sur, respecto a las plantas establecidas en la localidad San Agustín de La Pica. Cada hectárea de *Moringa oleifera* en Juanico Sur tendría capacidad de sustentar de forma individual, 14 vacas de alta producción, 38 ovinos semiestabulados, 23 cerdos de engorde, 282 conejos y/o 1 000 gallinas ponedoras.

Reyes (2004) y Valarezo *et al.* (2013) recomiendan ampliamente el uso alimenticio de *Moringa oleifera* en distintos sistemas de producción animal, sin especificar la capacidad real de sustentación del cultivo, siendo esta, tal como señala Floréz (2017), información fundamental para la adecuada planificación alimenticia del rebaño; mientras que, el enfoque es mayoritariamente hacia los beneficios nutricionales que ofrece esta particular planta forrajera.

CONCLUSIONES

Los rendimientos en biomasa fresca y seca, tanto en hojas como en tallos de *Moringa*, en el banco de proteína en la localidad de Juanico Sur resultaron superiores a los constatados para San Agustín de La Pica, sin diferencia entre edades de corte.

Las plantas de *Moringa* en el banco proteico de la localidad Juanico Sur, tuvieron mayor capacidad de sustentación animal, en relación con el banco proteico ubicado en San Agustín de La Pica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado-Ramírez, E., Joaquín-Cansino, S., Estrada-Drouillet, B., Martínez-González, J. y Hernández-Meléndez, J. (2018). *Moringa oleifera* Lam.: una alternativa forrajera en la producción pecuaria en México. *Agroproductividad*, 11(2), 106-110. <https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/download/134/112/206>
- Bernal, J. (1976). *Algunos aspectos de fisiología de plantas forrajeras*. Corporación colombiana de investigación agropecuaria. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/23563/22710_3665.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Berroterán, J. (2015). La revolución del conocimiento: La moringa en Venezuela (III). *Labranza*, 3(5), 44-45.

CIENCIA DE LAS PLANTAS

- Bueno Guzmán, G., Pardo Barbosa, O., Pérez López, O., Cerinza Murcia, O. y Pabón Leal, D. (2015). *Bancos forrajeros en sistemas agrosilvopastoriles para la alimentación animal en el piedemonte del meta*. CORPOICA. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/12661/77740_66528.pdf?sequence=1&isallowed=y
- Calvani, F. y Fariás, A. (2014). *Hacia una caracterización del actual quehacer agropecuario venezolano: aproximación nacional a partir de los resultados del vii censo agrícola 2007-2008*. Fundación Empresas Polar. https://fscluster.org/sites/default/files/documents/hacia_una_caracterizacion_del_actual_que_hacer_agropecuario.pdf
- Church, D., Pond, W. y Pond, K. (2002). *Fundamentos de nutrición y alimentación de animales* (2ª ed.). LIMUSA.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M. y Robledo, C. (2020). *INFOSTAT*. (versión 2020) [software]. <http://www.infostat.com.ar>
- Flores, B. y Jaime, F. (2004). *Producción de biomasa de Moringa oleifera sometida a diferentes densidades de siembra y frecuencia de corte, en el trópico seco de Managua, Nicaragua* [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/1320/1/tnf01f634p.pdf>
- Flórez, D. F. (2017). Estimación de la capacidad de carga del sistema de producción lechero de la vereda Fontibón del municipio de Pamplona. *Mundo Fesc*, 13, 15-21. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6091006.pdf>
- Garavito, U. (2008). *Moringa oleifera, alimento ecológico para ganado vacuno, porcino, equino, aves y peces, para alimentación humana, también para producción de etanol y biodiesel*. Engormix. <http://www.engormix.com/ma-avicultura/nutricion/articulos/moringa-oleifera-t1891/141-p0.htm>
- González Aguiar, D., Álvarez Hernández, U. y Lima Orozco, R. (2018). Acumulación de biomasa fresca y materia seca por planta en el cultivo intercalado caupí - sorgo. *Revista Centro Agrícola*, 45(2), 77-82. http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V45-Numero_2/cag11218.pdf
- González Minero, F. (2018). Un estudio transversal de Moringa oleifera Lam. (Moringaceae) Revisión. *Dominguezia*, 34(1), 5-25. <https://www.dominguezia.org/volumen/articulos/34101.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística. (2013). *Estado Monagas*. <http://www.ine.gob.ve/documentos/see/sintesisestadistica2010/estados/monagas/documentos/situacionfisica.htm>
- Ledea-Rodríguez, J., Reyes-Pérez, J., La O-León, O., Benítez-Jiménez, D., Arias-Pérez, R. y Méndez-Martínez, Y. (2020). Respuesta agroproductiva de Moringa oleifera Lam. en diferentes edades y alturas de corte. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(11), 1-9. <https://www.revista.cbua.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/download/2964/1407>
- Ledea-Rodríguez, J., Rosell-Alonso, G., Benítez-Jiménez, D., Arias-Pérez, R., Ray-Ramírez, J. y Nuviola-Pérez, Y. (2017). Efecto del ecotipo y la frecuencia de corte en el rendimiento forrajero de Moringa oleifera Lam, en el valle del cauto. *Revista de Producción animal*, 29(3), 12-17. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-79202017000300003
- Liu, B., Liang, J., Tang, G., Wang, X., Liu, F., & Zhao, D. (2019). Drought stress effects on growth, water use efficiency, gas exchange and chlorophyll fluorescence of juglans rootstocks. *Scientia horticulturae*, 250, 230–235. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.056>
- Magaña, W. (2012). Aprovechamiento postcosecha de la moringa (Moringa oleifera). *Revista iberoamericana de tecnología postcosecha*, 13(2), 171-174. <https://yguamoringa.com/wp-content/uploads/2020/04/81325441010.pdf>
- Meza-Carranco, Z., Olivares-Sáenz, E., Gutiérrez-Ornelas, E., Bernal-Barragán, H., Aranda-Ruiz, J., Vázquez-Alvarado, R. y Carranza-De la Rosa, R. (2016). Crecimiento y producción de biomasa de moringa (Moringa oleifera Lam.) bajo las condiciones climáticas del noreste de México. *Tecnociencia Chihuahua*, 10(3), 143-153. <https://revistascientificas.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/177>
- Ministerio del Poder Popular para la Agricultura Productiva y Tierras. (2014). *Plan Nacional de cultivo de Moringa reúne a más de 100 técnicos de campo*. <http://prensamat.blogspot.com/2014/08/plan-nacional-de-cultivo-de-moringa.html>
- Ojiako, F., Adikuru, N., & Emenyonu, C. (2011). Critical issues in investment, production and marketing of Moringa oleifera as an industrial agricultural raw material in Nigeria. *Journal of Agricultural Research and Development*, 10, 39-56. https://www.researchgate.net/publication/266391914_Critical_issues_in_Investment_Production_and_Marketing_of_Moringa_oleifera_as_an_Industrial_Agricultural_raw_material_in_Nigeria
- Olson, M. y Fahey, J. (2011). Moringa oleifera: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. *Revista mexicana de biodiversidad*, 82, 1071-1082. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-34532011000400001&script=sci_abstract
- Padilla, C., Valenciaga, N., Crespo, G., González, D. y Rodríguez, I. (2017). Requerimientos agronómicos de Moringa oleifera (Lam.) en sistemas ganaderos. *LivestockResearch for Rural Development*, 29(218). <http://www.lrrd.org/lrrd29/11/idal29218.html>
- Reyes, N. (2004). *Marango: cultivo y utilización en la alimentación animal. Serie Técnica No. 5*. Universidad Nacional Agraria.
- Reyes, N. (2006). *Moringa oleifera and Cratylia argentea: potential fodder species for ruminants in Nicaragua* [Tesis doctoral, Swedish University of Agricultural Sciences]. SLU publication database (SLUpub). https://pub.epsilon.slu.se/1027/1/NRS_General_Discussion_Final_Version_Nov_05.pdf
- Rivas Salazar, D. (2019). *Evaluación de indicadores físicos y químicos de calidad del suelo para cultivos acuícolas* [Tesis de Maestría inédita]. Universidad de Oriente.

CIENCIA DE LAS PLANTAS

- Romero-Marcano, G., Silva-Acuña, R. y Maza, I. (2021). Calidad morfológica en plántulas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) producidas en sustratos compuestos de suelo y estiércol animal. *Revista Ciencia UNEMI*, 14(35), 54-72. <https://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/1090/1230>
- Ruiz-Hernández, R., Pérez-Vásquez, A., Landeros-Sánchez, C., Valdes-Rodríguez, O. y Figueroa-Rodríguez, K. (2021). Efecto de la poda en la producción de biomasa y proteína en *Moringa oleifera* Lam., en la zona centro de Veracruz. *Biotecnia*, 13(2), 161-170. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-14562021000200161&script=sci_arttext
- Santiago, M. y Bezerra, N. (2017). Ecophysiology of *Moringa oleifera* Lam. in function of different rainfall conditions. *Revista Geama*, 3(4), 236-241. <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/download/1518/1464>
- Valarezo, J. y Ochoa, D. (2013). Rendimiento y valoración nutritiva de especies forrajeras arbustivas establecidas en bancos de proteína, en el sur de la amazonia ecuatoriana. *CEDAMAZ*, 3, 113-124. <https://archive.org/details/manualzilla-id-6211926/mode/1up>

CIENCIA DE LAS PLANTAS

Disponibilidad de biomasa y contenido de proteína cruda de cuatro especies de pasto asociadas con *Leucaena leucocephala* cultivar Cunningham en sistema de pasturas en callejones

Biomass availability and crude protein content of four grass species associated with *Leucaena leucocephala* cultivar Cunningham in alley pasture system

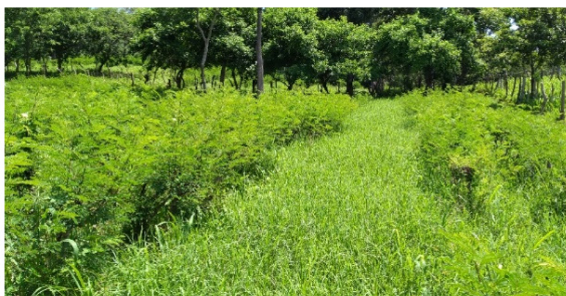
Álvaro José González Martínez¹, Erick Alexander Gutiérrez Rosales²

¹ MSc. en Agroforestería tropical, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4194-2363> / ajgonzalez75@gmail.com

Universidad Internacional Antonio de Valdivieso, Rivas (UNIAV), Nicaragua.

² Técnico Superior en Ciencias Agropecuarias, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3305-0608> / punkerog@gmail.com

Autor para correspondencia: ajgonzalez75@gmail.com



RESUMEN

La disponibilidad de biomasa con alto contenido de proteína es esencial en la nutrición animal, la que puede ser obtenida combinando especies de pasto con leguminosas forrajeras. El objetivo de esta investigación fue evaluar la disponibilidad de biomasa y contenido de proteína cruda en cuatro especies de pastos y en *Leucaena leucocephala*, ambos componentes asociados en un sistema silvopastoril de pasturas en callejones. El estudio se desarrolló en la finca Santa María, La Chocolata, en el departamento de Rivas, Nicaragua, en un área de 3.2 ha dividida en ocho potreros, bajo un diseño experimental de parcelas apareadas, las plantas de *Leucaena leucocephala* se establecieron a una distancia de 3 m entre callejón, 1 m entre hilera doble y 0.5 m entre planta. Se evaluarán siete ciclos de pastoreo con una frecuencia promedio de 47 días de descanso en la época lluviosa y 55 días en la seca. La disponibilidad de biomasa y composición botánica se evaluó con la técnica de doble muestreo Botanal un día antes del pastoreo. La altura de corte para la estimación de biomasa fue de 80 cm en *Leucaena leucocephala*, 20 cm en pastos macolladores (Mombaza y Gamba) y 5 cm en los pastos rastreros (Estrella y Tansvala). Se realizó un análisis de varianza y separación de medias con diferencias mínimas significativas de Fisher al 5 % de margen de error. No se encontró diferencias estadísticas en las variables evaluadas en *Leucaena leucocephala* en las diferentes pasturas. La sobrevivencia de *Leucaena leucocephala* se valora de buena a muy buena, en ambas épocas, aportó un 47 %

ABSTRACT

The availability of biomass with high protein content is essential in animal nutrition, which can be obtained by combining grass species with forage legumes. Biomass availability and crude protein content were evaluated as main variables in four grass species and in *Leucaena leucocephala*, both associated components in a silvopastoral system of alley pastures. The study was developed on the Santa María farm, La Chocolata, in the department of Rivas, Nicaragua, in an area of 3.2 ha divided into eight pastures, under an experimental design of paired plots, the *Leucaena leucocephala* plants were established at a distance 3 m between alleys, 1 m between double rows and 0.5 m between plants. Seven grazing cycles were evaluated with an average frequency of 47 days of rest in the rainy season and 55 days in the dry season. Biomass availability and botanical composition were evaluated with the Botanal double sampling technique one day before grazing. The cutting height for biomass estimation was 80 cm in *Leucaena leucocephala*, 20 cm in tillering grasses (Mombaza y Gamba) and 5 cm in creeping grasses (Estrella y Tansvala). An analysis of variance and separation of means with Fisher's minimum significant differences (5%) was performed. No statistical differences were found in the variables evaluated in *Leucaena leucocephala* in the different pastures. The survival of *Leucaena leucocephala* is rated as good to very good; in both seasons, it contributed 47% of edible

Recibido: 10 de enero del 2023

Aceptado: 4 de noviembre del 2024



Los artículos de la revista La Calera de la Universidad Nacional Agraria, Nicaragua, se comparten bajo términos de la licencia Creative Commons: Reconocimiento, No Comercial, Compartir Igual. Las autorizaciones adicionales a las aquí delimitadas se pueden obtener en el correo donald.juarez@ci.una.edu.ni

Copyright 2024. Universidad Nacional Agraria (UNA).

CIENCIA DE LAS PLANTAS

de biomasa comestible en la oferta forrajera en todas las pasturas. *Panicum maximum* cv Mombaza fue el pasto con mejor promedio de biomasa total de 739.2 kg MS ha⁻¹ en la época seca y 2 890.2 kg MS ha⁻¹ en la lluviosa, superando en más de 65 % y 240 % a *Andropogon gayanus* (Gamba) y a los pastos rastreros respectivamente. El contenido de proteína cruda en hojas y tallos tiernos de *Leucaena leucocephala* se incrementó en más del 8 % y 4 % en la época lluviosa y en los pastos entre 13.2 % y 44.6 %, *Digitaria decumbens* cultivar Transvala presentó el mejor valor con 11.7 %.

Palabras clave: Biomasa seca comestible, crecimiento, silvopastoril, leguminosa arbórea.

biomass to the forage supply in all pastures. *Panicum maximum* cv Mombaza was the grass with the best average total biomass of 739.2 kg MS ha⁻¹ in the dry season and 2 890.2 kg MS ha⁻¹ in the rainy season, surpassing *Andropogon gayanus* (common) by more than 65 and 240%. and creeping grasses respectively Improve wording. The crude protein content in leaves and tender stems of *Leucaena leucocephala* increased by more than 8% and 4% in the rainy season and in pastures between 13.2 and 44.6%, *Digitaria decumbens* cultivar Transvala presented the best value with 11.7%.

Keywords: Edible dry biomass, growth, silvopastoral, tree legume.

En América la ganadería surgió del aprovechamiento de los ecosistemas de sabanas naturales presentes en varias regiones del Caribe, la Orinoquia y la Pampa Argentina, y luego fue avanzando poco a poco acompañado de los desmontes de los bosques en los ecosistemas secos y húmedos, así como las laderas de las montañas y los altiplanos (Murgueitio, 2003).

Bellido *et al.* (2001) y Quero *et al.* (2007) plantean que los sistemas extensivos de pastoreo implementados para la producción animal han afectado marcadamente los ecosistemas tropicales y áridos con problemas como la deforestación, degradación del suelo, escasez del agua, alteraciones en el clima, uso limitado de los avances tecnológicos, baja productividad por animal y por hectárea de superficie para los pastizales. Nicaragua no escapa de esta realidad dado que se han transformado desde un enfoque extensivo grandes áreas de bosques en áreas de pastos o de cultivos agrícolas, generando un conflicto en el uso del suelo. La forma que surgieron y se manejaron los pastos desde un enfoque extensivo, desafortunadamente trajo como consecuencia en diversos niveles la degradación de estos sistemas lo que concuerda con Szott *et al.* (2000) quienes plantean que se estima que en esta situación se encuentra alrededor de la mitad de las pasturas en Centro América. Stocking & Murnaghan (2001), plantean que por degradación de las pasturas debe entenderse como la reducción temporal o permanente de la capacidad productiva de la pastura.

Nicaragua, al ser un país altamente agropecuario y de importancia en la producción ganadera, sus derivados son considerados productos destinados para la dieta alimenticia de la población y también como fuente de ingresos (Mejía, 2004). Según Palma (2006), la ganadería tiene como base alimentaria

los pastos, estos tienen un potencial extraordinario para la

producción de biomasa, pero en forma estacional. Dejando en evidencia, la necesidad de transformar el modelo ganadero tradicional con base únicamente en pastos y con poca consideración sobre sus efectos ambientales. A ello hace referencia el termino Reconversión Ganadera que se refiere a la transformación del modelo ganadero tradicional en una ganadería eficiente en términos de producción de carne y leche, que genere riqueza y prosperidad para la comunidad y que además conserve los recursos naturales (Zapata *et al.*, 2010).

Estudios realizados en Costa Rica, Cuba, México y otros países han demostrado que hay potencial en la producción de biomasa forrajera bajo un enfoque silvopastoril asociando los pastos, ya sean naturales o mejorados con *Leucaena leucocephala* sembradas en hileras dobles o sencillas, sin embargo, en Nicaragua se han realizado pocos estudios acerca de este tema. El objetivo de esta investigación fue aportar información del efecto del asocio de cuatro pastos con *Leucaena leucocephala* sobre el crecimiento, la disponibilidad de biomasa y el contenido de proteína cruda de la oferta forrajera de ambos componentes, bajo un sistema silvopastoril de pasturas en callejones.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la finca Santa María propiedad de la Universidad Internacional Antonio de Valdivieso, ubicada en la comunidad La Chocolate a 5 km al Suroeste del departamento de Rivas. Se encuentre entre las coordenadas geográficas 11°22'58.2" de latitud Norte y 85°50'33.0" de longitud Oeste (Google Maps, 2023).

En el Cuadro 1 se indican las condiciones climáticas del departamento de Rivas según el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER, 2023).

Cuadro 1. Condiciones climáticas promedio y precipitación anual del departamento de Rivas

| Temperatura °C | | | Humedad Relativa % | Precipitación mm año ⁻¹ | Evaporación mm mes ⁻¹ | N. Bajas Nh | vientos (m s ⁻¹) | | | Altitud msnm |
|----------------|------|-------|--------------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------|------------------------------|-----|-------|--------------|
| Máx | Min | media | | | | | Máx | Min | media | |
| 32.0 | 24.8 | 27.9 | 77.6 | 731.3 | 6.3 | 2.7 | 3.4 | 4.9 | 2.4 | 70.0 |

N. Bajas: Nubes bajas, Nh: Cantidad de nubes bajas, msnm: metros sobre el nivel del mar, Máx: máximo, Min: mínimo, mm: milímetros, m s⁻¹: metros por segundo.

CIENCIA DE LAS PLANTAS

El área total del experimento fue de 3.2 ha divididas en ocho potreros de 0.4 ha, el tipo de suelo se clasifica como arcillo-limoso (40.1 % arcilla, 46.1 % de limo y 13.8 % de arena), con una inclinación de 6.3 % clasificada según la FAO (2009) como una gradiente inclinada, pH de 6.4, materia orgánica del 3.9 %, 38.6 kg ha⁻¹ de nitrógeno y 43.3 kg ha⁻¹ de fósforo. En promedio cada potrero tenía 20 árboles dispersos con un porcentaje de sombra directa de 23.6 %. Se establecieron cuatro potreros con las especies de pastos macolladoras *Andropogon gayanus* (Gamba) y *Panicum maximum* cv. Mombaza y los otros cuatro potreros con las especies de pastos rastreras: *Digitaria decumbens* cv. Transvala y *Cynodon plectostachyus* (Estrella), todos asociadas con *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham. El área de cobertura neta promedio de los componentes *Leucaena leucocephala* y pastos en cada potrero es del 86.4 % y el área de ronda representa el 13.6 %. La relación de la cobertura entre las especies de pastos y *Leucaena leucocephala* corresponde al 79.9 y 20.1 % respectivamente.

El levantamiento de información se realizó a partir de diciembre de 2014 hasta noviembre 2015, evaluándose siete ciclos de pastoreo, dos de ellos en la época seca y cinco en la lluviosa. El periodo de descanso y ocupación brindado a las pasturas en la época lluviosa fue de 42 a 55 días y de 3.0 a 5.2 días respectivamente y en la época seca de 54 a 57 días y de 1.3 a 3.0 días (Cuadro 2).

Cuadro 2. Periodo promedio de descanso y ocupación de las pasturas durante los siete ciclos evaluados según época

| Ciclo/ Pastoreo | Época | Pasturas | | | | | | | |
|--------------------|----------|-----------|-----|----------|-----|---------|-----|-------|-----|
| | | Transvala | | Estrella | | Mombaza | | Gamba | |
| | | DDD | DDO | DDD | DDO | DDD | DDO | DDD | DDO |
| 1 | Lluviosa | 44.0 | 4.5 | 55.0 | 3.0 | 47.0 | 6.5 | 48.0 | 5.0 |
| 2 | Seca | 65.0 | 2.5 | 58.0 | 1.5 | 66.0 | 4.0 | 60.0 | 2.0 |
| 3 | | 42.0 | 1.5 | 50.0 | 1.0 | 48.0 | 2.0 | 49.0 | 1.0 |
| 4 | | 47.0 | 1.5 | - | - | 47.0 | 2.0 | - | - |
| 5 | Lluviosa | 35.0 | 5.5 | - | - | 35.0 | 7.0 | - | - |
| 6 | | 46.0 | 2.5 | - | - | 46.0 | 3.5 | - | - |
| 7 | | 39.0 | 4.5 | - | - | 39.0 | 7.0 | - | - |
| Promedio/ época | Seca | 54.0 | 2.0 | 54.0 | 3.0 | 57.0 | 3.0 | 54.0 | 1.5 |
| | Lluviosa | 42.0 | 3.7 | 55.0 | 1.3 | 43.0 | 5.2 | 48.0 | 5.0 |

DDD: Días de descanso, DDO: Días de ocupación.

La investigación es del tipo experimental de corte transversal prospectivo, se estableció bajo un diseño de parcelas apareadas, el levantamiento de datos de las variables se realizó en el área total de cada pastura de acuerdo con la metodología propuesta en la medición de las mismas.

Los tratamientos evaluados surgieron de la combinación de dos factores, pasto con cuatro niveles PE (Pasto Estrella), PM (Pasto Mombaza), PG (Pasto Gamba) y PT (Pasto Transvala) y leñosa arbustiva con un nivel (*Leucaena leucocephala*). Se realizó un análisis de varianza para medidas repetidas en el tiempo.

En Excel se crearon un total de ocho bases de datos, información exportados y analizados estadísticamente con el programa InfoStat mediante análisis de varianza y prueba de medias por diferencias mínimas significativas de Fisher con un 95 % de confiabilidad. Las variables analizadas fueron: disponibilidad de biomasa, porcentaje de sobrevivencia, altura total, número de rebrotes, diámetro de copas, y contenido de proteína cruda para el caso de *Leucaena leucocephala* y, para los pastos, el porcentaje de cobertura vegetal, composición botánica, altura total, disponibilidad de biomasa y contenido de proteína cruda.

Para la estimación de la variable de biomasa en ambos componentes se aplicó la fórmula de regresión lineal propuesta por Haydock y Shaw (1975).

$$y = x + b(mv - mr)$$

Dónde:

y = Producción estimada de materia seca por unidad de muestreo (1 m² o 0.25 m²)

x = Producción promedio en base seca de muestras reales de 1 a 5

mv = Promedio de las muestras visuales (usando la escala de 1 a 5)

mr = Promedio de los niveles de las escalas reales (usando la escala de 1 a 5)

b = Coeficiente de regresión entre observaciones visuales y valores obtenidos para la cantidad de materia seca (MS) en las muestras reales tomadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Porcentaje de sobrevivencia de *Leucaena leucocephala*.

Las plantas de *Leucaena leucocephala* en las diferentes pasturas presentaron una sobrevivencia

aceptable y no difirieron estadísticamente entre sí. Es importante indicar que *Leucaena leucocephala* después de 2 o 3 años de establecida, presentaron una sobrevivencia de muy buena en el asocio con el pasto Transvala y de buena en los demás socios, según Centeno (1993), a pesar de la edad de las plantas y el proceso continuo de defoliación a través del pastoreo directo, esta valoración coincide con lo estimado por López (2001) quien encontró 98 % de sobrevivencia en una plantación forestal de *Leucaena leucocephala* con 12 meses de establecido en León-Nicaragua, lo que indica que esta especie dada su buena capacidad de rebrote y respuesta a la defoliación tiene un gran potencial como recurso forrajero en sistema de pastoreo.

CIENCIA DE LAS PLANTAS

La sobrevivencia de las plantas asociadas con Estrella y Mombaza en las dos épocas, fue menor en la época seca en la pastura del tipo rastrero (Estrella), en cambio en la pastura de tipo macollador (Mombaza) fue más afectada en la época lluviosa, es importante mencionar que este pasto tiene un excelente crecimiento tanto en altura y diámetro de macolla superior al de las plantas de *Leucaena leucocephala* lo que generó un mayor estado de competencia (Cuadro 3).

En relación con el diámetro de copa y cantidad de rebrotes a pesar de que se mantiene la misma tendencia de la altura total, la respuesta no es muy clara en todos los ciclos, en particular en la época seca, donde en promedio, el diámetro de copa de las plantas de *Leucaena leucocephala* en las cuatro pasturas decrece hasta un 70.6 % con respecto a la época lluviosa, igualmente sucede en tres de las cuatro pasturas con la cantidad de rebrote, la que disminuye en un 15.2 %.

Cuadro 3. Porcentaje de sobrevivencia promedio de las plantas de *Leucaena leucocephala* según pastura y época

| Ciclo | Época | Porcentaje de sobrevivencia de <i>Leucaena leucocephala</i> según asocio | | | |
|----------|----------|--|----------|---------|-------|
| | | Transvala | Estrella | Mombaza | Gamba |
| 1 | Lluviosa | 83.5 | 74.9 | 76.7 | 77.8 |
| 2 | Seca | 81.7 | 72.0 | 75.5 | 76.7 |
| 3 | | 81.5 | 69.0 | 75.4 | 76.1 |
| 4 | | 81.0 | - | 74.7 | - |
| 5 | Lluviosa | 80.4 | - | 74.1 | - |
| 6 | | 80.0 | - | 73.7 | - |
| 7 | | 79.4 | - | 69.1 | - |
| Promedio | | Seca | 81.6 | 75.5 | 76.4 |
| | Lluviosa | 80.9 | 73.5 | 77.8 | 74.9 |

Altura total, diámetro de copa y cantidad de rebrotes de *Leucaena leucocephala*. La altura total, diámetro de copa y cantidad de rebrotes de las plantas de *Leucaena leucocephala* con los cuatro tipos de pastos (Cuadro 4), no difirieron estadísticamente. La altura de planta de *Leucaena leucocephala* en los pastos macolladores, particularmente asociada con Gamba, superaron en 3 % (época seca) y 15 % (época lluviosa) a las plantas de *Leucaena leucocephala* asociadas Mombaza, sin embargo, la altura total de 1.76 m de las plantas de *Leucaena leucocephala* con 48 días de descanso (DDD) en Gamba en la época lluviosa fue menor a los 2.02 metros estimada por Bacab *et al.* (2012) que evaluó el asocio del pasto Tanzania con *Leucaena leucocephala* en la misma época, bajo un sistema de pastoreo, altura de poda de 60 cm y con 45 DDD.

pasto Mombaza tanto en la época lluviosa como en la época seca respectivamente, esta misma tendencia presentó el pasto Estrella quien superó en más del 12 % y 21% al pasto Transvala en las mismas épocas (Cuadro 5). Esta diferencia porcentual en ambos pastos indica que tienen una mejor adaptación a la época seca.

Altura total de los pastos asociados con *Leucaena leucocephala*. La altura total de los pastos asociados con *Leucaena leucocephala*, difieren estadísticamente. Los pastos Gamba y Estrellas en dos de los tres ciclos comparados en ambas épocas superaron a los pastos Mombaza y Transvala respectivamente. En el caso del pasto Gamba su altura total fue superior en más del 33 % y 34% al del

Cuadro 5. Altura de los pastos en asocio con *Leucaena leucocephala*

| Tratamientos | Variables | Datos promedios por ciclo según época | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------------------|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|------|----------|
| | | Lluviosa | | | | Seca | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Seca | Lluviosa |
| <i>L. leucocephala</i> + Estrella | Altura total (cm) | 29.0 a | 11.2 a | 8.9 a | - | - | - | - | 10.1 | 29.0 |
| <i>L. leucocephala</i> + Transvala | | 25.8 a | 12.8 a | 7.3 a | 8.1 a | 26.3 a | 18.4 a | 39.5 a | 10.1 | 23.6 |
| <i>L. leucocephala</i> + Gamba | | 161.6 c | 40.3 b | 41.0 b | - | - | - | - | 40.7 | 161.6 |
| <i>L. leucocephala</i> + Mombaza | | 120.9 b | 46.5 b | 30.5 b | 28.4 b | 86.8 b | 67.3 b | 115.6 b | 38.5 | 83.8 |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Cuadro 4. Altura total, diámetro de copa y cantidad de rebrotes de *Leucaena leucocephala* en asocio con cuatro especies de pasto

| Tratamientos | Variables | Datos promedios por ciclo según época | | | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|----------|
| | | Lluviosa | | | | Seca | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Seca | Lluviosa |
| <i>L. leucocephala</i> + Transvala | Altura total (cm) | 142.6 | 113.7 | 97.7 | 99.6 | 122.8 | 99.4 | 140.8 | 105.7 | 121.0 |
| <i>L. leucocephala</i> + Estrella | | 147.4 | 114.9 | 97.5 | - | - | - | - | 106.2 | 147.4 |
| <i>L. leucocephala</i> + Mombaza | | 149.2 | 114.9 | 95.4 | 97.9 | 137.2 | 99.9 | 134.3 | 105.1 | 123.7 |
| <i>L. leucocephala</i> + Gamba | | 176.5 | 116.7 | 99.8 | - | - | - | - | 108.2 | 176.5 |
| <i>L. leucocephala</i> + Transvala | Diámetro de copa (cm) | 95.5 | 57.0 | 47.0 | 52.4 | 72.4 | 57.2 | 96.6 | 52.0 | 74.8 |
| <i>L. leucocephala</i> + Estrella | | 88.9 | 52.9 | 44.2 | - | - | - | - | 48.5 | 88.9 |
| <i>L. leucocephala</i> + Mombaza | | 91.6 | 57.7 | 40.8 | 43.4 | 67.4 | 51.0 | 71.6 | 49.2 | 65.0 |
| <i>L. leucocephala</i> + Gamba | | 109.4 | 51.7 | 46.3 | - | - | - | - | 49.0 | 109.4 |
| <i>L. leucocephala</i> + Transvala | Cantidad de rebrotes | 26.0 | 24.0 | 22.5 | 28.5 | 14.0 | 29.0 | 28.5 | 23.3 | 25.2 |
| <i>L. leucocephala</i> + Estrella | | 18.5 | 23.0 | 18.0 | - | - | - | - | 20.5 | 18.5 |
| <i>L. leucocephala</i> + Mombaza | | 22.7 | 27.0 | 19.8 | 28.8 | 9.1 | 25.9 | 43.0 | 23.4 | 25.9 |
| <i>L. leucocephala</i> + Gamba | | 28.7 | 21.1 | 24.3 | - | - | - | - | 22.7 | 28.7 |

Cobertura vegetal y composición botánica en la época seca de las cuatro especies de pastos en asocio con *Leucaena leucocephala*. Desde el natural efecto de la variación climática (época seca) sobre la dinámica de la cobertura vegetal y composición botánica de los pastos, se puede observar, que los cambios estructurales son más marcados en la pastura Estrella y Gamba, quienes son superados en cobertura vegetal por Transvala y Mombaza en más del 49 % y 96 % respectivamente. A pesar de la baja cobertura vegetal promedio tanto en la época seca (17.5 %) como lluviosa (54 %), es importante mencionar que la composición botánica de los pastos

CIENCIA DE LAS PLANTAS

a excepción del Gamba registró un porcentaje aceptable de cobertura con más del 71 % en la época seca y más del 62 % en la época lluviosa, lo que permitió mantener una fluctuación promedio de cobertura de arvenses entre 14 % y 38.5 % en la época seca y del 24 % al 41.5 % en la época lluviosa. No se encontró diferencia estadística significativa tanto en la cobertura vegetal ni en la composición botánica entre los pastos macolladores (Mombaza y Gamba) y rastreros (Estrella y Tansvala) (Cuadro 6).

Cuadro 6. Cobertura vegetal y composición botánica en la época seca de las cuatro especies de pastos en asocio con *Leucaena leucocephala*

| Variables evaluadas | Datos promedio por ciclo por pastura en la época seca | | | | | | | | Promedio | | | | | | | | |
|--|---|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|----------|------|------|------|------|---|---|---|--|
| | 2 | | | | 3 | | | | T | | E | | M | | G | | |
| | T | E | M | G | T | E | M | G | T | E | M | G | T | E | M | G | |
| Porcentaje de cobertura vegetal (0-100) | 21.3 ab | 14.7 a | 29.4 b | 16.4 a | 16.2 ab | 10.5 a | 22.0 b | 9.8 a | 18.7 | 12.6 | 25.7 | 13.1 | | | | | |
| Porcentaje de composición botánica (0-100) | Pasto | 79.7 b | 72.9 ab | 88.7 b | 44.6 a | 89.6 a | 70.5 a | 85.0 a | 57.5 a | 84.7 | 71.7 | 86.9 | 51.1 | | | | |
| | Hoja ancha | 17.1 a | 20.9 a | 7.4 a | 50.2 b | 9.8 ab | 25.8 ab | 8.1 a | 41.4 b | 13.5 | 23.4 | 7.8 | 45.8 | | | | |
| | Ciperáceas | 0.1 a | 0.1 a | 0.0 a | 0.0 a | 0.0 a | 0.0 a | 0.0 a | 0.0 a | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | | | | |
| | Otras gramíneas | 3.1 a | 6.1 a | 3.9 a | 5.2 a | 0.6 a | 3.7 a | 6.9 a | 1.1 a | 1.9 | 4.9 | 5.4 | 3.2 | | | | |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), T: Transvala, E: Estrella, M: Mombaza, G: Gamba.

Cobertura vegetal y composición botánica en la época lluviosa de las cuatro especies de pastos en asocio con *Leucaena leucocephala*. Al valorar la cobertura vegetal y la composición botánica según Barcellos (1986) citado por Álvarez y Cruz (2017), entre los pastos con el mismo tipo de crecimiento, se determinó que dado los cambios estructurales y la degradación severa de los pastos Estrella y Gamba, se dejaron de evaluar durante el periodo de la época lluviosa. En relación con el efecto de la variación climática sobre la dinámica de la cobertura vegetal de los pastos Transvala y Mombaza su incremento porcentual fue similar, ambos en promedio aumentaron su cobertura en más del 36 %, en el caso del primero, pasó de un 18.8 % en la época seca a 56.9 % en la lluviosa y en el segundo, de 25.7 % a 60.6 %. Al comparar la cobertura vegetal y composición botánica en el ciclo uno no se encontró diferencia estadística entre los pastos macolladores y los rastreros (Cuadro 7).

Cuadro 7. Cobertura vegetal y composición botánica en la época lluviosa de las cuatro especies de pastos en asocio con *Leucaena leucocephala*

| Variable evaluada | Datos promedio por ciclo por pastura en la época lluviosa | | | | | | | | | | | | | | Promedio | | | | | | | | | | |
|--|---|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|----------|------|------|---|---|---|---|---|---|---|--|
| | 1 | | | | 4 | | | | 5 | | | | 7 | | | | T | | E | | M | | G | | |
| | T | E | M | G | T | E | M | G | T | E | M | G | T | E | M | G | T | E | M | G | T | E | M | G | |
| Porcentaje de cobertura vegetal (0-100) | 50.8 a | 39.2 a | 61.4 a | 59.3 a | 12.2 a | 19.1 b | 80.4 a | 76.0 a | 55.1 a | 64.8 a | 85.9 a | 81.4 a | 56.9 | 39.2 | 60.5 | 59.3 | | | | | | | | | |
| Porcentaje de composición botánica (0-100) | Pasto | 75.7 a | 62.9 a | 87.7 a | 53.9 a | 66.0 a | 94.0 b | 49.0 a | 81.5 a | 72.7 a | 81.3 a | 69.4 a | 79.9 a | 66.6 | 62.9 | 84.9 | 53.9 | | | | | | | | |
| | Hoja ancha | 16.2 ab | 22.2 b | 5.9 a | 25.7 b | 31.5 b | 5.8 a | 13.8 a | 13.0 a | 7.0 a | 11.8 a | 14.6 a | 12.9 a | 16.6 | 22.2 | 9.9 | 25.7 | | | | | | | | |
| | Ciperáceas | 0.0 a | 0.1 a | 0.0 a | 0.1 a | 0.0 a | 0.1 a | 0.2 a | 1.3 a | 0.0 a | 1.0 a | 0.1 a | 0.4 a | 0.1 | 0.1 | 0.6 | 0.1 | | | | | | | | |
| | Otras gramíneas | 8.1 a | 14.8 a | 6.4 a | 20.3 a | 2.5 b | 0.1 a | 37.0 a | 4.2 a | 20.3 a | 5.6 a | 15.9 a | 6.8 a | 16.8 | 14.8 | 4.6 | 20.3 | | | | | | | | |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$). T: Transvala, E: Estrella, M: Mombaza, G: Gamba.

Disponibilidad de biomasa comestible, no comestible y total (kg MS ha⁻¹) de *Leucaena leucocephala* y los pastos en la época seca. Al comparar el efecto del tipo de asocio de los pastos sobre la disponibilidad total de biomasa de la *Leucaena*

leucocephala tanto en pastos rastreros como en macolladores en la época seca, no se encontró diferencia estadística (Cuadro 8). No obstante, el promedio de la biomasa en los ciclos de esta época la *Leucaena leucocephala* asociado con el pasto Gamba aumentó en más del 35 % que en Mombaza y en el caso de los pastos rastreros Transvala aumentó en más de 19 % en relación con Estrella. En relación con la biomasa total de los pastos, Mombaza superó en más del 69 % a Gamba, y Transvala en más del 74 % al pasto Estrella. En lo referido a la biomasa total (pastos más *Leucaena leucocephala*), la pastura Mombaza fue superior en más del 25 % a Gamba y en Transvala en más del 37 % a Estrella.

De acuerdo a la relación de la parte comestible (hojas más tallos tiernos) y no comestible (tallos leñosos), la *Leucaena leucocephala* en promedio en la época antes referida, aportan un 40.4 % de biomasa comestible, para el caso de los pastos este aporte es menor, en los pastos rastreros la disponibilidad de la biomasa comestible (hojas verdes más tallos tiernos) representa el 35.1 % de la biomasa total y en los macolladores el 36.6 %; el pasto Mombaza a pesar de lo crítico de la época, fue el que presentó el mayor aporte de la parte comestible con un 55.7 %, lo que contrasta con el 17.4 % del pasto Gamba, quien presentó el menor aporte de los pastos.

De forma general la variación climática, tiene un efecto directo sobre la disponibilidad de biomasa total tanto en las plantas de *Leucaena leucocephala* como en los pastos, en este sentido, la *Leucaena leucocephala* en la época lluviosa incrementó su biomasa en más del 150 %; en los pastos rastreros y macolladores el incremento fue del 339 % y 294 % respectivamente. De acuerdo con la comparación de medias entre los tratamientos, solo se encontró diferencias estadísticas en dos de los cinco ciclos en la disponibilidad de biomasa de hojas de *Leucaena leucocephala*, para el caso de los pastos solo se encontró diferencia estadística en uno de los cinco ciclos en

la parte comestible como también en la biomasa comestible y total del sistema de los pastos macolladores (Cuadro 9).

En relación con el efecto del tipo de asocio de los pastos sobre la disponibilidad total de biomasa de la *Leucaena*

CIENCIA DE LAS PLANTAS

leucocephala en la época lluviosa, según el promedio de la biomasa en los ciclos de esta época la *Leucaena leucocephala* asociado con el pasto Gamba fue superior en más del 535 % que en Mombaza, y en el caso de los pastos rastreros fue superior en Transvala en más del 28 % que en Estrella. Es importante mencionar que el promedio de 152.1 kg MS ha⁻¹ de biomasa de hojas y tallos tiernos en la época lluviosa fue menor a los 300 kg MS ha⁻¹ con intervalo de 40 días de corte, sin embargo, en la época seca el promedio de 123.9 kg MS ha⁻¹ fue superior a los 30 kg MS ha⁻¹ (313 %) con intervalo de corte de 50 días estimado por Hernández *et al.* (2020), en ambas épocas, en un estudio realizado en Veracruz, México. En lo referido al promedio total de biomasa de la *Leucaena leucocephala* (hojas, tallos tiernos y leñosos) en las cuatro pasturas que correspondió a 302.5 kg MS ha⁻¹ es menor a los 390 kg MS ha⁻¹ (29 %) reportado por Hernández *et al.* (1997) en un estudio realizado en Cuba.

Cuadro 8. Disponibilidad de biomasa comestible, no comestible y total (kg MS ha⁻¹) de *Leucaena leucocephala* y los pastos en la época seca

| Ciclo | Pastura | <i>Leucaena leucocephala</i> | | | | Pasto | | | Total de biomasa | | |
|----------|-----------|------------------------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|------------------|----------|-----------|
| | | Hojas | TT | TL | Total | PC | PNC | Total | BC | BNC | Total |
| 2 | Estrella | 162.1 a | 4.2 a | 217.8 a | 384.0 a | 69.4 a | 102.7 a | 172.1 a | 235.7 a | 320.5 a | 556.1 a |
| | Transvala | 208.2 a | 6.6 a | 176.6 a | 391.3 a | 120.8 a | 218.3 a | 339.1 a | 335.5 a | 394.9 a | 730.4 a |
| | Mombaza | 223.6 a | 4.7 a | 192.3 a | 420.6 a | 635.6 b | 320.9 a | 956.4 b | 863.9 b | 513.1 a | 1 377.0 b |
| | Gamba | 177.5 a | 7.9 a | 296.1 a | 481.5 a | 75.2 a | 273.4 a | 348.6 a | 260.6 a | 569.5 a | 830.0 a |
| 3 | Estrella | 40.3 a | 1.7 a | 85.2 a | 127.2 a | 28.5 a | 48.7 a | 77.2 a | 70.4 a | 133.9 a | 204.3 a |
| | Transvala | 48.9 a | 3.9 a | 166.7 a | 219.6 a | 12.7 a | 81.7 a | 94.5 a | 65.5 a | 248.5 a | 314.0 a |
| | Mombaza | 19.1 a | 0.4 a | 111.4 a | 130.8 a | 187.6 a | 334.6 a | 522.1 a | 206.9 a | 446.0 ab | 652.9 a |
| | Gamba | 50.4 a | 3.5 a | 210.9 a | 264.7 a | 77.3 a | 448.2 a | 525.4 a | 131.1 a | 659.0 b | 790.1 a |
| Promedio | Estrella | 101.2 | 2.9 | 151.5 | 255.6 | 49.0 | 75.7 | 124.6 | 153.0 | 227.2 | 380.2 |
| | Transvala | 128.5 | 5.2 | 171.7 | 305.4 | 66.8 | 150.0 | 216.8 | 200.5 | 321.7 | 522.2 |
| | Mombaza | 121.4 | 2.5 | 151.9 | 275.7 | 411.6 | 327.7 | 739.2 | 535.4 | 479.5 | 1 014.9 |
| | Gamba | 114.0 | 5.7 | 253.5 | 373.1 | 76.2 | 360.8 | 437.0 | 195.8 | 614.3 | 810.1 |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$). TT: Tallos tiernos, TL: tallos leñosos, PC: parte comestible, PNC: parte no comestible, BC: biomasa comestible total de *Leucaena leucocephala* (hojas y TT) y pastos (PC), BNC: biomasa no comestible total de *Leucaena leucocephala* (TL) y pasto (PNC).

Disponibilidad de biomasa comestible, no comestible y total (kg MS ha⁻¹) de *Leucaena leucocephala* y los pastos en la época lluviosa. En relación con la biomasa total de los pastos en la época lluviosa (Cuadro 9), Mombaza superó en más del 65 % a Gamba y Transvala en más del 28 % al pasto Estrella. En el caso del Mombaza el promedio de 2 890.2 kg MS ha⁻¹ fue superior a los 2 262. 5 kg MS ha⁻¹ (27 %) estimado por Montejo-Martínez *et al.* (2019), en un estudio realizado en Quintana Roo, México, evaluado con una frecuencia de corte de 30 y 50 días.

En lo referido a la biomasa total (pastos mas *Leucaena leucocephala*), la pastura Gamba que solo se evaluó en uno de los cinco ciclos, superó en más del 10 % a Mombaza (3 165.6 kg MS ha⁻¹) que a su vez fue superado por los 4 089.4 kg MS ha⁻¹ (29 %) estimado por Mayo (2015) en Quintana Roo, con frecuencia de 50 días de corte superior a los 43 días de descanso utilizados en este estudio. En el caso

de la pastura Transvala también superó en más del 4 % a Estrella evaluado en un ciclo.

De acuerdo a la relación de la parte comestible (hojas más tallos tiernos) y no comestible (tallos leñosos), *Leucaena leucocephala* en promedio en la época antes referida (Cuadro 9) aportaron 54.4 % de biomasa comestible, para el caso de los pastos este aporte fue menor, en los pastos rastreros la disponibilidad de la biomasa comestible (hojas verdes más tallos tiernos) representó 54 % de la biomasa total y en los macolladores 61.8 %, el pasto Mombaza presentó el mayor aporte de la parte comestible con 75 %.

Contenido de proteína cruda (%) de hojas y tallos tiernos de *Leucaena leucocephala* y parte comestible de los pastos. El contenido de proteína cruda (PC) tanto en hojas y los tallos tiernos de la *Leucaena leucocephala* es similar en los diferentes asociados de pasto, su variación se vio más influenciada por el cambio de época que por el tipo de asocio, en su defecto no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos, esta misma tendencia se observó en la parte comestible de los pastos (Cuadro 10). En la parte comestible de los pastos, Transvala y Mombaza incrementaron su contenido en 41 % y 44.6 % respectivamente, en Gamba 30.1 % y en Estrella 13.2 % en la época lluviosa, en el caso de las hojas de *Leucaena leucocephala* incrementó en 8.8 % y en tallos tiernos en un 4.1 %.

En relación con el promedio de 26.1 % de la parte comestible de las hojas de *Leucaena leucocephala* estas se encuentran entre el rango de 18.7 % y 30.3 % parte comestible estimados por Hernández *et al.* (1997) en Matanzas, Cuba, en la misma época, sin embargo, el promedio de 24.6 % de la parte comestible en la época seca, es ligeramente inferior a los 25.4 % en la parte comestible encontrados por estos autores.

En relación al contenido de proteína de la parte comestible de los pastos, Transvala en ambas época presentó los mejores valores, superando en la época seca en más del 9 % a Estrella que tiene el segundo mejor promedio y en un 13.7 % a Gamba que registró el menor valor, en la época lluviosa superó en más de 9 % a Mombaza y en un 36 % a Estrella, en esta misma época este último pasto su promedio de 8.6 % parte comestible es similar a los 8.9 % estimados por Figueroa *et al.* (2016) en un estudio realizado en la Huasteca Potosina, México, y ligeramente inferior a los 9.2 % estimados por Montejo-Martínez *et al.* (2019) en

CIENCIA DE LAS PLANTAS

un estudio con una frecuencia de corte de 30 y 50 días en Quintana Roo, México, sin embargo, en el caso del Mombaza el promedio estimado por estos autores (7.4 %) fue inferior a los 10.7 % registrados en esta investigación.

relación con los cambios estructurales de los pastos dentro de la composición botánica, quien presentó la cobertura más baja de pasto fue el Gamba, con un 51 % en la época seca y 54 % en la lluviosa, las demás pasturas registraron datos promedio por encima del 64 %.

Cuadro 9. Disponibilidad de biomasa comestible, no comestible y total (kg MS ha⁻¹) de *Leucaena leucocephala* y los pastos en la época lluviosa

| Ciclo | Pastura | <i>Leucaena leucocephala</i> | | | | Pasto | | | Total de biomasa | | |
|-------|-----------|------------------------------|--------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------|-----------|-----------|
| | | Hojas | TT | TL | Total | PC | PNC | Total | BC | BNC | Total |
| 1 | Estrella | 314.4 a | 12.5 a | 242.4 a | 569.4 a | 337.5 a | 318.4 a | 655.9 a | 664.4 a | 560.8 a | 1 225.2 a |
| | Transvala | 519.8 a | 11.5 a | 274.1 a | 805.3 a | 582.7 a | 407.8 a | 990.4 a | 1 113.9 a | 681.8 a | 1 795.7 a |
| | Mombaza | 356.0 a | 27.2 a | 237.8 a | 621.0 a | 2 565.7 b | 1 243.0 a | 3 808.6 b | 2 948.8 c | 1 480.8 b | 4 429.5 c |
| | Gamba | 817.7 b | 43.6 a | 887.8 a | 1 749.0 a | 846.7 a | 897.4 a | 1 744.1 a | 1 707.9 b | 1 785.1 b | 3 493.0 b |
| 4 | Transvala | 65.0 a | 5.5 a | 100.9 a | 171.3 a | 28.8 a | 13.6 a | 42.4 a | 99.2 a | 114.5 a | 213.7 a |
| | Mombaza | 62.3 a | 3.5 a | 66.2 a | 131.9 a | 327.0 b | 449.7 a | 776.7 a | 392.8 b | 515.9 a | 908.6 a |
| 5 | Transvala | 204.8 a | 10.4 a | 188.3 a | 403.4 a | 593.5 a | 94.7 a | 688.3 a | 808.7 a | 283.0 a | 1 091.7 a |
| | Mombaza | 89.3 a | 7.4 a | 95.8 a | 192.4 a | 3 417.2 b | 228.9 a | 3 646.1 b | 3 513.8 a | 324.7 a | 3 838.5 a |
| 6 | Transvala | 110.7 b | 4.7 a | 153.0 a | 268.3 a | 273.1 a | 787.1 a | 1 060.1 a | 388.4 a | 940.0 a | 1 328.4 a |
| | Mombaza | 61.2 a | 4.7 a | 115.0 a | 180.9 a | 1 791.3 a | 219.0 a | 2 010.3 a | 1 857.2 a | 334.0 a | 2 191.2 a |
| 7 | Transvala | 272.3 a | 31.7 a | 263.1 a | 566.9 a | 897.5 a | 535.1 a | 1 432.5 a | 1 201.4 a | 798.1 a | 1 999.4 a |
| | Mombaza | 139.2 a | 10.1 a | 101.8 a | 251.0 a | 2 732.8 a | 1 476.6 a | 4 209.4 a | 2 882.0 a | 1 578.4 a | 4 460.3 a |
| Prom | Estrella | 314.4 | 12.5 | 242.4 | 569.4 | 337.5 | 318.4 | 655.9 | 664.4 | 560.8 | 1 225.2 |
| | Transvala | 234.5 | 12.7 | 195.8 | 443.0 | 475.1 | 367.6 | 842.7 | 722.3 | 563.5 | 1 285.8 |
| | Mombaza | 141.6 | 10.5 | 123.3 | 275.4 | 2 166.8 | 723.4 | 2 890.2 | 2 318.9 | 846.7 | 3 165.6 |
| | Gamba | 817.7 | 43.6 | 887.8 | 1 749.0 | 846.7 | 897.4 | 1 744.1 | 1 707.9 | 1 785.1 | 3 493.0 |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Prom: promedio, TT: tallos tiernos, TL: tallos leñosos, PC: parte comestible, PNC: parte no comestible, BC: Biomasa comestible total de *Leucaena leucocephala* (hojas y TT) y pastos (PC), BNC: biomasa no comestible total de *Leucaena leucocephala* (TL) y pasto (PNC).

Cuadro 10. Contenido de proteína cruda (%) de hojas y tallos tiernos de *Leucaena leucocephala* y parte comestible de los pastos

| Ciclo | Época | Hojas de <i>Leucaena leucocephala</i> | | | | Tallos tiernos de <i>Leucaena leucocephala</i> | | | | Parte comestible - Pasto | | | |
|-------|----------|---------------------------------------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------------------------|--------|-------|--------|
| | | E | T | G | M | E | T | G | M | E | T | G | M |
| 1 | Lluviosa | 24.9 a | 26.9 a | 25.4 a | 25.7 a | 13.8 a | 15.1 b | 12.7 a | 9.8 a | 8.6 a | 11.2 a | 9.5 a | 9.2 a |
| | Seca | 25.0 a | 22.7 a | 24.7 a | 24.6 a | 16.2 b | 14.8 a | 12.8 a | 15.1 a | 7.4 a | 8.5 a | 7.8 a | 7.6 a |
| 2 | Lluviosa | 24.6 a | 26.3 c | 25.2 b | 23.8 a | 16.7 b | 15.8 a | 13.0 a | 16.1 a | 7.7 a | 8.2 a | 6.7 a | 7.2 a |
| | Seca | - | 26.1 a | - | 26.5 a | - | 16.3 a | - | 14.6 a | - | 12.2 a | - | 11.1 a |
| 3 | Lluviosa | - | 28.7 a | - | 26.2 a | - | 18.0 a | - | 17.7 a | - | 12.6 a | - | 10.9 a |
| | Seca | - | 27.9 a | - | 25.6 a | - | 18.0 a | - | 15.5 a | - | 10.4 a | - | 10.2 a |
| 4 | Lluviosa | - | 28.7 a | - | 29.1 a | - | 15.9 a | - | 16.9 a | - | 12.1 a | - | 11.9 a |
| | Seca | 24.8 | 24.5 | 24.9 | 24.2 | 16.4 | 15.3 | 12.9 | 15.6 | 7.6 | 8.3 | 7.3 | 7.4 |
| 5 | Lluviosa | 24.9 | 27.6 | 25.4 | 26.6 | 13.8 | 16.6 | 12.7 | 14.9 | 8.6 | 11.7 | 9.5 | 10.7 |
| | Seca | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$). T: Transvala, E: Estrella, M: Mombaza, G: Gamba.

CONCLUSIONES

Leucaena leucocephala cv. Cunningham es una especie con potencial para la utilización en asocio con especies forrajeras en sistemas silvopastoriles en pastoreo, dado su buen comportamiento de sobrevivencia con más del 76 % en las cuatro pasturas, después de 2.6 años de establecida y un año manejado bajo el sistema de pastoreo rotacional.

Los pastos macolladores en particular Mombaza en la época lluviosa, redujo la sobrevivencia del 5.6 % dado que su crecimiento creó condiciones de mayor competencia para las plantas de *Leucaena leucocephala*.

La cobertura vegetal en las pasturas fue variable de una época a otra, los pastos Estrella y Gamba presentaron los valores más bajos en la época seca y fueron superados por Mombaza y Transvala en un 49 % y 96 % respectivamente. En

En altura total y diámetro de copa las plantas de *Leucaena leucocephala* en asocio con los cuatro pastos presenta un buen nivel de adaptación dada su respuesta positiva en la interacción, no obstante, en algunos pastos (Gamba y Estrella) las plantas presentaron un mejor crecimiento en ambas épocas. La disponibilidad de biomasa de *Leucaena leucocephala* en asocio con los cuatro pastos no presentó diferencias estadística significativa en las dos épocas, por lo que desde la interacción es una cualidad positiva en la pastura bajo un enfoque de sistema, hace un aporte potencial a la biomasa comestible de la pastura del más del 40 % en hojas y tallos tiernos en la época seca y del más del 54% en la lluviosa, lo que permite mejorar la oferta forrajera de las pasturas e incrementa su disponibilidad total de biomasa de la época seca a la lluviosa en más del 150 %.

Mombaza fue el pasto con el mejor promedio de biomasa total en ambas épocas, superando en más del 69 % y 65 % a Gamba en la época seca y lluviosa, y a los pastos rastrosos en más del 240 % y 242 % en las mismas épocas respectivamente. Registró el mayor aporte de biomasa comestible (hojas verdes más tallos tiernos) a la disponibilidad total de biomasa con un 75 % en la época lluviosa y un 55.7 % en la época seca. Los pastos rastrosos y macolladores incrementaron hasta 339 % y 294 % respectivamente su disponibilidad de la biomasa total en la época lluviosa.

El contenido de proteína cruda de las hojas y tallos tiernos de las plantas de *Leucaena leucocephala* fue similar en los diferentes asociados, su variación se vio influenciada solo por el cambio de época, ya que de la época seca a la lluviosa fue visible su incremento en ambos componentes en más del 8 % y 4 % respectivamente, este mismo comportamiento lo registraron los cuatro pastos en la parte comestible, el incremento fue entre 13.2 % y 44.6 %, no obstante, quien presentó mejor valor en la época lluviosa fue Transvala con 11.7 %.

CIENCIA DE LAS PLANTAS

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Internacional Antonio de Valdivieso (UNIAV) por su confianza y apoyo decidido en los aspectos económicos, materiales, equipos e infraestructura para el desarrollo de la investigación.

Al proyecto FUNCITREE del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) por su

colaboración con el establecimiento del componente arbóreo (*Leucaena leucocephala*) en las 3.2 ha del área de estudio.

A María Alejandra Chamorro Incer, Ricardo José Campos Landero, Marlon José Figueroa Figueroa y Francisco José Chavarría Ñamendi, por su participación en la investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, C. y Cruz, W. A. (2017). Manejo de pastizales en sistemas de producción ganaderos de Nueva Guinea, Costa Caribe Sur de Nicaragua. *Revista Ciencia e Interculturalidad*, 20(1), 122-139. <http://doi.org/10.5377/rci.v20i1.4858>
- Bacab, H. M., Solorio, F. J. y Solorio, S. B. (2012). Efecto de la altura de poda en *Leucaena leucocephala* y su influencia en el rebrote y rendimiento de *Panicum maximum*. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 16(1), 65-77. <https://www.redalyc.org/pdf/837/83723442005.pdf>
- Bellido, M., Escribano, M., Mesías, F. J., Rodríguez de Ledesma, A. y Pulido, F. (2001). Sistemas extensivos de producción animal. *Archivo Zootécnico*, 50(192), 465-489.
- Centeno Solórzano, M. (1993). *Inventario Nacional de Plantaciones Forestales en Nicaragua* [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/877/>
- Figueroa, I. S., Lara, A., Miranda, L. A., Huerta Bravo, M., Krishnamurthy, L. y Muñoz-González, J. C. (2016). Composición química y mineral de *Leucaena* asociada con pasto estrella durante la estación de lluvias. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 16, 3173-3183.
- Google Maps. (2023). *Airbus, maxar technologies, datos del mapa 2023*. <https://www.google.com/maps/place/11%C2%B022'58.2%22N+85%C2%B050'33.0%22W/@11.382863,-85.8429486,181m/data=!3m1!1e3!4m1!1m1!1m3!4m12!1m3!2m2!1d-85.8324076!2d11.4338586!1m6!1m2!1s0x8f744ea979f8724d:0xc356d58688261cc7!2sNIC-72,+La+Chocolata!2m2!1d-85.8476946!2d11.3923767!3e0!3m3!8m2!3d11.382842!4d-85.842506?entry=ttu>
- Haydock, K. P. & Shaw, N. H. (1975). The comparative method for estimating dry matter yield pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 15(76), 663-670. <https://doi.org/10.1071/EA9750663>
- Hernández, I., Benavides, J. E. y Simón, L. (1997). Manejo de las podas de *Leucaena leucocephala* para la producción de forraje en el periodo seco en Cuba. En Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanzas (Ed.), *Actas de la III semana científica* (pp. 228-235). CATIE. https://books.google.com.ni/books?id=FtEOAQAIAAJ&pg=PA229-IA2&dq=evaluacion+de+la+tasa+de+crecimiento+de+la+leucaena+cunningham&source=bl&ots=pCNmg1uh7&sig=ACfU3U2ruHDv7vH6iWhghgmKl0ZKBG6O0A&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwi_tOUpc2AAxWRmYQIHVG_Cek4KBD0AXoECBsQAw#v=onepage&q&f=false
- Hernández, M., López, S., Jarillo, J., Ortega, E., Pérez, S., Díaz, P. y Crosby, M. M. (2020). Rendimiento y calidad nutritiva del forraje en un sistema silvopastoril intensivo con *Leucaena leucocephala* y *Megathyrus maximus* cv. Tanzania. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11(1), 53-69.
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. (2023). *Tablas climáticas de resumen mensuales*. INETER.
- López, A. A. (2001). *Evaluación de *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala* bajo tres tipos de sustratos en suelos degradados por la acción minera en la mina El Limón, León* [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/982/1/tnf011864e.pdf>
- Mayo, S. de los S. (2015). *Efecto de la frecuencia de poda sobre el crecimiento y rendimiento de forraje en dos sistemas silvopastoriles* [Informe Técnico de Residencia Profesional, Instituto Tecnológico de la Zona Maya]. http://www.itzonamaya.edu.mx/web_biblio/archivos/res_prof/agro/agro-2015-31.pdf
- Mejía, W. A. (2004). *Evaluación del sistema de producción de leche «El Corpus» El Menco, Rivas* [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/1319/1/tnl01m516.pdf>
- Montejo-Martínez, D., Díaz-Echeverría, V. F., Casanova-Lugo, F., Piñero-Vázquez, A. T., Chay-Canul, A. J. y Canul-Solis, J. R. (2019). Rendimiento y calidad de *Cynodon plectostachyus* (K. Schum.) Pilg. y *Panicum maximum* cv. Mombaza en sistemas silvopastoriles bajo dos frecuencias de aprovechamiento en condiciones tropicales. En W. Cetzal Ix, A. J. Chay-Canul, F. Casanova-Lugo, y J. F. Martínez-Puc (Eds.), *Agroecosistemas tropicales: Conservación de recursos naturales y seguridad alimentaria*. https://www.researchgate.net/publication/331354885_AGROECOSISTEMAS_TROPICALES_CONSERVACION_DE_RECURSOS_NATURALES_Y_SEGURIDAD_ALIMENTARIA?enrichId=rgreq-ad8765f513d74e8418b02101243ca5cf-XX&enrichSource=Y292ZXJQYWdldOzMzMTM1NDg4NTtBUzo3NDE5MzI4NjMwNzQzMDRAMTU1MzkwMTk4NzQ4-NA%3D%3D&el=1_x_3&_esc=publicationCoverPdf

CIENCIA DE LAS PLANTAS

- Murgueitio, E. (2003). Impacto ambiental de la ganadería de leche en Colombia y alternativas de solución. *Livestock Research for Rural Development*, 15(78). <http://lrrd.cipav.org.co/lrrd15/10/murg1510.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2009). Guía para la descripción de suelos. <https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>
- Palma, J. M. (2006). Los sistemas silvopastoriles en el trópico seco Mexicano. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 14(3), 95-104.
- Quero, A. R., Enríquez, J. F. y Miranda, L. M. (2007). Evaluación de especies forrajeras en América Tropical, avances o status quo. *Interciencia*, 32(8), 566-571.
- Stocking, M. & Murnaghan, N. (2001). *Handbook for the field assessment of land degradation*. Earthscan Publications Ltd. London
- Szott, L., Ibrahim, M. & Beer, J. (2000). *The hamburger connection hangover: Cattle, pasture land degradation and alternative land use in Central America*. CATIE. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4223/The_hamburger_connection.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Zapata, Á., Mejía, C. E. y García, B. J. (2010). *Reconversión ganadera y sistemas silvopastoriles en la vía láctea de Nicaragua*. Imprenta Minerva.

CIENCIA DE LAS PLANTAS

Alternativas biológicas y botánicas para el manejo de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

Management alternatives for *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) in corn (*Zea mays* L.) crops

Juan Carlos Morán Centeno¹, Aner Rober Velázquez Rivera²

¹ MSc. Agroecología y Desarrollo Sostenible, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6135-7271> / juan.moran@ci.una.edu.ni
Universidad Nacional Agraria, Nicaragua.

² MSc. en Sanidad Vegetal, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8951-0272> / riverarober188@gmail.com
Instituto de Protección y Sanidad Agropecuaria, Nicaragua.

Autor para correspondencia: juan.moran@ci.una.edu.ni



RESUMEN

El maíz (*Zea mays* L.) constituye el tercer cultivo de importancia a nivel mundial, el cual es empleado en la alimentación humana y animal, esto se debe a su amplia adaptación a las condiciones ecológicas y ambientales, así como su alto valor nutritivo e industrial. El objetivo de esta investigación fue evaluar alternativas de manejo de *Spodoptera frugiperda* y su influencia en el rendimiento y rentabilidad en el cultivo de maíz. La investigación se efectuó en la comunidad El Cedral, departamento de Chontales, Nicaragua; se usó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, aplicando ocho tratamientos: *Beauveria bassiana*, con tres dosis (1, 5 y 10 g l⁻¹), *Capsicum annuum* [chile] y *Allium sativum* [ajo], con tres dosis (1, 5 y 10 ml l⁻¹), un testigo químico (cipermetrina con dosis de 0.70 ml l⁻¹) y un testigo absoluto (H₂O); se realizaron seis aplicaciones, desde los 11 hasta los 46 días después de la siembra. Se evaluó la altura de la planta (cm) y afectación de planta, larvas totales, muertas y vivas, mortalidad e incidencia de *Spodoptera frugiperda*, rendimiento (kg ha⁻¹), así como un análisis económico. Previo al análisis de varianza los datos se transformaron (log 10) y separación de medias con Tukey al 5 % de margen de error. El tratamiento químico y testigo absoluto presentaron los mayores daños en el tejido foliar, larvas totales y vivas, así como la

ABSTRACT

Corn (*Zea mays* L.) is the third most important crop worldwide, which is used for human and animal feed, due to its wide adaptation to ecological and environmental conditions, as well as its high nutritional and industrial value. The objective of this research was to evaluate management alternatives for *Spodoptera frugiperda* and its influence on yield and profitability in corn cultivation. The research was carried out in the El Cedral community, department of Chontales, Nicaragua; a randomized complete block design with three replications was used, applying eight treatments: *Beauveria bassiana*, with three doses (1, 5 and 10 g l⁻¹), *Capsicum annuum* [chili] and *Allium sativum* [garlic], with three doses (1, 5 and 10 ml l⁻¹), a chemical control (cypermethrin with a dose of 0.70 ml l⁻¹) and an absolute control (H₂O); Six applications were made, from 11 to 46 days after sowing. Plant height (cm) and plant damage, total, dead and live larvae, mortality and incidence of *Spodoptera frugiperda*, yield (kg ha⁻¹), as well as an economic analysis were evaluated. Prior to the variance analysis, the data were transformed (log 10) and the means were separated with Tukey at a 5% margin of error. The chemical treatment and absolute control showed the greatest damage to leaf tissue, total and live larvae, as well as

Recibido: 10 de mayo del 2024
Aceptado: 2 de diciembre del 2024



Los artículos de la revista La Calera de la Universidad Nacional Agraria, Nicaragua, se comparten bajo términos de la licencia Creative Commons: Reconocimiento, No Comercial, Compartir Igual. Las autorizaciones adicionales a las aquí delimitadas se pueden obtener en el correo donauld.juarez@ci.una.edu.ni

© Copyright 2024. Universidad Nacional Agraria (UNA).

CIENCIA DE LAS PLANTAS

menor cantidad de mortalidad y rendimientos. La mayor mortalidad y menor incidencia correspondió al tratamiento uno *Beauveria bassiana* (1 g l⁻¹). La mejor tasa de retorno correspondió a los tratamientos a base de *Capsicum annuum* [chile] y *Allium sativum* [ajo] con dosis de 5 y 10 ml l⁻¹, respectivamente.

Palabras clave: Agroquímicos, plagas de follaje, análisis económico, control biológico.

the lowest mortality and yield. The highest mortality and lowest incidence corresponded to treatment one *Beauveria bassiana* (1 g l⁻¹). The best return rate corresponded to the treatments based on *Capsicum annuum* [chili] and *Allium sativum* [garlic] with doses of 5 and 10 ml l⁻¹, respectively.

Keywords: Agrochemicals, Foliage pests, economic analysis, biological control.

El maíz representa un porcentaje alto en la alimentación humana y animal, por lo que se está en constante búsqueda en incrementar sus rendimientos. En Nicaragua se cultivan un estimado de 336 000 ha⁻¹, con una producción de 471 000 toneladas y un rendimiento promedio de 1.4 toneladas ha⁻¹. Se encuentra distribuido en todo el territorio Nacional. Los departamentos de Matagalpa (17.5 %), Jinotega (17.4 %), Región Autónoma de la Costa Caribe Norte (13.1 %), Nueva Segovia (11.5 %), Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (7.8 %) con el 67.3 % de la producción nacional (Betanco, 2023).

Este cultivo es afectado por diversas plagas insectiles que afectan su crecimiento y desarrollo, siendo *Spodoptera frugiperda* (Sánchez *et al.*, 2019), el principal insecto que se alimenta del tejido foliar de la planta, con infestaciones del 20 % que llegan a causar reducciones entre el 10 % y el 60 % en los rendimientos del cultivo (Ngangambe y Mwatawala, 2020).

Durante las primeras etapas de crecimiento vegetativo del maíz, las larvas se alimentan consumiendo las hojas, que indirectamente afectan el rendimiento del cultivo al reducir el área fotosintética, afecta directamente el rendimiento, lo que se traduce en menores ingresos para las familias productoras. Esta plaga ha sido la causante de cuantiosas pérdidas, por lo que existen investigaciones sobre su fisiología y manejo, donde los productores han empleado el uso de insecticidas desde hace décadas para manejarla, sin embargo, estos productos químicos provocan daños en el agroecosistema por lo que su manejo de forma biológica es de gran interés (Ezeta *et al.*, 2018).

El manejo botánico y biológico que emplea hongos entomopatógenos y extractos botánicos a sido considerado una alternativa de manejo, los cuales afectan diferentes estadios del insecto (huevos, larvas y pupas), en diferentes concentraciones (Reséndiz *et al.*, 2016). Los hongos tienen ventajas ya que son capaces de infestar al hospedero por contacto y adhesión de la espora, por lo cual la ingesta es innecesaria; a nivel mundial los más utilizados son *Metarhizium anisopliae* (33.9 %), *Beauveria bassiana* (33.9 %), *Paecilomyces fumosoroseus* (5.8 %) y *Beauveria brongniartii* (4.1 %) (Ramos *et al.*, 2020).

Considerando la importancia del control de esta plaga, la búsqueda de alternativas de manejo amigables con el ambiente es cada vez más relevante, por lo cual se planificó esta investigación con el objetivo de determinar el efecto de productos botánicos y biológicos en el manejo de *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y condiciones del área de estudio. La investigación se efectuó de agosto a diciembre 2023, en la comunidad El Cedral, departamento de Chontales, en la finca El Limonal en las coordenadas UTM 648022 de latitud Norte y 1351496 de longitud Oeste, a una altitud de 117 msnm (metros sobre el nivel del mar), con temperaturas promedios de 28 °C y precipitaciones promedio anual de 383 mm al año (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales [INETER], 2023).

Diseño metodológico. El experimento fue unifactorial empleando un diseño de Bloques Completos al Azar con ocho tratamientos y tres repeticiones. El área total del ensayo fue de 1 334 m², cada parcela de 56 m² (7 m * 8 m), con una parcela útil de 16 m², (3.2 m * 5 m), la distancia de siembra fue 0.2 metros entre planta y 0.8 metros entre hileras. Se estableció en el mes de septiembre 2023, esto debido a la regulación prevista de las precipitaciones en el área. Se empleó la variedad de maíz NB-6, siendo la variedad de mayor aceptación por los productores, en la zona de estudio.

Descripción de los tratamientos. Se evaluó el hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* a concentraciones de 1 x 10⁹ conidias con tres dosis, un producto derivado de extractos vegetales (*Capsicum annuum* + *Allium sativum*) a tres dosis, quienes fueron comparados con un testigo comercial y un control absoluto (Cuadro 1).

Las actividades de manejo del ensayo se realizaron, de tal manera que las unidades experimentales no difieran, siendo la única diferencia los tratamientos evaluados. La preparación del suelo fue con labranza mínima y con limpieza manual del terreno, posteriormente se delimitó el ensayo. El surcado (líneas de siembra), fue a una distancia de 0.80 metros entre surco y 0.20 metros entre planta. Se aplicó fertilizante

CIENCIA DE LAS PLANTAS

NPK (12-30-10), al momento de la siembra (129.53 kg ha⁻¹) y a los 44 días después de la siembra se realizó fertilización con Urea (46 %), a razón de 129.53 kg ha⁻¹.

Donde:

%I: Porcentaje de incidencia

NBI: Plantas infestada por larvas de *Spodoptera frugiperda*

NTB: Total de plantas

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos evaluados en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

| Tratamientos | Descripción de ingrediente activo | Dosis |
|--------------|--|---------------------------------|
| T1 | <i>Beauveria bassiana</i> 1 x 10 ⁹ conidias | 1 g l ⁻¹ de agua |
| T2 | <i>Beauveria bassiana</i> 1 x 10 ⁹ conidias | 5 g l ⁻¹ de agua |
| T3 | <i>Beauveria bassiana</i> 1 x 10 ⁹ conidias | 10 g l ⁻¹ de agua |
| T4 | <i>Capsicum annuum</i> + <i>Alliums sativum</i> | 1 ml l ⁻¹ de agua |
| T5 | <i>Capsicum annuum</i> + <i>Alliums sativum</i> | 5 ml l ⁻¹ de agua |
| T6 | <i>Capsicum annuum</i> + <i>Alliums sativum</i> | 10 ml l ⁻¹ de agua |
| T7 | Cipermetrina (Químico) | 0.70 ml l ⁻¹ de agua |
| T8 | Control absoluto (H ₂ O) | Sin aplicación |

Variables de rendimiento. La cosecha se realizó a los 120 días después de la siembra, se registró el número de mazorca, peso de mazorca (kg), longitud de mazorca (cm), peso de grano (g) y rendimiento (kg ha⁻¹), este último ajustado a 13 % de humedad según la fórmula propuesta por González *et al.* (1995),

como lo cita Muñoz *et al.* (2017).

$$R = \frac{R*(100-Ha)}{100-Hr(13\%)} [2]$$

Donde:

R= Rendimiento (kg por parcela)

Ha= Humedad inicial del grano (a la cosecha)

Hr= Humedad requerida al 13 %

El manejo de malezas se efectuó de manera manual en dos momentos; durante el ciclo vegetativo del cultivo, a los 40 días y a los 65 días después de la siembra. El manejo de plagas se realizó mediante seis aplicaciones de bioplaguicidas e insecticidas botánico y químico con intervalos de ocho días entre cada aplicación, estas se iniciaron a partir del día 11 hasta el día 46 de edad del cultivo según la metodología descrita por Muñoz *et al.* (2017), dirigidas al cogollo de la planta de maíz, siendo el lugar donde afecta la larva de *Spodoptera frugiperda* (Smith). La aplicación de los tratamientos se realizó empleando aspersores de mochila con capacidad de 20 litros, con boquillas de cono sólido, procurando realizar una buena cobertura del cultivo, las aspersiones se realizaron en horas de la tarde (después de las 5:00 pm), empleando pantallas para evitar la dispersión sobre otros tratamientos, de esta manera se evitó la contaminación cruzada de los tratamientos evaluados.

Variables evaluadas. Todas las variables se registraron seleccionando un total de 15 plantas establecidas dentro de la parcela útil en cada tratamiento evaluado.

Altura de planta (cm). Se evaluó desde los 11 hasta los 46 días después de la siembra seleccionando 20 plantas ubicadas en la parcela útil; la medición se realizó desde la superficie del suelo hasta el último nudo de la planta, la lectura se efectuó con una frecuencia semanal (cada ocho días).

Plantas afectadas y larvas totales (Incidencia). Se registró el número total de plantas infestadas con larvas de *Spodoptera frugiperda* en la parcela útil, de esta manera se determinó el porcentaje de incidencia, así mismo con esta información se empleó la fórmula de González *et al.* (1995), como lo cita Muñoz *et al.* (2017) para calcular el porcentaje de afectación de la plaga.

$$\%I = \frac{NBI}{NTB} * 100 [1]$$

Porcentaje de mortalidad y eficiencia de los productos. A los 11 días después de la germinación y previo a la primera aplicación de los tratamientos, se realizó un conteo inicial de las afectaciones de *Spodoptera frugiperda*.

Después de la aplicación de los tratamientos, a los seis días se cuantificó el número de larvas presentes y el número de larvas muertas para determinar la mortalidad de larva por tratamiento, aplicando la ecuación propuesta por Abbott, (1925).

$$\%M = \frac{NIMT}{NTIT} * 100 [3]$$

Donde:

%M= Porcentaje de mortalidad

NIMT= Número de insectos muertos en el tratamiento

NTIT= Número total de insectos en el tratamiento

En el caso de la medición de la eficiencia de los productos aplicados, se registró según la fórmula de Muñoz *et al.* (2017), quienes indican que:

$$\% \text{ eficiencia} = \frac{1-TdCa}{TaCd} * 100 [4]$$

CIENCIA DE LAS PLANTAS

Donde:

Td= Infestación de la parcela después de la aplicación del tratamiento

Ta= Infestación de la parcela antes de la aplicación del tratamiento

Ca= Infestación de la parcela testigo antes de la aplicación del tratamiento

Cd= Infestación de la parcela testigo después de la aplicación del tratamiento

Estimación económica. Para determinar la rentabilidad y brindar recomendaciones se realizó un análisis de presupuesto parcial y análisis marginal de tratamientos dominantes, empleando la metodología del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y trigo [CIMMYT], (1988) y obtener los costos variables de cada tratamiento y los beneficios netos.

Análisis de datos. Las variables se ajustaron a la normalidad mediante la transformación a escala logarítmica en base diez (log10), el análisis de varianza se realizó mediante modelos lineales generalizados, seleccionando el modelo con el menor AIC (índice de Akaike), a los promedios con significación estadística se les aplicó separación de medias mediante la prueba de Tukey al 5 % de margen de error, empleando el programa estadístico R. v. 4.30 (R Core Team, 2023).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Existen diferencias altamente significativas ($p \leq 0.0001$), en todas las variables. Esto indica que las poblaciones de larvas e insectos adultos de *Spodoptera frugiperda* varía en dependencia de las etapas fenológicas del cultivo y los tratamientos. Muñoz *et al.* (2017), mencionan que el comportamiento de esta especie esta influenciada por la etapa de desarrollo de la planta y las alternativas de manejo, y que una adecuada decisión del manejo de la plaga reduce las pérdidas en el rendimiento al final del ciclo agrícola.

Los datos demuestran que al analizar las plantas afectadas por *Spodoptera frugiperda*, los mayores daños

correspondieron al tratamiento químico (cipermetrina) y testigo absoluto, así mismo, se registran valores altos en los primeros 32 días después de la germinación. Estos resultados demuestran que los daños en el cultivo de maíz ocurren en las primeras etapas, por lo cual la aplicación de estrategias de manejo debe ser oportuna desde los primeros días después de la gherminación. En cuanto a la cantidad de larvas cuantificadas, fue menor en los tratamientos con aplicación de *Beauveria bassiana* en sus diferentes dosis, con una distribución constante hasta los 39 días después de la germinación.

El tratamiento con *Beauveria bassiana* (1 g l⁻¹), y *Capsicum annuum* + *Alliums sativum*, con dosis de 1 y 5 ml l⁻¹, tuvieron una mayor efectividad en el manejo de larva al compararse con el testigo absoluto, desde los 11 hasta los 39 días, por lo tanto, el comportamiento de larvas vivas fue mayor en el testigo y el químico, siendo el muestreo a los 32 días donde se registran las menores cantidades de larvas (Cuadro 2). De acuerdo con Muñoz *et al.* (2017), la mortalidad se relaciona con la estrategia de control, el momento y calidad de la aplicación y reportan mortalidades del 92.14 % al emplear combinación de productos químicos y biológicos en el control de *Spodoptera frugiperda*.

Cuadro 2. Larvas totales, muertas y vivas en función de los tratamientos y momento de muestreo

| Tratamiento | Plantas afectadas | | Larvas totales | | Larvas muertas | | Larvas vivas | | |
|--|-------------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|--------------|--------|----|
| | | | | | | | | | |
| Promedios | | | | | | | | | |
| <i>Beauveria bassiana</i> 1 x 10 ⁹ conidias (1 g l ⁻¹) | 4.50 | b | 7.66 | b | 7.33 | a | 0.33 | b | |
| <i>Beauveria bassiana</i> 1 x 10 ⁹ conidias (5 g l ⁻¹) | 4.50 | b | 6.66 | b | 5.33 | ab | 1.50 | b | |
| <i>Beauveria bassiana</i> 1 x 10 ⁹ conidias (10 g l ⁻¹) | 5.00 | ab | 6.00 | b | 5.66 | ab | 0.33 | b | |
| <i>Capsicum annuum</i> + <i>Alliums sativum</i> (1 ml l ⁻¹) | 4.66 | b | 8.50 | ab | 7.66 | a | 0.83 | b | |
| <i>Capsicum annuum</i> + <i>Alliums sativum</i> (5 ml l ⁻¹) | 4.83 | ab | 8.16 | ab | 6.33 | a | 1.83 | b | |
| <i>Capsicum annuum</i> + <i>Alliums sativum</i> (10 ml l ⁻¹) | 4.33 | b | 9.66 | ab | 4.83 | ab | 1.50 | b | |
| Cipermetrina (Químico) | 7.83 | a | 14.33 | a | 3.50 | ab | 10.83 | a | |
| Control absoluto (H ₂ O) | 7.83 | a | 13.33 | ab | 1.50 | b | 12.00 | a | |
| Días después de la germinación | | | | | | | | | |
| | 11 | 7.25 | a | 11.50 | a | 5.62 | ab | 5.62 | a |
| | 18 | 6.75 | ab | 8.75 | ab | 4.25 | bc | 4.50 | ab |
| | 25 | 6.25 | ab | 11.00 | a | 8.12 | a | 2.87 | ab |
| | 32 | 5.75 | ab | 12.00 | a | 7.75 | a | 2.00 | b |
| | 39 | 4.50 | bc | 8.87 | ab | 4.87 | bc | 4.00 | ab |
| | 46 | 2.12 | c | 3.62 | b | 1.00 | c | 2.62 | ab |
| | R ² | 0.72 | | 0.65 | | 0.71 | | 0.86 | |
| | CV (%) | 29.69 | | 44.16 | | 42.98 | | 61.50 | |
| | $p \leq 0.05$ | 0.0001 | | 0.0009 | | 0.0001 | | 0.0001 | |

Promedios con letras iguales no difieren estadísticamente al 95 % de confianza, R² = coeficiente de determinación,

La mortalidad está determinada por la relación existente entre la cantidad de larvas totales encontradas y la cantidad de larvas muertas registradas (Arellano-Reyes, 2023), en cada uno de los tratamientos, donde se calculó una mortalidad entre 85.80 y 96.97 % en los tratamientos que contenían *Beauveria bassiana*, con mortalidades mayores e incidencia menores al 50 % en todas las fases de desarrollo del cultivo; los demás tratamientos mostraron mortalidades

CIENCIA DE LAS PLANTAS

en el rango de 22 % a 75 %, exceptuando al control absoluto; las mayores incidencia son registradas en las primeras etapas de crecimiento de la planta (Cuadro 3). Estudio de Akutse *et al.* (2019), determinaron que al emplear *Beauveria bassiana* sobre diferentes estadios de *Spodoptera frugiperda*, causó mortalidades mayores al 30 % siendo considerado efectivo para el manejo de esta plaga.

Cuadro 3. Mortalidad e incidencia según tratamientos y etapas de muestreo

| Tratamientos | Mortalidad | | Incidencia | |
|--|------------|-----|------------|----|
| | Porcentaje | | | |
| <i>Beauveria bassiana</i> 1 x 10 ⁹ conidias (1 g l ⁻¹) | 96.97 | a | 45.00 | b |
| <i>Beauveria bassiana</i> 1 x 10 ⁹ conidias (5 g l ⁻¹) | 85.80 | ab | 45.00 | b |
| <i>Beauveria bassiana</i> 1 x 10 ⁹ conidias (10 g l ⁻¹) | 95.23 | a | 50.00 | ab |
| <i>Capsicum annuum</i> + <i>Alliums sativum</i> (1 ml l ⁻¹) | 75.21 | ab | 46.66 | b |
| <i>Capsicum annuum</i> + <i>Alliums sativum</i> (5 ml l ⁻¹) | 65.96 | bc | 48.33 | ab |
| <i>Capsicum annuum</i> + <i>Alliums sativum</i> (10 ml l ⁻¹) | 43.10 | bcd | 43.33 | b |
| Cipermetrina (Químico) | 22.37 | cd | 78.33 | a |
| Control absoluto | 0.06 | d | 78.33 | a |
| Días después de la germinación | | | | |
| 11 | 51.91 | a | 72.50 | a |
| 18 | 58.98 | a | 67.50 | ab |
| 25 | 75.49 | a | 62.50 | ab |
| 32 | 73.32 | a | 57.50 | ab |
| 39 | 64.28 | a | 45.00 | bc |
| 46 | 39.51 | a | 21.25 | c |
| R ² | 0.73 | | 0.72 | |
| CV (%) | 41.13 | | 29.69 | |
| p < 0.05 | 0.0001 | | 0.0001 | |

Promedios con letras iguales difieren estadísticamente al 95 % de confianza, R² = coeficiente de determinación, CV = coeficiente de variación.

Las plagas de follaje ejercen un efecto sobre la producción, esto se debe a la afectación directa en la capacidad fotosintética de la planta, la longitud de mazorca estuvo en el rango de 10 cm a 19.70 cm, siendo el tratamiento *Capsicum annuum* + *Alliums sativum* (10 ml l⁻¹), seguido de *Beauveria bassiana* 1 x 10⁹ conidias (1 g l⁻¹), donde se registran las mazorcas (Espiga) de mayor tamaño. En cuanto al ancho de mazorca, el tratamiento con *Beauveria bassiana* 1 x 10⁹ conidias (1 g l⁻¹) supero a los demás, en cambio el número de hileras por mazorca fue mayor en los

tratamientos con *Capsicum annuum* + *Alliums sativum* (1 y 5 ml l⁻¹), y para la cantidad de granos por mazorca todos los tratamientos superaron al químico y testigo absoluto (Cuadro 4). El rendimiento obtenido en campo, se cuantificó con una humedad del 20 %, determinando que los tratamientos con *Beauveria bassiana* 1 x 10⁹ conidias (10 g l⁻¹) y *Capsicum annuum* + *Alliums sativum* (10 ml l⁻¹) mostraron los mayores rendimientos, y los menores con cipermetrina y testigo (Figura 1). Figueroa-Gulteros *et al.* (2019), mencionan que los bioplaguicidas y extractos vegetales protegen al cultivo, reduciendo el daño hasta en un 85 %, lo que se traduce en mejor producción al final del ciclo agrícola.

La evaluación de parámetros económicos es de gran importancia al darle un seguimiento a los cambios en la introducción de una tecnología en el campo del manejo agrícola, en este caso se utilizó la metodología del CIMMYT (1988); el análisis de presupuesto parcial indica mayores beneficios netos y costos variables en los tratamientos *Capsicum annuum* + *Alliums sativum* (10 ml l⁻¹) y *Beauveria*

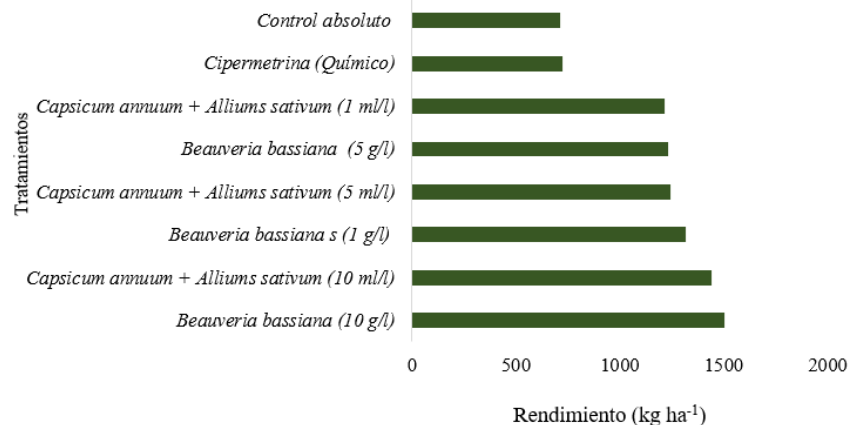


Figura 1. Rendimientos (kg ha⁻¹) según tratamientos.

Cuadro 4. Comportamiento de las variables reproductivas según tratamientos

| Tratamiento | Longitud de mazorca (cm) | Ancho de mazorca (cm) | Número de hilera por mazorca | Número de granos por mazorca |
|--|--------------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------|
| <i>Beauveria bassiana</i> 1 x 10 ⁹ conidias (1 g l ⁻¹) | 18.87 ab | 5.68 b | 13.81 d | 577.00 a |
| <i>Beauveria bassiana</i> 1 x 10 ⁹ conidias (5 g l ⁻¹) | 18.38 b | 5.45 c | 14.73 d | 575.55 a |
| <i>Beauveria bassiana</i> 1 x 10 ⁹ conidias (10 g l ⁻¹) | 18.98 ab | 5.99 a | 16.32 bc | 591.26 a |
| <i>Capsicum annuum</i> + <i>Alliums sativum</i> (1 ml l ⁻¹) | 18.04 bc | 5.00 d | 17.03 ab | 585.75 a |
| <i>Capsicum annuum</i> + <i>Alliums sativum</i> (5 ml l ⁻¹) | 19.70 a | 5.00 d | 17.98 a | 587.02 a |
| <i>Capsicum annuum</i> + <i>Alliums sativum</i> (10 ml l ⁻¹) | 16.86 c | 5.04 d | 15.05 cd | 585.52 a |
| Cipermetrina (Químico) | 11.87 d | 4.01 e | 11.15 e | 341.86 b |
| Control absoluto | 10.04 e | 3.02 f | 9.17 f | 238.41 c |
| R ² | 0.63 | 0.61 | 0.60 | 0.63 |
| CV (%) | 17.31 | 10.35 | 23.69 | 17.89 |
| p < 0.05 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |

R² = coeficiente de determinación, CV = coeficiente de variación.

CIENCIA DE LAS PLANTAS

bassiana 1 x 10⁹ conidias (10 g l⁻¹), tomando como precio de venta en campo USD 0.74 el kg de maíz seco y limpio, por lo cual se ajustó al 13 % de humedad (Cuadro 5). Ávalo-Cerdas y Villalobos-Monge (2018), mencionan que existen variables económicas que deben ser analizadas para tomar decisiones, sobre la estrategia que se adoptará en el manejo de una plaga agrícola.

Cuadro 5. Presupuesto parcial (USD) según los tratamiento

| Tratamiento | Rendimiento | Beneficio Bruto | Costos Variables | Costos fijos | Beneficio Neto |
|--|------------------------|-----------------|------------------|--------------|----------------|
| | (kg ha ⁻¹) | | | (USD) | |
| <i>Beauveria bassiana</i> 1 x 10 ⁹ conidias (1 g l ⁻¹) | 1 313.79 | 972.20 | 49.59 | 213.27 | 758.62 |
| <i>Beauveria bassiana</i> 1 x 10 ⁹ conidias (5 g l ⁻¹) | 1 230.87 | 910.84 | 495.96 | 213.27 | 694.50 |
| <i>Beauveria bassiana</i> 1 x 10 ⁹ conidias (10 g l ⁻¹) | 1 502.46 | 1 111.82 | 743.95 | 213.27 | 893.94 |
| <i>Capsicum annuum</i> + <i>Alliums sativum</i> (1 ml l ⁻¹) | 1 213.35 | 897.88 | 33.60 | 213.27 | 684.40 |
| <i>Capsicum annuum</i> + <i>Alliums sativum</i> (5 ml l ⁻¹) | 1 241.59 | 918.78 | 336.02 | 213.27 | 703.43 |
| <i>Capsicum annuum</i> + <i>Alliums sativum</i> (10 ml l ⁻¹) | 1 442.25 | 1 067.26 | 504.03 | 213.27 | 850.87 |
| Cipermetrina (Químico) | 723.91 | 535.70 | 19.93 | 213.27 | 322.38 |
| Control absoluto | 713.19 | 527.76 | 11.14 | 213.27 | 314.42 |

Rendimiento ajustado al 13 % de humedad, kg ha⁻¹ = Kilogramos por hectárea, USD = dólares americanos.

Los resultados obtenidos en el análisis de presupuesto parcial se sometieron a un análisis de dominancia, siendo los tratamientos a base de *Beauveria bassiana* 1 x 10⁹ conidias con dosis de 1 y 10 g l⁻¹ así como,

Cuadro 6. Análisis de dominancia según tratamientos

| Tratamiento | Descripción | Costo Variable (USD ha ⁻¹) | Beneficio Neto (USD ha ⁻¹) | Observación |
|-------------|--|--|--|---------------|
| T8 | Control absoluto (Sin aplicación) | 11.14 | 314.42 | --- |
| T7 | Cipermetrina (Químico) | 19.93 | 322.38 | De T8 a T7 D |
| T4 | <i>Capsicum annuum</i> + <i>Alliums sativum</i> (1 ml l ⁻¹) | 33.60 | 684.40 | De T7 a T4 ND |
| T1 | <i>Beauveria bassiana</i> 1 x 10 ⁹ conidias (1 g l ⁻¹) | 49.59 | 758.62 | De T4 a T1 ND |
| T5 | <i>Capsicum annuum</i> + <i>Alliums sativum</i> (5 ml l ⁻¹) | 336.02 | 703.43 | De T1 a T5 D |
| T2 | <i>Beauveria bassiana</i> 1 x 10 ⁹ conidias (5 g l ⁻¹) | 495.96 | 694.50 | De T5 a T2 D |
| T6 | <i>Capsicum annuum</i> + <i>Alliums sativum</i> (10 ml l ⁻¹) | 504.03 | 850.87 | De T2 a T6 ND |
| T3 | <i>Beauveria bassiana</i> 1 x 10 ⁹ conidias (10 g l ⁻¹) | 743.95 | 893.94 | De T6 a T3 ND |

D = Dominado, ND = No dominados, USD ha⁻¹ = dólares americanos por hectárea.

Cuadro 7. Tasa de retorno marginal para los tratamientos no dominados

| Tratamiento | Descripción | Costo Variable (USD ha ⁻¹) | Beneficio Neto (USD ha ⁻¹) | IMBN | IMCV | Tasa de Retorno Marginal (%) |
|-------------|--|--|--|--------|--------|------------------------------|
| T3 | <i>Beauveria bassiana</i> 1 x 10 ⁹ conidias (10 g l ⁻¹) | 743.95 | 893.94 | 43.07 | 239.92 | 17.95 |
| T6 | <i>Capsicum annuum</i> + <i>Alliums sativum</i> (10 ml l ⁻¹) | 504.03 | 850.87 | 92.25 | 454.44 | 20.29 |
| T1 | <i>Beauveria bassiana</i> 1 x 10 ⁹ conidias (1 g l ⁻¹) | 49.59 | 758.62 | 166.47 | 15.99 | 1 041.08 |
| T4 | <i>Capsicum annuum</i> + <i>Alliums sativum</i> (1 ml l ⁻¹) | 33.60 | 684.40 | 369.98 | 22.46 | 1 647.28 |

IMBN = Diferencia del beneficio neto de los tratamientos, IMCV = Diferencia en los costos variables de los tratamientos, USD ha⁻¹ = Dólares americanos por hectárea.

CONCLUSIONES

La aplicación de *Beauveria bassiana* (1 g l⁻¹), logró mayor mortalidad de larvas de *Spodoptera frugiperda* y menor incidencia de esta en el cultivo de maíz, siendo a los primeros 32 días después de la germinación la etapa de mayor afectación por la plaga, al iniciar la etapa reproductiva las afectaciones se reducen hasta en un 75 %. La aplicación de cipermetrina

los que contenían *Capsicum annuum* + *Alliums sativum* a razón de 1 y 10 ml l⁻¹, resultaron no dominado, el mayor beneficio neto lo obtuvo el tratamiento con *Beauveria bassiana* 1 x 10⁹ conidias (10 g l⁻¹) y el menor beneficio fue para el testigo absoluto (USD 322.38) y químico (USD 314.42). Los precios de los tratamientos varían en dependencia de las dosis empleadas; el valor del jornal fue de ocho dólares (Cuadro 6).

Según el análisis de dominancia, se sometieron cuatro tratamientos al análisis de tasa de retorno marginal, siendo el tratamiento *Capsicum annuum* + *Alliums sativum* (1 ml l⁻¹), expresó la mayor tasa de retorno (1 647.28 %), seguido del tratamiento *Beauveria bassiana* 1 x 10⁹ conidias (1 g l⁻¹) con 1 041.08 %, esto indica que por cada dólar invertido se espera obtener 16.47 dólares para el tratamiento *Capsicum annuum* + *Alliums sativum* (10 ml l⁻¹) y 10.41 para *Beauveria bassiana* 1 x 10⁹ conidias (1 g l⁻¹) (Cuadro 7). Muñoz *et al.* 2017 expresan que aquellos tratamientos que no son dominados por el testigo deben someterse a un análisis

de retorno marginal, así mismo expresa que al usar productos biológicos, el productor puede obtener una tasa mayor al 1 047 % lo que indica que puede recibir 10.47 dólares por cada dólar que invierte en el proceso de producción de maíz al controlar *Spodoptera frugiperda* con hongos entomopatógenos, con resultados similares a los encontrados en esta investigación.

fue poco eficiente para controlar larvas de este insecto. El rendimiento obtenido en cada tratamiento y mediante el ajuste del 13 %, la mejor tasa de retorno correspondió al tratamiento *Capsicum annuum* + *Alliums sativum*, 1 ml l⁻¹ y *Beauveria bassiana* 1 g l⁻¹, lo que generan la mayor cantidad de retorno al final del ciclo agrícola en el cultivo de maíz.

CIENCIA DE LAS PLANTAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbott, W. S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. econ. Entomol*, 18(2), 265-267.
- Akutse, K.S., Kimemia, J.W., Ekesi, S., Khamis, F.M., Ombura, O.L., & Subramanian, S. (2019). Ovicidal effects of entomopathogenic fungal isolates on the invasive fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Applied Entomology*, 143(6), 626-634. <https://doi.org/10.1111/jen.12634>
- Arellano Reyes, J. C. (2023). *Determinación de la esperanza de vida del gusano cogollero Spodoptera frugiperda (JE Smith) en el agroecosistema de maíz*. http://repositorio.uas.edu.mx/xmlui/bitstream/handle/DGB_UAS/517/Determinaci%C3%B3n%20de%20la%20esperanza%20de%20vida%20del%20gusano%20cogollero%20Spodoptera%20frugiper-da%20%28J.%20E.%20Smith%29%20en%20el%20agroecosistema%20de%20ma%C3%ADz.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ávalos-Cerdas, J. M. y Villalobos-Monge, A. (2018). Análisis económico: un estudio de caso en *Jatropha curcas* L. mediante la metodología de presupuestos parciales. *Agron. Mesoam*, 29, 95-104. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v29n1/1659-1321-am-29-01-00101.pdf>
- Betanco, N. A. T. (2023). *Precipitaciones y precios de granos básicos en Nicaragua*. Foro de Investigadores de Bancos Centrales del Consejo Monetario Centroamericano.
- Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y el Trigo [CIMMYT]. (1998). *La formulación de recomendaciones a partir de datos económicos. Un manual metodológico de evolución económica*.
- Ezeta León, J., García Brito, O. y Gordillo Manssur, F. (2018). La evaluación del control biológico de *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de maíz: Control biológico de *Spodoptera frugiperda*. *Journal of Science and Research: Revista Ciencia e investigación*, 3(11), 18-23. <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/343>
- Figuroa Gualteros, A. M., Castro Triviño, E. A. y Castro Salazar, H. T. (2019). Efecto bioplaguicida de extractos vegetales para el control de *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de maíz (*Zea mays*). *Acta biológica colombiana*, 24(1), 58-66. <http://doi.org/10.15446/abc.v24n1.69333>
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales [INETER]. (2023). *Datos climáticos del departamento de Chontales*. <https://www.ineter.gob.ni/>
- Muñoz Conforme, X. C., Comboza Quijano, W. F., Lara Obando, E. J., Mendoza García, M. V., Mejía Zambrano, N. N., López Mendoza, J. C. y Moran Sánchez, N. L. (2017). Insecticidas biológicos para el control de *Spodoptera frugiperda* Smith, su incidencia en el rendimiento. *Centro Agrícola*, 44(3), 20-27.
- Ngangambe, M. H., & Mwatawala, M. W. (2020). Effects of entomopathogenic fungi (EPFs) and crop-ping systems on parasitoids of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) on maize in eastern central, Tanzania. *Biocontrol Science and Technology*, 30(5), 418-430. <https://doi.org/10.1080/09583157.2020.1726878>.
- R Core Team. (2023). *R: A language and environment for statistical computing* (versión 4.3.1) [software]. <https://www.R-project.org/>
- Ramos, Y., Taibo, A. D., Jiménez, J. A., & Portal, O. (2020). Endophytic establishment of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* in maize plants and its effect against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 30(1), 1-6. <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00223-2>
- Reséndiz, R. Z., López, S. J. A., Osorio, H. E., Estrada D. B., Pecina, M. J. A., Mendoza, C. M. C. y Reyes, M. C. A. (2016). Importancia de la resistencia del maíz nativo al ataque de larvas de lepidópteros. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 20(59), 3-14. http://mixteco.utm.mx/edi_anteriores/temas59/T59_0Indice.pdf
- Sánchez, J., Valle, J., Pérez, E., Neira de Perales, M. y Calderón, C. (2019). Control biológico de *Spodoptera frugiperda* en cultivo de *Zea mays*: Uso de nematodos entomopatógenos. *Scientia Agropecuaria*, 10(4), 551-557. <http://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.04.12>

CIENCIA DE LAS PLANTAS

Crecimiento de esquejes de *Lantana (Lantana camara L.)* en respuesta a la intensidad de luz, un fitorregulador y un retardante de la maduración

Growth of *Lantana* cuttings (*Lantana camara L.*) in response to light intensity, a phyto regulator and a maturation retardant

Roger Antonio Castro Castro¹, Marbell Danilo Aguilar Maradiaga²

¹ Ingeniero Agrónomo graduado UNA, ORCI: <https://orcid.org/0009-0006-7980-3659> / rogercastro.elagro27@gmail.com

² MSc. Biotecnología de plantas, especialista en mejora genética de plantas, Departamento Específico de Ciencias Agrícolas ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9350-6358> / marbell.aguilar@ci.una.edu.ni

Universidad Nacional Agraria (UNA)

Autor para correspondencia: marbell.aguilar@ci.una.edu.ni



RESUMEN

Lantana (Lantana camara L.) es una de las especies ornamental que actualmente tiene mayor demanda en los mercados internacionales. Su forma de multiplicación es por esquejes para garantizar generaciones de nuevas plantas idénticas a la planta madre. Esta investigación se realizó en la finca Las Limas ubicada en el departamento de Estelí, km 153 carretera Panamericana, Nicaragua, durante el período de septiembre de 2022 a enero de 2023. Se experimentó con las variedades de *Lantana* “Copo de oro”, “Sonrisa de rosa” y “Pequeña amarilla”. Se evaluó el efecto de tres intensidades de luz (54, 130 y 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en el crecimiento de los esquejes; además se probó el efecto del fitorregulador Ethrel® 48 SL en dosis de 0, 25, 50 y 75 ppm para el control de la brotación floral y defoliación de esquejes; mientras que, para lograr la preservación fisiológica de los esquejes en condiciones de invernadero, se empleó el retardante de la maduración 1-Metilciclopropeno en dosis de 0, 2, 3 y 5 ppm. Con intensidades de luz de 130 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ se obtuvieron mejores resultados estadísticos en comparación a la exposición a intensidad de luz de 54 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en las variables longitud de esqueje, longitud de la nervadura central de la hoja y número de raíces por esqueje. La adición de 75 ppm del fitorregulador Ethrel® 48 SL redujo la longitud de esquejes y longitud

ABSTRACT

Lantana (Lantana camara L.) is one of the ornamental species that currently has the greatest demand in international markets. Its way of multiplication is by cuttings to guarantee generations of new plants identical to the mother plant. This research was carried out on the Las Limas farm located in the department of Estelí, km 153 Pan-American Highway, Nicaragua, during the period from September 2022 to January 2023. It was experimented with the *Lantana* varieties “Copo de oro”, “Sonrisa de rosa” and “Pequeña amarilla”. The effect of three light intensities (54, 130 and 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) on the growth of the cuttings was evaluated; In addition, the effect of the phyto regulator Ethrel® 48 SL was tested at doses of 0, 25, 50 and 75 ppm to control floral sprouting and defoliation of cuttings; while to achieve the physiological preservation of the cuttings in greenhouse conditions, the maturation retardant 1-Methylcyclopropene was used in doses of 0, 2, 3 and 5 ppm. With light intensities of 130 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, better statistical results were obtained compared to exposure to light intensity of 54 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ in the variables cutting length, length of the central vein of the leaf and number of roots per cutting. The addition of 75 ppm of the phyto regulator Ethrel® 48 SL reduced the length of cuttings and length of internodes, but the number of

Recibido: 1 de noviembre del 2023
Aceptado: 8 de diciembre del 2024



Los artículos de la revista La Calera de la Universidad Nacional Agraria, Nicaragua, se comparten bajo términos de la licencia Creative Commons: Reconocimiento, No Comercial, Compartir Igual. Las autorizaciones adicionales a las aquí delimitadas se pueden obtener en el correo donald.juarez@ci.una.edu.ni

© Copyright 2024. Universidad Nacional Agraria (UNA).

CIENCIA DE LAS PLANTAS

de entrenudos, pero se incrementó número de brotes por esqueje e inhibió la brotación floral. Con 7 ppm de 1-MCP las tres variedades de lantana presentaron los mejores resultados de las variables evaluadas, lo que favorece la obtención de plantas con buenas características morfológicas.

Palabras clave: Ethrel® 48 SL, 1-Metilciclopropeno, crecimiento, copo de oro, pequeña amarilla, sonrisa de rosa.

shoots per cutting increased and inhibited floral sprouting. With 7 ppm of 1-MCP the three lantana varieties presented the best results of the evaluated variables, which favors obtaining plants with good morphological characteristics.

Keywords: Ethrel® 48 SL, 1-Methylcyclopropene, growth, copo de oro, pequeña amarilla, sonrisa de rosa.

La principal empresa productora y exportadora de plantas ornamentales en Nicaragua es Ball Flora Plant, con su finca modelo “Las Limas S.A”, que produce con el empleo de alta tecnología que le permite competir con el nivel de la industria de ornamentales a nivel mundial, produciendo actualmente alrededor de 90 especies y más de 500 variedades, generando 2 000 fuentes de empleo, de los cuales el 60 % son mujeres; sobre esta base se ha desarrollado una línea de producción dinámica, eficiente, creciente y sostenible.

Swarbrick *et al.* (1995) señala que *Lantana camara* L. es una especie que fue mejorada en Europa para su uso como planta ornamental. Sus antecesores se presentan en América tropical, pero las Lantanas de hoy no se encuentran de manera natural en esta región, ya que han sido diseminadas desde su punto de origen, por toda la región. Lantana es una de las especies que mayor demanda tiene en los mercados internacionales, ocupando en algunas empresas del país, un lugar entre los cultivos más importantes en producción. Su importancia económica es de gran envergadura, debido a que países como Estados Unidos, Canadá, Alemania, Guatemala y Costa Rica importan esquejes de este género como lo indica Cruz (2012), citado por Cadenas, (2015).

La multiplicación por esquejes de Lantana es una técnica de amplia repercusión en la horticultura ornamental, tanto de plantas perennes como anuales, en floricultura y en muchas especies frutícolas. Esta técnica tiene importancia económica en el mercado internacional, se importa gran diversidad de esquejes enraizados de distintas especies y variedades (Martínez, 2009).

El principal problema de Lantana es por la acumulación de ácido abscísico (que inhibe la biosíntesis del etileno provocando defoliación), además su bajo rendimiento de esquejes por unidad de producción es una situación que obliga a empresas dedicadas a la producción industrial a sembrar grandes extensiones para cubrir los volúmenes de cosecha requeridos por la demanda internacional (Cruz, 2012, como se citó en Cadenas, 2015).

El objetivo de esta investigación es establecer una línea de producción más eficiente en diferentes etapas de la producción de plantas madre de Lantana (enraizamiento, formación de cultivo y post cosecha) con el propósito de generar resultados aplicables para la producción en condiciones controladas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio. El estudio se realizó en la finca “Las Limas S.A” ubicada en la comunidad El Rosario, departamento de Estelí, km 153 carretera Panamericana Norte de la república de Nicaragua, situado en las coordenadas 13°13'64.65" de latitud Norte y 86°35'69.40" de longitud Oeste, en el período de septiembre del 2022 a y febrero del 2023.

Selección del material y establecimiento. El cultivar Lantana “Copo de oro” fue recolectado en Centroamérica y mejorado en la central de Ball, Chicago, Estados Unidos. Se caracteriza principalmente por el llamativo color amarillo de sus flores, tiene capacidad de producir muchas flores, que a su vez tienen una larga vida, a diferencia de otras plantas, lo que la hace perfecta para una planta en maceta para patios e interiores. El cultivar “Sonrisa de rosa” fue recolectado en México y mejorado en Chicago, Estados Unidos; es una planta con pobre ramificación y un crecimiento erecto rápido, tiene un acelerado crecimiento en su punto más alto, pero posee poca producción de yemas axilares. La variedad “Pequeña amarilla” fue recolectada en México, posee una buena ramificación, un buen sistema radicular, se caracteriza por el color de su flor amarilla y por su follaje de color oscuro; es de crecimiento lento, y catalogada como una variedad compacta.

Desinfección de materiales y herramientas. Para el acceso al invernadero, se realizó el lavado de manos por 30 segundos en la estación de sanidad y para garantizar la salud fue necesario protegerse con una gabacha blanca, un delantal de color rojo y guantes de látex para la manipulación de las plantas. Como norma fitosanitaria se debe desinfectar los guantes cada 10 minutos con el producto Menno Florades a una concentración de 90 g l⁻¹, así mismo, con ese producto se desinfectan cúteres y cuchillas requeridos para actividades de corte en el cultivo de Lantana.

Selección del material vegetativo para la siembra. En el área de enraizamiento de la finca “Las Limas S.A” se sembraron seis plantas madre debidamente enraizadas por maceta. Las plantas procedentes del área de enraizamiento se establecieron en sustrato de la marca comercial Pindstrup Blond Gold® que está compuesto principalmente de turba

CIENCIA DE LAS PLANTAS

rubia (3/4) y (1/4) de turba oscura. Los esquejes que se utilizaron para el experimento de intensidad de luz contaban con las siguientes características: tallo de 1 cm desde la base hasta el pedúnculo de las dos hojas maduras, además el esqueje tenía en la región apical dos inmaduras. En la Figura 1, se describen las características del esqueje.

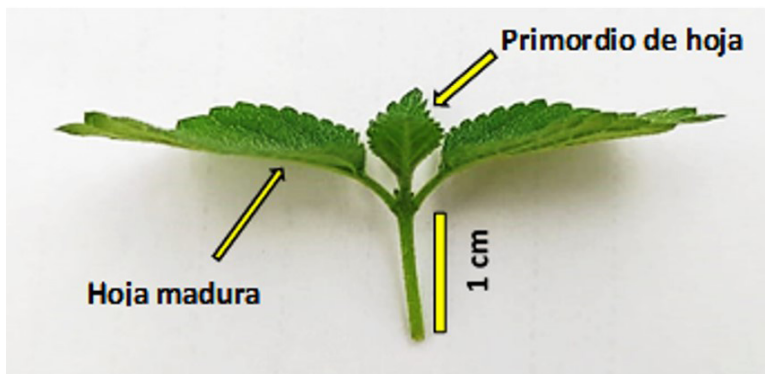


Figura 1. Esqueje herbáceo de Lantana.

Cuadro 1. Características relevantes de flores y tallos de las variedades Copo de oro, Pequeña amarilla y Sonrisa de rosa

| Variedad | Serie | Color de la flor | Ramificación | Porte |
|------------------|----------|------------------|--------------|----------|
| Copo de oro | Lucky | Amarilla | Pobre | Compacto |
| Pequeña amarilla | Lucky | Amarilla | Media | Compacto |
| Sonrisa de rosa | Landmark | Roja | Muy pobre | Vigoroso |

Estas variedades son actualmente las más demandadas en el mercado internacional, por su capacidad de producir gran número de flores y por sus intensos y llamativos colores.

Desinfección del sustrato previo a la siembra. El primer paso a realizar antes de la siembra de los esquejes fue hacer uso de una caldera de diésel que inyecta vapor de agua para aplicarlo directamente en los bancos de siembra y en el sustrato inerte o “escoria” en ambos casos se hicieron tres inyecciones de vapor a una temperatura constante de 90 °C durante una hora, con 15 minutos de intervalo por cada inyección.

Siembra. Una vez realizada la desinfección del sustrato para la siembra, se coloca el riego por goteo y se alinea de manera que cada gotero coincida con las cuatro plantas sembradas por cada maceta.

Corte de esquejes. Una vez extraídos los esquejes del área de enraizamiento de las tres variedades, se procedió a sembrarlos en el invernadero en sustrato de escoria de piedra volcánica, cuya función es el anclaje de las raíces.

Lantana es una especie ornamental con respuesta sensible a temperaturas altas y baja humedad relativa para realizar los cortes de los esquejes, debido a esas exigencias ambientales, es que se acondicionaron invernaderos con un sistema automático que está conectado a una estación meteorológica para medir la radiación acumulada, la humedad relativa y temperatura dentro de la infraestructura; el instrumento que realiza esas funciones es conocido como WatchDog que realiza las mediciones en tiempo real.

Efecto de tres intensidades de luz en el enraizamiento de esquejes. Para obtener plántulas de calidad se establecieron en un sustrato Pindstrup y se les suministró riego por nebulización cada dos horas durante los primeros siete días posteriores a la siembra. Una vez realizada la siembra de los esquejes, a la semana se realizó la “pinza” o despunte, para eliminar la dominancia apical, y estimular la brotación de las yemas axilares, ya que de esta forma se obtendrán plantas con dos yemas, para su posterior siembra en más macetas, este es un requisito en la formación de las plantas madre de Lantana.

Para el establecimiento de los experimentos con tres niveles de intensidad de luz en $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (micromoles por metro cuadrados por segundos), se realizó la configuración del panel de control de clima, para la apertura de las pantallas hasta alcanzar la intensidad de luz de cada uno de los tratamientos. Se colocó tela sarán negro en porcentaje de 60 % para disminuir la intensidad de luz hasta los ($54 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en el caso del tratamiento uno. En el Cuadro 2, se presentan los niveles de intensidad de luz a los que se expusieron los esquejes de las tres variedades de Lantana.

Cuadro 2. Niveles de intensidad de luz en el enraizamiento de esquejes de Lantana

| Variedades | Tratamientos | Intensidad de luz ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) |
|------------------|----------------|--|
| Copo de oro | T ₁ | 54 |
| | T ₂ | 130 |
| | T ₃ | 200 |
| Pequeña amarilla | T ₄ | 54 |
| | T ₅ | 130 |
| | T ₆ | 200 |
| Sonrisa de rosa | T ₇ | 54 |
| | T ₈ | 130 |
| | T ₉ | 200 |

$\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$: micromoles por metro cuadrado medidos en un segundo

CIENCIA DE LAS PLANTAS

Variables evaluadas. Después de tres semanas de la siembra de los esquejes en bandejas, se evaluarán las siguientes variables:

- Longitud de esquejes (cm) medido desde la base hasta el ápice del meristemo apical
- Longitud de la nervadura central (cm) medido desde el peciolo hasta el ápice de la hoja
- Número de raíces adventicias por esqueje
- Esquejes con defoliación (%)
- Botones florales por esqueje (%)

Debido que en 15 días la emisión de hojas de los esquejes de las tres variedades de Lantana es mínima, en cada esqueje se procedió a evaluar la longitud de la nervadura central de una hoja debidamente formada a partir del ápice.

Diseño experimental y análisis estadístico. Se utilizó un diseño completo al azar (DCA) con arreglo unifactorial con 15 observaciones por cada uno de los tratamientos en cada variedad. Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con datos obtenidos de forma independiente por variedad y para encontrar diferencias significativas entre las medias de los tratamientos se aplicó la prueba de rangos múltiples de Duncan con 5 % de margen de error. La base de datos se organizó en Excel y el análisis estadístico se utilizó el programa Infostat versión 2020.

Aplicación de Ethrel® 48 SL como inductor de la brotación de yemas axilares. Se aplicó el producto con nombre químico de Ácido-2-cloroetil-fosfónico y nombre comercial de Ethrel® 48 SL que es un grupo químico generador de etileno y su ingrediente activo es el Ethephon, que se emplea para inducir la brotación de yemas axilares en las variedades a las seis semanas en fase de crecimiento. Las aplicaciones del producto se realizan con equipo de protección y su distribución con bomba de mochila manual del modelo Matabí New Generation con capacidad de 20 litros.

Cuadro 3. Dosis de aplicación de Ethrel® 48 SL por variedad de Lantana

| Variedades | Tratamientos | Dosis Ethrel® 48 SL (ppm) |
|------------------|-----------------|---------------------------|
| Copo de oro | T ₁ | 0 |
| | T ₂ | 25 |
| | T ₃ | 50 |
| | T ₄ | 75 |
| Pequeña amarilla | T ₅ | 0 |
| | T ₆ | 25 |
| | T ₇ | 50 |
| | T ₈ | 75 |
| Sonrisa de rosa | T ₉ | 0 |
| | T ₁₀ | 25 |
| | T ₁₁ | 50 |
| | T ₁₂ | 75 |

Las aplicaciones de Ethrel® 48 SL se realizó a las 6:30 de la mañana, y una vez finalizada, las pantallas black out son activadas para lograr un oscurecimiento total dentro del invernadero y así mejorar las condiciones climáticas.

Variables evaluadas. A las seis semanas se evaluó el efecto de las dosis de Ethrel® 48 SL que definirán nivel de calidad y homogeneidad de los esquejes a cosechar; por cada dosis y variedad se evaluaron las siguientes variables:

- Longitud de esqueje (cm); se midió desde la base hasta el ápice
- Longitud de entrenudos (cm); se midió la longitud entre cada yema axilar
- Número de brotes axilares por planta
- Longitud de nervadura central de la hoja (cm); se midió desde el peciolo hasta el ápice de la hoja

Para las dosis de Ethrel® 48 SL, se empleó igual diseño experimental y análisis estadístico como en el estudio de niveles de intensidad de luz.

Efecto del 1-Metilciclopropeno (1-MCP) en la preservación de esquejes. Los esquejes de cada variedad, una vez cortados con longitud a partir de la base de los esquejes de 1 cm y conteniendo dos hojas maduras y dos hojas jóvenes, se introdujeron en un artefacto conocido como peineta, la que contenía 105 esquejes. Las peinetas conteniendo los esquejes de cada variedad se introdujeron en bolsas de papel Kraft y se cubrieron con plástico transparente UV. En cada bolsa de papel Kraft se depositaron los esquejes y se cubrieron con plástico transparente. Los esquejes con características morfológicas uniformes se colocan en un termo que contiene hielo para mantener la temperatura a 15 °C, posteriormente todos los esquejes se introducen en una cámara de gaseo que mantuvo constante la temperatura a 10 °C. En la Figura 2 se observa el implemento “peineta” y el termo para la conservación de los esquejes.

Para la aplicación de 1-MCP en las cámaras de gaseo, se procedió a colocar cada bolsa conteniendo 105 esquejes en cajas de plástico con capacidad para 26 bolsas; cada cámara de gaseo tiene capacidad para almacenar 18 cajas.

Finalizadas las 24 horas de permanencia de los esquejes dentro de la cámara de gaseo, se procedió a llevarlos a una cámara de embalaje durante cuatro días a temperatura constante de 10 °C; bajo esas condiciones se procedió a la evaluación de 105 esquejes por tratamiento en cada variedad de Lantana.

CIENCIA DE LAS PLANTAS



Figura 2. Izquierda: esquejes de Lantana colocados en el implemento “peineta” / Derecha: termo para conservación de los esquejes.

Cuadro 4. Concentraciones de 1-Metilciclopropeno (ppm) por variedad de Lantana

| Variedades | Tratamientos | Concentración de 1-MCP (ppm) |
|------------------|-----------------|------------------------------|
| Copo de oro | T ₁ | 2 |
| | T ₂ | 3 |
| | T ₃ | 5 |
| | T ₄ | 7 |
| Pequeña amarilla | T ₅ | 2 |
| | T ₆ | 3 |
| | T ₇ | 5 |
| | T ₈ | 7 |
| Sonrisa de rosa | T ₉ | 2 |
| | T ₁₀ | 3 |
| | T ₁₁ | 5 |
| | T ₁₂ | 7 |

1-MCP: 1-Metilciclopropeno, ppm: partes por millón.

Variables evaluadas. A las nueve semanas se evaluó el efecto de cada tratamiento de 1-Metilciclopropeno en 105 esquejes considerando las siguientes variables.

- a. Esquejes con necrosis en la región apical
- b. Esquejes en crecimiento activo
- c. Esquejes con raíces

Diseño experimental y análisis estadístico. Para esta evaluación se empleó un diseño completo al azar (DCA) con arreglo unifactorial. Por cada variedad los tratamientos de 1-MCP se evaluaron a las nueve semanas. Cada tratamiento estuvo conformado por 105 observaciones por variedad. Los datos se analizaron de forma independiente por variedad mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y

las diferencias entre tratamientos con la prueba de Student-Newman-Keuls $p < 0$ con 95 % de confiabilidad. Se utilizó el programa estadístico Infostat versión 2020.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de tres intensidades de luz en el enraizamiento de esquejes

Variedad Copo de oro. Por la variable longitud de los esquejes se alcanzó la mejor respuesta con intensidades luminosas de 130 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

En longitud de la nervadura central de la hoja y en número de raíces emitidas por esqueje resultaron con medias estadísticamente superiores con exposiciones de las plantas a 130 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ superando a las intensidades de 54 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

El porcentaje de botones florales con la intensidad de luz de 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ fue de 60 %, y no se presentó floración con las intensidades de 54 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y 130 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Cuadro 5).

El porcentaje de esquejes con defoliación fue mayor con el tratamiento con 54 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de intensidad luminosa (66.6 %); mientras que con los tratamientos a 130 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ el porcentaje de defoliación fue de 13.33 % en ambos casos.

Variedad Pequeña amarilla. Esta variedad presenta los mayores valores de longitud de esquejes, longitud de la nervadura central de la hoja, número de raíces por esqueje y brotación de botones florales con una exposición de intensidad de luz de 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Cuadro 6).

Cuadro 5. Comportamiento en la fase de enraizamiento a las tres semanas de la variedad Copo de oro por efecto de tres intensidades de luz

| Intensidad de luz ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) | Longitud de esqueje (cm) | Longitud de la nervadura central de la hoja (cm) | Número de raíces por esqueje | Botones florales por esqueje (%) |
|--|--------------------------|--|------------------------------|----------------------------------|
| 54 | 2.02 b | 2.00 c | 3.20 c | 0 |
| 130 | 3.60 a | 2.97 a | 5.80 a | 0 |
| 200 | 3.67 a | 2.73 b | 5.00 b | 60 |
| CV | 6.50 | 7.62 | 8.62 | |

CV: Coeficiente de variación. Letras distintas difieren estadísticamente.

Cuadro 6. Comportamiento en la fase de enraizamiento a las tres semanas de la variedad Pequeña amarilla por efecto de tres intensidades de luz

| Intensidad de luz ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) | Longitud de esqueje (cm) | Longitud de la nervadura central de la hoja (cm) | Número de raíces por esqueje | Botones florales por esqueje (%) |
|--|--------------------------|--|------------------------------|----------------------------------|
| 54 | 2.10 c | 2.17 c | 3.93 c | 0.00 |
| 130 | 3.47 b | 2.97 b | 5.80 b | 0.00 |
| 200 | 3.67 a | 3.60 a | 6.27 a | 26.66 |
| CV | 6.47 | 7.70 | 10.13 | |

CV: Coeficiente de variación. Letras distintas difieren estadísticamente.

CIENCIA DE LAS PLANTAS

El porcentaje de esquejes con defoliación fue mayor con intensidad luminosa de 54 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ con 53.33 %; con intensidad de 130 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ fue de 13.33 % y con 54 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ igual a 20 %.

Variedad Sonrisa de rosa. En longitud de los esquejes no se presentan diferencias estadísticas entre los tratamientos con intensidad luz de 130 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. La menor categoría estadística se obtuvo con luminosidad lumínica de 54 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. La longitud de la nervadura central de la hoja de los esquejes que se expusieron a intensidad de luz de 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ resultó mayor a las exposiciones de 130 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y 54 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. En número de raíces fue mayor con 130 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de intensidad de luz; superando a las exposiciones de 54 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

El mayor porcentaje de botones florales por esqueje se presentó con exposición de los esquejes a intensidad de luz de 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. En el tratamiento con 54 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ no se presentó la brotación floral (Cuadro 7).

Cuadro 7. Comportamiento en la fase de enraizamiento a las tres semanas de la variedad Sonrisa de rosa por efecto de tres intensidades de luz

| Intensidad de luz ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) | Longitud de esqueje (cm) | Longitud de la nervadura central de la hoja (cm) | Número de raíces por esqueje | Botones florales por esqueje (%) |
|--|--------------------------|--|------------------------------|----------------------------------|
| 54 | 2.17 b | 2.02 c | 3.33 c | 0.00 |
| 130 | 2.94 a | 3.13 b | 6.53 a | 20.00 |
| 200 | 2.99 a | 3.47 a | 4.80 b | 53.33 |
| CV | 8.22 | 5.27 | 9.71 | |

CV: Coeficiente de variación. Letras distintas difieren estadísticamente.

El mayor porcentaje de esquejes con defoliación se registró por efecto de 54 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de intensidad de luz con 26.66 %, mientras que con intensidad de 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ el porcentaje de esquejes defoliados fue del 6.66 % y esquejes expuestos a 130 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de intensidad de luz no presentó defoliación.

Con la intensidad de luz de 130 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ se obtienen mejores resultados en comparación a la exposición de 54 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en longitud de esqueje, longitud de la nervadura central de la hoja y número de raíces por esqueje. En esas variables con intensidad de luz de 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ se presentó buena respuesta, con el inconveniente que favoreció la aparición de esquejes con brotes florales en un mayor porcentaje, respuesta fisiológica que se valora como negativa cuando el propósito de la fase de enraizamiento en *Lantana camara* es lograr plantas con activo crecimiento vegetativo, vigoroso y con baja floración.

En base a la respuesta del crecimiento de los esquejes y

la calidad que mostraron durante tres semanas, se comprobó que las tres variedades de lantana son altamente sensibles a la intensidad de luz por lo que es necesario garantizar los ajustes tanto en la cubierta externa como al interior del invernadero que permitan mantener una intensidad de luz estable, además que se hace necesario controlar automáticamente la temperatura y la humedad relativa durante el día como en la noche para que los esquejes tengan un buen crecimiento morfológico. Nell *et al.* (1990) afirman que la intensidad de luz bajo la cual se producen las plantas ornamentales y de follaje, es un factor importante porque se reconoce que las plantas producidas en niveles de luz reducidos pierden hojas una vez que las plantas son transferidas a interiores.

Efecto de Ethrel® 48 SL en el crecimiento y brotación de yemas axilares

Variedad Copo de oro. La longitud de esqueje (cm) fue mayor con la aplicación de 25 ppm, 50 ppm y sin aplicación de Ethrel® 48 SL sin diferir estadísticamente entre ellas y superando a la dosis de 75 ppm. La longitud de entrenudos fue mayor sin el uso del fitoregulador seguido de la dosis de 25 ppm. Con la aplicación de 75 ppm de Ethrel® 48 SL se obtuvo la mejor respuesta en número de brotes axilares por planta. En longitud de la nervadura central de la hoja se presentó similar comportamiento entre las dosis aplicadas (Cuadro 8).

La floración solo se presentó en plantas que no se le aplicó Ethrel® 48 SL y al que se le aplicó dosis de 25 ppm, lográndose porcentajes respectivos del 100 % y de 60 %.

Variedad Pequeña amarilla. Cuando no se aplicó Ethrel® 48 SL la longitud de esqueje es mayor a las obtenidas con las dosis del fitoregulador y estadísticamente igual sin aplicación o con la dosis de 25 ppm de Ethrel para longitud de entrenudos y longitud de la nervadura central de la hoja, en cambio en el número de brotes axilares por planta las dosis de 50 ppm y 75 ppm del fitoregulador superan al resto de los tratamientos (Cuadro 9).

Cuadro 8. Comportamiento de la variedad Copo de oro por efecto de las dosis del fitoregulador a las seis semanas

| Dosis de Ethrel® 48 SL (ppm) | Longitud de esqueje (cm) | Longitud entrenudos (cm) | Número de brotes axilares por planta | Longitud de nervadura central de la hoja (cm) |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------------|---|
| 0 | 14.16 a | 3.67 a | 2.00 c | 3.20 ab |
| 25 | 13.74 a | 2.55 b | 2.13 c | 3.30 a |
| 50 | 13.77 a | 1.40 c | 2.60 b | 3.11 b |
| 75 | 12.44 b | 1.26 c | 3.54 a | 3.21 ab |
| CV | 4.05 | 11.44 | 23.35 | 7.50 |

CV: Coeficiente de variación. Letras distintas difieren estadísticamente.

CIENCIA DE LAS PLANTAS

Cuadro 9. Comportamiento de la variedad Pequeña amarilla por efecto de las dosis del fitorregulador a las seis semanas de aplicación

| Dosis de Ethrel® 48 SL (ppm) | Longitud de esqueje (cm) | Longitud entrenudos (cm) | Número de brotes axilares por planta | Longitud de nervadura central de la hoja (cm) |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------------|---|
| 0 | 16.71 a | 4.99 a | 2.00 c | 4.12 a |
| 25 | 15.83 b | 5.07 a | 2.93 b | 4.13 a |
| 50 | 14.50 c | 4.31 b | 7.35 a | 3.91 c |
| 75 | 14.30 c | 4.11 c | 7.47 a | 3.95 bc |
| CV | 3.17 | 5.25 | 25.41 | 5.85 |

CV: Coeficiente de variación. Letras distintas difieren estadísticamente.

La floración se presentó sin la aplicación del fitorregulador (80 %) y con la dosis de 25 ppm de Ethrel® 48 SL (73.33 %).

Variedad Sonrisa de rosa. En longitud de esqueje y longitud de entrenudos se obtienen mayores valores con el tratamiento sin adición del fitorregulador, en cambio en número de brotes axilares por planta el mayor número se presenta con la dosis de 75 ppm de Ethrel® 48 SL. La variable longitud de la nervadura central de la hoja no difieren entre los tratamientos (Cuadro 10).

Cuadro 10. Comportamiento de la variedad Sonrisa de rosa por efecto de las dosis del fitorregulador a las seis semanas de aplicación

| Dosis de Ethrel® 48 SL (ppm) | Longitud de esqueje (cm) | Longitud entrenudos (cm) | Número de brotes axilares por planta | Longitud de nervadura central de la hoja (cm) |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------------|---|
| 0 | 15.73 a | 1.80 a | 2.00 cd | 5.21 a |
| 25 | 14.49 b | 1.55 b | 2.13 c | 5.29 a |
| 50 | 13.75 c | 1.46 bc | 2.27 b | 5.39 a |
| 75 | 13.68 c | 1.30 c | 2.59 a | 5.30 a |
| CV | 4.90 | 18.03 | 28.14 | 4.60 |

Ethrel® 48 SL: Fitorregulador, CV: Coeficiente de variación. Letras distintas difieren estadísticamente.

En las tres variedades las aplicaciones de 75 ppm de Ethrel® 48 SL, aunque en longitud de esquejes y longitud de entrenudos resultaron significativamente inferiores, esas expresiones son favorables para las plantas que se desarrollarán después de trasplantadas. Caso contrario es la variable número de brotes por esqueje, que presentó resultados superiores a los tratamientos sin Ethrel® 48 SL, y a las dosis de 25 ppm y 50 ppm. Cuando hay mayor brotación axilar las plantas desarrollarán una mejor formación de la copa, que en el mercado de exportación de *Lantana camara*, se valora como una característica de calidad. En las variedades “Copo de oro” y “Pequeña amarilla” la variable longitud de la nervadura central de la hoja presentó la menor categoría

estadística con las aplicaciones de 50 ppm y 75 ppm de Ethrel® 48 SL y con esas dosis de aplicación se inhibió o provocó aborto floral en las tres variedades.

Serek *et al.* (1995) consideran que el etileno, es el principal promotor de la degradación del color de las hojas, aspecto que resulta de vital importancia en la industria de exportación de esquejes herbáceos, donde reducir la caída de las hojas y el porcentaje de esquejes con necrosis en la región apical, incrementa la calidad de las exportaciones al inhibirse la epinastia de las hojas de lantana.

Efecto del 1-MCP en la conservación de la cadena de frío en el almacenamiento y transporte de esquejes

Variedad Copo de oro. El análisis muestra diferencias significativas ($P \leq 0,05$) por efecto de la aplicación de 1-MCP en las tres variables evaluadas. Con la aplicación de 2 ppm de 1-MCP se presentó mayor cantidad de esquejes con deterioro fisiológico de necrosis apical lográndose con las aplicaciones de 3 ppm, 5 ppm y 7 ppm de 1-MCP una reducción significativa de necrosis, en cambio, se obtiene mayor crecimiento activo de los esquejes y esquejes con raíces con la aplicación de 7 ppm de 1-MCP (Cuadro 11).

Variedad Pequeña amarilla. Por efecto de la aplicación de 1-MCP

en las tres variables evaluadas se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$). La menor afectación de necrosis apical en los esquejes se presentó con la aplicación de 7 ppm de 1-MCP, así como el 100 % de los esquejes con crecimiento activo y con emisión de raíces.

Cuadro 11. Porcentajes de esquejes con necrosis, esquejes en crecimiento activo y esquejes con raíces en la variedad Copo de oro según dosis de 1-MCP

| Tratamientos 1-MCP (ppm) | Esquejes con necrosis apical (%) | Esquejes en crecimiento activo (%) | Esquejes con raíces (%) |
|--------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| 2 | 84.76 a | 9.14 c | 3.80 c |
| 3 | 6.47 b | 83.04 b | 80.19 b |
| 5 | 4.95 b | 95.04 ab | 86.66 ab |
| 7 | 2.66 bc | 99.81 a | 99.43 a |

Letras distintas indican diferencias significativas (Kruskal-Wallis, Student-Newman-Keuls).

CIENCIA DE LAS PLANTAS

Los resultados de los porcentajes de esquejes con necrosis, esquejes en crecimiento activo y esquejes con raíces en la variedad Pequeña amarilla se presentan en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Porcentajes de esquejes con necrosis, esquejes en crecimiento activo y esquejes con raíces en la variedad Pequeña amarilla según dosis de 1-MCP

| Tratamientos 1-MCP (ppm) | Esquejes con necrosis apical (%) | Esquejes en crecimiento activo (%) | Esquejes con raíces (%) |
|--------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| 2 | 70.09 a | 3.81 c | 3.23 c |
| 3 | 6.27 b | 82.09 b | 82.09 b |
| 5 | 4.76 bc | 95.23 ab | 95.23 ab |
| 7 | 1.90 c | 100.00 a | 100.00 a |

Letras distintas indican diferencias significativas según Kruskal-Wallis, Student-Newman-Keuls.

Variedad Sonrisa de rosa. Se presenta mayor afectación de necrosis apical cuando se aplicó 2 ppm de 1-MCP, superado por la dosis de 7 ppm de 1-MCP, esta misma dosis presenta los mayores porcentajes en el crecimiento activo y presencia de raíces.

La respuesta de la variedad Sonrisa de rosa se presentan en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Porcentajes de esquejes con necrosis, esquejes en crecimiento activo y esquejes con raíces en la variedad Sonrisa de rosa según dosis de 1-MCP

| Tratamientos 1-MCP (ppm) | Esquejes con necrosis apical (%) | Esquejes en crecimiento activo (%) | Esquejes con raíces (%) |
|--------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| 2 | 95.23 a | 4.19 c | 3.23 c |
| 3 | 9.13 b | 87.23 b | 87.23 b |
| 5 | 5.71 bc | 87.61 b | 87.60 b |
| 7 | 2.85 c | 100.00 a | 100.00 a |

Letras distintas por columna indican diferencias significativas (Kruskal-Wallis, Student-Newman-Keuls).

En las tres variedades de Lantana únicamente el porcentaje de esquejes con defoliación fue superior cuando se expusieron a baja intensidad de luz de 54 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, mientras que en las variedades Copo de oro y Pequeña amarilla con 54 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y 130 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ no se presenta brotación floral. En las tres variedades resultó que a baja intensidad de luz (54 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) los esquejes presentaron menor crecimiento en las variables longitud de esqueje, longitud de la nervadura central y en el número de raíces por esqueje, además afectó con mayor porcentaje de defoliación a los esquejes. En las tres variedades la intensidad de luz de 200 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ estimuló la brotación floral, respuesta fisiológica es valorada como negativa cuando el propósito de la fase de enraizamiento en

Lantana es lograr plantas en activo crecimiento vegetativo vigoroso y sin signos de floración. López *et al.* (2008) experimentando con *Euphorbia pulcherrima* Willd cv “Orion Red observaron que cuando los tejidos se desarrollaron bajo intensidades de luz 1 120, 500, 470 y 390 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, resultó mayor la altura del tallo principal de la planta con intensidades intermedias, mientras que el diámetro del tallo principal y la concentración de clorofilas totales fueron superiores en las plantas desarrolladas en altas intensidades de luz (1 120 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$).

Aplicaciones de 75 ppm de Ethrel® 48 SL en las tres variedades produjo menor expresión en las variables longitud de esqueje, longitud de entrenudos y número de brotes por planta, efecto que se favorece debido a que las plantas desarrollan mejor formación de la copa, aspecto que en el mercado de exportación de Lantana se valora como una característica de calidad. En las variedades Copo de oro y Pequeña amarilla, la variable longitud de la nervadura central de la hoja presentó la menor categoría estadística con las aplicaciones de 50 ppm y 75 ppm de Ethrel® 48 SL, dosis que inhibió o provocó aborto floral en las tres variedades. Estos resultados coinciden con lo afirmado por Reid (1992), al indicar que las aplicaciones exógenas de etileno afectan varios aspectos del desarrollo floral, incluido el aborto de botones florales, retraso en la iniciación de la floración, senescencia de los botones florales maduros, marchitamiento de los pétalos o falta de apertura del capullo. Southernag (2012) como se cita en Cadenas (2015), reporta que el producto Ethrel actúa evitando la defoliación en algunos cultivos como crisantemos (*Chrysanthemum* spp.), geranios (*Geranium* spp.), alegría (*Impatiens walleriana*), Lantana (*Lantana camara*) y verbena (*Verbena hybrida*).

La aplicación de 7 ppm de 1-MCP en las tres variedades y las tres variables analizadas produjo los mejores resultados conforme al objetivo de reducir mínimamente el deterioro fisiológico cuando se dispone de un período corto para realizar la siembra en bandejas dentro del invernadero. Una vez pasadas nueve semanas desde que se realizó la siembra es cuando las plantas han alcanzado un crecimiento

CIENCIA DE LAS PLANTAS

vegetativo óptimo para la exportación vía aérea a diferentes países. Ruíz *et al.* (2015) utilizaron plantas de nochebuena cv. Freedom roja en madurez comercial y tratadas con 1-MCP con dosis de 0, 0.25, 0.50 y 0.75 ppm por 24 horas en cámara de gaseo y obtuvieron mejor respuesta con la dosis de 0.75 ppm porque mantuvieron por más tiempo la apariencia visual y el color en hojas.

CONCLUSIONES

Con intensidades de luz de 130 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ se obtuvieron mejores resultados en comparación a la exposición a intensidad de luz de 54 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en longitud de esqueje, longitud de la nervadura central de la hoja y número de raíces por esqueje. Además, con intensidad de luz de 130 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ no se

presentaron botones florales por esqueje en las variedades “Copo de oro” y “Pequeña amarilla” y en la variedad “Sonrisa de rosa” fue del 20 %. Con intensidad de luz de 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en las tres variedades se observó la inducción de botones florales.

Aplicaciones de 75 ppm de Ethrel® 48 SL permite en las tres variedades menor expresión en longitud del tallo y longitud de entrenudos, pero con mayor número de brotes por esqueje, resultado que favorece el desarrollo y formación de copa.

La aplicación de 7 ppm de 1-MCP permite en las tres variedades la obtención de plantas con buenas características morfológicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cadenas Sabala, W. W. (2015). *Evaluación de etefón sobre el rendimiento de esquejes de exportación en variedades ornamentales de Lantana (Lantana camara). Villa Canales, Guatemala* [Tesis de Ingeniería, Universidad Rafael Landívar]. <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2015/06/03/Cadenas-Walter.pdf>
- López Martínez, V., Alia Tejacal, I., Torres Jiménez, G., Alvear García, A., Tapia Delgado, A., Guillén Sanchez, D., Andrade Rodríguez, M., Villegas Torres, O. G. y Colinas León, M. (2008). Intensidad de sombreado en la calidad de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd) cv “Orion red”. *Investigación Agropecuaria*, 5(1), 27-33. <https://investigacionagropecuaria.jimdofree.com/app/download/5944811357/LOPEZ-MARTINEZ+et+al.pdf?t=1366637267>
- Martínez, F. (2009). *Multipliación de ornamentales por esqueje de tallo. Planteles, semilleros y viveros*. Ediciones de Horticultura.
- Nell, T. A., Leonard, R. T., & Barret, J. E. (1990). Production and postproduction irradiance affects acclimatization and longevity of potted chrysanthemum and poinsettia. *Amer.Soc. Hort. Sci.*, 115(2), 262-265. <https://doi.org/10.21273/JASHS.115.2.262>
- Reid, M. S. y Wu, M. J. (1992). *Ethylene and flower senescence. Plant Growth Regulation*, 11, 37-43. https://ucanr.edu/sites/Postharvest_Technology_Center_/files/231008.pdf
- Ruíz Alvarado, C. (2015). *1-MCP sobre características físicas de nochebuena y rosa en poscosecha* [Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Baja California]. Repositorio Institucional. <https://repositorioinstitucional.uabc.mx/entities/publication/00e23363-1eae-42ae-8d4b-fab660ccfbd0>
- Serek, M., Sisler, E. C., & Reid, M. S. (1995). Effects of 1-MCP on the vase life and ethylene response of cut flowers. *Plant Growth Regulation*, 16, 93-97. https://www.academia.edu/14920921/Effects_of_1_MCP_on_the_vase_life_and_ethylene_response_of_cut_flowers
- Swarbrick, J. T., Willson, B. W., & Hannan-Jones, M. A. (1995). The biology of Australian weeds 25. *Lantana camara* L. *Plant Protection Quarterly*, 10(2), 82–95. <https://caws.org.nz/PPQ8910/PPQ%2010-3%20pp082-95%20Swarbrick.pdf>

Lactosuero, estabilizantes comerciales y fécula de maíz en la producción de helados artesanales

Whey, commercial stabilizers, and cornstarch in the production of artisanal ice cream

María Nelly Salazar Cerda¹, Jorge Antonio Gómez Martínez², Steven Paul Tablada Dávila³, Robin Trinidad Flores Reyes⁴, Roberto Carlos Larios González⁵, Donald Alonso Juárez Gámez⁶

¹ Ingeniera Zootecnista, especialista en tecnología de la leche, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8186-7084> / msalazar@ci.una.edu.ni

² MSc. Agroecología y Desarrollo Sostenible, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4157-4874> / jorge.gomez@ci.una.edu.ni

³ Ingeniero en Agroindustria de los Alimentos (Graduado UNA), ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6477-7865> / tabladadavilastevenpaul@gmail.com

⁴ Ingeniero en Agroindustria de los Alimentos (Graduado UNA), ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7504-7026> / trinidadreyes264@gmail.com

⁵ MSc. Profesor Titular, Dirección de Ciencias Agrícola, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4290-2216> / roberto.larios@ci.una.edu.ni

⁶ MSc. Profesor Titular, Dirección de Ciencias Agrícola, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6141-4730> / donald.juarez@ci.una.edu.ni
Universidad Nacional Agraria (UNA)

Autor para correspondencia: msalazar@ci.una.edu.ni



RESUMEN

El lactosuero es un subproducto de la elaboración de queso y otros productos lácteos, puede generar contaminación ambiental cuando es vertido de manera inapropiada, por lo que su uso en la producción de productos de consumo cotidiano como los helados, es una alternativa para disminuir su impacto ambiental. El objetivo de esta investigación fue determinar características químicas y organolépticas de helados de tres formulaciones a base de lactosuero, que incluyen el uso de estabilizantes comerciales y féculas de maíz. La investigación se realizó en laboratorios de la Universidad Nacional Agraria, en Managua, Nicaragua. Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con tres tratamientos (formulaciones). Las variables evaluadas fueron pH, grasa (%), proteínas (%), sólidos totales (%), sólidos no grasos (%) y ceniza (%), sobre la base del análisis bromatológico según los procedimientos del laboratorio de bromatología de la Dirección de Ciencia Animal de la Universidad Nacional Agraria. El color, sabor, olor y textura se evaluó según una escala hedónica, con la participación

ABSTRACT

Whey is a by-product of cheese and other dairy products production, and it can cause environmental pollution when improperly disposed of. Therefore, its use in the production of everyday consumer products such as ice cream presents an alternative to reduce its environmental impact. The objective of this research was to determine the chemical and organoleptic characteristics of ice creams made from three whey-based formulations, which include the use of commercial stabilizers and cornstarch. The research was conducted in the laboratories of the Universidad Nacional Agraria in Managua, Nicaragua. A completely randomized design (CRD) with three treatments (formulations) was used. The evaluated variables included pH, fat (%), protein (%), total solids (%), non-fat solids (%), and ash (%), based on the bromatological analysis according to the procedures of the Bromatology Laboratory of the Dirección de Ciencia Animal at the Universidad Nacional Agraria. Color, flavor, odor, and texture were evaluated using a hedonic scale,

Recibido: 30 de agosto del 2024
Aceptado: 5 de diciembre del 2024



Los artículos de la revista La Calera de la Universidad Nacional Agraria, Nicaragua, se comparten bajo términos de la licencia Creative Commons: Reconocimiento, No Comercial, Compartir Igual. Las autorizaciones adicionales a las aquí delimitadas se pueden obtener en el correo donald.juarez@ci.una.edu.ni

© Copyright 2024. Universidad Nacional Agraria (UNA).

AGROINDUSTRIA

de un panel no entrenado conformado por 53 personas. Los datos sobre color, sabor, olor y textura (valoración organoléptica) se ajustó en un modelo logit acumulado ordinal, usando el paquete ordinal del software estadístico R. En general las características químicas se consideran adecuadas para este tipo de helado y la percepción organoléptica por parte del panel no entrenado, indica que la mayoría de ellos ubican a las tres formulaciones entre las valoraciones hedónicas “me gusta moderadamente” y “me gusta mucho” y me gusta mucho, con una fuerte inclinación, principalmente sobre los atributos color y textura en los helados que, en su formulación aparte del lactosuero, incluye fécula de maíz.

Palabras clave: percepción sensorial, organoléptico, características fisicoquímicas, subproductos lácteos, valor agregado, agroindustria.

with the participation of an untrained panel of 53 individuals. The data on color, flavor, odor, and texture (organoleptic assessment) were adjusted using an ordinal cumulative logit model, employing the ordinal package in the R statistical software. In general, the chemical characteristics are considered appropriate for this type of ice cream, and the organoleptic perception by the untrained panel indicates that most participants rated all three formulations between the hedonic scores of 'moderately like' and 'like very much,' with a strong preference, especially for the attributes of color and texture in the ice creams, which, in addition to whey, include cornstarch in the formulation.

Keywords: Sensory perception, organoleptic, physicochemical characteristics, dairy by-products, added value, Agroindustry.

El lactosuero es un subproducto de la elaboración de queso y en muchos casos es desechado convirtiéndose en un contaminante, aunque en algunos casos, es utilizado en la alimentación animal.

Como parte de la generación de alternativas en el uso de este tipo de subproducto, se ha impulsado la investigación para su aprovechamiento en la transformación de productos alimenticios debido, como lo señala Asas *et al.* (2021), genera valor agregado, disponibilidad de nutrientes, sustancias solubles y proteínas.

El lactosuero ha emergido como materia prima de diversas aplicaciones alimentarias como en la elaboración de helados, ya que permite mejorar la calidad proteica y la textura del producto.

“El suero proveniente de la fabricación de quesos constituye el principal subproducto de la industria láctea” (Rodríguez y M’Boumba, 2011, p. 9). La caracterización de los helados formulados con lactosuero requiere de estudios de sus características fisicoquímicas y sensoriales, en este caso, pH, % de grasa, % de proteína, % de sólidos totales, % de sólidos grasos y % de ceniza, así como la opinión sobre agrado o desagradado del producto final.

La utilización de lactosuero en la elaboración de helados favorece la textura y cremosidad del producto, afirma Chaves *et al.* (2020) debido al aporte en proteínas; en cambio Hernández *et al.* (2019) indican que la utilización de lactosuero en la formulación de helados mejora la estabilidad de la mezcla en el proceso de congelación, lo que confiere más suavidad, rendimiento, valor nutricional y reducción del uso de estabilizantes y emulsificantes.

En el caso de las características sensoriales, los helados a base de lactosuero presentan mínimas diferencias en sabor al compararlos con los elaborados de manera tradicional, sin embargo, su aceptación es alta debido a la textura cremosa que presentan y su suave sabor afirma Fernández *et al.* (2021).

Vera *et al.* (2022) explican que el uso de lactosuero en la elaboración de helados puede influir positivamente en la percepción sensorial y señalan que la cantidad óptima de lactosuero es crucial para evitar la sobrecarga de sabores lácteos que podrían afectar la aceptación en los consumidores.

El objetivo de esta investigación es caracterizar química y sensorialmente helados elaborados a base de lactosuero que incluyen estabilizantes comerciales y fécula de maíz como producto innovador y alternativa sostenible del uso de este subproducto de la industria láctea.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio. Esta investigación se realizó en la Universidad Nacional Agraria (UNA) ubicada en el km 12 ½ carretera Norte en Managua, Nicaragua; localizada en las coordenadas 12°08'56" de latitud Norte y 86°09'42" de longitud Oeste.

El estudio se desarrolló en tres etapas: 1) Elaboración del producto en el laboratorio de agroindustria de los alimentos de la Dirección de Ciencias Agrícolas, ubicado en el sector Norte de la universidad. 2) Determinación de las características fisicoquímicas y organolépticas en el laboratorio de Fisiología Vegetal de la misma Dirección y 3) la determinación del porcentaje de grasas, sólidos totales, proteína y ceniza, medidas en el laboratorio de Bromatología de la Dirección de Ciencia Animal, ubicado en la finca Santa Rosa de la UNA. La etapa experimental se realizó del 15 de enero al 4 de marzo del año 2024.

Diseño experimental. Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con tres tratamientos (formulaciones); diferenciada por el tipo de estabilizante (100 MX, Goma Xantana y Fécula de maíz), polímeros usados en la industria alimentaria (Cuadro 1).

AGROINDUSTRIA

Cuadro 1. Formulaciones (tratamientos) para la elaboración de helados a base de lactosuero

| Formulación T1 (100 MX) | Formulación T2 (Goma Xantana) | Formulación T3 (Fécula de maíz) |
|-------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| 58.56 % Lactosuero | 58.56 % Lactosuero | 58.25 % Lactosuero |
| 13.82 % Azúcar | 13.82 % Azúcar | 13.74 % Azúcar |
| 13.16 % Lactosuero en polvo | 13.16 % Lactosuero en polvo | 13.09 % Lactosuero en polvo |
| 13.16 % Crema en polvo | 13.16 % Crema en polvo | 13.09 % Crema en polvo |
| 0.62 % 100 MX | 0.62 % Goma Xantana | 1.15 % Fécula de maíz |
| 0.65 % Cocola en polvo | 0.65 % Cocola en polvo | 0.65 % Cocola en polvo |
| 0.015 % Colorante en gel | 0.015 % Colorante en gel | 0.015 % Colorante en gel |
| 0.015 % Saborizante chocolate | 0.015 % Saborizante chocolate | 0.015 % Saborizante chocolate |

La diferencia en los porcentajes es para ajustar al 100 % la formulación, debido a las diferencias en las propiedades que confiere cada estabilizante (viscosidad y textura).

Operaciones para la elaboración del helado. En la Figura 1, se describe el proceso de elaboración.

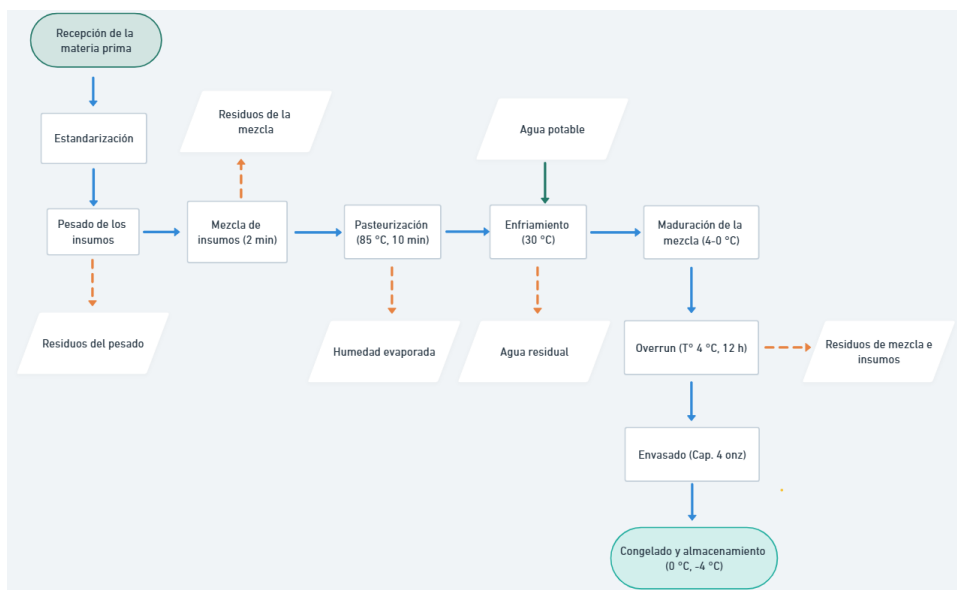


Figura 1. Diagrama del proceso de elaboración de helado a base de lactosuero.

Variables evaluadas

Fisicoquímicas. Las variables fueron: pH, grasa (%), proteínas (%) sólidos totales (%), sólidos no grasos (%) y ceniza (%), así como los atributos sensoriales de color, sabor, olor y textura. En el caso de las características sensoriales, se analizaron sobre la base de la percepción de agrado o desagradado.

El pH se determinó en muestras de 100 ml de cada formulación usando tiras de pH. Los porcentajes de grasa, sólidos totales, proteína y ceniza se determinaron según los procedimientos establecidos por el laboratorio de bromatología de la Dirección de Ciencia Animal. Estas pruebas tendrán el propósito de clasificar el tipo de helado sobre los parámetros de la Normativa Departamental de Montevideo D.1521.40 propuesta por la Intendencia de Montevideo (2016).

La prueba organoléptica se valoró sobre la base de una escala de deleite (escala hedónica) considerando puntuaciones del 1 al 5 siendo 1: me desagradó mucho, 2: me desagradó moderadamente, 3: ni me gusta ni me desagradó, 4: me gusta moderadamente y 5: me gusta mucho; según González *et*

al. (2014), esta herramienta es efectiva y usadas con mucha frecuencia debido a que son los consumidores quienes a través de sus opiniones deciden el éxito de un nuevo producto.

Análisis de datos. La valoración organoléptica (color, sabor, olor y textura) efectuada por un panel no entrenado de 53 personas, se ajustó en un modelo logit acumulado ordinal, usando el paquete ordinal (Christensen, 2019), del software estadístico R (R Core Team, 2022). El resto de las variables se analizaron mediante análisis descriptivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características fisicoquímicas

pH. En los tres helados se obtuvo un valor de pH igual a 6, coincidiendo con Delgado y Morán (2016), en un estudio sobre elaboración de helados a partir de lactosuero; y cercano al mínimo permitido en la leche cruda (pH = 6.6) según la Asamblea Nacional de Nicaragua (2001). Según Amriott (1991) como se cita en Alava Viteri *et al.* (2014), el valor de pH es muy

cercano al reportado y clasifica al suero como suero dulce cuando los valores de pH son próximos a 6.2.

La leche y la mayoría de los productos lácteos suelen tener un pH en torno a 6,7. Este valor es adecuado para el crecimiento de microorganismos que se usan en el fermentado de productos lácteos. Cuando se sustituye la leche por lactosuero en la producción de helados, se reduce el pH y se incrementa la acidez y dureza de los helados (Barbosa de Meneses *et al.* 2021).

El valor del pH es importante para el mantenimiento de la viscosidad y evitar la precipitación de proteínas, permite mantener la textura y la calidad del producto final, valores bajos de pH perjudican estas características (Salem *et al.*, 2005).

Según Barbosa de Meneses *et al.* (2021, p. 4), los valores de pH en helados elaborados a base de lactosuero de leche bívina es igual a 6.4, valor cercano a los reportados en este estudio.

AGROINDUSTRIA

Contenido de grasa (%). El porcentaje de grasa fue bajo en los tres helados presentando valores de 0.12 % para la formulación con Goma Xantana, 0.25 % con Fécula de maíz y de 1.02 % con 100 MX.

Según Delgado y Morán (2016) “las fuentes más adecuadas de grasa es la grasa de la leche que imparte unas buenas características de textura, proporciona un delicado aroma y actúa sinérgicamente con los aromas añadidos y se utiliza para elaborar los helados de mayor calidad”, sin embargo, el lactosuero brinda un valor bajo en grasa como lo indica Cordovi-Carmenates *et al.* (2021), quienes reportan valores entre 0.87 % y 0.88 %; lo que contribuye con el valor bajo en grasa en el producto final.

Los valores en esta investigación se sitúan por debajo a los reportados por Rodríguez y M'Boumba (2011), quienes registraron valores en helados elaborados a base de suero de queso (lactosuero) igual a 10.8 %, quienes en sus materias primas incluyeron insumos que influyeron en el alto contenido de grasa.

El mayor porcentaje de grasa se obtiene en el helado que incluye el estabilizante 100 MX, lo que implica según Vargas-Bello-Pérez *et al.* (2019), que el contenido de grasa se relaciona directamente con la textura y propiedades sensoriales del helado, así a mayor contenido de grasas, mayor densidad del producto, debido a que la grasa aporta sólidos a la mezcla reduciendo la capacidad de formación de cristales de hielo.

Contenido de proteínas (%). El valor nutricional de los helados se debe a que, por ser una mezcla de ingredientes de alta calidad, son considerados una fuente de proteínas de alto valor biológico, ya que éstas últimas contienen aminoácidos esenciales (Ortega Shuilema, 2022). Esta autora también reporta valores de proteína en helados a base de lactosuero de diferentes autores entre 5.3 % 7.23 %, datos superiores a los registrados en esta investigación con valores que corresponden a 2.28 % y 1.89 % para las formulaciones que incluyen los estabilizantes 100 MX y Goma Xantana respectivamente, y de 1.82 % para el helado con Fécula de maíz.

El-Zeini *et al.* (2016), reporta que en la medida que se incrementa el contenido de lactosuero, los valores de proteína son mayores, situándose entre 4.82 % y 6.36 % en cuatro formulaciones de helados a base de lactosuero.

Contenido de sólidos totales (%). Los sólidos totales se relacionan con el contenido de grasa y proteína. Los resultados lo confirman ya que el helado que incluye el estabilizante 100 MX presenta 38 % de sólidos totales, mientras que el que usa Goma Xantana y Fécula de maíz obtuvieron 32.12 % y 35.05 % respectivamente, éstos últimas formulaciones también presentan valores bajos en grasa (%) y proteína (%). Estos valores son muy similares a los reportados por

Rodríguez y M'Boumba (2011), quienes registran valores de sólidos totales en helados a base de lactosuero igual a 37.8 %. En cambio, Tomczyńska-Mleko *et al.* (2024), reportan valores de sólidos totales en nueve formulaciones de helados a base de lactosuero entre 24.05 % y 30.95 %. Por su parte El-Zeini *et al.* (2016) registraron valores de sólidos totales alrededor de 35 % en cuatro formulaciones de helados a base de lactosuero.

Contenido de sólidos no grasos (%). Los sólidos no grasos lácteos, según Jambrak *et al.* (2009), como se citó en López Varón *et al.* (2010), son componentes de los helados a base de lactosuero como las proteínas con valores entre 36 % y 38 % (principalmente caseína), lactosa igual a 56 % y sales minerales con 6 % (calcio, potasio, fósforo, magnesio, hierro). Estos sólidos confieren una textura más firme en la elaboración de helados, mayor cremosidad y más volumen.

Los valores obtenidos en los tres helados corresponden a 36.98 % para la formulación con 100 MX, 32 % para el helado que usa Goma Xantana y 34.8 % para el que se elaboró con Fécula de maíz; estos valores se sitúan cercanamente a los antes mencionados.

Para Haque y Ji (2003), la sustitución de los sólidos no grasos de la leche por los sólidos no grasos del lactosuero mejora la calidad y las propiedades del helado.

Contenido de ceniza (%). Las cenizas según Alava *et al.* (2014), como se cita en López-Barreto *et al.* (2018, p. 103), “constituyen uno de los elementos más representativos del suero; junto con la proteína, tienen potencialidad para su uso industrial”. Este último autor reporta valores de ceniza igual a 0.42 %, inferior al obtenido en las tres formulaciones, que corresponden a 1.5 % para el helado con 100 MX, 1.22 % con el que usa Goma Xantana y 1.29 % para el helado con Fécula de maíz.

Estudios de El-Zeini *et al.* (2016), indican que entre más concentración de lactosuero se utiliza en la elaboración de helados, el porcentaje de ceniza disminuye; los valores registrados por estos autores se situaron entre 0.78 % y 0.95 %, valores inferiores a los reportados en este estudio, debido posiblemente por el tipo y calidad de la leche que dio origen al lactosuero.

Características organolépticas. Las características organolépticas de los helados pueden variar según la materia prima que se utilice, como las proteínas de suero de leche, así como otros componentes en las formulaciones, que bien pueden modificarse para obtener la percepción sensorial deseada.

La evaluación organoléptica de las muestras de helado a base de lactosuero implica valoraciones a través del análisis sensorial, que incluye entre otras características, color, sabor, olor y textura.

AGROINDUSTRIA

Color. La percepción sensorial de esta variable no difiere entre las formulaciones que contienen 100 MX y Goma Xantana ($p = 0.6241$), con escalas de valoración “me gusta moderadamente” y “me gusta mucho”, ambas formulaciones con probabilidad de selección de 50 %. La formulación que contiene Fécula de maíz es estadísticamente diferente al helado que contiene 100 MX ($p = 0.0026$), con una valoración mayoritariamente de “me gusta mucho” y con un nivel de probabilidad de selección de 70 % (Figura 2).

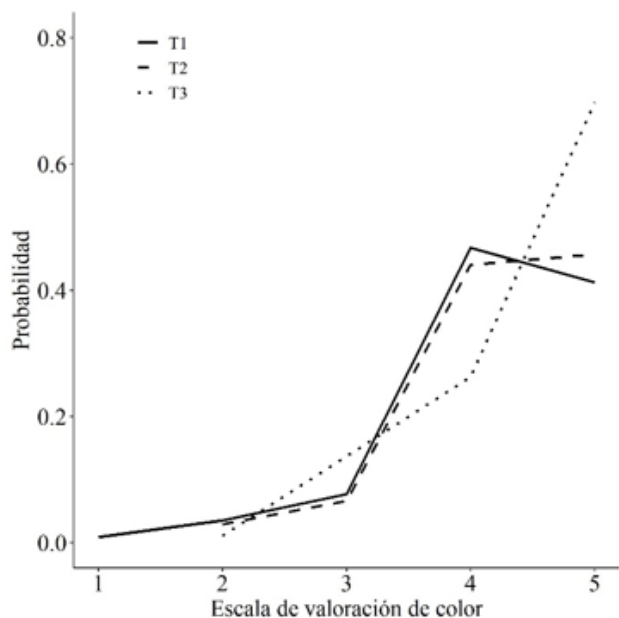


Figura 2. Percepción sensorial sobre el color según escala de valoración.

Según Huanca *et al.* (2023), el análisis sensorial define la aceptación o preferencia de los productos en función de diferentes atributos físicos y sensoriales; en este caso por la aceptación en su coloración. Según Parra Huertas (2009), los productos del suero mejoran las propiedades funcionales que aumentan la calidad, como el color, de los productos alimenticios.

Para Moreira y Solórzano (2022), el color de un buen helado debe ser tenue, mismo que se origina de la mezcla de los diferentes colores que genera la mezcla; también indican que “los azúcares como los lácteos esenciales en cualquier tipo de helado, tienen un color neutro que compensan naturalmente la intensidad de color de los demás ingredientes” (p. 12).

Sabor. Uno de los atributos de mayor aceptación y clasificación de un producto es el sabor. Según Molero-Méndez *et al.* (2017), los productos a base de lactosuero mejoran entre otras características organolépticas, el sabor del producto final.

En la Figura 3, se observa la percepción del panel evaluador sobre el sabor de las tres formulaciones, siendo estadísticamente iguales los helados con 100 MX y los que incluyen Goma Xantana ($p = 0.1979$); así como los helados con 100 MX y los elaborados con Fécula de maíz ($p = 0.3593$); con escalas de valoración de “me gusta moderadamente” y “me gusta mucho”, y con probabilidades de selección entre 40 % y 55 % (Figura 3).

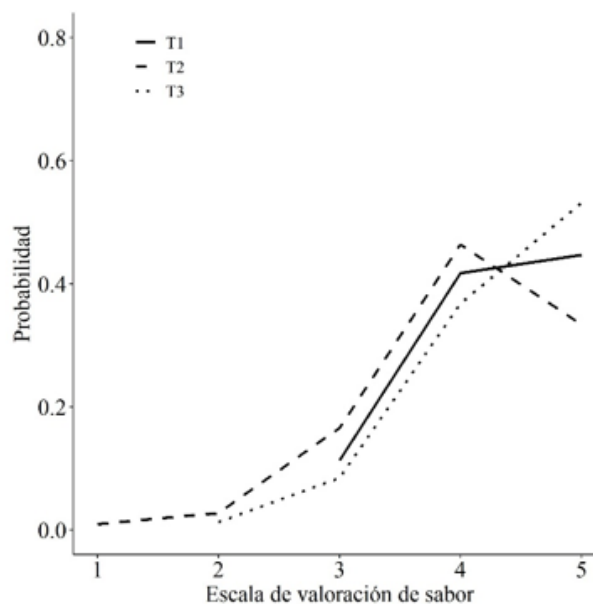


Figura 3. Percepción sensorial sobre el sabor según escala de valoración.

La calidad intrínseca al sabor está relacionada a atributos como: “sabroso, rico, delicioso, agradable al paladar, persistente, buena calidad, amargor ligero, equilibrado, ácido ligero, mantecado, chocolate, frutal, fresa, vainilla, cremoso, dulce y lácteo” (Duarte-García *et al.* (2023, p. 52), además estos autores señalan que muchos de ellos son atributos hedónicos o “términos comunes referidos por los consumidores para denotar su complacencia con el alimento degustado” (p. 52).

Olor. El análisis de esta variable no incluye el parámetro “me desagrada mucho”, debido a que ninguno de los miembros del panel evaluador clasificó con esta categoría a ninguna de las formulaciones. Estadísticamente no hay diferencias entre las formulaciones que contienen 100 MX y Goma Xantana ($p = 0.0603$), ni entre la formulación que contiene 100 MX y la que contiene Fécula de maíz ($p = 0.7523$), con escalas de valoración de “me gusta moderadamente” y “me gusta mucho” con probabilidades de selección entre 35 % y 45 % (Figura 4).

AGROINDUSTRIA

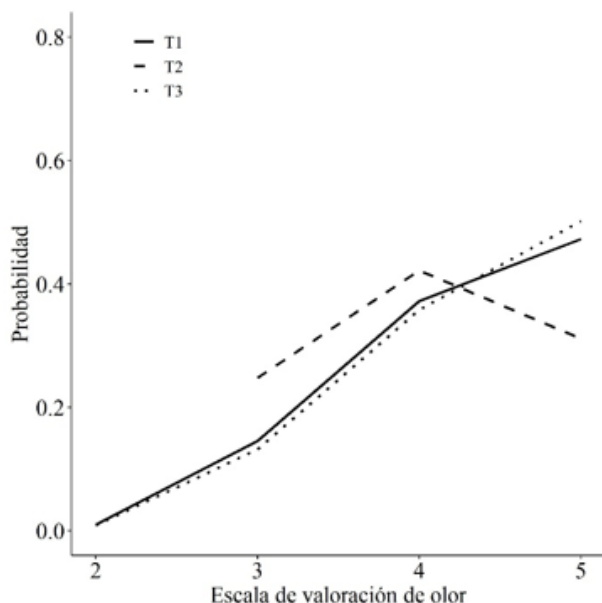


Figura 4. Percepción sensorial sobre el olor según escala de valoración.

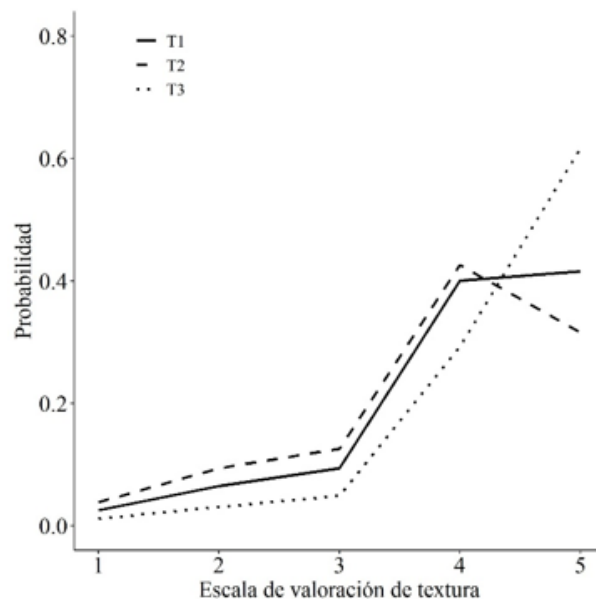


Figura 5. Percepción sensorial sobre la textura según escala de valoración.

El olor es una característica de agrado relacionadas según Duarte-García *et al.* (2023), a señales de calidad sensorial intrínsecas al aroma de los helados, las que pueden ser clasificadas como “aromático, rico, agradable, característico, dulce, cremoso, vainilla, chocolate” entre otros (p. 52). Estos aromas están relacionados al tipo y cantidad de ingredientes usados en la formulación.

Textura. Las proteínas de suero pueden mejorar la textura, la estructura y la resistencia al derretimiento, lo que lleva a una mejor sensación en boca y atributos sensoriales generales.

Para este atributo no existen diferencias significativas entre los helados que en su formulación utilizan 100 MX y los que usan Goma Xantana ($p = 0.2332$); en el caso de la formulación que incluye Fécula de maíz, este supera a los helados con el estabilizante 100 MX ($p = 0.0300$), principalmente con la valoración de “me gusta mucho” y un nivel de probabilidad de selección del 60 % (Figura 5).

Según la ficha técnica de Goma Xantana elaborado por Innovative Cooking S. L. (2020), este estabilizante es un espesante que incrementa la densidad, la textura y mejora la sensación en la boca.

Según el catálogo del grupo asesoría en alimentos (ASEAL, s.f), el estabilizante 100 MX mejora la textura, brinda viscosidad o cuerpo, permite el control de los tamaños de los cristales de hielo y que provee estabilidad y textura sedosa y cremosidad.

A pesar de que los estabilizantes Goma Xantana y 100 MX incrementan la densidad y proveen mejora en

la textura, la mayoría de los miembros del panel evaluador opinan que es mejor la percepción de la textura del helado a base de lactosuero que incluye como estabilizante a la Fécula de maíz.

La textura, como atributo, es un parámetro de calidad sensorial que permite a los consumidores decidirse por el consumo o adquisición de un producto alimenticio.

La valoración de la aceptación de los helados indica en general, buena preferencia, lo que coincide con Barbosa de Meneses *et al.* (2021, p. 1), quienes reportan “buenos valores globales de preferencia” de helados elaborados a base de diferentes subproductos lácteos.

Parra Huertas (2009), indica que “Los productos que contienen suero de leche, incluyendo la lactosa, mejoran la textura, realzan el sabor y color, emulsionan y estabilizan, mejoran las propiedades de fluidez y presentan numerosas propiedades funcionales que elevan la calidad de los productos alimenticios” (p. 1), este mismo autor indica que las proteínas de este producto contribuyen a la mejora de la textura del producto final.

Según Alava *et al.* (2014), Asas *et al.* (2021), Arraiz *et al.* (2022), Ortega Shuilema, (2022) y López-Barreto *et al.*, (2018), el lactosuero por sus características fisicoquímicas y organolépticas, se constituye en una importante materia prima para la elaboración de productos para el consumo humano, debido a su valor nutricional por contener y aportar proteínas de alto valor biológico, calorías, carbohidratos, minerales y vitaminas, así como contribuir con los atributos sensoriales como el color, olor, sabor y textura del producto final.

AGROINDUSTRIA

De acuerdo con los autores anteriores, las características físicas, químicas y sensoriales son influenciadas positivamente por el uso de lactosuero, sin embargo, la utilización de otros componentes en las formulaciones, también contribuyen en la percepción de los consumidores.

CONCLUSIONES

Las características químicas de los helados en las tres formulaciones son adecuadas, y su evaluación organoléptica muestra una buena aceptación, especialmente en lo que respecta al color y la textura, siendo la formulación que incluye fécula de maíz la mejor valorada en estos atributos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alava Viteri, C., Gómez de Illera, M. y Maya Pantoja, J. A. (2014). Caracterización fisicoquímica del suero dulce obtenido de la producción de queso casero en el municipio de Pasto. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 1(1), 22-32. <https://doi.org/10.23850/24220582.110>
- Arraiz Budovalchew, I. M., Sulbarán Gutiérrez, A. A., García Bravo, M. D. y Ostojich Cuevas, Z. (2022). Fórmula artesanal a base de lactosuero: complemento alimenticio para niños preescolares. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 56(2), 149-159. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53572377003>
- Asamblea Nacional de Nicaragua. (2001). *Leche entera cruda. Norma técnica N° 03 027-99*. <http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/9e314815a08d4a6206257265005d21f9/34adfdfe61c59b5c0625734e006c6e36?OpenDocument>
- Asas, C., Llanos, C., Matavac, J. y Verdezoto, D. (2021). El lactosuero: impacto ambiental, usos y aplicaciones vía mecanismos de la biotecnología. *Agroindustrial Science*, 11(1), 105-116. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8085141>
- Asesoría en Alimentos. (s.f). *Lácteos. Ingredientes para la industria alimentaria*. ASEAL.
- Barbosa de Meneses, R., Carvalho Moura, D. C., Teixeira de Almeida, D., Da Silva Bispo, E., Fonseca Maciel, L., Miguez da Rocha-Leão, M., Conte-Junior, C. (2021). Impact of different dairy wheys on quality parameters of ice cream. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 16(1), 2-10. <https://doi.org/10.5039/agraria.v16i1a8028>
- Chaves, M., Ramos, M. y González, M. (2020). Efectos del lactosuero en la textura y calidad de helados [Estudio de caso]. *Revista de Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 34(2), 145-154. <https://doi.org/10.1016/j.rcta.2020.02.005>
- Christensen, R. H. B. (2019). *Ordinal – regression models for ordinal data. R package version 2019.12-10*. <https://CRAN.R-project.org/package=ordinal>
- Cordovi-Carmenates, M., Wilson-González, F. E., Galindo-Llanes, P. A. y M'Boumba-Rodríguez, A. (2021). Utilización suero de queso concentrado en la mezcla para la elaboración de helado crema. *Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada YACHASUN*, 5(9), 29-43. <https://doi.org/10.46296/yc.v5i9ucedespsoct.0121>
- Delgado Orellana, V. D. y Morán Romero, D. A. (2016). *Elaboración de helado a partir de lactosuero saborizado con cocoa y relleno de galleta* [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN- León]. Repositorio Institucional. <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/4998/1/231031.pdf>
- Duarte-García, C., Martínez-Acevedo, I. y Sánchez-Peraza, L. A. (2023). Identificación de atributos intrínsecos al helado que usan los consumidores como señales de su calidad sensorial. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 33(1), 50-53. <https://revitecal.iiia.edu.cu/revista/index.php/RCTA/article/view/421/353>
- El-Zeini, H. M., El-Abd, M. M., Metwaly, F. A., Zeidan, M. A., & Hassan, Y. F. (2016). Using whey protein isolate as a substitute of milk solid not fat on chemical and physico-chemical properties of ice cream. *Journal of Food and Dairy Sciences*, 7(2), 133-137. <https://doi.org/10.21608/jfds.2016.42822>
- Fernández, J., Pérez, M. y Martínez, V. (2021). Evaluación sensorial de helados de lactosuero: Aceptación por parte del consumidor. *Revista de Investigación Alimentaria*, 25(3), 200-210. <https://doi.org/10.1016/j.ria.2021.04.008>
- González Regueiro, V., Rodeiro Mauriz, C., Sanmartín Fero, C. y Vila Plana, S. (2014). *Introducción al análisis sensorial. Estudio hedónico del pan en el IES Mugardos*. <https://iestpcabana.edu.pe/wp-content/uploads/2021/11/INTRODUCCION-AL-ANALISIS-SENSORIAL.pdf>
- Haque, Z. U., & Ji, T. (2003). Cheddar whey processing and source: II. Effect on non-fat ice cream and yoghurt. *International Journal of Food Science and Technology*, 38, 463-473. <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1046/j.1365-2621.2003.00705.x>
- Hernández, A., López, J. y Ruiz, L. (2019). Estudio de la estabilidad y propiedades fisicoquímicas de helados a base de lactosuero. *Journal of Dairy Science and Technology*, 42(1), 23-30. <https://doi.org/10.1016/j.jdst.2019.05.004>
- Huanca Mamani, G., Quiroga Sossa, B. M. y Ticona Huanca, O. R. (2023). Evaluación fisicoquímica y sensorial del helado con tres niveles de yogurt y suero de leche bovina. *CIBUM SCIENTIA*, 2(2), 7–16. <https://doi.org/10.53287/jzki7577nt34b>
- Innovative Cooking S. L. (2020). *Goma Xantana. Ficha técnica*. https://www.cocinista.es/download/bancorecursos/documentos/fichas/laguilhoat/Goma%20xantana%20Ed3.pdf?srsltid=AfmBOordLSWgjJubwinAomM9iIH2SgZyyFvCF1L3VBYcBi_Tsjzoioje
- Intendencia de Motevideo. (2016). *Normativa Departamental*. <https://normativa.montevideo.gub.uy/content/d152140>
- López Barón, F. N., Sepúlveda Valencia, J. U. y Restrepo Molina, D. A. (2010). Ensayo y funcionalidad de un sustituyente de sólidos no grasos lácteos en una mezcla para helado. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, 63(2), 5729-5744. <https://www.redalyc.org/pdf/1799/179918602025.pdf>

AGROINDUSTRIA

- López-Barreto, R. E. y Becerra-Jiménez, M. L. (2018). Caracterización físico-química y microbiológica del lactosuero del queso Paipa. *Ciencia y Agricultura*, 15(2), 99-106. <https://www.redalyc.org/journal/5600/560064389003/html/>
- Molero-Méndez, M. S., Flores-Rondón, C., Leal-Ramírez, M. y Briñez-Zambrano, W. J. (2017). Evaluación sensorial de bebidas probióticas fermentadas a base de lactosuero. *Revista Científica*, 27(2), 70-77. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=95951040002>
- Moreira Sacón, K. M. y Solórzano Collahuazo, O. E. (2022). *Aprovechamiento de lactosuero - pulpa de banano y el efecto sobre las características fisicoquímicas, bromatológicas y organolépticas de un helado* [Tesis de ingeniería, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. <https://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1967>
- Ortega Shuilema, E. C. (2022). *Estudio de las propiedades del lacto suero para su uso en la industria heladera* [Tesis de ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. DSpace ESPOCH. <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/19068/1/27T00610.pdf>
- Parra Huertas, R. A. (2009). Lactosuero: importancia en la industria de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, 62(1), 4967-4982. <https://www.redalyc.org/pdf/1799/179915377021.pdf>
- R Core Team. (2022). *R: A language and environment for statistical computing* [Software]. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org>
- Rodríguez, T. y M' Boumba, A. (2011). Utilización del suero de queso en helado. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 21(3), 9-12. <https://revcitalc.iiiia.edu.cu/revista/index.php/RCTA/article/view/577>
- Salem, M. M. E., Fathi, F. A., & Awad, R. A. (2005). Production of probiotic ice cream. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 14.55(3), 267–271. https://www.researchgate.net/publication/267193143_Production_of_probiotic_ice_cream
- Tomczyńska-Mleko, M., Mykhalevych, A., Sapiga, V., Polishchuk, G., Terpiłowski, K., Mleko, S., Sołowiej, B. G., & Pérez-Huertas, S. (2024). Influence of Plant-Based Structuring Ingredients on Physicochemical Properties of Whey Ice Creams. *Applied Sciences*, 14(16), 2-13. <https://doi.org/10.3390/app14062465>
- Vargas-Bello-Pérez, E., Cancino-Padilla, N., Geldsetzer-Mendoza, C., Vyhmeister, S., Morales, M., Leskinen, H., Romero, J., Garnsworthy, P., & Ibáñez, R. (2019). Effect of Feeding Cows with Unsaturated Fatty Acid Sources on Milk Production, Milk Composition, Milk Fatty Acid Profile, and Physicochemical and Sensory Characteristics of Ice Cream. *Animals*, 9(8), 568. <https://doi.org/10.3390/ani9080568>
- Vera, M., Jiménez, R. y González, P. (2022). Impacto del lactosuero en las características sensoriales y nutricionales de los helados. *Journal of Food Science*, 87(8), 1356-1365. <https://doi.org/10.1016/j.jfs.2022.07.003>

GUÍA PARA COLABORADORES QUE PUBLICAN EN LA CALERA, REVISTA CIENTÍFICA DE LA UNA

En la revista **La Calera** se dan a conocer resultados de investigación y extensión de los profesionales y grupos que trabajan en ciencias agrarias y ambientales en Nicaragua y más allá de nuestras fronteras.

Con el propósito de promover mayor participación de docentes-investigadores, estudiantes, profesionales e instituciones relacionadas con las ciencias agrarias y ambientales y agilizar el proceso de edición e impresión de la revista, se han considerado las siguientes pautas que deben ser observadas por los colaboradores:

Política de acceso abierto. La revista **La Calera** fomenta el intercambio del conocimiento al permitir el acceso libre e inmediato de su contenido. Sus publicaciones están protegidas y se comparten bajo términos de la licencia Creative Commons con las atribuciones de Reconocimiento, No Comercial y Compartir Igual.

Política de cargos por procesamiento de artículos (APC). La revista **La Calera**, por declararse de acceso abierto, como parte de la promoción de la ciencia abierta, no establece ningún tipo de cargo por procesamiento de artículos (APC), en ninguna de sus fases de gestión editorial, por lo que todo colaborador (autor), está libre de costos de edición y publicación. Todos los artículos publicados en **La Calera** pueden ser descargados de forma gratuita.

Derechos de autor. Los autores de los escritos (contribuciones) conceden a la **Universidad Nacional Agraria** los derechos de edición de la propuesta enviada, por lo que la universidad cuenta con el derecho exclusivo para publicar la durante el periodo completo de los derechos de autor. Estos derechos de autor incluyen reproducción impresa y electrónica, almacenamiento, recuperación, toda forma de publicación electrónica y cualquier otro tipo de publicación.

Los autores deben certificar que el escrito es original y que no ha sido publicado, igualmente asegurar que no se encuentra sometido a evaluación y posible publicación en otras revistas o sitios electrónicos. Todos los autores expresan que son conocedores del escrito y autorizan su publicación y sus citaciones.

El autor o los autores autorizan a la **Universidad Nacional Agraria** a proteger el artículo contra el uso no autorizado y la facultan para su difusión por medios impresos o electrónicos (PDF, HTML, EPUB, XML, VISOR u otros) y fuentes de información secundaria como servicios de resúmenes y bases de datos.

Sistema de arbitraje. El sistema de arbitraje es externo y el tipo de revisión es a ciego doble, por lo que los revisores no

tienen conocimiento de la autoría del escrito y el autor(es) no conocen a los revisores.

La revisión se fundamenta en los siguientes criterios:

Correlación entre el título, objetivos, resultados y conclusiones.

Los objetivos son relevantes para el avance del conocimiento.

La introducción indica la importancia del tema, justificación de la investigación y antecedentes relevantes que fundamentan los objetivos.

La metodología es adecuada para alcanzar los objetivos propuestos.

Los resultados presentan hechos derivados de la metodología, ordenados de manera lógica y objetiva; son claros y entendibles con relevancia para el avance del conocimiento.

Conclusiones concordantes con los resultados y el análisis, y a la vez importantes para el avance del conocimiento.

Bibliografía adecuada y actualizada respecto al tema tratado.

Redacción clara, breve y precisa con organización lógica que facilita su comprensión.

Los revisores podrán recomendar: Publicar con ajustes menores, publicar con ajustes mayores, no publicable.

Detección de plagio. Se hace uso del sistema Turnitin para obtener un reporte de similitud o detección de plagio. Este sistema permite conocer si el trabajo incluye información de otras investigaciones sin el debido reconocimiento de derechos de autor.

Del contenido. La revista **La Calera** tiene como propósito contribuir al desarrollo científico técnico del sector agrario y ambiental de Nicaragua mediante la difusión de resultados de investigaciones realizadas por docentes de la UNA y colaboradores y a la proyección nacional e internacional de la Universidad Nacional Agraria. La revista, acoge trabajos de temáticas variadas y a diferentes niveles (básico, aplicados y básicos – aplicados).

Son bienvenidos artículos sobre aspectos científico-técnicos, los mismos, pueden ser escritos desde la perspectiva de una disciplina específica o con visión multi e interdisciplinaria. Los temas de los artículos pueden incluir prácticas innovadoras, nuevas tecnologías, sistemas de cultivo y de fincas, agroforestería, forestería comunitaria, recursos naturales y

GUÍA PARA COLABORADORES

ambiente, ganadería en sus diversos componentes, medicina veterinaria, evaluaciones socioeconómicas, desarrollo rural, agroindustria, entre otros.

De los autores. El autor puede ser toda persona o figura jurídica o corporativa y es el único responsable de preparar y remitir los artículos en forma completa, incluyendo texto, cuadros, figuras (gráficos), fotos y demás ilustraciones. Los escritos deben ser inéditos y en casos excepcionales, versiones adaptadas de publicaciones anteriores. El autor deberá acompañar sus propuestas con una carta de solicitud de publicación y autorización de publicación.

La revista no es responsable de las opiniones y afirmaciones expresadas por los autores en sus páginas. Las ideas de los autores no reflejan necesariamente el punto de vista de la institución.

De los artículos. Se aceptan trabajos en formato electrónico, elaborados en programa Word y mediante el sistema operativo Windows o sistemas compatibles. Los escritos deben presentarse a una columna con espacio sencillo; el tamaño de la hoja debe corresponder al diseño carta (21.59 cm por 27.94 cm) y el tipo y tamaño de la letra corresponde a Times New Roman tamaño 10, sin embargo, el resumen, abstract, títulos y notas de figuras y cuadros, así como las referencias bibliográficas en letra tamaño nueve.

Las propuestas deben ser identificados con el nombre del autor (nombres y apellidos), filiación, número ORCID (<https://orcid.org/>) y correo electrónico.

De la estructura. Los escritos deben tener un máximo de 10 página (incluye el resumen, abstract y las referencias bibliográficas). La longitud de los artículos será considerada por el comité editorial y será este comité, quien decidirá su publicación, incluso si el trabajo se divide para publicaciones sucesivas de la revista.

Del estilo. Se recomienda usar un lenguaje sencillo; títulos, subtítulos y párrafos cortos y evitar el uso de oraciones subordinadas largas. Deben ser claro, breve y preciso.

El autor del artículo es responsable del contenido. El escrito debe ser claro y no contener errores de ortografía, gramática y puntuación. El consejo editorial no es responsable de correcciones ortográficas, gramaticales y de puntuación. El escrito será recibido y aceptado por el consejo editorial y devuelto al autor para los ajustes finales, ya sea de forma como también para chequear la exactitud en los cálculos aritméticos, estadísticos, datos numéricos, textos citados y referencias bibliográficas.

De los cuadros y figuras. Todos los cuadros, figuras, ilustraciones, etc., pueden ser hechas a través de cámaras, dibujantes, escaneadas, reducción fotográfica, o hechas en hojas electrónicas y de cálculos. Cada cuadro, figura o ilustración debe realizarse en una hoja separada o intercalada en el texto o contenido, éstos no deben duplicar información. Se pueden usar símbolos literales para aclarar cualquier información y el valor exacto de p (valor de p) para niveles de significancia estadística.

Los cuadros deben estar en formato editable, sin líneas horizontales y a escala de grises. El tipo de letra es Times New Roman tamaño nueve. En el caso de los cuadros, en la mayoría de los casos no usar cuadrículas; solo líneas de encabezado y cierre. El tamaño de letra para el contenido es nueve.

De los géneros. Los géneros definidos por la revista corresponden a:

Artículo científico. Es una comunicación científica sobre resultados originales provenientes de un proceso de investigación, conocido también, como artículo original. La extensión máxima del texto es de 10 páginas.

Artículo de revisión o análisis. Consiste en un análisis corto de lo que se ha publicado o realizado en temas específicos de las ciencias agropecuarias, recursos naturales o ciencias ambientales en una región o en el país, con el propósito de definir el estado actual del mismo. Sigue un orden cronológico o de sus etapas de desarrollo. Por lo general destaca el avance, los cambios, las contradicciones y tendencias del tema. La extensión máxima del texto es de ocho páginas.

Uso de medidas. Deben utilizarse las unidades de medida que corresponden al sistema métrico decimal, pues ha de responder al uso del sistema internacional de medidas (SI). Si se utilizara una unidad local, se deberá colocar entre paréntesis una unidad de equivalencia internacional, e.g., 10 mz (7.03 ha).

Del contenido de los artículos. Los artículos deben contener los siguientes aspectos:

Título. Debe ser claro, breve y descriptivo, sin exceder 15 palabras (sin contar artículos, preposiciones, locuciones y conjunciones); y reflejar el contenido del texto y el objetivo principal. El título debe ir centrado, escrito en letras minúscula con tamaño de letra 11.

Autores. Inicie con el nombre del autor principal, escriba los nombres y apellidos sin grados académicos y separe los autores utilizando comas, a continuación, en línea aparte indique grado académico, filiación o dependencia académica de tra-

GUÍA PARA COLABORADORES

bajo o estudio; también puede indicar que es un investigador independiente. Indique número ORCID y correos electrónicos. Favor especificar quien es el autor para correspondencia. La lista de autores se ubica inmediatamente después del título y alineados a la izquierda con tamaño de letra 10.

Resumen. Debe incluirse el resumen en español y su traducción al inglés (abstract). Se escribe en un párrafo con un máximo de 300 palabras, debe de expresar el por qué y cómo se hizo el estudio. El resumen debe incluir los aspectos más importantes del trabajo: importancia-justificación, objetivo, metodología y las conclusiones más relevantes, apoyadas por resultados cuantitativos o cualitativos específicos de la investigación. En el caso de descripción de alguna especie (animal o vegetal), esta deberá ir acompañada de su respectivo nombre científico y del descriptor. La información en esta sección debe ser congruente con la que se presente en las demás secciones del artículo. No usar abreviaturas.

Palabras clave. Se ubican inmediatamente debajo de la última línea del resumen. Pueden ser palabras o frases cortas (entre cuatro y ocho). Su objetivo es facilitar la búsqueda bibliográfica en bases de datos computarizados o publicaciones que recogen el artículo condensado. Deben seleccionarse palabras que identifiquen el artículo y ser diferentes a las que conforman el título de la publicación. El abstract también incluye la traducción de las palabras clave (*Keywords*).

Abreviaturas. Se debe poner el significado de todas las abreviaturas que aparecen en el texto. Se recomienda hacer una lista alfabética de abreviaturas o de las más comunes usadas en el escrito, algunos términos pueden ser abreviados en el texto y no necesariamente deben ser incluidos en la lista de abreviaciones por ejemplo (etc., i.e, e.g., Ej.). Hay algunas abreviaturas que son de dominio de la comunidad científica, por tanto, no es necesario incluirlas en el listado.

Introducción. Señalar claramente al lector la importancia del tema, la justificación de la investigación y los antecedentes bibliográficos relevantes que fundamentan las hipótesis y los objetivos planteados. Es decir, debe indicarse con claridad por qué y para qué se hizo la investigación, así como qué información publicada existe al respecto. Lo anterior significa que no habrá un capítulo específico de revisión de literatura, sino que ésta se presentará en la introducción.

Los antecedentes deben apoyarse con bibliografía reciente, para que se conozca el nivel actual del tema. Solo se aceptarán citas bibliográficas, publicadas fundamentalmente (no se admitirán notas de curso, información mimeografiada o de artículos en revisión). Los antecedentes bibliográficos deben estar redactados de manera congruente y ordenada con

relación al tema del escrito. Evitar la redacción en forma de “listas de referencias” así como las “referencias múltiples” para reforzar un solo concepto que la mayoría de las veces es demasiado general, debiendo hacerse un uso preciso y específico de las referencias citadas (ver en esta sección acápite sobre referencias bibliográficas). Al final de la introducción, debe describirse el propósito o los objetivos del trabajo.

Materiales y métodos. Se describen los materiales y procedimientos utilizados, las variables y sus mediciones, así como sus unidades de medida y el tratamiento estadístico, si lo hubiera. En el caso de una investigación no experimental, indicar los instrumentos de registro de información y su análisis. Es necesario aportar la información suficiente de cada variable, de manera que cualquier investigador pueda repetir el estudio. La información en esta sección debe ser congruente con los objetivos planteados. Anotar los modelos y marcas de los instrumentos utilizados. Los métodos de laboratorio también deben ser suficientemente descritos para poder reproducirlos; si son comunes, bastará con indicar la referencia bibliográfica.

Resultados y discusión. Se presentarán los hechos derivados de la metodología, ordenados de manera lógica y objetiva, con ayuda de cuadros y figuras (fotografías, dibujos, mapas, esquemas o gráficos). La información de resultados debe presentarse en forma clara, sin recurrir a la repetición de datos en cuadros y figuras.

No basta con presentar resultados en forma de cifras, sino que es necesario interpretarlos con base en razonamientos claros, objetivos e imparciales. Además, se debe discutir su significancia de acuerdo con su similitud o contraste con los publicados por otros autores. Deben discutirse las posibles causas de tales diferencias y plantear opciones para futuros estudios. En este capítulo pueden añadirse nuevas referencias bibliográficas que no se habían incluido en la introducción.

En esta sección el autor debe cotejar sus hipótesis. En consecuencia, es importante que la discusión se base en los resultados y que ambos sean congruentes con los objetivos y las metodologías descritas en las secciones respectivas. Deben evitarse las explicaciones extensas a diferencias numéricas que no son apoyadas por pruebas estadísticas o a variables no medidas en la investigación (dando lugar a especulaciones). En todo caso, las explicaciones propositivas o especulativas serán válidas en la discusión, siempre que estén debidamente apoyadas con referencias bibliográficas o mediante razonamientos claros y correctos, pero sin ocupar más párrafos que la discusión de los propios resultados.

GUÍA PARA COLABORADORES

Conclusiones. Indicar de manera categórica, breve y precisa los aportes concretos al conocimiento apoyados por los resultados demostrables y comprobables del trabajo, no de investigaciones ajenas. Ninguna conclusión debe argumentarse ni basarse en suposiciones. No enumerar las conclusiones ni emplear abreviaturas, sino términos completos, de manera que el lector no tenga que recurrir a otras partes del texto para entenderlas. Debe haber congruencia con la información que se presente en el resumen.

Referencias bibliográficas. Esta sección está formada por la lista en orden alfabético y cronológico de todas las referencias citadas en el texto. Las referencias deben tener la información completa y presentarse según las normas **APA (American Psychological Association)** última edición.

Las referencias bibliográficas deben contener la siguiente información:

DOCUMENTOS IMPRESOS Autor: apellido(s) e inicial(es) del o los nombres). /año de publicación (entre paréntesis). / título del trabajo y subtítulo, si hay, separados por dos puntos (en itálicas). /edición: a partir de la segunda edición, se abrevia con (ed.) (minúsculas y va entre paréntesis). /lugar de publicación. /editorial.

LIBROS: Apellido(s), inicial(es) del nombre(s). (año de publicación). *Título del libro:* Subtítulo (número de edición a partir de la segunda). Editorial.

Dutta, D., Lukose, L. Samanta, S. (2020). *Aplicación de la teledetección hiperespectral en estudios de cultivos y suelos*. Académica Española.

Montané de la Vega, R. (2015). *Ecología y conservación ambiental* (2a ed). TRILLAS.

CAPÍTULO DE LIBRO: Apellido(s), inicial(es) del nombre(s) del autor del capítulo. (año de publicación). Título del capítulo. En iniciales del nombre(s), seguido de los apellidos del editor, *Título del libro* (en cursiva) (páginas del capítulo). Nombre de la primera editorial; nombre de la segunda editorial.

Carrier, J., Fouré, E., Gauhl, F., Jones, D. R., Lepoivre, P., Mourichon, X., Pasberggauh, C. & Romero, R. A. (2000). Black leaf streak. En D. R. Jones (Ed.), *Diseases of Banana, Abacá and Enset* (pp. 37-79). CAB International.

Salazar, C. D. y Munguía, H. R. (2010). Estrategias para la elaboración e implementación de la curricula del diplomado en sistemas de calidad en la producción de café con

responsabilidad ambiental, social y empresarial. En F. Alemán, H. Medrano, A. Norgren, A. Reyes y S. Scheinberg (Eds.). *Innovaciones en las universidades nicaragüenses: casos exitosos* (pp 163-171). Consejo Nacional de Universidades; Universidad Nacional Agraria.

TESIS: Apellido, A., y Apellido, A. (Año). *Título de la tesis* [Tesis de Ingeniería, Licenciatura, maestría o doctoral]. Nombre de la institución.

Reynosa Correa, C. M. y Díaz Mena, F. M. (2016). *Estado de los suelos y capacidad de uso de la tierra en la finca El Cacao, La Fonseca – Kukra Hill* [Tesis de Ingeniería]. Universidad Nacional Agraria.

PUBLICACIONES PERIÓDICAS: Apellido(s) e inicial(es) del nombre(s) del o los autores. /fecha de publicación. /título del artículo. /título de la revista. /volumen. /número si es una revista de paginación separada. /páginas, si es un periódico o revista ilustrada que trata temas variados se utiliza p. o pp. antes del número o números de la página. Si se trata de una revista, únicamente se indica los números de página sin poner p. o pp.

ARTÍCULO DE REVISTA CIENTÍFICA: Apellido(s), Inicial(es) del nombre(s). (año). Título del Artículo. *Nombre de la Revista, Vol* (No.), página inicial - página final del artículo.

Larios-González, R. C., Salmerón-Miranda, F. y García-Centeno, L. (2014). Fertilidad del suelo con prácticas agroecológicas y manejo convencional en el cultivo de café. *La Calera*, 14(23), 67-75.

Liebman, M., Corson, S., Rowe, R. J. y Halteman, W. A. (1995). Dry bean responses to nitrogen fertilizer in two tillage and residue management systems. *Agronomy Journal*, (87), 538-546.

DOCUMENTOS ELECTRÓNICOS

LIBRO ELECTRÓNICO: Apellido(s), inicial(es) del nombre(es) del autor. (Año de publicación). *Título del libro en cursiva*. Editorial. URL

Jiménez-Martínez, E. y Rodríguez, O. (2014). *Insectos plagas de cultivos en Nicaragua*. Universidad Nacional Agraria. <https://repositorio.una.edu.ni/2700/1/NH10J61ip.pdf>

ARTÍCULO DE PUBLICACIÓN PERIÓDICA CON DOI: Apellido(s), inicial(es) del nombre(es). (Año de publicación). Título del artículo de la revista. *Nombre de la revista. Vol.* (No.), página inicial - página final del artículo. DOI

GUÍA PARA COLABORADORES

Treminio Corea, M. L., Mendoza Corrales, R. B. y Garmendia Zapata, M. A. (2023). Erodabilidad en suelos Andisoles, Mollisoles y Vertisoles de la región del Pacífico de Nicaragua. *La Calera*, 23(41), 99-104. <https://doi.org/10.5377/calera.v23i41.16678>

ARTÍCULO DE REVISTA EN LÍNEA: Apellido(s), inicial(es) nombre(s). (año). Título del artículo. *Nombre de la Revista*, Vol.(No.), página inicial - página final del artículo. URL

Escorcía, J. C., Arauz Espinoza, J. L., Sánchez Gómez, I. E. y Lanuza Rodríguez, E. H. (2023). Identificación fenotípica de mecanismo de resistencia de las bacterias *Burkholderia gladiolii* y *Burkholderia plantarii* y sensibilidad in vitro a bactericidas de uso agrícola. *La Calera*, 23(41), 84-90. <https://lacialera.una.edu.ni/index.php/CALERA/article/view/538>

TESIS DE UNA BASE DE DATOS INSTITUCIONAL (REPOSITORIO INSTITUCIONAL): Apellido(s), inicial(es) nombre(s). (año). *Título de la tesis* [Tesis de ingeniería, licenciatura, maestría o doctoral, nombre de la institución que otorga el título]. Repositorio Institucional. URL

Galeano Calderón, J. R. y Gámez Martínez, M. (2023). *Planificación estratégica para el fortalecimiento del turismo rural en el Centro Turístico Rancho Vuelo del Águila, Jalapa-Nueva Segovia, 2022* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/4659/1/tne20g152.pdf>

SITIO O PAGINA WEB: Autor, A. (año, mes día). *Título del documento en cursiva*. Nombre del sitio. <http://xxxxxxxxx>

Normas APA. (2019, septiembre 26). *Formato de documento con normas APA*. <http://normasapa.com/formato-apa-presentacion-trabajos-escritos>

SOFTWARE: Apellido(s), inicial(es) del nombre(s). (Nombre del grupo). (año). *Título de la obra* (versión) [software de computador]. Fabricante. URL

SAS Institute. (2003). *Statistical Analysis System* (versión 9.1) [software]. <https://www.sas.com/>

LEYES: Organismo que decreta la norma. (Año, día de mes). Denominación numerada. Nombre completo de la norma. Publicación donde se aloja. URL

Asamblea Nacional de Nicaragua. (2013, 8 de marzo). Ley N° 835. Ley de Turismo Rural Sostenible de la República de Nicaragua. Diario Oficial No. 184. <https://rb.gy/bvjhfl>

COMUNICACIONES PERSONALES: Debido a que las mismas no proporcionan datos recuperables, las comunicaciones personales no se incluyen en la lista de referencias. Cite solo en el texto (donde corresponda) y proporcione: las iniciales y el apellido del emisor, así como una fecha exacta como sea posible.

Iniciales nombre(s). Apellido del emisor (comunicación personal, día de mes, año).

R. C. Larios-González (comunicación personal, 25 de marzo, 2023) declaró que su...
(A. N. Ortiz-Aragón, comunicación personal, 28 de septiembre, 2022).

Citas en el texto. La cita bibliográfica textual se anota utilizando el apellido del autor, la fecha de publicación y la página citada entre paréntesis, por ejemplo, (Bendaña, 1998, p. 7). Cuando la cita es indirecta (se menciona la idea del autor, pero no se cita textualmente), no se coloca la página de la referencia. Cuando hay más de dos autores se escribe el apellido del primer autor seguido de et al (Puga-Torres *et al.*, 2023). Los artículos del mismo autor se citan cronológicamente (González, 2022 y 2023). Artículos del mismo autor publicados el mismo año se citan alfabéticamente (García, 2022 a y b).

Para profundizar acerca de la forma correcta de citar y referenciar a través de la utilización de las normas APA, se sugiere consultar: <https://normas-apa.org/wp-content/uploads/Guia-Normas-APA-7ma-edicion.pdf>

Agradecimientos. Esta sección se incluirá en caso de que se desee dar reconocimiento a personas o instituciones que asesoraron o auxiliaron la investigación; indicando el nombre de la institución donde laboran, así como la forma y medida en que se haya dado la colaboración.

Anexos (cuando sea necesario). Pueden presentarse cuadros, gráficos, dibujos, fotos etc., las cuales serán opcionales y quedará al criterio del comité editorial tomarlas en cuenta a la hora de la publicación, sobre todo cuando éstas estén bien explícitas, claras y bien fundamentadas.

Otros. Los encabezados o títulos de primer orden (MATERIALES Y MÉTODOS, RESULTADOS Y DISCUSIÓN, etc.), se escriben con letra mayúscula, centrados y en negrita; los de segundo orden se escriben en letra minúscula, utilizando la condición de negrita, punto y seguido y a continuación el contenido al que se hace referencia. No se debe enunciar el encabezado INTRODUCCIÓN ya que ésta sección marca el inicio del artículo.

Contenido

CIENCIA ANIMAL

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE CERDOS ALIMENTADOS CON SUPLEMENTO FERMENTADO EN ESTADO SÓLIDO A BASE DE *Saccharum officinarum* L. Y *Moringa oleifera* Lam. Wendell Antonio Mejía Tinoco, Nadir Reyes-Sánchez, Bryan Gustavo Mendieta-Araica.

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

MODELO PREDICTIVO DEL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL COMO ESTRATEGIA DE MONITOREO DE OBRAS DE COSECHA DE AGUA: MICROCUENCA EL VARILLAL, SAN LUCAS, MADRIZ, NICARAGUA. Orlando Ismael Rodríguez Rodríguez, Cledys Liseth Zelaya Lanzas, Mariann José Espinoza Acuña.

CARBONO AZUL ALMACENADO EN LOS BOSQUES DE MANGLAR DEL PACÍFICO NORTE DE NICARAGUA. Oscar González-Quiroz, Manuel Vanegas, Eugenia Cerda, Melvín Lezama, Claudia Dolmus, Issamar Quiroz, María Paz, Carlos Solís, Eleazar Blanco, Marling Pérez.

CURVAS DE INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA DERIVADA DE LLUVIA MÁXIMA DIARIA A PARTIR DE DATOS DE SEIS ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN NICARAGUA. Miguel Enrique Blanco Chávez.

CIENCIA DE LAS PLANTAS

IDENTIFICACIÓN DE BACTERIAS FITOPATÓGENAS Y SU RELACIÓN CON LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE MAÍZ. Samuel Ezequiel Bustos-Meza, Isaías Ezequiel Sánchez Gómez, Eliézer Hazael Lanuza Rodríguez, Roger Iván Moreira Centeno.

BIOMASA AÉREA Y EDADES DE CORTE DE MORINGA EN BANCOS DE PROTEÍNA EN DOS LOCALIDADES DE MONAGAS, VENEZUELA. Javier Gómez-Martínez, Guillermo Romero-Marcano, Liseth Cárdenas-Ramírez, Ramón Silva-Acuña

DISPONIBILIDAD DE BIOMASA Y CONTENIDO DE PROTEÍNA CRUDA DE CUATRO ESPECIES DE PASTO ASOCIADAS CON *Leucaena leucocephala* CULTIVAR CUNNINGHAM EN SISTEMA DE PASTURAS EN CALLEJONES. Álvaro José González Martínez, Erick Alexander Gutiérrez Rosales.

ALTERNATIVAS BIOLÓGICAS Y BOTÁNICAS PARA EL MANEJO DE *Spodoptera frugiperda* (J.E. SMITH) EN EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.). Juan Carlos Morán Centeno, Aner Rober Velázquez Rivera.

CRECIMIENTO DE ESQUEJES DE LANTANA (*Lantana camara* L.) EN RESPUESTA A LA INTENSIDAD DE LUZ, UN FITORREGULADOR Y UN RETARDANTE DE LA MADURACIÓN. Roger Antonio Castro Castro, Marbell Danilo Aguilar Maradiaga.

AGROINDUSTRIA

LACTOSUERO, ESTABILIZANTES COMERCIALES Y FÉCULA DE MAÍZ EN LA PRODUCCIÓN DE HELADOS ARTESANALES. María Nelly Salazar Cerda, Jorge Antonio Gómez Martínez, Steven Paul Tablada Dávila, Robin Trinidad Flores Reyes, Roberto Carlos Larios González, Donald Alonso Juárez Gámez.



ISSN 1998-7846



www.una.edu.ni
Dirección Académica