



CIENCIA Y TECNOLOGÍA



UTEQ

ISSN:1390 - 4051

e-ISSN:1390 - 4043

Vol. 17, Núm. 2 | Julio 2024

Índice de contenido

Eficiencia técnica del cultivo de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L) en el sur de Córdoba, Colombia <i>Technical efficiency of cacao (Theobroma cacao L) cultivation in the south of Córdoba, Colombia.....</i>	1
Estudio etnobotánico de plantas medicinales del Humedal Abras de Mantequilla y su área de influencia cantón Vines <i>Ethnobotanical study of medicinal plants from the Abras de Mantequilla Wetland and its area of influence, Vines canton.....</i>	9
Mejoramiento de caracteres de importancia agronómica en melón criollo (<i>Cucumis melo</i> L.) variedad dudaim mediante selección y recombinación <i>Improvement of agronomically important characteristics in criollo melon (Cucumis melo L.) dudaim variety by selection and recombining</i>	18
Tolerancia <i>in-vitro</i> de <i>Lasiodyplodia theobromae</i> aislado de <i>Musa paradisiaca</i> y <i>Rubus niveus</i> a cinco fungicidas de diferente modo de acción <i>In-vitro tolerance of Lasiodyplodia theobromae isolated from Musa paradisiaca and Rubus niveus to five fungicides of different mode of action.....</i>	28
Áreas verdes y arbolado urbano existente en el cantón Sucre, Manabí, Ecuador <i>Green areas and existing urban trees in Sucre canton, Manabí, Ecuador</i>	40
Percepción remota en las cuencas hidrográficas de Portoviejo - Chone para el estudio de la deforestación <i>Remote sensing in the Portoviejo - Chone watersheds for the study of deforestation.....</i>	47
Residuos orgánicos en la reproducción de <i>Eisenia foetida</i> L y en calidad de lombricompost <i>Organic residues in Eisenia foetida L reproduction and as lombricompost.....</i>	55
Comparación de producción de compost con diferentes formulaciones de residuos de origen vegetal y pecuario <i>Comparison of compost production with different formulations of vegetable and livestock wastes.</i>	64
Técnicas más utilizadas para conservación de productos pesqueros de la amazonia ecuatoriana <i>Techniques most used for the preservation of fishery products from the ecuadorian amazon.....</i>	73
Efecto de la pasteurización y calentamiento óhmico en la detección de deoxinivalenol en mosto base de cerveza artesanal <i>Effect of pasteurization and ohmic heating on the detection of deoxynivalenol in craft beer wort base</i>	80

Eficiencia técnica del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L) en el sur de Córdoba, Colombia

Technical efficiency of cacao (*Theobroma cacao* L) cultivation in the south of Córdoba, Colombia

Antonio María Martínez Reina¹, Lilibet Tordecilla Zumaqué¹, Liliana María Grandett Martínez¹, Maria del Valle Rodriguez Pinto¹, Abelardo Díaz Cabadiá², Henry Andrés Ballesteros Leal³

¹Investigador asociado Agrosavia, Colombia.

²Asistente de investigación Agrosavia, Colombia.

³Coordinador de innovación Agrosavia, Colombia.

Autor de correspondencia: amartinezr@agrosavia.co

Recibido: 04/08/2023. Aceptado: 27/05/2024

Publicado el 11 de julio de 2024

Resumen

La región del sur del departamento de Córdoba, Colombia, en los últimos diez años ha presentado un crecimiento en el cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.) como alternativa de sustitución de cultivos ilícitos y de mejoras en la calidad de vida de las familias que han atravesado el conflicto armado. El sistema de producción ha mostrado potencialidad dado sus rendimientos que superan al promedio nacional; sin embargo, no se evidencia la presencia de un estudio que indague acerca de la eficiencia en la asignación o inversión de recursos. Este trabajo tuvo como objetivo determinar la eficiencia técnica de este cultivo con información obtenida de una encuesta estructurada y aplicada a 158 cacaoteros de los municipios de Puerto Libertador, Montelíbano, Tierralta y Valencia. La información obtenida contenía variables técnicas y socioeconómicas que permitieron calcular el estado actual de la eficiencia técnica del cultivo del cacao para esta región del país. La técnica que se usó fue la de frontera estocástica a través de la estimación de parámetros por el método de mínimos cuadrados a una función de producción tipo Cobb Douglas. A pesar de que los rendimientos no son bajos, los resultados muestran que el agricultor presenta una eficiencia técnica del 39%, lo cual se atribuye a la subutilización de factores y ocasiona una brecha en la producción. Se concluye que esta ineficiencia también está asociada a factores sociales como edad avanzada de los agricultores y los bajos niveles de escolaridad principalmente.

Palabras clave: economía de escala, factores de producción, productividad, retornos económicos, tecnología, rendimientos físicos.

Abstract

The southern region of the department of Córdoba, Colombia, in the last ten years has shown growth in the cultivation of cocoa (*Theobroma cacao* L.) as an alternative to replace illicit crops and improve the quality of life of the families that They have gone through armed conflict. The production system has shown potential given its yields that exceed the national average; However, there is no evidence of the presence of a study that investigates the efficiency in the allocation or investment of resources. The objective of the work was to determine the technical efficiency of this crop with information obtained from a structured survey applied to 158 cocoa farmers in the municipalities of Puerto Libertador, Montelíbano, Tierralta and Valencia. The information obtained contained technical and socioeconomic variables that allowed calculating the current state of the technical efficiency of cocoa cultivation for this region of the country. The technique used was the stochastic frontier through the estimation of parameters by the least squares method to a Cobb Douglas type production function. Although the yields are not low, the results show that the farmer has a technical efficiency of 39%, attributed to underutilization of resources resulting in a production gap. It is concluded that this inefficiency is also associated with social factors such as the advanced age of farmers and low levels of schooling, mainly.

Keywords: economy of scale, factors of production, productivity, economic returns, technology, physical performance.

Introducción

El cultivo del cacao ha formado parte de la oferta agrícola desde épocas prehispánicas, con el paso de los años ha tenido periodos de crisis y recuperación (Acuña, 2007). En Colombia dada a su fácil adaptación a diferentes ambientes y la estabilidad de los precios han permitido una expansión del cultivo sobre todo para programas de sustitución de cultivos ilícitos en zonas de conflicto (Ramírez *et al.*, 2019). El cultivo de cacao se perfila como una alternativa de producción con posibilidades de crecimiento, especialmente en regiones de conflicto social (Abbott *et al.*, 2018; Cely, 2017; Sierra, 2016).

El cacao en Colombia se cultiva en 28 de los 32 departamentos que existen en el país, en más de un 80% se hace en pequeñas unidades en el modelo productivo de agricultura familiar Acevedo *et al.*, (2018). Se estima que alrededor de 25000 familias participan en forma directa del cultivo (Flórez *et al.*, 2018, p. 435). Según cifras de Agronet, el cultivo del cacao tuvo un crecimiento importante en el periodo 2015 - 2021. El área cultivada aumentó un 17,8%, la producción creció un 12,7% y los rendimientos presentaron también un incremento del 6,9% en ese periodo (Agronet, 2023).

La situación del departamento de Córdoba no es diferente si se tiene en cuenta que para el año 2021 la participación en área cultivada fue de 8,7% con relación a las áreas cultivadas en el país, 9,1% de la producción nacional y los rendimientos promedio son menores en 20 kg ha⁻¹ con relación al promedio nacional los cuales son de 440 kg ha⁻¹ (Federación Nacional de Cacaoteros [FEDECACAO], 2021).

Dado este panorama favorable de crecimiento y expansión del cultivo surge la pregunta sobre la eficiencia en la asignación de factores de producción. La eficiencia técnica consiste en comparar el desempeño que obtienen los agricultores con lo que sería el ideal usando insumos y tecnologías aplicadas en el proceso de producción (Bempomaa y Acquah, 2014). El análisis de las ganancias de eficiencia garantiza la producción sostenible e identifica los factores con los coeficientes técnicos más alejados de la producción potencial.

Diferentes estudios abordan la eficiencia en la producción agrícola, los primeros análisis de la eficiencia técnica en agricultura aparecen en los trabajos de Farrell (1957), resalta el planteamiento de que la eficiencia técnica se alcanza con una buena combinación de los recursos como fertilizantes y agroquímicos, garantizando mayores rendimientos físicos, cabe mencionar que la subutilización de estos lleva a la ineficiencia que se manifiesta por menor rendimiento por unidad de área cultivada.

De los Ríos (2006) replicó este mismo enfoque en el caso del algodón en el Perú y usó la técnica de fronteras estocásticas que no es más que la formalización de la frontera de posibilidades de producción neoclásica aplicada a la agricultura. Para el caso colombiano se referencian los trabajos de Perdomo y Hueth (2011), en el cultivo del café en las unidades productivas de los departamentos de Caldas,

Quindío y Risaralda quienes también usaron la técnica de frontera estocástica.

Recientemente Martínez-Reina *et al.* (2021) en el caso del cultivo del ñame en la Región Caribe de Colombia usó la técnica de frontera estocástica y una función de producción tipo Cobb Douglas llegando a calcular la brecha tecnológica, concluye que a pesar de que el agricultor es racional al asignar recursos, los promedios de rendimientos están por debajo del 50% del potencial productivo.

Además, se encontraron trabajos acerca de la medición de la eficiencia técnica como el caso de Colque (2019) para la cebolla en el Perú, Márquez *et al.* (2015) para el caso del análisis de la eficiencia de la producción de frijol en el estado Portuguesa en Venezuela, en este caso usaron el método de Análisis Envolvente de Datos (DEA), por sus siglas en inglés, también se han considerado referentes para este estudio.

Después de revisar la literatura, no se encontró evidencia de un estudio sobre la medición de la eficiencia técnica en el cultivo del cacao, especialmente para Colombia y mucho menos para la región del Sur de Córdoba. Sin embargo, se identificó un trabajo realizado por Castillo *et al.* (2020) en Nicaragua, donde se analizó el sistema de producción de cacao. En este estudio, se encontró que la eficiencia técnica promedio fue del 90,08%. Aunque este valor está por debajo de la frontera de posibilidades de producción, los autores reconocen que puede mejorarse mediante la implementación de innovaciones tecnológicas.

Otro estudio relevante sobre la eficiencia en el sistema de producción de cacao se llevó a cabo en Malasia, según lo reportado por Fadzim *et al.* (2016). Este estudio contó con una muestra de 375 pequeños agricultores y utilizó el método de frontera estocástica con estimaciones Tobit. Los resultados del estudio indicaron que la eficiencia se ve afectada por varios factores, como la falta de registros de producción, el bajo nivel de conocimientos de los agricultores y la dedicación a las labores del cultivo. Estos aspectos resultan críticos para mejorar la eficiencia en el cultivo del cacao.

Yahaya *et al.* (2015) llevaron a cabo un estudio para evaluar la eficiencia en la producción de cacao en Ghana. Además de calcular los coeficientes técnicos, también determinaron indicadores de retorno económico. Los datos se recopilaron a través de una encuesta aplicada a 80 agricultores. Mediante la estimación de parámetros utilizando el método de mínimos cuadrados ordinarios, los resultados revelaron que los costos fueron inferiores a los ingresos. Por lo tanto, concluyeron que el sistema de producción era rentable. Además, identificaron variables como el tamaño de la finca, la edad del agricultor y su experiencia en el cultivo, que podrían influir en la eficiencia y contribuir a bajos rendimientos.

Para el caso de Camerún, Nicodeme *et al.* (2017) realizaron un estudio con el objetivo de analizar la asignación de recursos y su uso en el sistema de producción de cacao. Mediante el empleo de funciones de producción tipo Cobb Douglas, estimaron que los rendimientos eran de 643 kg ha⁻¹

y que la eficiencia técnica oscila entre 10% y 100%, con una media de 43,7%. Esto implica irracionalidad en el empleo de los recursos. Desde el punto de vista socioeconómico, determinaron que variables como el tamaño del hogar, el acceso al crédito y la asociatividad pueden coadyuvar a mejorar los retornos en el sistema productivo.

Dado que no se encontraron estudios sobre la eficiencia del sistema de producción de cacao para Colombia y mucho menos para la región del sur de Córdoba, este trabajo tiene como objetivo realizar el análisis de la eficiencia de este cultivo con el uso de la técnica de frontera estocástica.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el sur del departamento de Córdoba – Colombia durante el primer semestre del año 2023, específicamente en la zona de influencia de los municipios de Valencia (8°16'1"N y 76° 07'59"O), Tierralta (8°10'22"N 76°07'34"O), Montelíbano (7° 58'16" N, 75° 25'05"O) y Puerto Libertador, 7° 53' 21" N , 75° 40' 20" O); temperatura de 23 °C a 32 °C y una humedad relativa de 75% (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2022). Se obtuvo información a través, de una encuesta estructurada aplicada a 158 agricultores seleccionados por muestreo aleatorio simple donde se aplicó la siguiente formula (Rodríguez, 2005):

$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{[(e^2 * (N - 1)) + Z^2 * p * q]} \quad (1)$$

Donde:

N: Población total número de unidades productivas 820 o fincas que cultivan cacao.

Z: Correspondiente al nivel de confianza elegido en este caso el 95 por ciento con un valor de 1,96.

p: proporción de los productores con unidades productivas mayores de 5 hectáreas 40%, 328 agricultores en total.

q: Diferencia entre el total de la población y la proporción de pequeños productores de cacao. 60% 1 - P. 492 agricultores en total.

e: Error máximo de muestreo permitido el 5% dado a lo grande que resultaba la muestra se usó este porcentaje 10%.

El resultado obtenido de la ecuación previamente indicada fue el número de agricultores a encuestar, siendo n =158 en total para el sistema de producción de cacao en el sur del departamento de Córdoba.

Se usó el método de frontera estocástica que permite a través de la técnica estadística de la estimación determinar la frontera de posibilidades de producción y establecer los límites o rango de la eficiencia o ineficiencia de la producción a través de la formulación de una función de producción tipo Cobb Douglas.

Se trata de recrear y formalizar la teoría neoclásica de la producción con dos o más insumos variables en un modelo tipo Cobb Douglas (Tomas *et al.*, 2005; Colque, 2019). La hipótesis subyace en que el agricultor actúa racionalmente y trata de aprovechar al máximo los recursos que dispone para la producción, y en este caso, será más eficiente en la medida que obtenga mayores rendimientos en la unidad productiva, y que utilice menor cantidad de insumos. Del propósito es corroborar de forma empírica si los productores al momento de realizar sus actividades hacen uso racional de los recursos que disponen (De los Ríos, 2006).

La metodología propuesta sigue una secuencia de pasos en los que el resultado de una etapa se utiliza como entrada para la siguiente. En primer lugar, se identifican y definen las variables que conforman el modelo. Después, se lleva a cabo un análisis exhaustivo de la coherencia y calidad de los datos. Una vez completada esta fase, se procede a formular un modelo teórico basado en la teoría neoclásica de la función de producción Cobb-Douglas. Posteriormente, se desarrolla un modelo matemático y se utilizan técnicas de Mínimos Cuadrados Ordinarios para estimar los parámetros. Por último, se interpretan los resultados obtenidos, lo que permite extraer las conclusiones. La forma general de esta ecuación es:

$$Y = F(k, L) = Ak^\alpha l^\beta \quad (2)$$

Donde:

Y = Rendimiento de cacao kg ha⁻¹ expresada en unidades físicas kilogramos kg.

K = Factor capital

L = Trabajo

α = Cambio en Y cuando cambia el factor capital

β = Cambio en Y cuando cambia el factor trabajo

En forma general los símbolos α y β representan las elasticidades (Cobb, 1928); es decir, el cambio que experimenta la producción física de cacao en grano seco por un cambio en una unidad del factor trabajo y del factor capital. Cuando este valor es mayor que 1 se presentan rendimientos a escala creciente.

Para la estimación de los parámetros, se empleó el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), siguiendo el enfoque propuesto por Toro *et al.* (2010), que consiste en la linealización de la función original mediante el uso de logaritmos naturales. En otras palabras, los datos originales fueron transformados utilizando el logaritmo natural. La ecuación propuesta para este propósito fue la siguiente:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \ln x_1 + \beta_2 \ln x_2 + \beta_3 \ln x_3 + \varepsilon_1 \quad (3)$$

Dónde:

ln = logaritmo natural

y = Rendimiento de kg de cacao por hectárea

X_1 = Fertilizante en kg ha⁻¹

X_2 = Mano de obra jornales por ha

X_3 = Área total de la finca en hectáreas

β_s = Parámetros para estimar (coeficientes de regresión)

ε_1 = Término de perturbación que considera V_i variables incluidas en el modelo de determinación de la eficiencia y U_i variables que pueden incidir en la eficiencia técnica pero no fueron incluidas en el modelo.

Para el caso de la ineficiencia que no es más que la imposibilidad de obtener una producción real cercana o igual a la producción potencial, la cual se ve influenciada por algunas variables socioeconómicas que inhiben las posibilidades de una mejor asignación de recursos y se consideraron los factores que afectan en forma negativa la eficiencia de la producción de cacao y tienen que ver más con las características socioeconómicas como edad, escolaridad y experiencia de los agricultores. Para esto, se planteó la siguiente ecuación propuesta por Farrell (1957)

$$y = \alpha_0 + \alpha_1 \ln x_1 + \alpha_2 \ln x_2 + \alpha_3 \ln x_3 + \alpha_4 \ln x_4 + \varepsilon_1 \quad (4)$$

Donde:

y = ineficiencia técnica

α_1 = Experiencia en el cultivo (años)

α_2 = Edad del agricultor (años)

α_3 = Escolaridad

α_4 = Beneficiario de proyectos de fomento

ε_1 = Término de error

$\alpha_0 - \alpha_3$ = Parámetros a estimar

Para estimar los parámetros se usó el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios en el programa econométrico Eviews 8. El insumo para este trabajo correspondió a los datos organizados en archivos planos de las encuestas realizadas a los 158 agricultores de Cacao.

La relación entre la producción real obtenida y la producción potencial nos brindó la medida de la eficiencia técnica, que básicamente refleja la capacidad de aprovechamiento de recursos en el proceso productivo. Cuando se subutiliza un factor de producción, la producción real se distancia de su potencial, generando brechas tecnológicas. Para calcular esta eficiencia, nos basamos en una adaptación de la fórmula

propuesta por Samuelson (2010), que se detalla a continuación:

$$ET = \frac{\text{Produccion Real}}{\text{Produccion Potencial}} \quad (5)$$

Con los cálculos realizados y la estimación de los parámetros de la estimación de las variables se determinó la producción potencial y se comparó con la producción real.

Resultados y discusión

Características socioeconómicas de los encuestados

Dentro de las características de la muestra sobre la cual se determinó la eficiencia técnica del sistema de producción de Cacao, para la región del sur de Córdoba se determinó la edad promedio de los agricultores, de 57 años. Las unidades productivas tienen un tamaño promedio de 1,5 ha, el 53% de los entrevistados solo cursó la primaria, predomina el género masculino con el 77% de la muestra encuestada. La forma de tenencia de la tierra que más predomina es la propiedad bajo sana posesión en un 70,3% de la muestra encuestada. El 86% de los encuestados manifiestan pertenecer a alguna organización.

Una característica similar fue encontrada en los trabajos de Sobalbarro-Figueroa *et al.* (2020) y Quimi *et al.* (2020), para el caso de Honduras y Ecuador respectivamente. Con respecto a la edad promedio fue mayor a 50 años. El nivel de escolaridad en su mayoría primaria. La tenencia de la tierra propia y unidades productivas en promedio menores de dos. Para el caso de Nicaragua Castillo *et al.* (2020) informaron que el tamaño de las fincas es similar al caso del sur de Córdoba, con unidades productivas donde el 74,8% son de una hectárea, considerados pequeños productores.

La estimación de los parámetros por el método de mínimos cuadrados se presenta en la Tabla 1.

Los resultados de la estimación (Tabla 1) permiten inferir que la función de producción es ineficiente, ya que genera rendimientos a escala decreciente. El resultado obtenido podría deberse a la subutilización de algunos recursos, especialmente la tierra o área cultivada. Es decir, con la misma cantidad de tierra se podrían alcanzar mayores rendimientos a los que actualmente se obtienen.

Tabla 1. Resultados de la regresión del modelo Cobb Douglas para el caso de la eficiencia técnica del Cacao en el sur Córdoba Colombia 2023

Variable	Coficiente	Error estándar	t- estadístico	Probabilidad
C	4,797629	1,459272	3,287687	0,0013
LN FERT	0,025640	0,186232	0,137677	0,8907
LN MDO	0,104855	0,102355	1,024.427	0,3072
LN ATOTAL	-0,090838	0,050591	-1,795.543	0,0745

C= intercepto. LN FERT= Fertilizante. LN MDO=Mano de obra. LN ATOTAL=área total en hectáreas

En el modelo formulado para el cacao en la región sur de Córdoba, el fertilizante presenta un coeficiente de 0,025640 con signo positivo. Esto indica una respuesta positiva en los rendimientos debido al uso de este insumo. En particular, un aumento de un kilo de fertilizante podría incrementar los rendimientos en 2,5%. Por lo tanto, es posible racionalizar aún más el empleo de este recurso, quizás debido a la falta de planes de fertilización basados en análisis de suelos. Comparado con los resultados de Castillo *et al.* (2020) para el caso de la producción de cacao en Nicaragua se encontró un valor del parámetro de 0,015 positivo lo que indica la relación directa entre el uso del fertilizante con los rendimientos.

La mano de obra, con un valor del parámetro de 0,1048 con signo positivo, indica que se puede aumentar el uso de este insumo y que, un aumento de una unidad de mano de obra puede entenderse como de un jornal adicional, traería consigo aumentos del 10% en los rendimientos. Tal vez se puede interpretar como si se tratara de realizar labores que adicionales necesarias para el cultivo como las podas o el control manual de malezas. Este resultado tiene similitudes con los obtenidos por Castillo *et al.* (2020) para Nicaragua, donde obtuvo un valor de 0,346 también con signo positivo, que muestra la relación directa de la mano de obra con los rendimientos.

Con respecto al área cultivada, un valor del parámetro de -0,090838, con signo negativo, sugiere que, en una misma unidad de tierra, por ejemplo, una hectárea, los rendimientos de cacao podrían aumentar si se emplean adecuadamente otros insumos como la mano de obra o el fertilizante. En otras palabras, se indica que es posible lograr mayores rendimientos en una misma área de tierra si se hace un uso racional de los demás insumos. Resultados similares fueron observados por Castillo *et al.* (2020), quienes reportaron un valor del parámetro de -0,057. Este hallazgo señala una relación inversa entre el aumento del área cultivada y los rendimientos, lo que sugiere que este podría ser un factor contribuyente a la presencia de rendimientos a escala decreciente.

De la anterior interpretación se puede inferir que en el caso del sistema de producción de cacao se está subutilizando el factor tierra ya que, con una misma cantidad de tierra, como una hectárea, podrían obtenerse mayores rendimientos de cacao. Además, se observan rendimientos a escala decreciente, con un valor de 0,171, lo que sugiere que los insumos no están contribuyendo al máximo potencial productivo. Esta discrepancia entre los rendimientos reales y potenciales genera una brecha de producción.

La eficiencia en el sistema de producción de cacao en el sur de Córdoba se determinó a partir de la relación entre la producción real y la producción potencial, resultando en un índice de 0,39, lo que equivale al 39%, con rendimientos de 573 kg ha⁻¹. La producción potencial se estimó en 1 470 kg/ha, lo que indica una brecha de producción, como se ilustra en la Figura 1. Esto sugiere que aún hay margen para aumentar los rendimientos si se mejora la gestión de los recursos

disponibles.

En la Figura 1 se indica que para llegar a la eficiencia en la producción se requiere que este valor sea igual a 1. Con un rendimiento de 0,573 t ha⁻¹, la eficiencia es de 0,39, lo cual indica que le falta 0,987 t ha⁻¹ para alcanzar la eficiencia que corresponde a un rendimiento de 1,47 t ha⁻¹ generado una brecha de producción de 0,46 t ha⁻¹. Así las cosas, con los rendimientos reales, esta eficiencia no puede ser alcanzada, por factores como la subutilización del factor tierra principalmente.

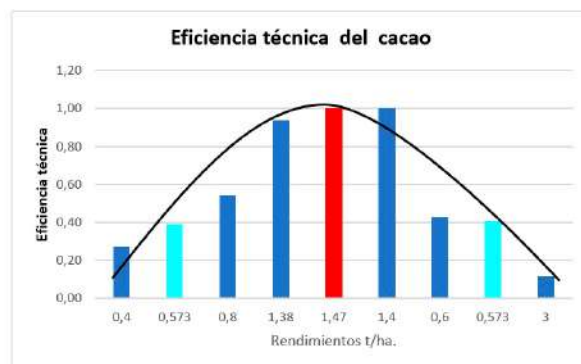


Figura 1. Análisis de la eficiencia técnica en el cultivo del cacao en la región del sur de Córdoba

Los resultados obtenidos para la región del sur de Córdoba, y los de otros trabajos acerca de la eficiencia del sistema de producción de cacao en Camerún (Tabi *et al.*, 2017), reportaron una eficiencia de 43,7%. Significa que se hubiera producido un 56,3% más si se hubieran utilizado adecuadamente los insumos. Para Nicaragua, Castillo *et al.* (2020) reportaron una eficiencia de 90,08%; para Malasia, Fadzim *et al.* (2016) encontraron una eficiencia del 52%; y para Ghana (Onumah *et al.*, 2013) hallaron una eficiencia de 85%. Lo anterior permite apreciar que la menor eficiencia la presenta la producción de cacao en la región del sur de Córdoba en condiciones socioeconómicas similares a las regiones con las que se compararon.

Determinantes de la ineficiencia técnica

Para el análisis de la ineficiencia del cultivo del cacao se tuvo en cuenta las variables o características socioeconómicas de los productores, para lo cual con los datos de la encuesta se formuló el modelo econométrico y se realizó la estimación de los parámetros, los cuales se presentan en la Tabla 2. Se aclara que en este análisis se trata de identificar las variables que frenan o impiden que el sistema de producción sea eficiente por lo que se recomienda tener cuidado con los signos de los parámetros de la estimación así: un coeficiente con signo positivo indica que la variable tiene un efecto negativo sobre la eficiencia y el signo negativo en el parámetro indica que la variable influye positivamente sobre la eficiencia de la producción.

Tabla 2. Resultados de la regresión para medir la ineficiencia del sistema de producción de cacao en el sur de Córdoba Colombia 2023

Variable	Coefficiente	Error estándar	t-estadístico	Probabilidad
C	5,556,339	0,817379	6,797,749	0,0000
LNEXP	0,262968	0,132740	1,981,084	0,0494
LNEDAD	0,053244	0,204241	0,260694	0,7947
LNESCOLARIDAD	0,081056	0,118002	0,686903	0,4932
LNBPY	-0,089091	0,177759	-0,501191	0,6170

C= intercepto. LNEXP= Experiencia en el cultivo. LNEDAD= edad del agricultor en años. LNESCOLARIDAD= nivel de escolaridad. LNBPY= Beneficiario de un proyecto anterior

El resultado de la estimación de los parámetros para medir la ineficiencia, que comprende aquellos factores que actúan como obstáculos o limitantes para que la diferencia entre la producción real y la producción potencial sea mayor, indica que lo que se produce realmente está por debajo de lo que se podría producir si se utilizasen plenamente los recursos, en este caso, en el cultivo del cacao.

La regla de decisión establece que un valor positivo del parámetro indica que la variable tiene un efecto negativo sobre la eficiencia, mientras que un valor negativo del parámetro indica que la variable influye positivamente en la eficiencia de la producción. En estas condiciones, el coeficiente de la experiencia, que es 0,262968, indica que a medida que los agricultores tienen más experiencia en el manejo del cultivo, tienden a ser más reacios a incluir nuevas tecnologías en su cultivo. Esto podría frenar las posibilidades de aumentar la eficiencia, ya que el signo positivo del coeficiente genera ineficiencia en la producción. Esto también podría interpretarse como que los agricultores no están interesados en modificar sus prácticas de manejo del cultivo porque creen que cambiar las técnicas no mejorará la eficiencia (Tabla 2).

La variable edad, con un valor del parámetro de 0,053244, podría interpretarse en la misma dirección que el caso de la experiencia, entendida como la destreza y pericia en el manejo del cultivo, la cual es producto de los años que llevan cultivando el cacao. Es importante recordar que estas variables están correlacionadas positivamente, ya que, a más edad, más experiencia. Es posible que los agricultores con más experiencia no estén dispuestos a admitir cambios en su sistema de producción. Resultados similares se encontraron en Castillo *et al.* (2020) con un valor del parámetro de 0,605, también con signo positivo, lo que significa que la edad es un factor que no favorece el aumento de la eficiencia, al igual que en el departamento de Córdoba.

Haber participado o estar incluido en un programa anterior para el fomento del cultivo del cacao, con un valor del parámetro de -0,089091 y un signo negativo, indica que podría ser un factor que contribuya a mejorar la eficiencia. Esto se debe a que quienes han recibido orientación sobre cómo manejar el cultivo pueden estar más interesados en mejorar los rendimientos. En el caso de Nicaragua, Castillo

et al. (2020) encontraron un valor de parámetro de -0,038, lo que indica que haber participado en actividades en periodos anteriores favorece el aumento de la eficiencia. En esta regla de decisión, el signo positivo indica que un factor contribuye a la ineficiencia, mientras que el signo negativo indica que contribuye a la eficiencia. Por lo tanto, en el caso del Sur de Córdoba como en Nicaragua, resulta contrario a la ineficiencia haber participado en programas anteriores de fomento, y por eso su signo es negativo, ya que se opone a la ineficiencia.

También se demostró con el resultado empírico del modelo estimado por mínimos cuadrados ordinarios, que la producción es ineficiente, y que se presentan brechas tecnológicas, con la presencia de rendimientos a escala decreciente, con un valor menor que 1. Sin embargo, se advierte la presencia de brechas tecnológicas del 61%, lo que significa que la producción podría mejorar con una racionalidad en el uso de la tierra, intensificando la producción por hectárea.

Las variables socioeconómicas consideradas en este estudio como la edad, la escolaridad, y la experiencia, dejan claro la avanzada edad de los agricultores con un promedio de 57 años, con bajo nivel de escolaridad, lo cual es similar a otras regiones productoras de cacao en el mundo lo cual se evidencia en estudios como los de Yahaya *et al.* (2015) el cual muestra que un 68,7% de los productores tuvieron una edad mayor de 60 años, el 88,7% argumentaron una educación básica y las unidades productivas fueron de menos de cinco hectáreas. Esta es una situación generalizada en las regiones donde se cultiva el cacao y una característica de la agricultura colombiana.

Con relación a la experiencia se constituye en una limitante para mejorar la eficiencia del cultivo dada a que esto implica incorporar técnicas que antes no se hacían como análisis de suelos, podas de mantenimiento, podas sanitarias que requieren nuevos hábitos por parte del productor el cual no estaría dispuesto a incorporar dada la edad avanzada en promedio de 57 años y es un tanto difícil concebir que cambien las prácticas del manejo del sistema de producción de cacao.

Se observan algunas consideraciones acerca de la subutilización de los factores de producción, en este caso, la tierra, medida en kilos de cacao por hectárea. Esto indica que con la misma unidad de tierra se podrían producir más

kilos de los que se producen actualmente, siendo 573 kg ha⁻¹ bajo el supuesto de que se utilicen adecuadamente los demás factores de producción. En este punto, cobra mucha importancia el concepto de productividad, entendida como la capacidad de producir más con la misma unidad de insumo, lo cual genera una eficiencia técnica del 39%. Se sugiere que se podría mejorar esta eficiencia mediante la incorporación de tecnologías de manejo, prácticas de fertilización basadas en análisis de suelos y los requerimientos del cultivo, así como prácticas como podas y control manual de malezas.

Conclusiones

El análisis de los sistemas de producción de cacao en la región sur de Córdoba revela una asignación irracional de los factores de producción, lo que resulta en brechas tecnológicas del 61% y una eficiencia técnica del 39%. Se recomienda ajustar la tecnología de producción e incorporar técnicas que permitan mejorar los coeficientes técnicos y lograr un uso más racional de los factores productivos.

El análisis realizado revela oportunidades para mejorar la tecnología de producción mediante la introducción de prácticas de manejo racional de los recursos, como la fertilización de acuerdo con los requerimientos nutricionales y los análisis de suelos, el uso de materiales de siembra adaptados a las condiciones de la región y el manejo general del cultivo. Estas acciones podrían reflejarse en una respuesta positiva, manifestada en mejores rendimientos.

Con los rendimientos modales de 0,573 t ha⁻¹, se vislumbra la posibilidad de generar excedentes económicos. No obstante, la producción actual evidencia una brecha significativa y una eficiencia técnica del 39%. Esto sugiere que hay margen para aumentar los rendimientos mediante una mejor asignación de recursos, tales como la mano de obra y el fertilizante, así como un manejo más eficiente de actividades culturales, como el control de malezas.

Agradecimientos

Principalmente, agradecemos a los agricultores de la zona sur del departamento de Córdoba por su paciencia y disposición en el suministro de la información. Asimismo, extendemos nuestro agradecimiento al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) y al Sistema General de Regalías (SGR) del departamento de Córdoba por financiar el proyecto “Implementación de tecnologías de producción para el fortalecimiento de la cadena de valor de cacao y la sostenibilidad ambiental del sistema productivo en el departamento de Córdoba”.

Referencias bibliográficas

Abbott, P. C., Benjamin, T. J., Burniske, G. R., Croft, M. M., Fenton, M., Kelly, C. R., Lundy, M. M., Rodríguez

- Camayo, F., y Wilcox, M. D. (2018). *Análisis de la cadena de cacao en Colombia*. United States Agency for International Development - USAID. <https://hdl.handle.net/10568/99089>
- Acuña, K. (2007). Tsuru: el cacao en Alta Talamanca. *Revista Herencia*, 20(1), 83-98. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/herencia/article/view/10035/9440>
- Acevedo-Orsorio, Á., Santoyo-Sánchez, J., Guzmán, P. y Jiménez-Reinales, N. (2018). La Agricultura Familiar frente al modelo extractivista de desarrollo rural en Colombia. *Gestión y Ambiente*, 21(2Supl), 144-154. <https://doi.org/10.15446/ga.v21n2supl.73925>
- Agronet (2023). *Cifras Agropecuarias. Red de información y comunicación del sector agropecuario colombiano*. Agronet. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- Bempomaa, B. y Acquah, H. de-G. (2014). Technical efficiency analysis of maize production: Evidence from Ghana. *Applied Studies in Agribusiness and Commerce*, 8(2-3), 73-79. <https://doi.org/10.19041/APSTRACT/2014/2-3/9>
- Castillo, M., Legarreta-González, M., Olivas-García, J. y García-Fernández, G. (2020). Análisis de la eficiencia técnica del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). Caso de la región norte centro de Nicaragua. *Custos e @gronegocio*, 16(3). 29-40. <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero3v16/OK%202%20Cacao%20english.pdf>
- Cely Torres, L. A. (2017). Oferta productiva del cacao colombiano en el posconflicto. Estrategias para el aprovechamiento de oportunidades comerciales en el marco del acuerdo comercial Colombia-Unión Europea. *Equidad y Desarrollo*, (28), 167-195. <https://doi.org/10.19052/ed.4211>
- Cobb, C. y Douglas, P. (1928). *A Theory of Production* (pp. 139-165). American Economic Association. <https://www.aeaweb.org/aer/top20/18.1.139-165.pdf>
- Colque, J. (2019). Evaluación económica de la producción de pequeños productores de cebollas (*Allium cepa* L.) en municipios de Achacachi y Ancoraimes del departamento de La Paz. *Revista de Investigación E Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 6(1), 70-78. http://www.scielo.org.bo/pdf/riarn/v6n1/v6n1_a10.pdf
- De los Ríos, C. (2006). La eficiencia técnica en la agricultura peruana. El caso del algodón Tangüis en los valles de Huaral, Cañete y Chíncha. *Revista Debate Agrario*, (40), 141-168. <https://larevistaagrariperu.files.wordpress.com/2019/03/07-de-los-rios.pdf>
- Fadzim, W. R., Aziz, M. I. A., Mat, S. H. C. y Maamor, S. (2016). Estimating the Technical Efficiency of Smallholder Cocoa Farmers in Malaysia. *International Journal of Economics and Financial Issues*, 6(7), 1-5. <https://dergipark.org.tr/en/pub/ijefi/issue/32000/353015>
- Farrell, M. (1957). The Measurement of Production Efficiency.

- Journal of Royal Statistical Society. Series A (General)*, 120(3), 250 – 281. <https://doi.org/10.2307/2343100>
- Federación Nacional de Cacaoteros-FEDECACAO. (2021). Fondo Nacional del Cacao. Caracterización de productores de cacao 2017-2021. Periódico de Fedecacao <https://drive.google.com/file/d/1w2tBLP8IG6faDgdYacgLn9mIdXI0qBNL/view>
- Flórez, A., Muñoz, C., Sáenz, B., Rodríguez, N., Siachoque, R., Otero, J., Páramo, G., Martínez, Ó., Bonilla, G., Rangel, E., Soriano, Ó., Ríos, H., Garcés, E., Porras, A., Henry Gaitán, H., Rangel, S., Morales, J., Ortiz, L., y Roldán, J. (2018). *Cultivo comercial de cacao: Identificación de zonas aptas en Colombia, a escala 1:100.000*. Fedecacao, UPRA. <https://es.scribd.com/document/499703362/Cultivo-Comercial-de-Cacao>
- Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM (2022). Atlas Climáticos de Córdoba. IDEAM. <http://www.ideam.gov.co/AtlasWeb/info/humrel.html>
- Márquez, T., Velasquez, A., Flores, J., Flores, S. y Gazón, H. (2015). Factores determinantes en la eficiencia técnica de explotaciones de frijol. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (11), 2067-2073. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i11.774>
- Martínez-Reina, A., Tordecilla-Zumaqué, L., Grandett-Martínez, L., Regino-Hernández, S., Luna-Castellanos, L. y Pérez-Cantero, S. P. (2021). Analysis of the technical efficiency of yam cultivation (*Dioscorea* spp.) in the Caribbean Region of Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 15(2), 2–10. <https://doi.org/10.17584/rcch.2021v15i2.12445>
- Nicodeme, T. G. , Suqun. , y Bosambe, M. N. (2017). The Economic Analysis of Resource Used Efficiency for Cocoa Production in Cameroon: The Case Study of Lekie Division. *American Journal of Rural Development*, 5(5), 123-137. <https://doi.org/10.12691/ajrd-5-5-2>
- Onumah, J. A., Al-Hassan, R. M. y Onumah, E. E. (2013). Productivity and technical efficiency of cocoa production in Eastern Ghana. *Journal of Economics and Sustainable Development* 4(4). <https://www.iiste.org/Journals/index.php/JEDS/article/view/4838>
- Perdomo, J. y Hueth, D. (2011) Funciones de producción, análisis de economías a escala y eficiencia técnica en el eje cafetero colombiano: una aproximación con frontera estocástica. *Revista Colombiana de Estadística*. 34(2), 377-402. <http://www.scielo.org.co/pdf/rce/v34n2/v34n2a08.pdf>
- Quimi, W., Castro, M., Risco, G., y Cabezas, Y. (2020). Evaluación socioeconómica del cultivo de Cacao. (cacao) en la zona norte de la Provincia de los Ríos. *Journal of business and entrepreneurial studie*, 34(2), 377-402. <https://doi.org/10.37956/jbes.v4i2.79>
- Ramírez, J., Valero, G. y Martínez, P. (2019). Oportunidades de las Minicadenas Productivas del Sector Cacao de Santander Frente al Pos Conflicto Colombiano. *Económicas CUC*, 40(2): 153-182. <https://doi.org/10.17981/econuc.40.2.2019.10>
- Rodríguez, J. (2005). *Métodos de muestreo, casos prácticos*. Editorial Centro de Investigaciones Sociológicas, I Cuadernos Metodológicos. <https://libreria.cis.es/libros/metodos-de-muestreo-casos-practicos/9788474763843/>
- Samuelson, P y Nordhaus, W (2010). Macroeconomía (19.^a ed, pp. 397). McGraw-Hill. https://www.academia.edu/52466198/Macroeconomia_Samuelson_and_Nordhaus_19ed
- Sobalbarro-Figueroa, M., Legarreta-González, M., García-Fernández, F., Olivas-García, J., Carrillo-Soltero, M. y Guzmán-Rodríguez, A. (2020). Análisis Socioeconómico de los Pequeños Productores de Cacao en Honduras. Caso APROSACAO. *Ceiba*, (0848), 1-13. <https://camjol.info/index.php/CEIBA/article/view/8963>
- Sierra, D. (2016). *El cacao como producto líder en la sustitución de cultivos ilícitos en el proceso de posconflicto*. [Tesis de grado, Universidad Militar Nueva Granada]. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/15777>
- Toro, P., García, A., Aguilar, C., Acero, R., Perea, J., y Vera, R. (2010). Modelos econométricos para el OAP (Observatorio Agroambiental y Productivo). DT 13, Vol. 1/2010. [http://www.uco.es/zooteclaygestion/img/pictorex/25_14_43_Modelos2\[1\].pdf](http://www.uco.es/zooteclaygestion/img/pictorex/25_14_43_Modelos2[1].pdf)
- Tomas, J., Rodrigo, M. y Oliver A. (2005) Modelos lineales y no lineales en la explicación de la siniestralidad laboral. *Revista Psicothema* 17(1), 154-163. <https://www.redalyc.org/pdf/727/72717125.pdf>
- Yahaya, A., Karli, B. y Gül, M. (2015). Economic analysis of cocoa production in Ghana: the case of eastern region. *Custos e @gronegocio*, 11(1), 336-352. http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero1v11/OK_18_cocoa.pdf



Estudio etnobotánico de plantas medicinales del Humedal Abras de Mantequilla y su área de influencia cantón Vinces

Ethnobotanical study of medicinal plants from the Abras de Mantequilla Wetland and its area of influence, Vinces canton

Edwin Miguel Jiménez Romero¹, Rommel Santiago Crespo Gutierrez¹, Ana Noemi Moreno Vera¹, Carlos Luis Sánchez Fonseca¹, Erick Alberto Eguez Enríquez¹

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador.

Autor de correspondencia: ejimenez@uteq.edu.ec

Recibido: 10/08/2023. Aceptado: 07/06/2024

Publicado el 11 de julio de 2024

Resumen

Se determinó el uso etnobotánico de plantas medicinales en el Humedal Abras de Mantequilla y su área de influencia, se aplicaron un total de 46 encuestas analíticas. Se registraron 39 especies, 36 géneros y 28 familias de plantas de uso medicinal, las especies con mayor frecuencia fueron *Cymbopogon citratus*, *Origanum vulgare* y *Valeriana officinalis*, las enfermedades de la categoría gastrointestinal obtuvieron el mayor porcentaje de cura de las especies vegetales, el mayor porcentaje de tratamiento fueron la preparación por cocción, C, citratus, O, vulgare y V, officinalis registraron mayor Índice de Valor de Uso (IVU), Conocimiento Relativo de las Especies (RVU) y Uso Significativo de Trámil (UST).

Palabras clave: cuidado de la salud, conocimiento ancestral, medicina tradicional, índice de valor de uso.

Abstract

The ethnobotanical use of medicinal plants in the Abras de Mantequilla wetland and its area of influence was determined, a total of 46 analytical surveys were applied, 39 species, 36 genera and 28 families of plants for medicinal use were recorded, the species with the highest frequency were *Cymbopogon citratus*, *Origanum vulgare* and *Valeriana officinalis*, diseases of the gastrointestinal category obtained the highest percentage of cure of plant species, the highest percentage of treatment were the preparation by cooking, C, citratus, O, vulgare and V, officinalis registered the highest Use Value Index (IVU), Relative Species Knowledge (RVU) and Significant Use of Tramil (UST).

Keywords: health care, ancestral knowledge, traditional medicine, use-value index.

Introducción

Las plantas son recursos valiosos para los sistemas de salud de los países en desarrollo. Aunque no existen datos precisos para estimar el alcance del uso de plantas medicinales en todo el mundo, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que más del 80% de la población mundial utiliza regularmente la medicina tradicional para satisfacer sus necesidades primarias de salud sustancia o su ingrediente activo (Bermúdez *et al.*, 2005). De las 422000 plantas con flores que se encuentran en todo el mundo, más de 50,000 se utilizan con fines medicinales (Pabón *et al.*, 2017).

La OMS define como planta medicinal a cualquier especie vegetal que contiene sustancias que pueden ser empleadas para propósitos terapéuticos o cuyos principios activos pueden servir de precursores para la síntesis de nuevos fármacos (Valoyes y Palacios, 2020). En este sentido, la etnobotánica constituye una disciplina mixta entre ciencias naturales y ciencias sociales que estudia la relación existente entre plantas y hombre (Sánchez y Torres, 2020).

Los conocimientos y prácticas de la medicina tradicional o medicina no convencional son transmitidos por comunicación oral, de generación a generación. A pesar de una pérdida de saberes y de prácticas culturales en el mundo, el 90% de la población en países en desarrollo y el 60% en países desarrollados usa la medicina tradicional para su atención primaria de la salud (Vandebroek *et al.*, 2008). En Ecuador, el 80% de la población usa la medicina tradicional y hay alrededor de 3000 plantas medicinales para tratar enfermedades (De la Torre *et al.*, 2008). El poco interés de las generaciones recientes, la migración de la gente rural a las ciudades y la actividad agrícola afectan la transmisión de los conocimientos sobre las plantas medicinales en la medicina tradicional (Fernández *et al.*, 2019).

La documentación de los conocimientos a través de estudios etnobotánicos es importante para la conservación de la diversidad biológica y cultural. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue determinar el uso etnobotánico de plantas medicinales en el área del Humedal Abras de Mantequilla, generando información puntual del uso de las plantas con un enfoque a la conservación y sostenibilidad.

Materiales y métodos

Localización del sitio de estudio

Se realizó en Localidad Humedal Abras de Mantequilla comunidad El Recuerdo, recinto el recuerdo cantón Vinces, provincia de Los Ríos-Ecuador localizado con coordenadas UTM Este 646774,50 ---Norte - 9829619,80. (Figura 1).

Trabajo de campo

Se realizó desde mes de mayo a septiembre del 2021 mediante visitas de campo. Se determinó el número de encuestas a realizar considerando la población total que habita en la Comunidad del Recuerdo y su área de influencia. Se obtuvo un total de 46 viviendas, donde se encuestó a una de las personas del núcleo familiar que proporcione la información de especies vegetales de uso medicinal y demás parámetros de estudio.

La investigación se fundamentó en obtener las variables socioeconómicas del entrevistado como nombre, edad, género y nombre de la localidad en la que se localizan, y las variables como: enfermedad que cura, forma de empleo, elaboración, forma de administración y parte de la planta que emplean los habitantes en el tratamiento de enfermedades del área de estudio. Se obtuvo un total de 46 informantes distribuidos en 24 mujeres y 22 hombres. Los rangos de edad los informantes oscilaron entre los 20 y 80 años.

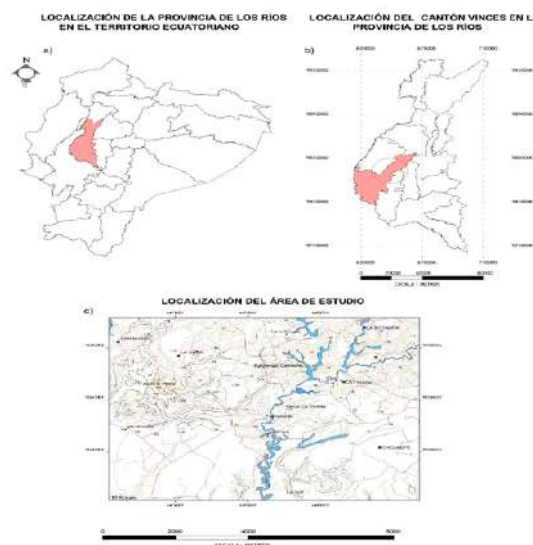


Figura 1. Ubicación del Humedal Abras de Mantequilla y su área de influencia

Colecta e identificación de muestras botánicas

Para la identificación de las especies de uso medicinal descritas por los habitantes del área de estudio se colectó parte del espécimen para registro botánico e identificación, además de un registro fotográfico de las partes constitutivas del vegetal (hojas, tallo, flores y fruto). Se empleó el sistema de clasificación APG III para la identificación taxonómica de las plantas de uso medicinal, la clasificación de las enfermedades se realizó empleando la ficha propuesta por Bhattarai *et al.*, (2010) y Angulo *et al.*, (2012) la cual posee 12 categorías de acuerdo con el sistema del cuerpo humano.

Análisis estadístico de registros etnobotánicos

Los registros de los datos fueron ingresados y procesados con el software Microsoft Excel 2016 y posteriormente, el software IBM SPSS Statistics Versión 22 fue empleado para determinar los parámetros de especie, individuos y Familias, Para determinar la importancia cultural de las especies se calcularon los índices de valor de uso (IVU), conocimiento relativo de la especie (RVU), y nivel de uso significativo Trámil (UST).

Índice de valor de uso (IVU)

Se identificaron las especies que son más importantes o culturalmente valiosas para todos los entrevistados en el área de estudio, Para calcular (IVU) general de cada especie para todos los informantes (IVUs) se aplicó la fórmula de Phillips (1996):

$$IVU_s = \frac{\sum_i VU_{is}}{N_s} \quad (1)$$

Donde:

VU_{is} = Valor de uso de las especies por cada informante;

N_s = El número de informantes para cada especie.

Conocimiento relativo de la especie (RVU)

Se utilizó la fórmula utilizada por Phillips (1996):

$$RVU = \frac{\sum \frac{VU_{is}}{IVU_s}}{N_{sp}} \quad (2)$$

Donde:

VU_{is} = Valor de uso de especie de cada entrevistado;

IVU_s = Índice de valor de uso de la especie;

N_{sp} = El número de especie.

Nivel de uso significativo Trámil (UST)

Se calculó la importancia y calificación de uso y aceptabilidad

cultural de cada especie, indicando uso medicinal, utilizando el método propuesto por Germosén (1995) expresa que los usos medicinales citados con una frecuencia por cada informante superior o igual al 20% pueden considerarse significativos debido a su aceptación cultural, El UST se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$UST = \frac{Uso\ especie\ (s)}{N_{is}} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

$Uso\ especie(s)$ = Número de citaciones para cada especie;

N_{is} = Número de informantes encuestados.

Resultados y Discusión

Etnobotánica de plantas en el área de estudio

Se contó con la participación de 46 informantes, mayoritariamente mujeres, los rangos de edad que demostraron mayor conocimiento del uso de las especies fueron entre los 41 y 80 años, resultados similares a lo descrito por Sarauz (2021) en su investigación realizada en la comuna Sahuangal parroquia Pacto, Pichincha donde las entrevistas se registraron en su mayoría a mujeres adultas por su conocimiento botánico y agrícola.

Se identificaron un total de 39 especies distribuidas taxonómicamente en 36 géneros y 28 familias, las familias más representativas con mayor número de especies en el área de estudio fueron Lamiaceae (5 especies - 12,8%), Compositae (3 especies - 7,7%), Apiaceae, Zingiberaceae, Solanaceae, Rutaceae y Plantaginaceae (2 especies cada una con 5,1%) (Figura 2). Los resultados coinciden con los reportados en el trabajo de Zambrano *et al.* (2015) quienes registraron en la parroquia San Carlos del cantón Quevedo, provincia de Los Ríos, como familias botánicas sobresalientes a Lamiaceae (7 especies - 16,3%), Compositae (4 especies - 9,3%), Apiaceae y Rutaceae.

Las especies con mayor frecuencia fueron *C. citratus* (DC.) Stapf, *O. vulgare* L., *V. officinalis* L., *A. vera* (L.) Burm.f., *Zingiber officinale* Roscoe; a diferencia de las siguientes especies *Aristolochia sprucei* Mast., *Artocarpus altalis* (Parkinson ex F.A.Zorn) Fosberg, *Bidens* sp., *Coriandrum sativum* L., *Costus spicatus* (Jacq.) Sw., *Crescentia cujete* L., *Curcuma longa* L., *Guazuma ulmifolia* Lam., *Jatropha curcas* L., *Momordica charantia* L., *Morinda citrifolia* L., *Moringa oleifera* Lam., *Petroselinum crispum* (Mill.) Fuss, *Plectranthus barbatus* Andrews, *Ruta chalepensis* L., *Sansevieria trifasciata* Prain y *Sida rhombifolia* L. Jiménez *et al.*, (2019) en su estudio efectuado en el bosque protector Murocomba, encontraron como especies más frecuentes a *C. citratus* (DC.) Stapf y *A. vera* (L.) Burm.f., mientras que las menos frecuentes fueron *Artocarpus altalis* (Parkinson ex F.A.Zorn) Fosberg y *Jatropha curcas* L.

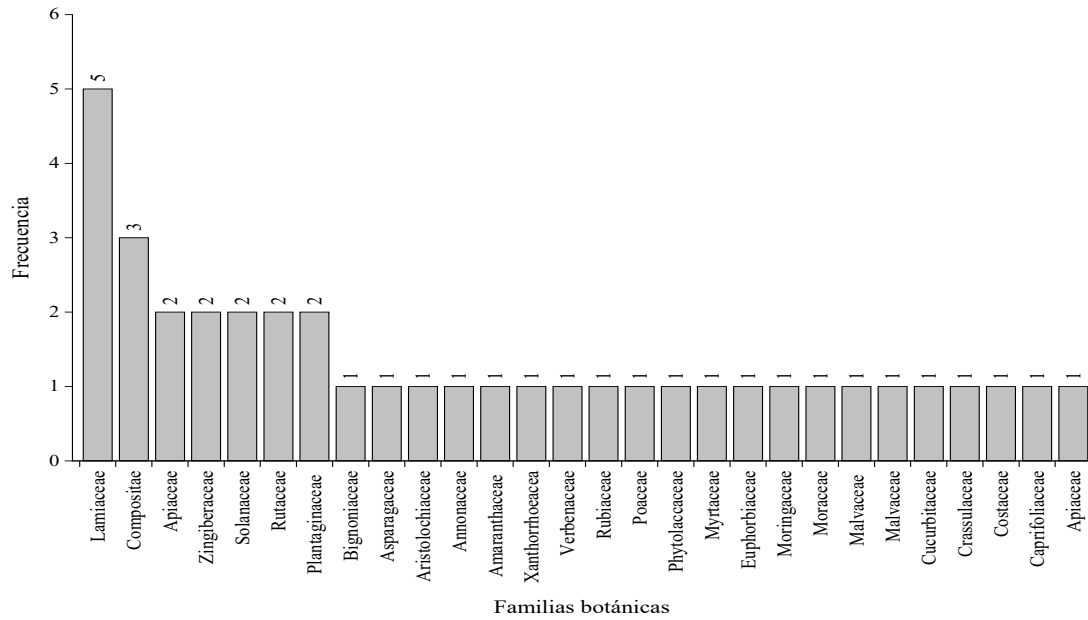


Figura 2. Número de veces que se repite los individuos por familias registradas en el estudio etnobotánico en el Humedal Abras de Mantequilla, cantón Vines provincia de los Ríos

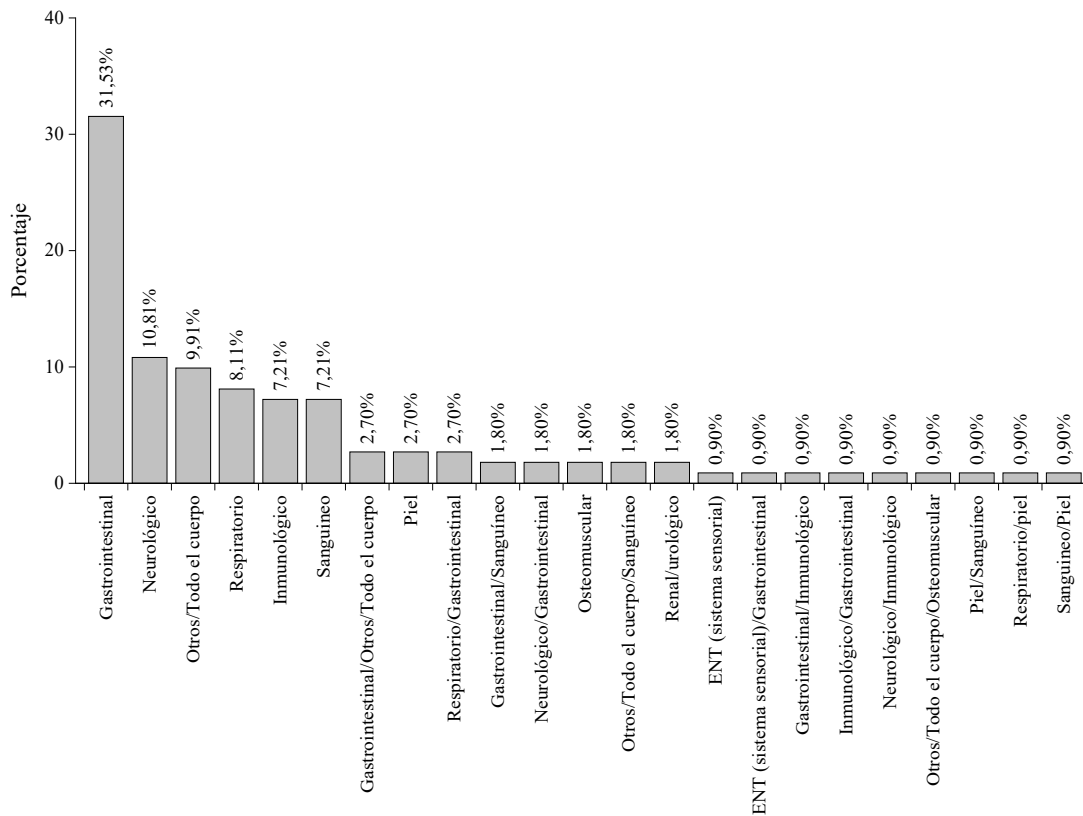


Figura 3. Porcentaje de uso medicinal por categorías de uso medicinal mejor representadas en la medicina tradicional encontradas en el estudio etnobotánico en el Humedal Abras de Mantequilla, cantón Vines provincia de los Ríos

Uso etnobotánico de plantas medicinales en el área del Humedal Abras de Mantequilla

La información obtenida acerca de las enfermedades que curan las especies vegetales encontradas indicaron una mayor proporción para la subcategoría 'Gastrointestinal' con 31,53% (Figura 3), Esto tiene similitud con el valor observado por Gallegos (2016) quien en su trabajo efectuado en localidades rurales del cantón Babahoyo, provincia de Los Ríos denotó que un 32,5% de los entrevistados trata enfermedades del sistema digestivo, infecciosas y parasitarias con plantas medicinales, A diferencia de Zhiminaicela *et al*, (2020) que reportaron un mayor porcentaje de enfermedades respiratorias

(26,81%) tratadas con plantas medicinales por los encuestados del cantón Chilla, provincia de El Oro.

De acuerdo con la forma de uso de las plantas medicinales, la mayoría de los tratamientos son preparados por medio de cocción (76,58%) y en menor porcentaje de manera triturada (12,61%), sin ninguna preparación previa (6,31%), cocida/triturada (3,60%) y cocida/sin ninguna preparación previa (0,90%) (Figura 4), Fernández *et al*, (2015) en su investigación, exponen una tendencia similar donde el 46% de personas prefieren hervir las plantas medicinales, el 34% crudas, el 15% reposando y el 5% en infusión.

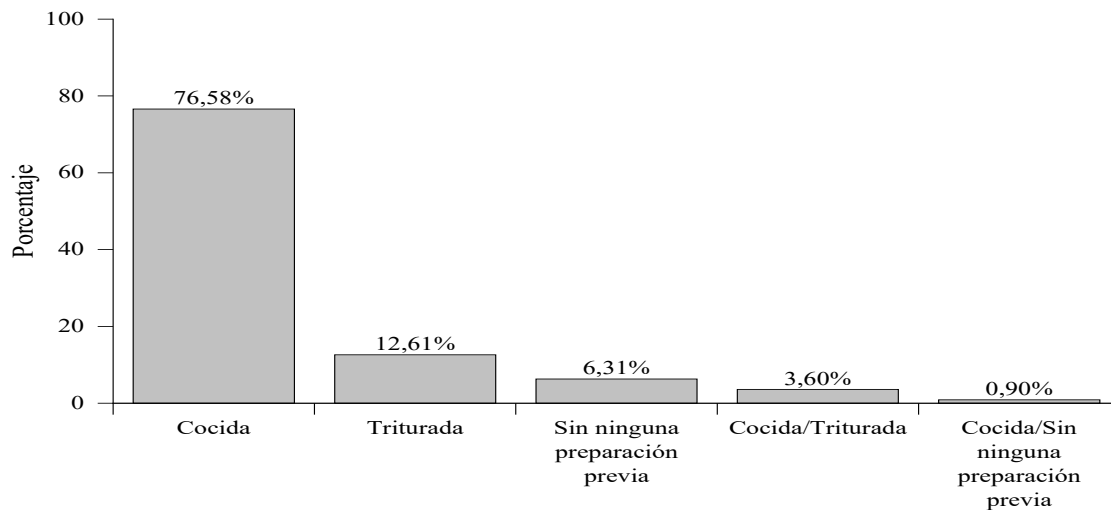


Figura 4. Porcentaje de forma de uso de los tratamientos medicinales preparados con plantas medicinales registradas en el estudio etnobotánico en el Humedal Abras de Mantequilla, cantón Vines provincia de los Ríos

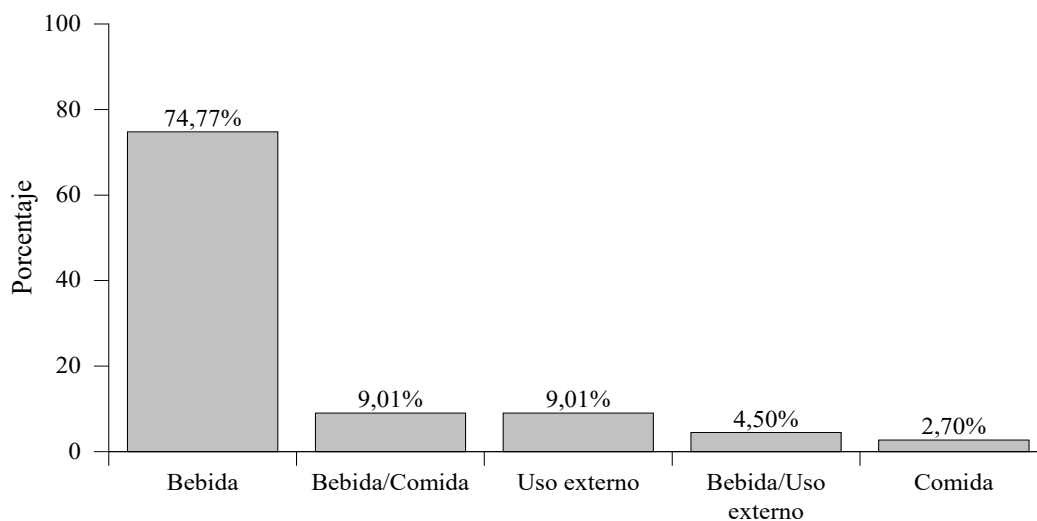


Figura 5. Vías de administración del tratamiento medicinal, en porcentaje, registradas en el estudio etnobotánico en el Humedal Abras de Mantequilla, cantón Vines provincia de los Ríos

La forma de administración del tratamiento medicinal más empleado fue como bebida (74,77%), seguido de bebida/comida y uso externo con 9,01%, bebida/uso externo con 4,50% y comida con 2,70% (Figura 5), Coincidiendo con Jiménez *et al.*, (2019), quienes reportaron como principal vía de administración bebida (61,74%), uso externo (33,89%) y en menor porcentaje bebida/uso externo (4,50%) y comida (2,70%).

Respecto a las partes vegetales de las plantas, se determinó que la hoja (78,38%) es usada con más frecuencia en los tratamientos medicinales, seguida de la raíz (5,41%), hoja/fruto (4,50%), fruto (3,60%), entera (2,70%), hoja/tallo (1,80%) y con bajo porcentaje de 0,90% la flor, hoja/raíz, raíz/tallo y tallo (Figura 6), Domínguez *et al.*, (2015) observaron de igual manera un valor significativo de utilización para hoja con 54,10% y en menor medida raíz (10,20%), tallo (9,20%), flor (8,20%), fruto (5,10%) y planta completa (1%), Al contrario, por lo expuesto por Fernández *et al.*, (2015), donde el 61% de los entrevistados prefiere usar el fruto, el 23% usa las hojas y el 15% usa el tallo.

Las especies vegetales de uso medicinal con un UST superior al 20% fueron *C. citratus* (DC.) Stapf (35,71), *O. vulgare* L., (28,57), *V. officinalis* L., (28,57), *A. vera* (L.) Burm.f., (25,00) y *Zingiber officinale* Roscoe (25,00) (Tabla 1), Coincidiendo con Jiménez *et al.*, (2019), quienes reportaron las especies *C. citratus* (44,64) y *A. vera* (26,79), Además, coincide con Zambrano *et al.*, (2015), quienes mencionan las especies *C. citratus* (58,00), *O. vulgare* (56,00), *A. vera* (28,00) y *Z. officinale* (22,00), De la misma forma los resultados coinciden con lo reportado por Paredes *et al.*, (2015) quienes indican las especies *A. vera* (52,17), *V. officinalis* (28,26), *C. citratus* (28,26), *O. vulgare* (26,09).

Conclusiones

El Humedal Abras de Mantequilla alberga una diversidad de especies vegetales con propiedades medicinales, representadas por 39 especies, Entre las familias más comunes se encuentran Lamiaceae, Compositae, Apiaceae, Zingiberaceae, Solanaceae, Rutaceae y Plantaginaceae, Especialmente notable es la presencia frecuente de especies como *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf, *O. vulgare* L., *V. officinalis* L., *A. vera* (L.) Burm.f. y *Z. officinale* Roscoe, que destacan por sus propiedades medicinales y su importancia en la biodiversidad del humedal.

La mayoría de encuestados manifestaron emplear plantas medicinales como tratamiento a enfermedades de tipo gastrointestinal como diarrea, vómitos, dolor de estómago, gastritis, parásitos y cólicos estomacales, Las hojas (78,38%) en general son los órganos más utilizados para uso medicinal, La forma de preparación más común fue por medio de cocción o infusión lo cual tiene una relación lógica con la principal vía de administración que fue bebida debido a que el mecanismo por el cual se trata la enfermedad constituye la utilización del agua a altas temperaturas lo que permite extraer los compuestos de las plantas medicinales.

Las especies medicinales con mayor aceptación cultural, de acuerdo con el nivel de uso significativo Tramit (UST) fueron *C. citratus* (DC.) Stapf, *O. vulgare* L., *V. officinalis* L., *A. vera* (L.) Burm.f. y *Z. officinale* Roscoe.

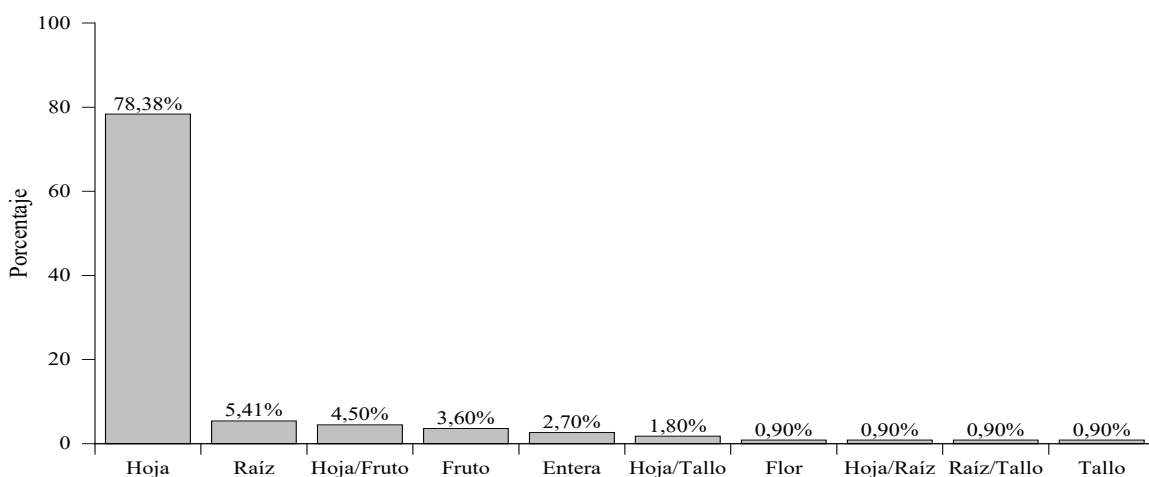


Figura 6. Porcentaje de la parte de la planta de las especies vegetales de uso medicinal más utilizadas registradas en el estudio etnobotánica en el Humedal Abras de Mantequilla, cantón Vinces provincia de los Ríos

Tabla 1. Índices de valor de uso de especies empleadas con fines medicinales en el área del Humedal Abras de Mantequilla, cantón Vines provincia de los Ríos

Especies	IVU	RVU	UST (%)
<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf	1,20	0,23	35,71
<i>Origanum vulgare</i> L,	1,13	0,19	28,57
<i>Valeriana officinalis</i> L,	1,25	0,19	28,57
<i>Aloe vera</i> (L.) Burm,f,	1,14	0,16	25,00
<i>Zingiber officinale</i> Roscoe	1,43	0,16	25,00
<i>Cestrum elegans</i> (Brongn, ex Neumann) Schtdl,	1,25	0,09	14,29
<i>Eryngium foetidum</i> L,	1,25	0,09	14,29
<i>Lippia alba</i> (Mill.) NEBr, ex Britton & P,Wilson	1,75	0,09	14,29
<i>Melissa officinalis</i> L,	1,50	0,09	14,29
<i>Mentha sativa</i> L,	1,25	0,09	14,29
<i>Mentha</i> sp,	1,25	0,09	14,29
<i>Psidium guajava</i> L,	1,00	0,09	14,29
<i>Ruta graveolens</i> L,	1,25	0,09	14,29
<i>Annona muricata</i> L,	1,00	0,07	10,71
<i>Bidens pilosa</i> L,	1,33	0,07	10,71
<i>Bryophyllum pinnatum</i> (Lam.) Oken	1,33	0,07	10,71
<i>Petiveria alliacea</i> L	1,00	0,07	10,71
<i>Artemisia vulgaris</i> L,	1,50	0,05	7,14
<i>Capsicum annuum</i> L,	1,00	0,05	7,14
<i>Dysphania ambrosioides</i> (L.) Mosyakin & Clemants	1,00	0,05	7,14
<i>Plantago major</i> L,	1,00	0,05	7,14
<i>Scoparia dulcis</i> L,	2,00	0,05	7,14
<i>Aristolochia sprucei</i> Mast,	2,00	0,02	3,57
<i>Artocarpus altilis</i> (Parkinson ex F,A,Zorn) Fosberg	1,00	0,02	3,57
<i>Bidens</i> sp,	1,00	0,02	3,57
<i>Coriandrum sativum</i> L,	1,00	0,02	3,57
<i>Costus spicatus</i> (Jacq.) Sw,	1,00	0,02	3,57
<i>Crescentia cujete</i> L,	1,00	0,02	3,57
<i>Curcuma longa</i> L,	1,00	0,02	3,57
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam,	2,00	0,02	3,57
<i>Jatropha curcas</i> L,	1,00	0,02	3,57
<i>Momordica charantia</i> L,	1,00	0,02	3,57
<i>Morinda citrifolia</i> L,	1,00	0,02	3,57
<i>Moringa oleifera</i> Lam,	1,00	0,02	3,57
<i>Petroselinum crispum</i> (Mill.) Fuss	1,00	0,02	3,57
<i>Plectranthus barbatus</i> Andrews	1,00	0,02	3,57
<i>Ruta Chalepersis</i> L,	1,00	0,02	3,57
<i>Sansevieria trifasciata</i> Prain	1,00	0,02	3,57
<i>Sida rhombifolia</i> L,	1,00	0,02	3,57

Abreviaciones: índice de valor de uso (IVU), conocimiento relativo de las especies (RVU), uso significativo trámite (UST).

Agradecimientos

Los autores agradecen al Fondo Competitivo de Investigación Científica y Tecnológica (Focicyt) por la financiación de la investigación, además a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, a la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, y al señor Telmo España por su colaboración en el trabajo de campo.

Referencias bibliográficas

- Angulo, A., Rosero, R. y González, M. (2012). Estudio etnobotánico de las plantas medicinales utilizadas por los habitantes del corregimiento de Genoy, Municipio de Pasto, Colombia, *Universidad y Salud*, 14(2), 168-185. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-71072012000200007.
- Bermúdez, A., Oliveira, M. y Velázquez, D. (2005). La investigación etnobotánica sobre plantas medicinales: una revisión de sus objetivos y enfoques actuales, *Interciencia*, 30(8), 453-459. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33910703>.
- Bhattarai, S., Chaudhary, R., Quave, C. y Taylor, R. (2010). The use of medicinal plants in the trans-himalayan arid zone of Mustang district, Nepal, *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 6(14), 1-11. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-6-14>
- De la Torre, L., Navarrete, H., Muriel, P., Macía, M. y Balslev, H. (2008). Enciclopedia de las Plantas Útiles del Ecuador, Quito, Ecuador: *Herbario QCA y Herbario AAU*, 949 p, https://bibdigital.rjb.csic.es/medias/63/42/27/85/63422785-1490-4c78-9c97a4a75a66cc63/files/TOR_En_Pl_Ut_Ecuador.pdf.
- Domínguez-Barradas, C., Cruz-Morales, G. E. y González-Gándara, C. (2015). Plantas de uso medicinal de la Reserva Ecológica “Sierra de Otontepec”, municipio de Chontla, Veracruz, México, *CienciaUAT*, 9(2), 41-52. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582015000100041&lng=es&tlng=es.
- Fernández, E., Espinel, V., Gordillo, S., Castillo, R., Žiarovská, J., Zepeda, J. y Lara, E. (2019). Estudio etnobotánico de plantas medicinales utilizadas en tres cantones de la provincia Imbabura, Ecuador, *Agrociencia*, 53(5), 797-810. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7019471#>.
- Gallegos, M. (2016). Las plantas medicinales: principal alternativa para el cuidado de la salud, en la población rural de Babahoyo, Ecuador, *Anales de la Facultad de Medicina*, 77(4), 327-332. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-55832016000400002&lng=es&tlng=es.
- Jiménez, E., Moreno, A., Villacis, A., Rosado, J., Morales, D. y Bravo, A. (2019). Estudio etnobotánico y comercialización de plantas medicinales del bosque protector Murocomba y su área de influencia del cantón Valencia, Ecuador, *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(3), 491-506. <https://doi.org/10.21930/rcta.vol20num3art:1597>.
- Pabón, L., Rodríguez, M. y Hernández, P. (2017). Plantas medicinales que se comercializan en Bogotá (Colombia) para el tratamiento de enfermedades infecciosas, *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 16(6), 529-546. <https://blacpma.ms-editions.cl/index.php/blacpma/article/view/237>.
- Paredes, D.J., Buenaño-Allauca, M.P. y Mancera-Rodríguez, N.J. (2015). Usos de plantas medicinales en la comunidad San Jacinto del Cantón Ventanas, Los Ríos – Ecuador, *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 18(1), 39-50, http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262015000100006&lng=en&tlng=es.
- Phillips, O. L. (1996). Some Quantitative Methods for Analyzing Ethnobotanical Knowledge. *Advances in Economic Botany*, 10, 171–197. <http://www.jstor.org/stable/43927619>.
- Sánchez, J. y Torres, L. (2020). Educación, etnobotánica y rescate de saberes ancestrales en el Ecuador, *Revista Espacios*, 41(23), 158-170. <https://www.revistaespacios.com/a20v41n23/a20v41n23p14.pdf>.
- Sarauz Guadalupe, L. A. (2021). Conocimiento ancestral de plantas medicinales en la comunidad de Sahuangal, parroquia Pacto, Pichincha, Ecuador, *Vive Revista de Salud*, 4(10), 72–85. <https://doi.org/10.33996/revistavive.v4i10.77>.
- Valoyes, D. y Palacios, L. (2020). Patrones de uso de las plantas medicinales en el Chocó y Cauca (Colombia), *Ciencia en Desarrollo*, 11(2), 85–96. <https://doi.org/10.19053/01217488.v11.n2.2020.10583>.
- Vandebroek, I., Thomas, E., Sanca, S., Van Damme, P., Van Puyvelde, L., y De Kimpe, N. (2008). Comparison of health conditions treated with traditional and biomedical health care in a Quechua community in rural Bolivia, *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 4(1), 1. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-4-1>.
- Zambrano, L., Buenaño, M., Mancera, N. y Jiménez, E. (2015). Estudio etnobotánico de plantas medicinales utilizadas por los habitantes del área rural de la Parroquia San Carlos, Quevedo, Ecuador, *Universidad y Salud*, 17(1), 97-111. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-71072015000100009&lng=en&tlng=es.
- Zhiminaicela, J., Quevedo, J., Herrera, S., Sánchez, A. y Bermeo, L. (2020). Estudio etnobotánico de plantas medicinales e importancia de conservar las especies

vegetales silvestres del cantón Chilla, Ecuador,
Ethnoscience, 5(1), 1-10. <http://dx.doi.org/10.18542/ethnoscience.v5i1.10296>.



Mejoramiento de caracteres de importancia agronómica en melón criollo (*Cucumis melo* L.) variedad dudaim mediante selección y recombinación

Improvement of agronomically important characteristics in criollo melon (*Cucumis melo* L.) dudaim variety by selection and recombining

José Francisco Espinosa Carrillo¹, Jesús Jackeline Arreaga Álvarez²

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador.

²Apícola, La Reina, Ecuador.

Autor de correspondencia: jespinosa@uteq.edu.ec

Recibido: 21/10/2023. Aceptado: 18/06/2024
Publicado el 11 de julio de 2024

Resumen

El cultivo del melón criollo de bolsillo (*Cucumis melo* L.) ha recibido escasa atención en la investigación agronómica, pese a su potencial productivo y su destacable diversidad fenotípica. Sus frutos presentan diferencias fenológicas, morfológicas y organolépticas que ofrecen oportunidad para el mejoramiento genético de la variedad criolla, el cual es necesario debido a que presenta rendimientos inferiores a otras variedades e híbridos importados. Con el fin de evaluar el potencial de una población seleccionada en el mejoramiento de caracteres de importancia agronómica, en el cantón Palenque, Ecuador, se evaluaron individuos recombinantes de una población seleccionada (Ps) frente a individuos de la población original (Po) de la variedad Dudaim, bajo un diseño de bloques completos al azar con dos tratamientos y tres repeticiones en dos localidades distintas. De acuerdo con las comparaciones estadísticas, la población seleccionada mostró valores promedios significativamente superiores a los de la población original ($p=0,05$) en 7 de los 10 caracteres de fruto evaluados, presentando alta variabilidad genética y alta heredabilidad en sentido amplio para los caracteres relacionados con la calidad de fruto. Los estudios permiten concluir que existe un alto potencial para alcanzar ganancias genéticas por selección, especialmente para caracteres peso del fruto, sólidos solubles totales y rendimiento por hectárea.

Palabras clave: variabilidad fenotípica, selección recurrente, progreso genético, ganancia genética.

Abstract

The cultivation of the criollo pocket melon (*Cucumis melo* L.) has received little attention in agronomic research, despite its productive potential and its remarkable phenotypic diversity. Its fruits show phenological, morphological and organoleptic differences that offer an opportunity for genetic improvement of the Criollo variety, which is necessary because it has lower yields than other imported varieties and hybrids. In order to evaluate the potential of a selected population in the improvement of agronomically important traits, recombinant individuals from a selected population (Ps) were evaluated against individuals from the original population (Po) of the Dudaim variety, under a randomized complete block design with two treatments and three replications in two different locations in the canton of Palenque, Province of Los Ríos, Ecuador. According to statistical comparisons, the selected population showed significantly higher mean values than the original population ($p=0,05$) in 7 of the 9 fruit traits evaluated, showing high genetic variability and high heritability in a broad sense for traits related to fruit quality. The studies allow us to conclude that there is a high potential to achieve genetic gains by selection, especially for fruit weight, total soluble solids and fruit yield traits. The studies allow us to conclude that there is a high potential to achieve genetic gains by selection, especially for fruit weight, total soluble solids and yield per hectare.

Keywords: phenotypic variability, recurrent selection, genetic progress, genetic gain.

Introducción

En las regiones tropicales, subtropicales y templadas del mundo el melón, *C. melo* L., es un cultivo hortícola importante. Registros históricos muestran que el melón se cultivaba en Persia (Irán) 3000 años AC, y fue importado a Europa también hace aproximadamente 3000 años. Existen representaciones de esta fruta en tumbas egipcias de hace 4400 años (Región de Murcia Digital, 2021). A continuación de las grandes exploraciones de Bartolomé Díaz (1488) el melón fue introducido en el nuevo mundo por los españoles (León, 2000). Se tienen referencias del cultivo de melón en el Ecuador a mediados del siglo XVII (Hamerly, 1973). Se han observado dos (2) cultivares criollos de melón y uno de ellos es el melón de bolsillo que presenta gran variabilidad fenotípica y se cultiva por conocimiento ancestral (Espinosa, 2019).

En la costa ecuatoriana existe el cultivar criollo de melón conocido como melón de bolsillo que ha sido cultivado y conservado por pequeños productores, convirtiéndose en una fuente adicional de ingresos para sus familias, cada año, en forma combinada, se cultivan alrededor de 50 hectáreas, que son atendidas por aproximadamente 100 familias, sin embargo su producción está muy por debajo de las 10 toneladas ha⁻¹ (Espinosa, 2019). los frutos obtenidos de este cultivar tienen buena aceptación en el mercado por su buen sabor y aroma y son parte de los productos de autoconsumo. Sin embargo, no se han hecho esfuerzos institucionales para mejorar en términos genéticos la productividad de este cultivar criollo de melón.

El melón criollo de bolsillo es un cultivo poco explorado, sin embargo, presenta una amplia diversidad fenotípica principalmente en la fruta, incluyendo su maduración, forma, tamaño, color de la pulpa, textura, dulzor y aroma. Este melón de tamaño pequeño presenta una producción inferior a la producción de los híbridos importados (Espinosa y Vallejo, 2020), esto se debe posiblemente a que se obtienen semillas de la cosecha anterior o se compran de las variedades criollas de otros agricultores que de igual manera la obtienen de la cosecha anterior o se obtienen en el mercado local (Magdaleno, 2018).

A esta variedad que ha sido relegada del mercado, que puede ser mejorada en sus características agronómicas y fenotípicas para el mercado, actualmente no se realizan actividades que conduzcan a su reactivación, existiendo la posibilidad de la pérdida de germoplasma, con el riesgo que desaparezcan como recurso genético.

Con el material existente en el país, cuyo origen se remonta a cultivares traídos de España, mediante procesos de selección y recombinación de individuos, es factible empezar un proceso de mejoramiento, para ampliar su potencial productivo de frutos con características requeridas por el mercado. El objetivo de la presente investigación consiste en seleccionar y recombinar poblaciones del cultivar criollo de melón de bolsillo poblaciones de alto valor agronómico y

obtener una población seleccionada superior a la población original, y contribuir mediante el mejoramiento genético a elevar la expresión de caracteres agronómicos de mayor importancia, en el cultivar criollo de melón de bolsillo (*C. melo* L.).

Materiales y métodos

Localización

El proceso de selección y posterior recombinación se llevó a cabo en el recinto Embarcadero del cantón Palenque, Provincia de los Ríos, Ecuador, ubicado en las coordenadas: 1,334776° S, 79,725189° W. el sitio de la investigación presenta una temperatura media de 24 – 25 °C, su humedad relativa es de 75 – 80%, la heliofanía anual es 1 011,9 horas/luz, con precipitaciones anuales de 1 000 – 2 000 mm/año y corresponde a la zona ecológica bosque seco tropical. (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Palenque, 2022).

Obtención del material de siembra.

Siguiendo las recomendaciones del IPGRI (hoy BIODIVERSITY) se realizó una colecta de frutos de melón de bolsillo de los frutos colectados se extrajo la semilla y se dejó fermentar en agua durante 24 horas para luego proceder al lavado con abundante agua, según lo recomendado por Jaramillo *et al.* (2018). El secado se realizó al ambiente y bajo sombra en marcos individuales para la semilla de cada fruto, el tiempo de secado fue de 72 a 86 horas. Las semillas recolectadas se conservan a un promedio de 12 °C y 80% de humedad en el cuarto frío para semillas de la Estación Experimental Pichilingue del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). La siembra de los individuos colectados se realizó mediante una mezcla proporcional y homogénea de la semilla proveniente de 15 accesiones colectadas en las provincias de Guayas, Manabí y Los Ríos, de la que se tomó en forma aleatoria 200 semillas para establecer la parcela de selección, de la que por atributos agronómicos y de calidad del fruto se seleccionaron 20 plantas.

Procedimiento de selección

Las plantas fueron seleccionadas teniendo en cuenta, en primer lugar, las características del fruto como corteza que la corteza del fruto fuera amarillo rojizo y que no presenten manchas, ni acostillado, ni escriturado, pulpa blanca, formas redondeada, achatada u ovalada. Luego se seleccionaron los frutos que tenían el mayor contenido de sólidos solubles totales y finalmente los que poseían el mayor tamaño, peso y rendimiento.

Por su parte las semillas de reserva, procedentes de las 20 plantas seleccionadas que corresponden a (Ps) fueron mezcladas en forma homogénea, de las cuales se tomó en forma aleatoria 200 semillas, para establecer las parcelas de recombinación, a libre polinización.

Experimento

Las dos poblaciones, aquella constituida por individuos recombinantes de la población seleccionada (Ps) y la población originalmente colectada (Po), fueron evaluadas en dos localidades distintas aplicando un diseño de bloques completos al azar con dos tratamientos y tres repeticiones. Las poblaciones antes indicadas, se evaluaron en dos localidades mediante un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Las unidades experimentales consistieron en parcelas con 24 plantas, la parcela efectiva estuvo constituida por 8 plantas. Las plantas se sembraron a una distancia de 3,00 m entre surcos y 1,00 m entre plantas, para una densidad de 3 333 plantas ha⁻¹.

Variables evaluadas

En cada planta se evaluaron los caracteres relacionados con el fruto comercial: peso de fruto (PF), diámetro de fruto (DF), longitud de fruto (LF), espesor de la pulpa (EP), grosor de la corteza (GC) y cavidad del fruto (CF) medidas con un calibrador digital electrónico marca Uberman, firmeza de la pulpa (FP) cuantificada con un medidor de dureza de fruto modelo FHT-804 con capacidad de $24 \pm 0,1$ kg/cm² utilizadas por (Monge, 2016), (SS) sólidos solubles (°Brix) medidos con un refractómetro RHB-50ATC (Aragão *et al.*, 2015), acidez de la pulpa (AP) cuantificada con un medidor electrónico digital de pH marca Biocharge ATC, número de frutos comerciales, y producción por hectárea calculado con el peso medio de los frutos. Las características cualitativas de todos los frutos cosechados se calificaron de acuerdo a los caracterizadores de frutos y a las normas del IPGRI en su publicación del (2003) características que fueron utilizadas por muchos autores entre ellos (Abraham- Juárez, *et al.*, 2018) y (Escribano Martín, 2010).

A fin de minimizar el error experimental el manejo de campo fue similar en ambas localidades. El establecimiento de las parcelas se realizó mediante siembra directa, depositando dos semillas por sitio previamente tratadas con Fosetil aluminio (i.a. Fosetil aluminio Aluminium tris-o-ethylphosphonato). Cuando las plantas estuvieron establecidas en el suelo se realizó un raleo de las plantas más débiles dejando una planta por sitio. Se aplicaron 150 kg ha⁻¹ de la fórmula 8-20-20 junto con 100 kg ha⁻¹ de urea N al 46% en dos ocasiones.

El control de malezas inició con una aplicación de Glifosato (i.a. *Glifosato*) en preemergencia para evitar la aparición de malezas en las etapas tempranas del crecimiento de las plantas. Posteriormente, se realizó una aplicación en pos emergencia de Gramoxone® Super (i.a. *Dicloruro de Paraquat* 276 g L⁻¹), entre las plantas, junto con una aplicación adicional de Verdict (i.a. *Haloxifop-R-metil éster* 108 g L⁻¹). Además de las aplicaciones de herbicidas, se llevaron a cabo cuatro limpiezas manuales para eliminar las malezas que aparecieron en el cultivo. En cuanto al control de plagas, con un enfoque principal en Trips (*Frankliniella occidentalis*) y Pulgón (Aphididae), se realizaron con doce aplicaciones

rotativas de Crisabamet (i.a. *Abamectin*) y Confidor (i.a. *Imidacloprid*) y Alistin (i.a. *Triflumuron*). El control de enfermedades fungosas se realizó en forma preventiva con doce aplicaciones rotativas de Fosetil aluminio y Maxim (i.a. *Fludioxonil* 2,5 g + *Metalaxil-M* 1,0 g). El suelo se mantuvo en capacidad de campo mediante un sistema de riego por goteo instalado con goteros que suministraron agua en caudal de 2 litros por hora. La recolección de los frutos se inició a los 94 días después de la siembra, cuando los frutos presentaban el color amarillo característico de madurez para cosecha.

Los resultados obtenidos se analizaron por separado y cada carácter evaluado fue sometido a un análisis de varianza, bajo el modelo matemático de bloques completos al azar con tres repeticiones. En caso de diferencias significativas entre poblaciones se realizó la comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) (Abraham *et al.*, 2018). Se efectuó análisis de correlación entre los caracteres evaluados. Los resultados experimentales obtenidos fueron procesados con el software estadístico SAS versión 9.4 - 2016 (Statistical Analysis System). Se calculó: Incremento de la ganancia por selección (diferencial de selección), con la fórmula: $\Delta g = PM - PO$ y el progreso genético esperado con la fórmula clásica: $\Delta g = ds \times h^2 A$, donde ds = diferencial de selección.

Resultados y discusión

Las medidas de tendencia central, coeficiente de variabilidad, diferencial de selección y porcentaje de variación en la población original y población seleccionada para 9 caracteres relacionados con el fruto del melón de bolsillo (*C. melo* L.) de bolsillo se presentan en el Tabla 1. Las medias de la población seleccionada fueron mayores que las de la población original en 7 de los nueve caracteres evaluados; en los caracteres cavidad del fruto y acidez de la pulpa fueron menores que los de la población original.

El coeficiente de variabilidad de la población seleccionada se presentó menor que el de la población original en 6 de los nueve caracteres evaluados; en los caracteres diámetro, longitud y cavidad del fruto fueron mayores que los de la población original, estos resultados que se atribuyen al efecto de la selección realizada.

En la población seleccionada los coeficientes de variabilidad de los caracteres peso, diámetro, longitud del fruto y grosor de la corteza presentaron valores superiores al 30%, la firmeza de la pulpa presentó un valor superior al 20%, mientras que el espesor de la pulpa, cavidad del fruto y grados Brix presentaron valores inferiores al 20% y acidez de la pulpa presentó un valor inferior al 3%.

Tabla 1. Medidas de tendencia central para caracteres relacionados con el fruto en la población original (200 plantas) y población seleccionada (20 plantas), de melón criollo de bolsillo (Dudaim)

Caracteres del fruto	Media	Moda	Desviación estándar	Rango	Mínimo	Máximo	Coefficiente de variabilidad	Observaciones	Diferencial de selección	Porcentaje de variación
(PF) g (Po)	337,54	220,00	180,50	712,65	128,35	841,00	57,39	200	59,08	17,50
(PF) g (Ps)	396,62	#N/A	169,09	465,03	203,98	669,00	42,63	20		
(DF) mm (Po)	79,65	77,81	15,54	275,70	7,19	282,89	19,51	200	3,70	4,65
(DF) mm (Ps)	83,35	78,24	26,75	217,43	65,46	282,89	32,09	20		
(LF) mm (Po)	81,26	73,47	20,74	254,79	20,48	25,52	25,94	200	2,25	2,77
(LF) mm (Ps)	83,51	75,56	29,07	229,44	45,83	275,27	34,81	20		
(GC) mm (Po)	0,60	0,64	0,18	2,68	0,24	2,92	30,25	200	0,03	5,00
(GC) mm (Ps)	0,63	0,55	0,30	2,60	0,32	2,92	47,18	20		
(EP) mm (Po)	17,67	17,77	4,19	42,98	0,64	43,62	23,69	200	0,35	1,98
(EP) mm (Ps)	18,02	15,40	3,42	16,32	11,63	27,95	18,96	20		
(CF) mm (Po)	42,15	37,17	7,29	72,20	4,63	76,83	17,30	200	-0,58	-1,38
(CF) mm (Ps)	41,57	38,25	5,45	30,55	24,60	55,15	13,11	20		
(SS) (°Brix) (Po)	6,65	6,00	1,25	6,00	4,00	10,00	18,76	200	0,99	14,89
(SS) (°Brix) (Ps)	7,64	8,00	0,86	4,00	5,00	9,00	11,31	20		
(AP) pH (Po)	6,43	6,24	0,10	0,75	6,14	6,89	1,63	200	-0,04	-0,62
(AP) pH (Ps)	6,39	6,35	0,15	0,53	6,14	6,67	2,33	20		
(FP) kg/cm ² (Po)	6,93	8,60	1,59	12,00	2,00	14,00	22,88	200	0,29	4,18
(FP) kg/cm ² (Ps)	7,22	7,90	1,54	4,40	10,20	5,80	21,31	20		

Población original (Po), Población seleccionada (Ps), peso del fruto (PF), diámetro del fruto (DF), longitud del fruto (LF), grosor de la corteza (GC), espesor de la pulpa (EP), cavidad del fruto (CF), (SS) sólidos solubles (°Brix), acidez de la pulpa (AP), firmeza de la pulpa (FP).

Los resultados obtenidos de este estudio indican claramente que las poblaciones criollas, como la variedad Dudaim de melón, albergan una considerable reserva de variación genética y una capacidad notable de adaptación a diversas condiciones ambientales (Eguiarte *et al.*, 2015), también indican presencia de variabilidad en el germoplasma, que facilita las posibilidades de selección para modificar los caracteres en estudio. El diferencial de selección fue positivo para 7 de los nueve caracteres evaluados, dos caracteres presentaron un diferencial de selección negativo inferior a 1, lo que indica que por efecto de selección se disminuyó levemente la cavidad del fruto y acidez de la pulpa. Los valores más altos en porcentaje de variación alcanzados en la primera selección del cultivar criollo de melón de bolsillo fueron en peso de fruto 17,50% y grados Brix 14,89% que conjuntamente con rendimiento son los principales caracteres de selección para esta investigación.

Los análisis de las variables cualitativas del fruto permitieron observar que el color de los frutos fue amarillo rojizo en 99% y amarillo en el 1% de las observaciones, el color de la pulpa fue blanco en el 100% de los frutos, el 98,6% de los frutos no presentó manchas y las manchas presentes fueron de tipo punteado y bandas meridianas en porcentaje del 0,44%.

El escriturado fue ausente en 95,97% y escaso en 4,03% de los frutos, la forma de la sección longitudinal presentó como esféricos al 62,68%, achatados al 9,03% y ovalados, al 28,9%. Las características descritas concuerdan con las del melón de bolsillo y con la descripción realizada por autores como Bates (1990) y Robinson y Decker (1997).

En la figura de distribución de peso del fruto (Figura 1) y distribución de grados Brix (Figura 2), se observa que la media de la población seleccionada se desplaza hacia la derecha lo que demuestra un aumento en el promedio de la población seleccionada en relación a la población original y concuerda con lo descrito por (Vallejo y Estrada, 2013).

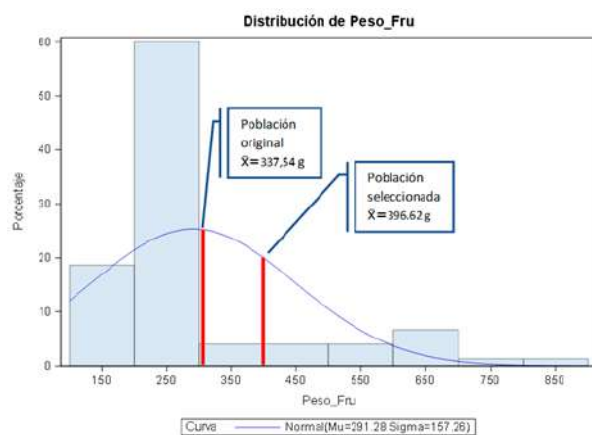


Figura 1. Peso del fruto de la población original y población seleccionada

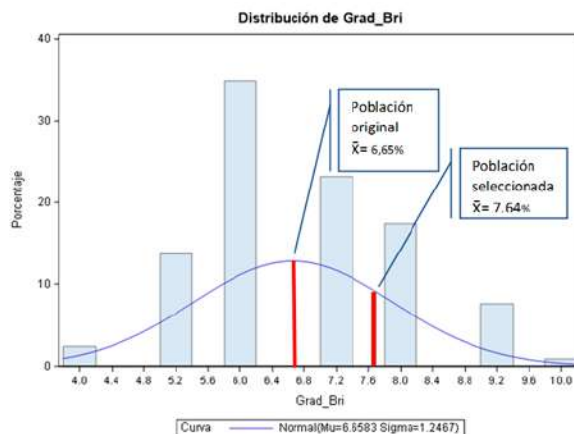


Figura 2. Grados Brix de la población original y población mejorada

Las medidas de tendencia central, coeficiente de variabilidad, diferencial de selección y porcentaje de variación en la población original y población seleccionada para 4 caracteres relacionados con la producción del melón (*C. melo* L.) variedad Dudaim se presentan en el Tabla 2. Las medias de la población seleccionada fueron menores que las de la población original en 2 de los 4 caracteres evaluados; en los caracteres de frutos no comerciales fue menor que el de la población original, resultados que son positivos para el proceso de mejoramiento.

El coeficiente de variabilidad de la población seleccionada se presentó menor que el de la población original en los 4 caracteres evaluados. En la población seleccionada los coeficientes de variabilidad de los 4 caracteres presentaron valores superiores al 50%, manteniéndose una alta variabilidad en estos caracteres. El diferencial de selección fue positivo para 3 de los 4 caracteres evaluados, 1 carácter presentó un diferencial de selección negativo inferior a 1, lo que indica que por efecto de selección se disminuyó levemente el número de frutos no comerciales.

El valor más alto en porcentaje de variación alcanzado en la primera selección del cultivar criollo de melón de bolsillo fue en rendimiento por hectárea 21,92% que conjuntamente con peso del fruto y grados Brix son los principales caracteres de selección para esta investigación.

En el análisis del progreso genético esperado en la población seleccionada de melón criollo de bolsillo (Dudaim) Los cuadrados medios y coeficientes de variación para 11 caracteres relacionados con el fruto se presentan en el Tabla 3.

Los cuadrados medios de los 9 caracteres evaluados en las poblaciones original y seleccionada de melón de Mano, no presentaron diferencias significativas $p \leq 0,05$ para repeticiones ni para la interacción genotipo por localidad. Los caracteres peso del fruto, diámetro del fruto y rendimiento presentaron diferencias estadísticas $p \leq 0,05$ para las fuentes de variación localidad y genotipo, mientras que para sólidos solubles totales únicamente se encontró diferencias significativas

para genotipo o población. Para 8 de los 11 caracteres el coeficiente de variación (CV) fue inferior al 10%, mientras que, para firmeza de la pulpa, número de frutos comerciales y producción por hectárea se tuvo CV inferior al 23%. Estos

resultados indican que la metodología de evaluación en campo y de registro de resultados fueron las adecuadas para esta investigación.

Tabla 2. Medidas de tendencia central, diferencial de selección y variación por selección en porcentaje para características productivas de la planta en población original y población seleccionada de melón criollo de bolsillo (Dudaim)

Medidas de tendencia central	TF (Po)	TF (Ps)	Fc (Po)	Fc (Ps)	Fnc (Po)	Fnc (Ps)	kg ha ⁻¹ (Po)	kg ha ⁻¹ (Ps)
Media	5,27	5,30	1,36	1,45	3,93	3,85	3454,70	4212,20
Moda	3,00	3,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1393,20	#N/A
Desviación estándar	4,19	3,37	1,79	0,94	4,50	3,47	2426,80	2218,20
Rango	18,00	13,00	7,00	4,00	19,00	14,00	10603,00	9195,80
Mínimo	1,00	3,00	0,00	0,00	0,00	1,00	359,96	1433,20
Máximo	19,00	16,00	7,00	4,00	19,00	15,00	10963,00	10629,00
C de V.	79,39	63,65	131,51	65,14	114,52	90,09	70,24	52,66
Observaciones	200,00	20,00	200,00	20,00	200,00	20,00	200,00	20,00
Diferencial de selección	0,03		0,09		-0,08		757,42	
Porcentaje de variación	0,57		6,62		-2,04		21,92	

Población original (Po), Población seleccionada (Ps), total frutos (TF), frutos comerciales (Fc), Frutos no comerciales (Fnc), rendimiento (kg ha⁻¹), coeficiente de variabilidad (C de V).

Tabla 3. Análisis de varianza y coeficiente de variación de 11 caracteres del fruto de melón (*Cucumis melo* L.) de bolsillo (Dudaim)

Fuente de variación	GL	(PF) g	(DF) mm	(LF) mm	(GC) mm	(EP) mm	(CF) mm
Repetición	2	12552,37 ^{ns}	39,92 ^{ns}	33,68 ^{ns}	0,00 ^{ns}	1,22 ^{ns}	34,84 ^{ns}
Localidad	1	1672309*	74,50*	0,02 ^{ns}	0,08**	1,38 ^{ns}	33,00 ^{ns}
Genotipo	1	38659,24**	109,08*	262,55*	0,00 ^{ns}	2,93 ^{ns}	25,17 ^{ns}
Genotipo x localidad	1	18,23 ^{ns}	3,35 ^{ns}	5,37 ^{ns}	0,00 ^{ns}	3,26 ^{ns}	0,26 ^{ns}
Error	6	1372,38	9,58	10,16	0,00	0,70	12,07
Coeficiente de variación		8,22	3,46	3,22	5,14	4,19	7,33

Fuente de variación	GL	(SS) (°Brix)	(AP) pH	(FP) kg/cm ²	(FC)Número	(R) kg ha ⁻¹
Repetición	2	0,10 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,43 ^{ns}	1001699,46 ^{ns}
Localidad	1	0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}	1,62 ^{ns}	1,21 ^{ns}	2694661,76*
Genotipo	1	10,29**	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,30 ^{ns}	2443672,18*
Genotipo x localidad	1	0,03 ^{ns}	0,00 ^{ns}	1,83 ^{ns}	0,17 ^{ns}	67889,06 ^{ns}
Error	6	0,04	0,02	0,75	0,23	329417,83
Coeficiente de variación		2,45	2,10	20,49	19,78	22,95

GL: grados de libertad, **: significancia nivel $p < 0,01$, *: significancia nivel $P < 0,05$ de probabilidad, ns: no significativo, peso del fruto (PF), diámetro del fruto (DF), longitud del fruto (LF), grosor de la corteza (GC), espesor de la pulpa (EP), cavidad del fruto (CF), (SS) sólidos solubles (°Brix), acidez de la pulpa (AP), firmeza de la pulpa (FP), número de frutos comerciales (FC) y producción por hectárea (R).

El detalle de los coeficientes de correlación entre las características evaluadas en las poblaciones original y seleccionada de melón (*C. melo* L.) de bolsillo (Dudaim) se presentan en el Tabla 4. En relación al carácter peso de fruto los resultados mostraron asociaciones fenotípicas altamente significativas y positivas entre el peso con diámetro, longitud y cavidad del fruto, también el peso presentó correlación altamente significativa con espesor de pulpa, sólidos solubles y producción por hectárea. Correlaciones que indican la selección por mayor peso de fruto no solo puede mejorar el rendimiento y la productividad del cultivo de melón, sino que también podría influir positivamente en la calidad de la pulpa al favorecer variedades con una mayor cantidad y densidad de esta parte comestible del fruto, así como incrementar sólidos solubles y producción por hectárea. Se encontró una correlación negativa, no significativa, entre el peso del fruto y la acidez de la pulpa y, correlación no significativa con grosor de la corteza, y firmeza de la pulpa.

Se encontraron correlaciones fenotípicas altamente significativas entre el carácter sólidos solubles con peso y longitud del fruto; también se tuvieron correlaciones significativas con diámetro del fruto, número de frutos y rendimiento; mientras que con los demás caracteres las correlaciones fueron no significativas. Significa que genéticamente hay una asociación fuerte entre esos caracteres, pero el valor fenotípico es disminuido por la interacción del entorno (Harsh y Pal, 2022).

La existencia de correlación entre el peso del fruto y el espesor de la pulpa en el cultivo de melón puede atribuirse a diversos factores, que incluyen la presencia de efectos pleiotrópicos de los genes, relaciones fisiológicas y de

desarrollo, efectos ambientales o una combinación de todos estos (Reddy *et al.*, 2017). Mediante el conocimiento de las correlaciones entre caracteres se pueden encontrar asociaciones de mucho valor para un programa de mejoramiento. La mejora de caracteres complejos, como el rendimiento, se puede lograr a través del enfoque componente de la reproducción. Por lo tanto, entender el mecanismo genético de crecimiento, precocidad y atributos relacionados con el rendimiento sería muy importante para mejorar el rendimiento (Praven *et al.*, 2017).

El diferencial de selección y ganancia genética, de las características evaluadas en las poblaciones original y seleccionada de melón de Mano se observan en el Tabla 5. Los valores estimados de progreso genético fueron de magnitud moderada (10-20%) para sólidos solubles totales y de magnitud baja (<10%) para el resto de caracteres evaluados.

El progreso genético para peso del fruto de 9,66% y para rendimiento 7,68% fueron de magnitud baja (<10%), mientras que para sólidos solubles con 10,59% fue de magnitud moderada, valores que difieren a los encontrados por Reddy *et al.* (2017), que, en su investigación con una población de 35 líneas de melón, observaron avances genéticos significativos en todos los caracteres estudiados. Destacándose particularmente avances genéticos de gran magnitud, que superaron el umbral del 20% en tres aspectos fundamentales del cultivo de melón. El avance genético fue notablemente alto para el peso promedio del fruto, alcanzando un 57,27%. Asimismo, señalan un avance genético considerable en la concentración de sólidos solubles totales, con un incremento del 24,68% y que, además la producción de fruto experimentó un avance genético notable, con un incremento del 30,50%.

Tabla 4. Coeficiente de correlación (r) entre las características evaluadas de melón (*Cucumis melo* L.) de Mano

Caracteres	(DF) mm	(LF) mm	(GC) mm	(EP) mm	(CF) mm	(SS) °Brix	(AP) pH	(FP) kg cm ²	(FC) Número	(R) kg ha ⁻¹
(PF) g	0,92**	0,85**	0,34 ^{ns}	0,78**	0,73**	0,74**	-0,01 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,79**	0,88**
(DF) mm		0,78**	0,21 ^{ns}	0,88**	0,90**	0,62*	0,11**	0,23**	0,70**	0,78**
(LF) mm			0,23 ^{ns}	0,60*	0,90*	0,83**	-0,06 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,65*	0,73**
(GC) mm				0,43 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,31 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,45 ^{ns}
(EP) mm					0,77**	0,50 ^{ns}	-0,19 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,75**
(CF) mm						0,44 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,69*	0,70*
(SS) °Brix							0,03 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,61*
(AP) pH								0,01 ^{ns}	-0,43 ^{ns}	-0,41 ^{ns}
(FP) kg cm ²									0,28 ^{ns}	0,29 ^{ns}
(FC) Número										0,98**

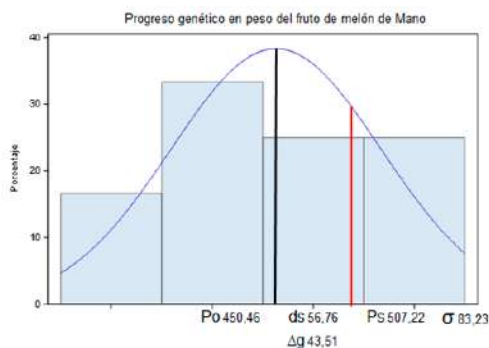
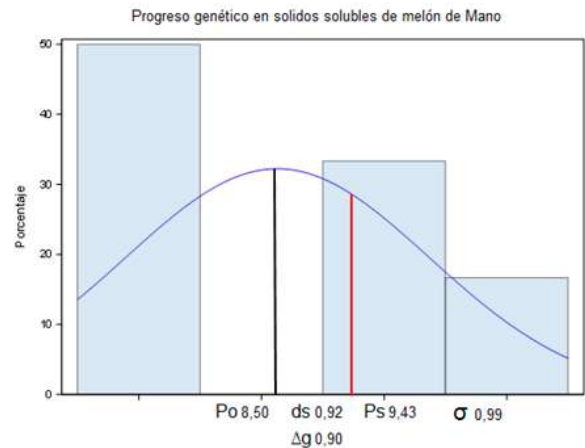
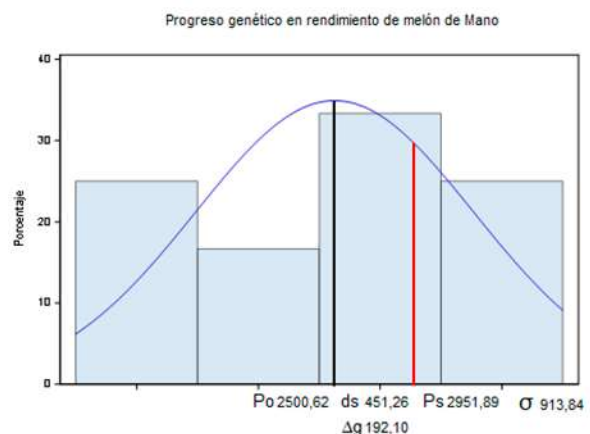
** : significancia nivel $P < 0,01$, * : significancia nivel $p < 0,05$ de probabilidad, ns: no significativo, peso del fruto (PF), diámetro del fruto (DF), longitud del fruto (LF), grosor de la corteza (GC), espesor de la pulpa (EP), cavidad del fruto (CF), (SS) sólidos solubles (°Brix), acidez de la pulpa (AP), firmeza de la pulpa (FP), numero de frutos comerciales (FC) y producción por hectárea (R).

Tabla 5. Promedios, diferencial de selección y ganancia genética, de las características evaluadas en las poblaciones original y seleccionada de melón (*Cucumis melo* L.) de Mano (Dudaim)

Caracteres	Promedio Po	Promedio Ps	ds	Δg	Δg (%)
(PF) g	450,46	507,22	56,76	43,51	9,66
(DF) mm	89,35	92,37	3,02	1,72	1,93
(LF) mm	98,84	103,52	4,68	3,64	3,69
(GC) mm	0,62	0,63	0,01	0,00	0,37
(EP) mm	20,03	20,61	0,58	0,20	0,98
(CF) mm	47,41	48,86	1,45	0,02	0,04
(SS) °Brix	8,50	9,43	0,93	0,90	10,59
(AP) pH	6,56	6,57	0,01	0,00	0,06
(FP) kg/cm ²	4,22	4,25	0,03	0,00	0,10
(FC) Número	2,42	2,58	0,16	0,00	0,04
(R) kg ha ⁻¹	2500,62	2951,89	451,27	192,10	7,68

Población original (Po), población seleccionada (Ps), diferencial de selección (ds), progreso genético esperado Δg , progreso genético esperado en porcentaje $\Delta g\%$, diámetro del fruto (DF), longitud del fruto (LF), grosor de la corteza (GC), espesor de la pulpa (EP), cavidad del fruto (CF), (SS) sólidos solubles (°Brix), acidez de la pulpa (AP), firmeza de la pulpa (FP) producción por hectárea (R).

En la descripción gráfica del progreso genético debido a la selección utilizando la curva de distribución normal se presenta en las Figuras 3, 4 y 5; en donde se observa que el diferencial de selección es mayor que el progreso genético alcanzado en los caracteres peso, rendimiento del fruto y sólidos solubles totales, la desviación estándar es diferente para cada carácter en peso del fruto fue de 83,23, en sólidos solubles 0,99 y en rendimiento por hectárea fue la más amplia con 192,1; resultados que concuerdan con (Espinoza y Vallejo, 2020). Considerando que los resultados son de la primera selección y que la heredabilidad encontrada es alta para peso de fruto y sólidos solubles y moderada para rendimiento, el avance genético obtenido en estos caracteres es importante; los resultados encontrados coinciden con (Rakhi y Rajamony, 2006) que refiriéndose a su investigación manifestó: aunque la heredabilidad fue moderada para peso de fruto (PF), sólidos solubles (SS) y producción por hectárea (kg/), el avance genético fue significativo teniendo en cuenta la importancia agronómica y económica de éstos caracteres.

**Figura 3. Progreso genético del peso****Figura 4. Progreso genético de SS****Figura 5. Progreso genético de rendimiento**

Conclusiones

El melón de bolsillo se caracteriza por presentar frutos pequeños, de color amarillo rojizo, color de pulpa blanco, ausencia de manchas en la corteza, corteza lisa, sección longitudinal esférica, ovalada o achatada, sabor poco dulce, semilla de color crema, tamaño pequeño, livianas y en promedio se encuentran cerca de 200 semillas por fruto, es un cultivar de crecimiento rápido y su proceso productivo culmina alrededor de los 100 días.

La población seleccionada de la variedad Dudaím de melón ha demostrado ser superior a la población original en 7 caracteres relacionados con el fruto. Además, se ha observado que esta población seleccionada exhibe una alta variabilidad genética, lo que sugiere la presencia de una amplia diversidad genética dentro de la población. Asimismo, se ha encontrado una alta heredabilidad en sentido amplio para los caracteres relacionados con la calidad del fruto. La alta heredabilidad indica que una proporción significativa de la variación observada en estos caracteres está influenciada por factores genéticos, lo que sugiere que estos caracteres son altamente heredables y, por lo tanto, susceptibles a la selección. La población seleccionada de la variedad Dudaím de melón representa una fuente prometedora de material genético mejorado, con posibilidades significativas de mejorar tanto la calidad como la productividad del cultivo de melón a través de estrategias de selección adecuadas.

Referencias bibliográficas

- Abraham-Juárez, Ma. del R, Espitia-Vázquez, I, Guzmán-Mendoza, R, Olalde-Portugal, V, Ruiz-Aguilar, G M. de la L., García-Hernández, J L., Herrera-Isidró, L, y Núñez-Palenius, H G. (2018). Development, yield, and quality of melon fruit (*Cucumis melo* L.) inoculated with mexican native strains of *Bacillus subtilis* (Ehrenberg). *Agrociencia*, 52(1), 91-102. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000100091&lng=es&tlng=en
- Aragão, F. A. S. de, Nunes, G. H. de S., y Queiróz, M. A. de. (2015). Genotype x environment interaction of melon families based on fruit quality traits. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 15(2), 79–86. <https://doi.org/10.1590/1984-70332015v15n2a15>
- Bates, D. M., y Robinson, R. W. (1990). *Biology and utilization of the Cucurbitaceae* (C. Jeffrey, Ed.). Cornell University Press. <https://doi.org/10.1007/BF02859786>
- Eguiarte, L. E., Aguirre-Liguori, J. A., Jardón-Barbolla, L., Aguirre-Planter, E., y Souza, V. (2015). Genómica de Poblaciones: nada en evolución va a tener sentido si no es a la luz de la genómica, y nada en genómica tendrá sentido si no es a la luz de la evolución. *Tip revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 16(1), 42–56. [https://doi.org/10.1016/S1405-888X\(13\)72077-1](https://doi.org/10.1016/S1405-888X(13)72077-1)
- Escribano Martín, S. (2010). Caracterización Etnobotánica, Agro-morfológica, Sensorial, Físico-química, Nutricional y Molecular de las Variedades Locales de Melón de Villacónes. [Tesis Doctoral, E.T.S.I. Agrónomos (UPM)]. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.4748>.
- Espinosa, F., Vallejo, F. A y Rizzo, L. (2019). Selection of half-sib families of creole melon (*Cucumis melo* L.) on the Ecuadorian coast. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 13(2), 178-185. <https://doi.org/10.17584/rch.2019v13i2.8083>
- Espinosa-Carillo, J. F. y Vallejo-Cabrera, F. A. (2020). Variabilidad genética de familias de medios hermanos de melón criollo ecuatoriano *Cucumis melo* var. *dudaím* (L.) Naudin. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 23(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n2.2020.1762>
- Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Palenque. (2022). *Alineación del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del GAD cantonal de Palenque al nuevo plan nacional de desarrollo 2021-2025*. <https://palenque.gob.ec/plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial/>
- Hamerly, M. T. (1973). *Historia social y económica de la antigua provincia de Guayaquil 1763 - 1842*. (1ª ed., pp. 1- 212). Publicaciones del archivo histórico del Guayas. <https://biblioteca.casadelacultura.gob.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=18407>
- Harsh, K. y Pal, A. K. (2022). Analysis of variance components for quantitative traits in muskmelon (*Cucumis melo* L.). *Annals of Plant and Soil Research*, 24(2), 288-293. <https://doi.org/10.47815/apr.2022.10163>
- Jaramillo, J., Bolaños, M., Montaña, M., Estrada, E. y Silva, H. (2012). Producción artesanal de semillas de hortalizas. (1ª ed.). Produmedios. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/2351/45046_60821.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- León, J. (2000). *Botánica de los cultivos tropicales*. (3ª ed.) Agroamérica, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. <http://repositorio.iica.int/handle/11324/7228>
- Magdaleno, E. (2018). Producción de semillas, practicas productivas en del sistema de Milpa en el valle Acambay, estado de México. [Tesis Doctoral, Colegio de postgraduados Instituto de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas]. <https://acortar.link/aYNJLz>
- Monge, J. (2016). Evaluación de 70 genotipos de melón (*Cucumis melo* L.) cultivados bajo invernadero en Costa Rica. *InterSedes*, 17(36), 73–112. <https://doi.org/10.15517/isucr.v17i36.26944>
- Rakhi, R. y Rajamony, L. (2006). Variability, heritability and genetic advance in landraces of culinary melon (*Cucumis melo* L.). *Journal of Tropical Agriculture*, 43, 79–82. <https://jtrapag.kau.in/index.php/ojs2/article/view/140>
- Reddy, B. P. K., Begum, H., Sunil, N. y Reddy, M. T. (2017).

- Genetic Divergence Analysis in Muskmelon (*Cucumis melo* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(6), 2251–2260. <https://doi.org/10.20546/ijemas.2017.606.267>
- Región de Murcia Digital. (2021). Historia del melón. https://www.regmurcia.com/servlet/s.SI?sit=c,543,m,2715&r=ReP-19949-DETALLE_REPORTAJESPADRE
- Robinson, R., y Decker-Walters, D. (1997). *Cucurbits*. CAB International. <https://books.google.com.ec/books?id=y0PEQgAACAAJ>
- Vallejo Cabrera, F. A. y Estrada Salazar, E. I. (2013). *Mejoramiento Genético de Plantas*. Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira.



Tolerancia *in-vitro* de *Lasiodiplodia theobromae* aislado de *Musa paradisiaca* y *Rubus niveus* a cinco fungicidas de diferente modo de acción

In-vitro tolerance of *Lasiodiplodia theobromae* isolated from *Musa paradisiaca* and *Rubus niveus* to five fungicides of different mode of action

Luis Fernando Jácome Quiroz¹, Carlos Andrés Bolaños Carriel^{1,2}, Eliana Granja Guerra¹, Tannya Elizabeth Llanos Proaño¹, Antonio León Reyes^{1,3}, Noelia Nathaly Barriga Medina³

¹Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador.

²Universidad Central del Ecuador, Ecuador

³Universidad San Francisco de Quito, Ecuador

Autor de correspondencia: luis.jacome1570@utc.edu.ec

Recibido: 16/02/2024. Aceptado: 10/04/2024

Publicado el 11 de julio de 2024

Resumen

La enfermedad muerte regresiva es causada por el fitopatógeno *Lasiodiplodia theobromae* que afecta la producción de los agricultores; se caracteriza por su capacidad de sobrevivir a través de picnidios y clamidosporas en el suelo y en residuos de cultivos, se dispersa hacia tejidos vegetales para permanecer endófito hasta que el hospedero se vuelve vulnerable por daños mecánicos o deficiencia de nutrientes que conlleva a la muerte de ramas jóvenes, momificación y pudrición de frutos. Debido al modo persistente de *L. theobromae*, la investigación se centró en la depuración simultánea de cepas del fitopatógeno aisladas de *Musa paradisiaca* y *Rubus niveus* con el objetivo de detectar la inhibición de crecimiento micelial frente a fungicidas de diferentes modos de acción, estableciendo por medio de una escala de toxicidad a una de las concentraciones 10; 1; 0,1; 0,01; y 0,001 µg mL⁻¹ como eficiente en propiconazol, mancozeb, iprodione, difenoconazol y ciproconazol, respectivamente en su orden. Existió un 100% de inhibición de crecimiento con propiconazol y difenoconazol a una concentración de 10 µg mL⁻¹ que les permite ser efectivos en el control del fitopatógeno, mientras que mancozeb, iprodione y ciproconazol fueron inofensivos para *L. theobromae*, debido a que, no interrumpieron el crecimiento micelial en la investigación.

Palabras clave: cepas, control, fungicidas, depuración, picnidios.

Abstract

The dieback disease is caused by the phytopathogen *Lasiodiplodia theobromae* that affects farmer's production; it is characterized by its ability to survive through pycnidia and chlamydospores in soil and crop residues, it spreads to plant tissues to remain endophytic until the host crop becomes vulnerable by mechanical damage or nutrient deficiency leading to death of young branches, mummification and fruit rot. Due to the persistent mode of *L. theobromae*, the research focused on the simultaneous depuration of strains of the phytopathogen isolated from banana and raspberry with the objective of detecting the mycelial growth rate against fungicides of different mode of action, establishing by means of a toxicity scale at one of the concentrations 10; 1; 0,1; 0,01 and 0,001 µg mL⁻¹ as efficient with propiconazole, mancozeb, iprodione, difenoconazole and cyproconazole, respectively in their order. There was 100% growth inhibition with propiconazole and difenoconazole at a concentration of 10 µg mL⁻¹ that allows them to be effective fungicides in the control of the phytopathogen, while mancozeb, iprodione and cyproconazole were harmless to *L. theobromae*, because they allowed its mycelial growth in the research.

Keywords: strains, control, fungicides, depuration, pycnidia.

Introducción

El fitopatógeno *L. theobromae* pertenece a la familia *Botryosphaeriaceae* que comprende varios hongos necrótrofos; su temperatura de crecimiento es de 15 °C mínimo, 28 °C óptimo y 40 °C máximo, lo que le permite desarrollar su ciclo biológico en una amplia serie de condiciones térmicas; además es cosmopolita con un rango diverso de hospederos que habitan en regiones tropicales y subtropicales. Es un microorganismo endófito en tejidos vegetales sanos (Moreira *et al.*, 2021), que logra generar daños cuando el hospedero se encuentra debilitado y pierde su vigor debido a heladas o deficiencia nutricional. La presencia de este fitopatógeno puede desencadenar diversos síntomas en las plantas afectadas, como muerte descendente en brotes y ramas (Rusin *et al.*, 2020), tizón y clorosis foliar, pudrición de raíz en plantas leñosas y marchitamiento de los frutos, generando pérdidas económicas en cultivos como mango, aguacate, papaya, plátano, uva, cítricos y duraznos (Flores *et al.*, 2021).

La sobrevivencia de *L. theobromae* es a través de un modo de alimentación saprófita en forma de picnidios en el suelo y en residuos de cosecha, incluso persiste como clamidosporas para resistir en tejidos vegetales infectados. En condiciones favorables las esporas son liberadas por el viento o diseminadas por herramientas no desinfectadas. En análisis *in vitro* en laboratorio, los micelios de *L. theobromae* inicialmente son blancos, luego cambian a una coloración ceniza o gris (Moreira *et al.*, 2021) y finalmente adquieren un tono oscuro, además forma picnidios de color negro de 55 µm de ancho. Las hifas son septadas formando conidióforos cortos que son capaces de crear conidios que miden 15 µm de ancho y 23 a 28 µm de largo.

El cultivo de *Rubus niveus* (mora) en Ecuador tiene una superficie de 5247 hectáreas en monocultivo y en asociación con otras especies vegetales y su producción anual es de 11869 toneladas, siendo la provincia de Tungurahua la de mayor producción con el 70% de la superficie cultivada (Feicán *et al.*, 2019). Además llegó a las Islas Galápagos y con el paso del tiempo ésta planta se considera como invasora por su capacidad de adaptarse a varios tipos de suelo (Barriga, 2020); sin embargo *R. niveus* está expuesto a pudrición del fruto, antracnosis, mildiu polvoso y vellosa entre otras enfermedades que alteran su calidad y rentabilidad.

El banano en el Ecuador tiene una superficie de 165080 hectáreas, genera un ingreso cercano a los 3700 millones USD. La producción de banano se realiza en las provincias de Los Ríos, El Oro, Manabí, Guayas y en pequeñas superficies de Esmeraldas, Santo Domingo de Los Tsáchilas, Santa Elena, Sucumbíos, Napo y Orellana (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP], 2021). Contribuye económicamente con el 35% del producto interno bruto (PIB) agrícola nacional y es preferido por países de la Unión Europea (Prado y Garzón, 2022).

La resistencia hacia los fungicidas constituye una disminución de la sensibilidad de un hongo frente a un ingrediente activo específico, gracias a la capacidad que tienen los microorganismos fúngicos para adaptarse a distintas condiciones desfavorables que les permite sobrevivir y multiplicarse. Un fitopatógeno desarrolla resistencia debido a la variabilidad genética de la población del hongo, el cual, llega a tener una mayor tolerancia a los fungicidas para reproducirse; creando un incompleto control de un determinado fungicida y dejando en incertidumbre su influencia en el desarrollo de un microorganismo fúngico (Dong *et al.*, 2022) y (Fungicide Resistance Action Committee [FRAC], 2019).

La ejecución de bioensayos *in-vitro* con aislamientos susceptibles a diferentes concentraciones con productos químicos o naturales, es crucial para establecer un control no solo preventivo, sino curativo a los síntomas asociados a la muerte regresiva y de esa manera asegurar el desarrollo fenológico de diversos cultivos de clima tropical y subtropical, con el propósito de reducir las grandes pérdidas económicas que provoca *L. theobromae*. Previamente a la evaluación de los fungicidas se realizó una depuración simultánea de cepas del fitopatógeno aisladas de los cultivos de *Musa paradisiaca* y *Rubus niveus*.

Los objetivos fueron determinar el porcentaje de inhibición de crecimiento micelial en los distintos aislados de *L. theobromae* al ser expuestos a propiconazol, mancozeb, iprodione, difenoconazol y ciproconazol con la técnica de dilución seriada en PDA (Abdulkadir y Tae, 2022) a 10; 1; 0,1; 0,01 y 0,001 µg mL⁻¹, para establecer la concentración eficiente de los ingredientes activos utilizados en los subcultivos desarrollados, mediante una clasificación a escala de toxicidad (Romero *et al.*, 2022).

Materiales y métodos

Aislados del fitopatógeno

En la investigación se utilizaron cepas de *L. theobromae* que fueron caracterizadas según el estudio de (Barriga, 2020) a partir de muestras foliares de mora (*R. niveus*) considerada como especie invasora y de muestras del fruto de banano (*M. paradisiaca*), según lo detallado en la Tabla 1. Las cepas se encontraban anticipadamente almacenadas en el Laboratorio de Biotecnología Agrícola de la Universidad San Francisco de Quito.

Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Microbiología Vegetal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, ubicada en el cantón Latacunga, Ecuador, cuyas coordenadas geográficas son: 0° 59' 57" latitud sur, 78° 37' 23" longitud oeste, a una altitud de 2727 m.s.n.m.

Tabla 1. Cepas aisladas del fitopatógeno

Nº	Especie	Origen vegetal	Nº de acceso NCBI
1	<i>L. theobromae</i>	<i>Rubus niveus</i>	OQ879511
2	<i>L. theobromae</i>	<i>Musa paradisiaca</i>	L05032024

Fuente: (National Center for Biotechnology Information [NCBI], 2022)

Subcultivos del fitopatógeno

Antes de la implementación del ensayo; desde las cepas caracterizadas se realizó la depuración simultánea del fitopatógeno descrita en la Figura 1 y Tabla 2, para su identificación morfológica de acuerdo a Moreira *et al.* (2021). El aislamiento *in-vitro* inició siguiendo el protocolo de González *et al.* (2023) y se utilizó el medio de cultivo PDA (Potato Dextrosa Agar). El agar se vertió en cajas Petri esterilizadas de 90 mm de diámetro por 16,5 mm de alto, luego de enfriarse el medio de cultivo se repicaron discos miceliales de 0,5 cm de diámetro para colocarlos en el centro de las cajas Petri con nuevo medio de cultivo. Se añadió una dosis de 2000 microlitros de gentamicina por cada 100 mL de PDA para prevenir el crecimiento de bacterias contaminantes en cada uno de los subcultivos.

Previo a sembrar el fitopatógeno para purificación y con la finalidad de reducir el pH del medio de cultivo, se agregaron diferentes dosis en micro litros de ácido cítrico ($C_6H_8O_7$) en cada subcultivo, como se detalla en la Tabla 2; donde se determinó un efecto bacteriostático a una dosis de 200 μ L de $C_6H_8O_7$, bloqueando el desarrollo de bacterias, que contribuyó a la depuración de las cepas, asegurando que *L. theobromae* se desarrolle en el medio de cultivo PDA. Después de añadir ácido cítrico, las cajas Petri fueron incubadas a 28 °C por un período mínimo de 7 días para que el fitopatógeno desarrolle su fase micelial.

Tolerancia *in-vitro*

Se evaluó el desarrollo de los subcultivos de *L. theobromae* utilizando la técnica de dilución en agar con cinco fungicidas, que se especifican en la Tabla 3. El protocolo utilizado fue de (Abdulkadir y Tae, 2022) con modificaciones de extracción y siembra en medio de cultivo PDA. A través del uso de filtros de jeringa se realizó una esterilización a cada ingrediente activo a concentraciones de 10; 1; 0,1; 0,01 y 0,001 μ g mL⁻¹ que fueron calculadas de acuerdo a la concentración comercial de cada producto químico, mediante la fórmula $C1 * V1 = C2 * V2$. Donde **C1**: concentración inicial; **V1**: volumen inicial; **C2**: concentración final; **V2**: volumen final; para crear condiciones fungicidas y afectar a cada medio de cultivo que contenía al fitopatógeno (Baldiga *et al.*, 2013).

Tabla 2. Depuración simultánea de los subcultivos de *L. theobromae*

Subcultivo Nº	Ácido cítrico μ L (micro litros)	Depuración simultánea de cepas	
		Mora	Banano
1	0	x	✓
2	0	x	✓
3	0	x	✓
4	0	x	x
5	0	✓	x
6	500	x	x
7	300	x	✓
8	250	x	x
9	400	✓	x
10	100	x	x
11	200	✓	✓
12	200	✓	✓

x = infestado de bacterias.

✓ = libre de bacterias.

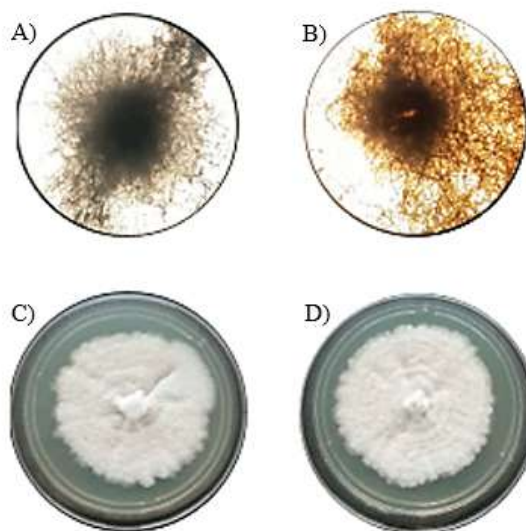


Figura 1. Picnidios y cepas de *L. theobromae* libres de contaminación. A) picnidio en cepa de mora, B) picnidio en cepa de banano, C) cepa purificada de mora y D) cepa purificada de banano

Los picnidios se obtuvieron a los 80 días del primer subcultivo y permitieron conseguir las cepas purificadas.

Tabla 3. Fungicidas evaluados

Tratamiento	Ingrediente activo	Concentración comercial (g L ⁻¹)	Concentración evaluada (µg mL ⁻¹)
1			10
2	F1. Propiconazol		1
3	(2RS,4RS;2RS,4SR)-1-[2-(2,4-diclorofenil)-	250	0,1
4	4-propil-1,3-dioxolan-2-ilmetil]-1H-1,2,4-		0,01
5	triazol		0,001
6			10
7	F2. Mancozeb		1
8	Complejo (polimérico) de etilenbis	600	0,1
9	(ditiocarbamato) de manganeso con sal de		0,01
10	zinc		0,001
11			10
12	F3. Iprodione		1
13	3-(3,5-diclorofenil)-N-isopropil-2,4-	500	0,1
14	dioximidazolidina-1-carboxamida		0,01
15			0,001
16			10
17	F4. Difenconazol		1
18	3-cloro-4-((2RS,4RS;2RS,4SR)-4-metil-2-	250	0,1
19	(1H-1,2,4-triazol-1-ilmetil)-1,3-dioxolan-2-		0,01
20	il)fenilo Éter de 4-clorofenilo.		0,001
21			10
22	F5. Ciproconazol		1
23	(2RS,3RS;2RS,3SR)-2-(4-clorofenil)-3-	100	0,1
24	ciclopropil-1-(1H-1,2,4-triazol-1-il)butan-		0,01
25	2-ol		0,001
26	Control Propiconazol		0,00
27	Control Mancozeb		0,00
28	Control Iprodione		0,00
29	Control Difenconazol		0,00
30	Control Ciproconazol		0,00

Nombres químicos de los fungicidas extraídos de <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/> (Lewis *et al.*, 2016).

La siembra del fitopatógeno consistió en colocar discos de micelio con el lado fúngico hacia abajo en el medio PDA, las cajas Petri con fungicida fueron utilizadas como tratamientos repitiéndolos 3 veces y se almacenaron en incubadora a 28 °C, mientras que, el medio de cultivo de 0 µg mL⁻¹ sirvió como control.

En los subcultivos con distintas concentraciones de fungicidas se realizó la medición del radio de la colonia desde el primer día. La inhibición de crecimiento de micelio en cada concentración se valoró comparando el radio de la colonia en el tratamiento con PDA más fungicida y el control

sin fungicida, mediante la fórmula descrita por Romero *et al.* (2022): $I \% = [(C-T) \div C] \times 100$. Donde **I %**: Porcentaje de inhibición de crecimiento de *L. theobromae*; **C**: Radio de la colonia en el control (sin fungicida); **T**: Radio de la colonia en el tratamiento (con fungicida). La fórmula cuantificó la reducción porcentual en el crecimiento de micelio debido a la presencia del fungicida. Con los porcentajes de inhibición obtenidos se determinó la toxicidad mediante una escala de clasificación (Romero *et al.*, 2022), donde el porcentaje inferior al 30% se considera inofensivo (no controlado) para el fitopatógeno e implica un impacto limitado de inhibición,

mientras que, un rango entre 30 y 75% es ligeramente tóxico (parcialmente controlado). Si el porcentaje de inhibición va entre 75 y 90% es considerado como moderadamente tóxico (altamente controlado) y finalmente si existe el 100% de inhibición, el ingrediente activo es tóxico (control total) para *L. theobromae*.

Análisis estadístico

El experimento se realizó bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial (AxBxC) (2 cepas de *L. theobromae* x 5 fungicidas x 5 concentraciones). El método de diferencia mínima significativa (LSD) fue usado para separar las medias de los tratamientos. Todos los análisis fueron realizados con el software SAS (Statistical Analysis System).

Resultados

Tolerancia de *L. theobromae* a los fungicidas de diferente modo de acción

El valor obtenido de ($p < 0,0001$) en las interacciones, tanto del crecimiento del radio de colonia como del porcentaje

de inhibición; denotó el rechazo de la hipótesis nula de que ningún fungicida influye en el crecimiento del fitopatógeno (Tabla 4). Finalmente se observó que dos ingredientes activos con la concentración más alta ($10 \mu\text{g mL}^{-1}$) provocaron un mínimo desarrollo de radio de colonia (1 mm) en *L. theobromae*, (Figuras 2 a 6).

Los resultados del análisis de varianza para las interacciones dobles (fungicida * cepa) y (fungicida * concentración) y la interacción triple (fungicida * cepa * concentración), tanto para el radio de colonia como el porcentaje de inhibición, demostraron significancia estadística, deduciendo que existieron ingredientes activos capaces de inhibir el crecimiento de micelio de *L. theobromae* en medio de cultivo.

Eficacia de los tratamientos

Solo la concentración de $10 \mu\text{g mL}^{-1}$ presentó el 100% de inhibición de crecimiento utilizando propiconazol y difenoconazol (Tabla 5), los demás tratamientos tuvieron un rango por debajo de la recomendación comercial, $< 75\%$ (amplitud 2 - 64%).

Tabla 4. Análisis de varianza para el radio de colonia y porcentaje de inhibición.

Fuente	gl	Radio de colonia pr > F	% de Inhibición pr > F
Total	149		
Fungicida	4	< 0,0001	< 0,0001
Cepa	1	< 0,0001	< 0,0001
Concentración	4	< 0,0001	< 0,0001
Fungicida x cepa	4	0,0068	0,0133
Fungicida x concentración	16	< 0,0001	< 0,0001
Cepa x concentración	4	0,091	0,1577
Fungicida x cepa x concentración	16	0,0047	0,011
Error	100		

Tabla 5. Porcentaje de inhibición de crecimiento micelial

Tratamiento	Concentración ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	Rango de % Inhibición	Clasificación	Denominación en <i>L. theobromae</i>
	10	100	Tóxico	Control total
Propiconazol	1	50 – 64	Ligeramente tóxico	Parcialmente controlado
	0,1	14 – 61	Ligeramente tóxico	Parcialmente controlado
	0,01	14 – 24	Inofensivo	No controlado
	0,001	7 – 10	Inofensivo	No controlado
	10	7 – 13	Inofensivo	No controlado
Mancozeb	1	10 – 22	Inofensivo	No controlado
	0,1	3 – 9	Inofensivo	No controlado
	0,01	5 – 11	Inofensivo	No controlado
	0,001	2 – 7	Inofensivo	No controlado
	10	11 – 51	Ligeramente tóxico	Parcialmente controlado
Iprodione	1	9 – 16	Inofensivo	No controlado
	0,1	4 – 18	Inofensivo	No controlado
	0,01	5 – 18	Inofensivo	No controlado
	0,001	5 – 10	Inofensivo	No controlado
	10	100	Tóxico	Control total
Difenoconazol	1	45 – 59	Ligeramente tóxico	Parcialmente controlado
	0,1	15 – 37	Ligeramente tóxico	Parcialmente controlado
	0,01	10 – 29	Inofensivo	No controlado
	0,001	3 – 19	Inofensivo	No controlado
	10	16 – 39	Ligeramente tóxico	Parcialmente controlado
Ciproconazol	1	6 – 35	Ligeramente tóxico	Parcialmente tóxico
	0,1	8 – 32	Ligeramente tóxico	Parcialmente tóxico
	0,01	7 – 28	Inofensivo	No controlado
	0,001	2 – 21	Inofensivo	No controlado

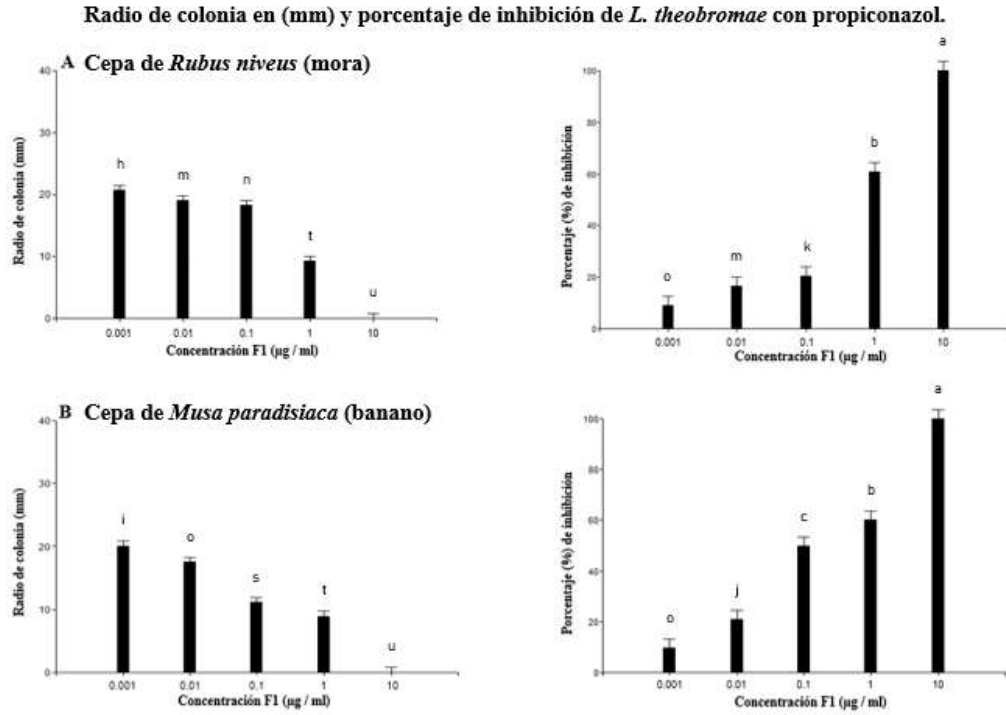


Figura 2. Control de cepas de *L. theobromae* con propiconazol. Medias seguidas por la misma letra no representan diferencias estadísticas

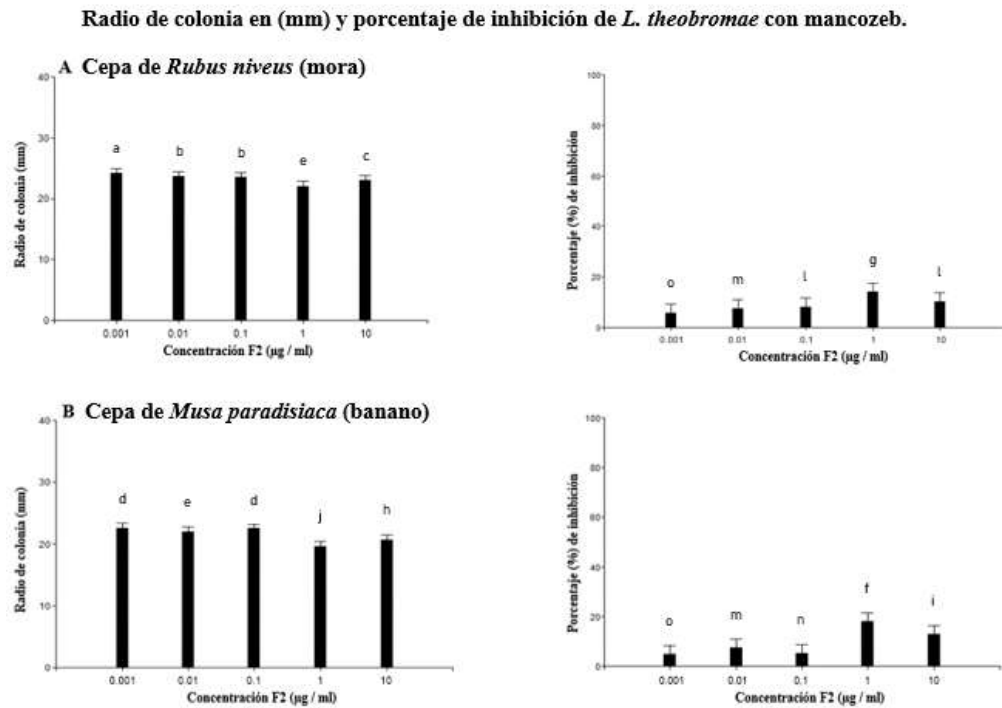


Figura 3. Ausencia de control de cepas de *L. theobromae* con mancozeb. Medias seguidas por la misma letra no representan diferencias estadísticas

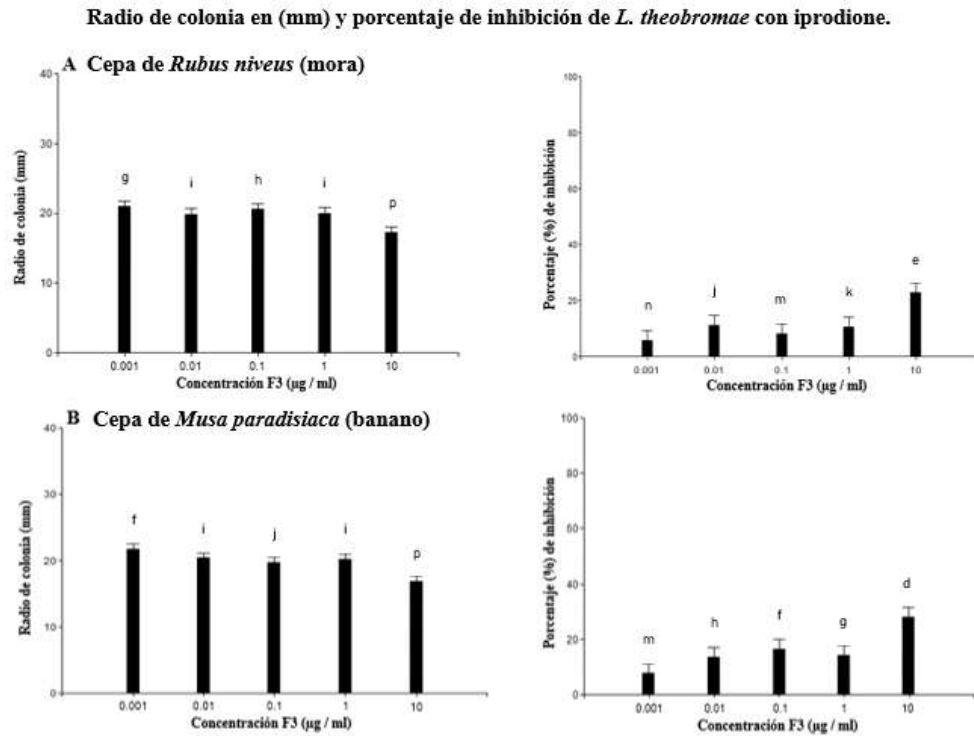


Figura 4. Ausencia de control de cepas de *L. theobromae* con iprodione. Medias seguidas por la misma letra no representan diferencias estadísticas

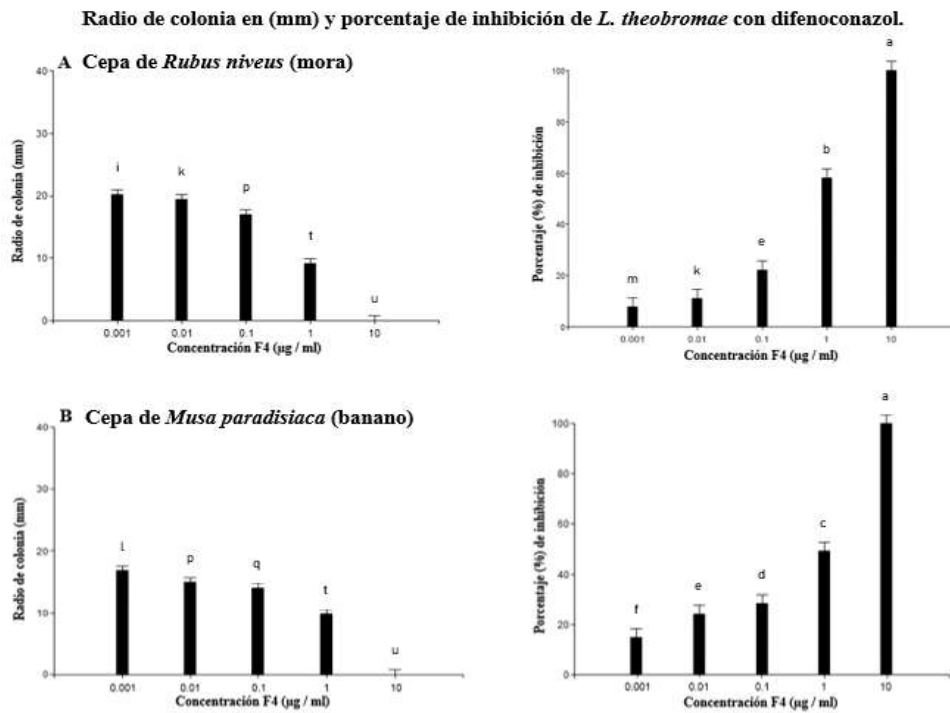


Figura 5. Control de cepas de *L. theobromae* con difenoconazol. Medias seguidas por la misma letra no representan diferencias estadísticas

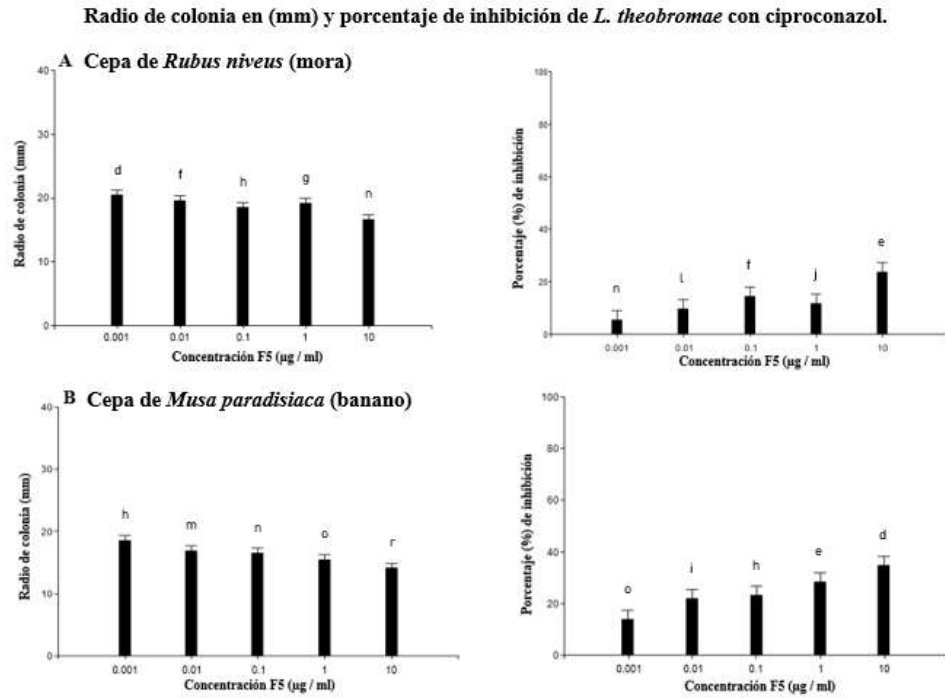


Figura 6. Ausencia de control de cepas de *L. theobromae* con ciproconazol. Medias seguidas por la misma letra no representan diferencias estadísticas

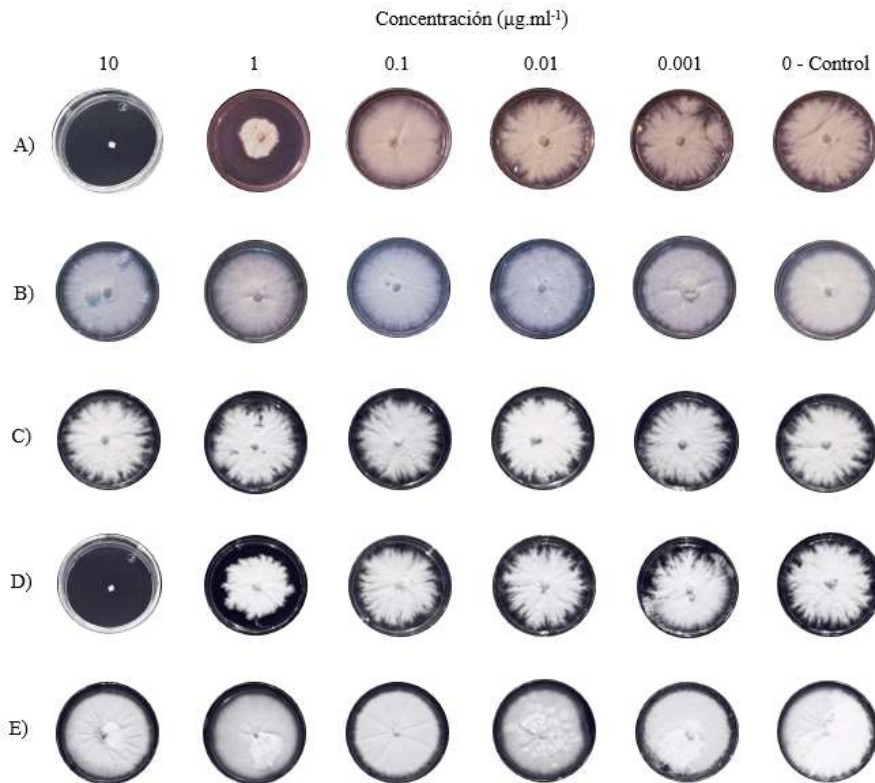


Figura 7. Cepa de mora de *L. theobromae* en PDA con fungicida y control. A) Propiconazol; B) Mancozeb; C) Iprodione; D) Difenconazol; E) Ciproconazol

Discusión

Con la morfología de *L. theobromae* del estudio de Jiménez *et al.* (2022) y Moreira *et al.* (2021) se corroboró que las cepas utilizadas pertenecen a la misma especie del fitopatógeno y el crecimiento en medio de cultivo registrado en esta investigación (Figuras 7 y 8), es similar a los análisis *in-vitro* realizados por Alforja *et al.* (2021) donde los micelios son de coloración blanquecina y de Morales-Pizarro *et al.* (2024) que controló *L. theobromae* con sulfato de cobre pentahidratado a concentración de 0,35 mL por cada 100 mL de PDA, teniendo semejanza con el control alcanzado en ésta investigación utilizando 10 $\mu\text{g mL}^{-1}$ de propiconazol y difenoconazol en las cepas de banano y mora.

Los aislados del fitopatógeno de mora y banano mostraron tolerancia *in-vitro* a tres ingredientes activos (mancozeb, iprodione y ciproconazol), a concentraciones de 10; 1; 0,1; 0,01 y 0,001 $\mu\text{g mL}^{-1}$ permitiendo su crecimiento micelial, mientras que, dos fungicidas (propiconazol y difenoconazol) a concentración de 10 $\mu\text{g mL}^{-1}$ fueron tóxicos por provocar inhibición total de crecimiento (Figuras 2 y 5), que se asemejan al estudio de Murciano *et al.* (2021) que controló al ascomiceto *Cladosporium ramotenellum* con propiconazol a 400 $\mu\text{g mL}^{-1}$. La concentración tóxica descubierta en éste análisis de laboratorio tiene semejanza en las investigaciones de Khuong *et al.* (2023) y Olmedo *et al.* (2023) donde *Trichoderma asperellus* y el vapor de timol a concentración de 16 mg L⁻¹, impidieron el desarrollo de *L. theobromae* en

medios de cultivo.

El fitopatógeno puede variar su adaptabilidad frente a un determinado ingrediente activo y una evidencia de aquello fue en el estudio de Bachkar *et al.* (2021) realizado en laboratorio, donde mancozeb inhibió el crecimiento de *Fusarium solani* a una concentración de 150 $\mu\text{g mL}^{-1}$ a pesar de que ambos son ascomicetos.

Inhibición de *L. theobromae* frente a otras concentraciones

En un estudio de Leal *et al.* (2023) para controlar otros fitopatógenos fúngicos se evidencian los mismos principios de control con propiconazol y difenoconazol utilizados en ésta investigación, debido a que, a través del uso de extracto etanólico de *Croton zehntneri*, *Lippia lasiocalycina* y *Copaifera luetzelburgii* a concentraciones de 2; 20; 200 y 2000 $\mu\text{g mL}^{-1}$ para evaluar el crecimiento de micelio en *Fusarium sacchari*, *F. udum*, *Colletotrichum siamense*, *C. truncatum*, *L. theobromae* y *Thielaviopsis ethacetica*; dónde se demostró que la concentración de 2000 $\mu\text{g mL}^{-1}$ del extracto provocó el 100% de inhibición de crecimiento micelial.

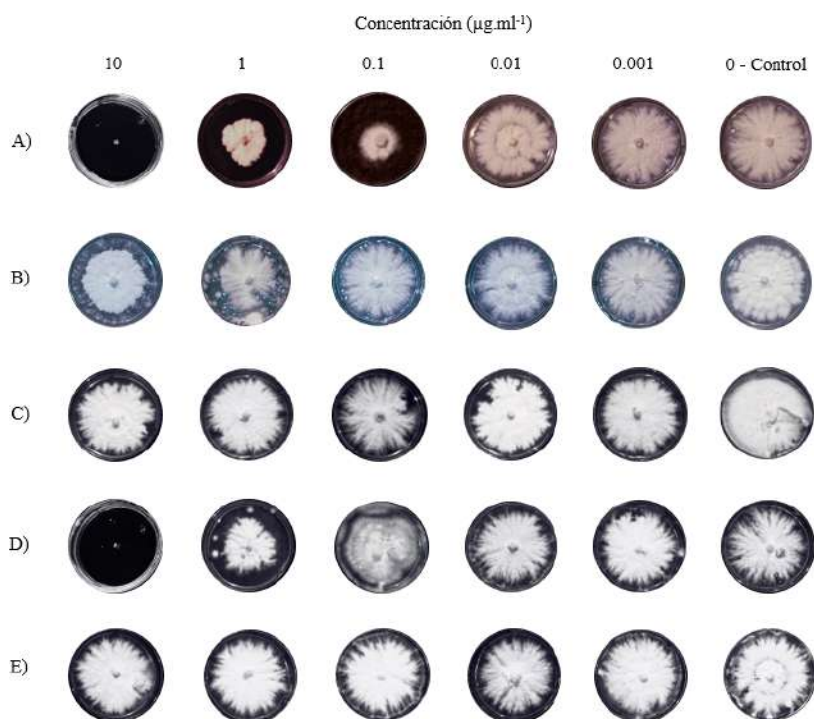


Figura 8. Cepa de banano de *L. theobromae* en PDA con fungicida y control. A) Propiconazol; B) Mancozeb; C) Iprodione; D) Difenoconazol y E) Ciproconazol

Un ensayo realizado para controlar *L. theobromae* de Rusin *et al.* (2020) utilizando 300 g kg⁻¹ de ingrediente activo, impidió el crecimiento de micelio con mancozeb, mientras que, el mismo fitopatógeno logró tolerar a difenoconazol a 3 g L⁻¹. En ésta investigación sucedió lo contrario a los resultados mencionados, dado que, ninguna concentración de mancozeb controló al fitopatógeno, pero difenoconazol a 10 µg mL⁻¹ fue suficiente para inhibir el crecimiento de micelio, éste comportamiento surgió debido a que, *L. theobromae* en la investigación solamente desarrolló hifas y micelios que mancozeb no inhibe, por su mecanismo de acción que solo controla la esporulación de un fitopatógeno, por otra parte, difenoconazol es capaz de inhibir la síntesis de ergosterol para bloquear el desarrollo fúngico (Lewis *et al.*, 2016).

En un control de Zhong *et al.* (2021) hubo inhibición de crecimiento micelial con 0,5 g de mezcla granular generadora de dióxido de cloro (ClO₂) sin frutos cítricos, por otra parte, los investigadores utilizaron tratamientos que incluían frutos, en los que, consiguieron bloquear por completo el desarrollo de discos de micelio aplicando 2 g de mezcla granular. Además, el dióxido de cloro colocado a 43,7 µg mL⁻¹ durante 24 horas no permitió que *L. theobromae* se desarrolle en los tratamientos colocados en PDA; éstos resultados se asemejan parcialmente con la dosis inhibitoria de propiconazol y difenoconazol que se ejecutó en este ensayo.

El análisis *in vitro* de Valle *et al.* (2019) evaluó la sensibilidad de *L. theobromae* con iprodione y tiabendazol; con iprodione a 20 µg mL⁻¹ no logró una inhibición de crecimiento de micelio, además la concentración de 10 µg mL⁻¹ de iprodione en éste ensayo tampoco alcanzó una inhibición total de crecimiento; concluyendo que es un ingrediente activo ineficiente de control, por otro lado, utilizando tiabendazol a 10 µg mL⁻¹ no hubo inhibición del crecimiento del fitopatógeno, a diferencia de los fungicidas propiconazol y difenoconazol que a 10 µg mL⁻¹ provocaron un control total hacia *L. theobromae*.

Conclusiones

Se determinó que propiconazol y difenoconazol a una concentración de 10 µg mL⁻¹, mostraron el 100% de inhibición de crecimiento de micelio de *L. theobromae* y difieren de los fungicidas mancozeb, iprodione y ciproconazol en todas las concentraciones que resultaron inofensivos en el control del fitopatógeno. Se observó una disminución significativa en la tasa de crecimiento micelial a partir de la concentración de 10 µg mL⁻¹ para propiconazol y difenoconazol, alcanzando un 0% de crecimiento del fitopatógeno. En contraste, mancozeb, iprodione y ciproconazol mostraron variaciones en las tasas de crecimiento, entre 2 y 64%. Independientemente de la concentración utilizada, estos resultados destacan la sensibilidad diferencial del patógeno a diferentes fungicidas a partir de ciertas concentraciones, lo que sugiere la necesidad de considerar cuidadosamente la elección y dosificación de los fungicidas en futuras estrategias de control.

Agradecimiento

Los autores agradecen al Laboratorio de Biotecnología Agrícola de la Universidad San Francisco de Quito por proporcionar el material biológico. De igual modo al Laboratorio de Microbiología Vegetal de la Universidad Técnica de Cotopaxi por proveer de las instalaciones y equipos para la investigación.

Referencias bibliográficas

- Abdulkadir, D. y Tae, H. (2022). Detection of *Colletotrichum* spp. Resistant to Benomyl by Using Molecular Techniques. *Plant Pathology Journal*, 38(6), 629–636. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.05.2022.0069>
- Alforja, S., Rico, P., Caoili, B. y Latina, R. (2021). Two Philippine *Photorhabdus luminescens* strains inhibit the *in vitro* growth of *Lasioidiplodia theobromae*, *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, and *Colletotrichum* spp. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31(1), 2–6. <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00454-x>
- Bachkar, D., Kolase, S., Bhujbal, M., Thakare, C., Doltade, S., Khatal, M. y Daingade, N. (2021). *In vitro* efficacy of different fungicides against *Fusarium solani* isolate causing root rot of papaya (*Carica papaya* L.). *International Journal of Chemical Studies*, 9(1), 1485–1488. <https://doi.org/10.22271/chemi.2021.v9.i1u.11437>
- Baldiga, R., Avozani, A., Durante, A., Melo, E., Zoldan, S. y Garcés-Fiallos, F. (2013). *In vitro* mycelial sensitivity of *Macrophomina phaseolina* to fungicides. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 43(4), 460–466. <https://doi.org/10.1590/s1983-40632013000400014>
- Barriga, N. (2020). Exploring fungal pathogens to control invasive raspberry (*Rubus niveus*) in Galapagos Islands. [Tesis de Maestría, Universidad San Francisco de Quito]. <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/9162/1/133141.pdf>
- Dong, G., Zhang, Y., Liang, X., Wang, M., Ye, Q., Xian, X. y Yang, Y. (2022). Resistance characterization of the natural population and resistance mechanism to pyraclostrobin in *Lasioidiplodia theobromae*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 188. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2022.105232>
- Feicán, C., Huaraca, H., Martínez, A. y Viteri, P. (2019). Guía para facilitar el aprendizaje en el manejo integrado de mora. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5476>
- Flores, H., Flores, J., Varela, E., Pérez, A., Azuara, A. y Monteon, A. (2021). Reporte de *Lasioidiplodia theobromae* (Pat.) Griffon y Maubl. en árboles cítricos de Tamaulipas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(3), 499–511. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-

- 09342021000300499&lang=es
Fungicide Resistance Action Commite. (2019). Resistencia. <https://frac-argentina.org/resistencia/#::~:~:text=La resistencia es un cambio,la etiqueta para dicho patógeno.>
- González, J., Raya, B., Piña, F., Enríquez, F. y Velázquez, E. (2023). Hongos asociados a la pudrición del tronco en cítricos. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 10(2), 147–154. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v10i2.437>
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (2021). Desarrollo de agrotecnologías como estrategia ante la amenaza de enfermedades que afecten la producción de Musáceas en el Ecuador. https://www.iniap.gob.ec/wp-content/uploads/2022/01/Proyecto_COE_2021_12_29.pdf
- Jiménez, W., Ramírez, A., López, J. y Alvarez, A. (2022). Análisis filogenético de aislamientos patogénicos de la familia botryosphaeriaceae en cacao (*Theobroma cacao* L.) en la zona de Los Ríos. *Ciencia y Tecnología*, 15(2), 45–54. <https://doi.org/10.18779/cyt.v15i2.583>
- Khuong, N. Q., Nhien, D. B., Thu, L. T. M., Trong, N. D., Hiep, P. C., Thuan, V. M., Quang, L. T., Thuc, L. V. y Xuan, D. T. (2023). Using *Trichoderma asperellum* to Antagonize *Lasiodiplodia theobromae* Causing Stem-End Rot Disease on Pomelo (*Citrus maxima*). *Journal of Fungi*, 9(10), 2–15. <https://doi.org/10.3390/jof9100981>
- Leal, L., Arcanjo, B., Silva, E., Rodrigues, E., Gonçalo de Lima, S. y Aguiar, J. (2023). Ethanolic extract of *Copaifera*, *Croton* and *Lippia* on the control of phytopathogenic fungi. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 53, 2–8. <https://doi.org/10.1590/1983-40632023v5375126>
- Lewis, K. A., Tzilivakis, J., Warner, D. y Green, A. (2016). *An international database for pesticide risk assessments and management. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 22(4), 1050-1064. <https://doi.org/10.1080/10807039.2015.1133242>
- Morales-Pizarro, A., Roja, I., Saavedra, E., Zapatel, K., Álvarez, L., Peña, R., Aguilar, R., Galecio, M. y Alva, J. (2024). Alternativas Sostenibles para el control de *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griffon & Maubl en mango. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27(021), 2–8. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/4839/2166>
- Moreira, A., Cedeño, Á., Canchignia, F. y Garcés, F. (2021). *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griffon & Maubl [(syn.) *Botryodiplodia theobromae* Pat] in the cocoa crop: Symptoms, biological cycle, and strategies management. *Scientia Agropecuaria*, 12(4), 653–662. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.068>
- Murciano, C., Oliver - Chirito, J. y Orihuel-Iranzo, B. (2021). Pathogen identification and control of sooty spot caused by *Cladosporium ramotenellum*, appearing on fresh easy peeler mandarins from Perú. *Journal of Plant Science and Phytopathology*, 5(2), 044–052. <https://doi.org/10.29328/journal.jpssp.1001059>
- National Center for Biotechnology Information. (2022). *GenBank Overview* <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>
- Olmedo, G. M., Zhang, J., Zhao, W., Mattia, M., Rosskopf, E. N., Ritenour, M., Plotto, A. y Bai, J. (2023). Application of Thymol Vapors to Control Postharvest Decay Caused by *Penicillium digitatum* and *Lasiodiplodia theobromae* in Grapefruit. *Foods*, 12(19), 2–13. <https://doi.org/10.3390/foods12193637>
- Prado-Ocampo, J. y Garzón-Montealegre, V. (2022). Evolución económica y productiva del sector bananero de la provincia de El Oro en el periodo 2011 – 2020. *593 Digital Publisher CEIT*, 7(2), 260–270. <https://doi.org/10.33386/593dp.2022.2.1035>
- Romero, O., Cruz, A., Parraguirre, C., Pacheco, Y., Santiago, O. y Rivera, A. (2022). Efficacy of Four *In Vitro* Fungicides for Control of Wilting of Strawberry Crops in Puebla-Mexico. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(7), 2–15. <https://doi.org/10.3390/app12073213>
- Rusin, C., Cavalcanti, F., de Lima, P., Duarte, C., Kurtz, M. y Vasconcelos, R. (2020). Control of the fungi *Lasiodiplodia theobromae*, the causal agent of dieback, in cv. Syrah grapevines. *Acta Scientiarum - Agronomy*, 43, 1–9. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v43i1.44785>
- Valle, M., Guillén, D., Alia, I., López, V., Juárez, P., Martínez, E., Hernández, M. y Ariza, R. (2019). Control *in vitro* de *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griff. & Maubl y *L. citricola* Abdollahz aislados de lima Persa (*Citrus latifolia* Tanaka) en Morelos, México. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 5(1), 5–10. <https://doi.org/10.30973/aap/2019.5.0051001>
- Zhong, T., Zhang, J., Sun, X., Kou, J., Zhang, Z., Bai, J. y Ritenour, M. A. (2021). The Potential of Gaseous Chlorine Dioxide for the Control of Citrus Postharvest Stem-End Rot Caused by *Lasiodiplodia theobromae*. *Plant Disease*, 105(11), 3426–3432. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-20-0407-RE>



Áreas verdes y arbolado urbano existente en el cantón Sucre, Manabí, Ecuador

Green areas and existing urban trees in Sucre canton, Manabí, Ecuador

César Alberto Cabrera Verdesoto¹, Jennifer Fabiola Bermúdez Chica², Otto Francisco Mero Jalca¹, Jennifer Andrea García Álava², Valeria Lisette Cali Ligua²

¹Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador.

²Profesional Independiente, Ecuador.

Autor de correspondencia: cesar.cabrera@unesum.edu.ec

Recibido: 06/04/2023. Aceptado: 24/04/2024

Publicado el 11 de julio de 2024

Resumen

Las áreas verdes y arbolado son parte esencial de las dimensiones ecológica, social, ambiental y económica de la sostenibilidad urbana. El objetivo de la investigación fue evaluar el arbolado en la zona urbana del cantón Sucre, con un área verde de 36 628,27 m², donde se realizó un censo de los parques existentes, también se elaboró un inventario de las especies forestales en las parroquias Bahía de Caráquez y Leónidas Plaza. Para esto, se consideró que los parques son espacios públicos claramente delimitados, dominados por vegetación arbórea destinados como áreas verdes públicas; en la investigación se obtuvo la información dasométrica de los árboles de los 18 lugares entre ellos parques y elementos de seguridad vial (avenidas) existentes en el cantón; se determinó también las áreas, con el total de superficie de las áreas verdes y la población urbana total; según el índice verde urbano (IVU) fue de 1,85 m²/hab, para conocer a fondo los árboles de cada parque, se utilizó el análisis cartográfico en la elaboración de mapas y la georreferenciación de espacios verdes. El índice de valor de importancia ecológica donde las especies *Azadirachta indica* fue la especie más representativa con 28,49% y el *Tecoma stans* con 1,03% la menos representativa, Margalef (2,85) reflejó con media diversidad de especies, Simpson (0,82) representó una diversidad media y Shannon-Wiener (2,98) con diversidad media. Concluyendo, que el arbolado urbano consiste principalmente en especies introducidas, con un índice verde bajo y una diversidad media según los índices de Margalef, Simpson y Shannon-Wiener.

Palabras clave: dasométrica, diversidad media, espacios públicos, vegetación, zona de estudio.

Abstract

Green areas and trees are an essential part of the ecological, social, environmental and economic dimensions of urban sustainability. The objective of the research was to evaluate the coverage in the urban area the Sucre canton, with a green area 36 628,27 m², where a census of existing parks was conducted, an inventory of forest species in the Bahía de Caráquez and Leonidas Plaza parishes was compiled. For this purpose, parks were considered clearly delimited public spaces, dominated by arboreal vegetation destined as public green areas; the research gathered dasometric information on trees from 18 locations including parks and road safety elements (avenues) in the canton; it also determined the areas, along with the total green area surface and the total urban population; according to the urban green index (IVU) it was 1,85 m²/hab. In order to get to know the trees in each park in depth, cartographic analysis was used in the preparation of maps and the georeferencing of green spaces. The ecological importance value index where the *Azadirachta indica* species was the most representative species with 28,49% and the *Tecoma stans* with 1,03% the least representative, Margalef (2,85) reflected with medium diversity of species, Simpson (0,82) represented medium diversity and Shannon-Wiener (2,98) represented medium diversity. Concluding, that urban trees consist mainly of introduced species, with a low green index and a medium diversity according to the Margalef, Simpson and Shannon-Wiener indices.

Keywords: dasometric, average diversity, public spaces, vegetation, study area.

Introducción

Las áreas verdes son un componente importante del paisaje urbano; el valor de estos espacios se debe a los beneficios ambientales, económicos y sociales que proveen, tales como el mantenimiento de la biodiversidad, el incremento en el precio de las propiedades y la mejora de la calidad de vida. Una forma de mantener la provisión de estos beneficios de manera sostenible en el tiempo podría considerar como estrategia la integración en una red interconectada de áreas verdes. La interconexión de los parques a través de corredores verdes en las vías permitiría la circulación de los flujos de energía, especies y nutrientes, necesarios para mantener el hábitat natural (Peña, 2015).

Las áreas verdes urbanas (AVU) han sido un elemento constante en las urbes; en un inicio respondieron al interés de ofrecer servicios recreativos al aire libre para los pobladores, siendo espacios con diversos tipos de vegetación (Morales-Gallegos *et al.* 2021). Entre el arbolado urbano y la calidad de vida, explican la importancia del entorno urbano, ya que se trata de un factor directo en la calidad de vida de los habitantes de una ciudad y la estrategia de un desarrollo sustentable en ella (González *et al.* 2019).

El espacio público corresponde a aquel territorio de la ciudad en donde cualquier persona puede estar y circular libremente como un derecho. Es el escenario de la interacción social cotidiana; también se la define como el soporte físico de las actividades cuyo fin es satisfacer las necesidades urbanas colectivas más allá de los intereses personales de los individuos. Para entender lo que es un espacio público se debe hacer referencia a su aspecto histórico, así podemos conocer sus orígenes y su evolución (Narváez y Sarmiento, 2014).

Es necesario que las ciudades desarrollen y adopten de acuerdo a sus necesidades, una tipología para diferenciar los espacios de acuerdo a su tamaño, función y meta social. Igualmente, la tipología facilitará la planificación de las áreas verdes y el desarrollo de inventarios (Vargas *et al.* 2021).

En correspondencia con lo anterior se realizó este trabajo con el objetivo de evaluar las áreas verdes y arbolado urbano existente en el cantón Sucre, Manabí, Ecuador, e inventariar las especies arbóreas y familias existente en las áreas verdes, además la determinación del área en m² de espacios verdes y arbolado, con el respectivo cálculo de los índices de valor de importancia ecológica, riqueza de Margalef, diversidad de Simpson y de Shannon-Weiner.

Materiales y métodos

Localización de la investigación

El estudio se desarrolló en las parroquias Bahía de Caráquez y Leónidas Plazas, entre las coordenadas GD: latitud 0.5979° S y longitud 80.4237° O perteneciente al cantón Sucre, ubicado al noroeste de la provincia de Manabí, Ecuador (Figura 1), cuenta con una superficie de 764,00 km² precipitación media

anual 790 mm. Temperatura media anual es de 23 °C a 26 °C, limita al Norte con Océano Pacífico, Estuario del Río Chone y cantón San Vicente, al Sur con los cantones Portoviejo y Rocafuerte, al Este con los cantón Tosagua, al Oeste con el Océano Pacífico (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial [PDOT], 2012).

La evaluación de las áreas verdes y el arbolado existente en la zona urbana del cantón Sucre se fundamentó en los siguientes pasos:

Inventario forestal

Se realizó un censo de todas las especies forestales presentes en las áreas verdes de la zona urbana del cantón Sucre que corresponde a 36 628,27 m². Para esto se consideró todos aquellos lugares como parques y elementos de seguridad vial (avenidas), son espacios públicos claramente delimitados, dominados por vegetación y destinados como áreas verdes públicas para la realización de actividades recreativas al aire libre. Se determinaron las variables dendrométricas como diámetro a 1,30 m de la base del suelo con la utilización de una cinta diamétrica; altura total (h); volumen de copa y las coordenadas de cada parque.

Población y muestra

Para esta investigación fue el 100% de los parques y elementos de seguridad vial (avenidas), en referencia a Cabrera *et al.* (2022).

Para determinar las áreas verdes y el área neta de cobertura del arbolado se realizó mediante la toma de datos de los perímetros de los espacios públicos verdes y copas de las especies forestales, utilizando el modelo de Cabrera *et al.* (2020).

Determinación del Índice Verde Urbano

El IVU se calculó a partir de la proyección de la población del área urbana del último censo realizado en el año 2010 por el Instituto Nacional de Estadística y Censos del Ecuador (INEC, 2012). Asimismo, se consideró el total de la superficie urbana de Sucre que cuenta con áreas verdes, cuyo valor fue calculado en m², aplicando la Ecuación 1 planteada por Cusme y Farfán (2022).

$$IVU = \frac{\text{Total superficie de áreas verdes (m}^2\text{)}}{\text{Número de habitantes de la zona urbana del cantón Sucre}} \quad (1)$$

El valor obtenido del IVU, fue comparado con el dato establecido por la Organización Mundial de la Salud que es de 9,00 m²/hab.



Figura 1. Ubicación espacial de las áreas verdes en las parroquias Bahía de Caráquez y Leónidas Plaza

$$Abundancia\ absoluta\ (A) = \frac{N^{\circ}\ total\ de\ individuos\ por\ especie}{Total\ de\ área\ muestreada} \quad (2)$$

$$Abundancia\ relativa\ (AR)\% = \frac{N^{\circ}\ de\ individuos\ por\ especie}{N^{\circ}\ total\ de\ individuos} \times 100 \quad (3)$$

$$Frecuencia\ relativa\ (FR)\% = \frac{N^{\circ}\ de\ sitios\ en\ que\ está\ la\ especie}{N^{\circ}\ total\ de\ sitios\ de\ muestreo} \times 100 \quad (4)$$

$$Dominancia\ relativa\ (DmR)\% = \frac{Área\ basal\ de\ la\ especie}{Área\ basal\ de\ todas\ las\ especies} \times 100 \quad (5)$$

$$Índice\ de\ Valor\ de\ Importancia\ Ecológica\ (IVIE)\% = (AR + FR + DR)/(3) \quad (6)$$

Análisis de la información

Para evaluar cada especie dentro de las áreas verdes, se calculó el Índice de Valor de Importancia Ecológico (IVIE), el cual relaciona la abundancia absoluta (A), abundancia relativa (AR), frecuencia relativa (FR) y su dominancia relativa (DmR), aplicando las Ecuaciones 2, 3, 4, 5 y 6 por Mostacedo

y Fredericksen (2000) citado en Cabrera *et al.* (2020).

La riqueza de las especies forestales se determinó mediante el índice de Margalef (D_{Mg}), el índice de Simpson (λ) y el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H'), con las Ecuaciones 7, 8 y 9 propuestas por Moreno (2001).

$$D_{Mg} = \frac{N^{\circ} \text{ especies presentes}}{N^{\circ} \text{ total de individuos}} \quad (7)$$

$$\lambda = \frac{N^{\circ} \text{ de individuos de la especie}}{N^{\circ} \text{ total de individuos de la muestra}} \quad (8)$$

$$H' = \text{Abundancia relativa} * \text{Logaritmo natural} \quad (9)$$

Resultados y discusión

Inventario forestal para identificar las especies forestales y familias que existen en las áreas verdes del cantón Sucre

El inventario de las áreas verdes realizado en la zona urbana del cantón Sucre, registró 16 especies arbóreas, de las cuales el 56,25% fueron introducidas y el 43,75% nativas, encontrándose 11 familias botánicas, siendo la Fabaceae la más distintiva, con 194 individuos en 18 áreas de estudio (Tabla 1). Estos resultados son menores al estudio de Cabrera *et al.* (2020) en Jipijapa, Ecuador, quien muestra 13 especies arbóreas, 10 familias botánicas con un total de

134 individuos en 13 parques y 38,46% de especies nativas, 61,54% introducidas, siendo superior a los resultados de Cabrera *et al.* (2022) obtenidos en Portoviejo, Ecuador, donde el inventario del arbolado urbano registró 30 especies forestales, 14 familias botánicas, 4 139 ejemplares en 27 áreas verdes y 33,33% de especies nativas, 66,67% introducidas. Sin embargo, los mismos autores afirman que Fabaceae fue la familia más representativa en su estudio.

Determinación la superficie de áreas verdes y arbolado que existe en la zona de estudio

En la zona urbana del cantón Sucre, el área neta de cobertura de arbolado es de 12 136,15 m² y un área verde total de 36 628,27 m² (Tabla 2). Estos datos indican una cobertura menor en comparación con los datos de Cabrera *et al.* (2020) en Jipijapa, quienes obtienen 4 760 m² de área neta de cobertura arbórea y 16 473 m² de área verde total, siendo superior a los resultados de Cabrera *et al.* (2022) en Portoviejo, donde 34 917 m² de área neta de cobertura de arbolado y 412 879 m² de área verde total.

Tabla 1. Inventario general

N°	Nombres científicos	Nombre común	Familia	Origen	Total de árboles
1	<i>Azadirachta Indica</i> A. Juss.	neem	Meliaceae	Introducida	47
2	<i>Bucida buceras</i> ; L	olivo negro	Combretaceae	Nativa	19
3	<i>Caesalpinia pluviosa</i> DC. 1825	acacia amarilla	Fabaceae	Introducida	1
4	<i>Ceiba trichistandra</i> (A. Gray) Bakh	ceibo	Bombacaceae	Nativa	2
5	<i>Cojoba arborea</i> (L.) Britton & Rose	dormilón	Meliaceae	Nativa	1
6	<i>Delonix regia</i> (Hook.) Raf.	acacia roja	Fabaceae	Introducida	4
7	<i>Ficus benjamina</i> (L)	ficus	Moraceae	Introducida	57
8	<i>Hura crepitans</i> L.	jabillo	Euphorbiaceae	Introducida	2
9	<i>Inga spectabilis</i> (Vahl) Willd.	guaba	Mimosaceae	Nativa	3
10	<i>Mangifera indica</i> L	mango	Anacardiaceae	Introducida	8
11	<i>Samanea saman</i> ; (Jacq.) Merr.	samán	Mimosaceae	Introducida	5
12	<i>Senna incarnata</i> (Pav. & Benth.)	calvario	Caesalpiniaceae	Introducida	11
13	<i>Tamarindus indica</i> L. (1753).	tamarindo	Fabaceae	Nativa	25
14	<i>Terminalia catappa</i> L	almendro	Combretaceae	Nativa	5
15	<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth	fresno	Bignoniaceae	Introducida	1
16	<i>Vitex gigantea</i> Kunth	pechiche	Verbenaceae	Nativa	3
Total			11		194

Tabla 2. Distribución de las especies de las áreas verdes y arbolado de la zona urbana del cantón Sucre

Parroquias	Área verde publica	Especie	Total área verde	Total de área neta cobertura arbolado (m ²)	Total de individuos
Bahía de Caráquez	Parque Los Delfines	3	1 990,39	101,07	7
	Parque Obelisco	0	1 334,93	0	0
	Parque Rotario	3	2 662,86	1 371,46	11
	Parque Indio Caras	1	1 798,67	153,1	4
	Parque Belletini	1	280,2	22,01	4
	Parque San Roque	0	1 765,19	0	0
	Parque Velazco Ibarra	3	585,91	205,64	4
	Parque Puerta de la nacionalidad	3	2 161,51	237,16	6
	Parque Senador Horacio Gostalle	2	169,61	360,76	3
	Parque de las Madres	4	6 568,58	3 256,53	30
Leónidas Plaza	Parque El Ferrocarril	1	610,92	70,05	1
	Av. Simón Bolívar	5	2 186,03	2 300,63	38
	Av. Circunvalación	0	2 328,19	0	0
	Av. 3 de Noviembre	6	2 273,46	2 323,02	53
	Parque Los Aviones	2	1 950,87	230,65	5
	Parque Central	4	4 971,46	1 349,96	24
	Parque Jorge Lomas 3		2 063,84	154,11	4
	Av. Cesar Ruperti	0	925,45	0	0
Total			36 628,07	12 136,15	194

El cantón Sucre tiene un índice verde urbano de 1,85 m²/hab, lo que discrepa con el estudio de Pérez-Miranda y López-Falfán (2015) en Mérida, Yucatán, México de 5 m²/hab. De manera similar, Cabrera *et al.* (2020) reportaron 2,7 m²/hab en Jipijapa, Ecuador, y Cabrera *et al.* (2022) también reportaron 4,92 m²/hab en Portoviejo, Ecuador.

$$\text{ÍVU} = 1,85 \text{ m}^2/\text{hab}$$

Descripción de los índices de valor de importancia ecológica, Margalef, Simpson y Shannon-Weiner del arbolado en las áreas verdes del cantón Sucre

El índice de valor de importancia ecológica con mayor porcentaje es *Azadirachta indica* con 28,49%, y el *Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth., la menor importancia con 1,03%. Leal *et al.* (2018) obtienen mayor IVI en *Fraxinus americana* L. y *Citrus sinensis* (L) Osbeck de menor importancia con 0,20%, así mismo Cabrera *et al.* (2020), obtiene mayor IVIE en *Azadirachta indica* con 52,22% y *Citrus limon* de menor importancia con 1,68%.

Tabla 3. Determinación del índice de valor importancia ecológica

N.º	Nombre botánico	Abundancia		Frecuencia		Dominancia		IVIE
		Aa	Ar (%)	Fa	Fr (%)	Da	Dr (%)	(100%)
1	<i>Azadirachta Indica</i> A. Juss.	47	24,23	7	18	13,61	43,4	28,49
2	<i>Bucida buceras</i> ; L.	19	9,79	5	13	0,63	2,02	8,11
3	<i>Caesalpinia pluviosa</i> DC. 1825	1	0,52	1	3	0,15	0,48	1,17
4	<i>Ceiba trichistandra</i> (A. Gray) Bakh.	2	1,03	1	3	0,65	2,10	1,88
5	<i>Cojoba arborea</i> (L). Britton & Rose.	1	0,52	1	3	0,06	0,21	1,07
6	<i>Delonix regia</i> (Hook.) Raf.	4	2,06	1	3	0,73	2,33	2,30
7	<i>Ficus benjamina</i> L.	57	29,38	6	15	6,69	21,50	21,96
8	<i>Hura crepitans</i> L.	2	1,03	1	3	1,38	4,43	2,65
9	<i>Inga spectabilis</i> (Vahl) Willd.	3	1,55	3	8	0,17	0,56	3,20
10	<i>Mangifera indica</i> L.	8	4,12	3	8	0,70	2,26	4,63
11	<i>Samanea saman</i> (Jacq.) Merr.	5	2,58	2	5	1,44	4,63	4,07
12	<i>Senna incarnata</i> (Benth.) H. S. Irwin & Barneby.	11	5,67	1	3	0,70	2,26	3,48
13	<i>Tamarindus indica</i> L. (1753).	25	12,89	4	10	4,01	12,90	11,93
14	<i>Terminalia catappa</i> L.	5	2,58	1	3	0,09	0,30	1,79
15	<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth.	1	0,52	1	3	0,02	0,07	1,03
16	<i>Vitex gigantea</i> Kunth	3	1,55	2	5	0,06	0,20	2,25
Total		194	100	40	100	31,12	100	100

Diversidad

El índice de Margalef (D_{Mg}) presentó una biodiversidad en riqueza específica media de 2,85, que difiere a la investigación del arbolado urbano de Canizales *et al.* (2020) con una riqueza de 1,9. Además, el valor del índice de Simpson (1-D) registró de 0,82 con una diversidad media para las áreas verdes. Este índice mide tanto la diversidad como la dominancia de especies; pero existe cierta dominancia de las especies abundantes (Martínez *et al.* 2022) en el área de estudio; por otra parte, el índice de Shannon-Wiener ($H' = 2,98$), indica la diversidad de especie media; y es similar para Diversidad e indicadores de vegetación del arbolado urbano de Resistencia, Chaco, Argentina ($H' = 2,84$) por Ortiz y Luna (2019).

Conclusiones

El inventario florístico permitió identificar los caracteres taxonómicos de las especies arbóreas que conforman las áreas verdes y arbolado urbano del cantón Sucre.

El Índice Verde Urbano (IVU) de Sucre está por debajo

de los 9 m²/hab recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón debe buscar alternativas para incrementar los espacios verdes.

En las áreas verdes de Sucre las especies con mayor y menor representatividad ecológica son especies introducidas de acuerdo a los índices estudiados, con una diversidad media por las especies dominantes en los espacios verdes.

Referencias bibliográficas

- Cabrera Verdesoto, C. A., Cedeño Macías, E. L., Miele Segura, K. A., Jiménez González, A. y Manrique Tóala, T. O. (2022). Áreas verdes y arbolado en la zona urbana del cantón Portoviejo, provincia de Manabí, Ecuador. *Siembra*, 9(1), 1-13. <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i1.3380>
- Cabrera Verdesoto, C. A., Ponce Macías, C. J., Cantos Cevallos, C., Morán, Morán, J. J. y Cabrera Verdesoto, R. P. (2020). Áreas Verdes y Arbolado en la Zona Urbana

- del Cantón Jipijapa. *Revista Ciencia y Tecnología*, 13(2), 47–53. <https://doi.org/10.18779/cyt.v13i2.392>
- Canizales Velázquez, P., Alanís Rodríguez, E., Holguín Estrada, V. A., García García, S. y Collantes Chávez Costa, A. (2020). Caracterización del arbolado urbano de la ciudad de Montemorelos, Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(62), 111-135. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i62.768>
- Cusme Sacón, M. D. y Farfán Valdéz, E. V. (2022). *Evaluación del índice verde urbano de la parroquia Calceta para la elaboración de un plan de manejo de áreas verdes* [Tesis de Grado, ESPAM MFL]. https://repositorio.espm.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/42000/1795/TIC_IA14D.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2012-2025 (2012). Gobierno Autonomo Descentralizado Municipal Del cantón Sucre. <https://dokumen.tips/documents/plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial-del-canton-sucre.html?page=1>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (2012). *Índice Verde Urbano 2012*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/indice-verde-urbano/>
- Leal Elizondo, C. E., Leal Elizondo, N., Alanís Rodríguez, E., Pequeño Ledezma, M. A., Mora Olivo, A. y Buendía Rodríguez, E. (2018). Estructura, composición y diversidad del arbolado urbano de Linares, Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(48), 252-270. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i48.129>
- Martínez Juárez, G., Rodríguez Trejo, D. A., Sánchez, D. G., Caballero, L. M. y Morales, A. V. (2022). Descripción del arbolado de alineación de la ciudad de Puebla por grado de marginación y vialidad. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(70), 85–111. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i70.830>
- Morales-Gallegos, L. M., Martínez-Trinidad, T., & Mohedano-Caballero, L. (2021). El espacio ocioso urbano como alternativa para la creación de áreas verdes en Texcoco, México. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 9(3), 423-439. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-34692021000300423&lng=es&tlng=es.
- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir biodiversidad*. M y T-Manuales y Tesis SEA. (Vol. 1) Zaragoza, España. 84 pp. <http://entomologia.rediris.es/sea/manyttes/metodos.pdf>
- Narváez, W. y Sarmiento, F. (2014). *Intervención en el parque cultural y recreativo Guantung de la ciudad de Cañar* [Tesis de Grado, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/20822>
- Ortiz, N. L. y Luna, C. V. (2019). Diversidad e indicadores de vegetación del arbolado urbano en la Ciudad de Resistencia, Chaco-Argentina. *Agronomía & Ambiente. Revista de la Facultad de Agronomía UBA* 39(2), 54-68. <http://agronomiayambiente.agro.uba.ar/index.php/AyA/article/view/97>
- Peña Guillen, V. (2015). Configuración espacial de las áreas verdes públicas en el ámbito distrital adyacente a la Costa Verde, Lima. *Anales Científicos*, 76(1), 52-58. <https://doi.org/10.21704/ac.v76i1.764>
- Pérez-Miranda, S. y López-Falfán, I. (2015). Áreas verdes y arbolado en Mérida, Yucatán. Hacia una sostenibilidad urbana. *Economía, sociedad y territorio*, 15(47), 01-33. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-84212015000100002&lng=es&tlng=es.
- Vargas Collaguazo, L. A., Veloz, J., Larreta, E. y Bonifaz de Elao, C. (2021). Superficie y accesibilidad a las áreas verdes en la Parroquia Puerto Bolívar de la ciudad de Machala, Provincia El Oro, Ecuador. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales*, 8(1), 29-36. <https://doi.org/10.53591/cna.v8i1.227>



Percepción remota en las cuencas hidrográficas de Portoviejo - Chone para el estudio de la deforestación

Remote sensing in the Portoviejo - Chone watersheds for the study of deforestation

Geoconda Aracely López Álava¹, Angel Frowen Cedeño Sacón¹, Ángel Germán Párraga Palacios², Galo Alexander Cedeño García¹, José Lizardo Reyna Bowen¹, Sofia del Rocío Velásquez Cedeño¹

¹Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Ecuador.

²Agroazucar Ecuador, Ingenio la Troncal, Ecuador.

Autor de correspondencia: geoconda.lopez@espam.edu.ec

Recibido: 10/04/2023. Aceptado: 14/03/2024

Publicado el 11 de julio de 2024

Resumen

La deforestación es un problema a nivel mundial en las cuencas hidrográficas, provocada por las actividades antrópicas que se han venido desarrollando desde la colonización hasta la actualidad produciendo grandes extensiones de bosques desforestados. El objetivo de esta investigación fue determinar la deforestación por medio de la percepción remota en las cuencas hidrográficas del río Portoviejo – Chone. Se utilizó como herramienta de análisis el sistema de información geográfica y la técnica de teledetección con imágenes satelitales Landsat y Spot con una resolución espacial de 30 metros disponibles para el estudio. Finalmente se obtuvo una tasa de deforestación total de las cuencas desde 1998 hasta 2014 con una superficie de bosque desforestada de 16,55% en los 16 años evaluados. La clasificación de cobertura de usos de suelo de las cuencas, se la realizó utilizando la clasificación supervisada en donde se efectuó la verificación en campo para la identificación de cobertura de suelo y la corroboración en las imágenes satelitales. Posteriormente se determinó que la cobertura vegetal de las cuencas hidrográficas para el periodo 1998–2000 es 332 782 ha, en cambio para el periodo 2000–2008 se obtuvo una superficie de bosque de 241 167 ha, mientras que para el periodo 2008–2014 es de 331 728 ha. Además, se logró obtener una fiabilidad global de la cobertura real y deducida de 61,81% lo que indica que la clasificación de usos de suelo de las cuencas hidrográficas es admisible.

Palabras clave: imágenes satelitales; teledetección; vegetación; georreferenciación.

Abstract

Deforestation is a worldwide problem in watersheds, caused by anthropogenic activities that have been developed since colonization until today, producing large areas of deforested forests. The objective of this research was to determine deforestation through remote sensing in the hydrographic basins of the Portoviejo – Chone River. The geographic information system and the remote sensing technique with Landsat and Spot satellite images with a spatial resolution of 30 meters available for the study were used as an analysis tool. Finally, a total deforestation rate of the basins was obtained from 1998 to 2014 with a deforested forest area of 16,55% in the 16 years evaluated. The land use coverage classification of the basins was carried out using supervised classification where field verification was carried out for the identification of land cover and corroboration in satellite images. Subsequently, it was determined that the vegetation cover of the hydrographic basins for the period 1998–2000 is 332 782 ha, while for the period 2000–2008 a forest area of 241 167 ha was obtained, while for the period 2008–2014 is 331 728 ha. Furthermore, it was possible to obtain an overall reliability of the real and deduced coverage of 61,81%, which indicates that the land use classification of the hydrographic basins is admissible.

Keywords: satellite images; remote sensing; vegetation; georeferencing.

Introducción

Para el mundo tropical y subtropical se ha calculado una deforestación anual de 11,2 millones de hectáreas, para el año 1980 en las cuencas hidrográficas el 0,6 por ciento de la superficie forestal total entonces estimada (1 935 millones de hectáreas, de los cuales 1200 millones de hectáreas de bosque denso). La agricultura itinerante resultó ser el factor directo del 45% de la deforestación, proporción más o menos igual para los bosques húmedos densos y las formaciones abiertas de los trópicos secos, pero muy variable según las grandes regiones (Lanly, 2006).

En el Ecuador, la deforestación es un fenómeno complejo de analizar debido a la multiplicidad de factores que la explican, ya que alrededor del 60% de la superficie es talada cada año a causa de los asentamientos agrícolas. La deforestación puede contribuir al crecimiento económico a corto plazo y al alivio de la pobreza, pero con frecuencia a costa de otros objetivos ambientales y sociales importantes de valorar (Barrantes *et al.*, 2010). No obstante, para el periodo 2005-2009, el gobierno provincial de Manabí (El diario, 2009), propuso un plan de reforestar 44 mil hectáreas, pero hasta mediados del 2008 la reforestación pasaba las 45 000 hectáreas.

Los resultados del trabajo realizado por Escobar (2016) revelan que el uso de imágenes de satélite Landsat es una buena alternativa para evaluar biomasa a nivel regional y los datos pueden ser usados para la cuantificación de gases liberados por los incendios forestales producidos en la región, donde se obtuvieron 3 categorías en el aporte de biomasa por hectárea; aporte bajo <13 toneladas, 23 toneladas aporte medio y 41 toneladas aporte alto. Por su parte, Laurente (2011), utilizando el método de mínima distancia, obtuvo una Exactitud Global de 82% y un Índice de Kappa de 0,79 que indica como bueno la clasificación, después de este proceso, se cuantificaron las áreas que se tuvieron por cada clase en estudio, obteniéndose una tasa de deforestación de 34,8 ha, por año y una pérdida de 521,9 ha, de bosque en 15 años, mientras que los suelos degradados se incrementaron en 720,6 ha, llegando a un total de 1 723,4 ha.

Los sistemas de ingeniería agrícola constituyen conjuntos de técnicas y tecnologías que garantizan la producción agropecuaria. Por lo general, ellos producen determinados impactos al medio ambiente, que tienen consecuencias negativas sobre los recursos naturales produciendo huellas en el territorio. En la actualidad se aplican con éxito tecnologías muy eficaces como la teledetección y, los sistemas de información geográfica para identificar la huella espacial de estos impactos y apoyar las decisiones que ayuden a los directivos a tomar medidas correctivas y prospectivas (Dámaso y Andrés, 2013). El avance de las tecnologías de la información geográfica ha llevado a la puesta de nuevos sensores para observación de la tierra (Ortiz y Pérez, 2009). El objetivo principal de los estudios multitemporales es encontrar una forma de combinar o integrar en el proceso varias imágenes correspondientes

a diferentes fechas, con distintos estados fenológicos en la vegetación, de cara a la obtención de un incremento en la precisión de las clasificaciones (Sacristán, 2006), y deduciendo la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre el medio (Herrera *et al.*, 2013). De acuerdo al análisis multitemporal de la precordillera andina de la región del Maule, Chile utilizando imágenes satelitales de los años 1989 y 2003, se analizaron las causas probables de la deforestación del bosque nativo presente en estos ecosistemas. El bosque nativo se redujo en un 44%, lo cual se traduce en una tasa de deforestación de 4,1% anual. (Altamirano y Lara, 2010). Gracias a las resoluciones espacial y espectral de estos sensores pasivos, es posible captar diferentes coberturas del suelo, especialmente la vegetación (Polanco, 2012).

El manejo de cuencas también ha cambiado hoy no sólo se refiere al conocimiento, análisis y protección de los recursos hídricos, sino también la capacidad de los suelos, la vegetación, el relieve, el impacto de la población, la infraestructura civil para la producción sustentable de bienes y servicios; de esta forma, las cuencas se convierten en unidades lógicas para la planeación y la gestión de los recursos naturales (Caro, 2014). De acuerdo con los datos obtenidos para el año 2002 entre un 89% y un 92% de la superficie de la cuenca del río Zulia, afluente del río Santa Bárbara, Barinas, Venezuela, con el apoyo de la teledetección y de los sistemas de información geográfica se encontraba intervenida y el avance de la deforestación ocurrió entre 1998 y 2002 a una tasa que se estima fue superior a las 250 ha /año (Peñaloza *et al.*, 2008).

Las tendencias actuales y novedosas en teledetección, cartografía digital y Sistemas de Información Geográfica son una forma útil e importante de ofrecer conocimientos actualizados para el diagnóstico, monitoreo y su aplicación en la gestión e investigación de recursos presentes en los distintos lugares de nuestro país (Rozkiewicz y Zilio, 2010). El empleo de la teledetección en el seguimiento de los procesos de deforestación es una herramienta muy valiosa, ya que proporciona rapidez y precisión en estudio ambientales, que permiten evaluar fácilmente el estado de áreas ecológicamente amenazadas (Carnevale *et al.*, 2007).

La utilización de imágenes de satélite es una herramienta muy poderosa para el estudio y el monitoreo de los fenómenos naturales y antrópicos ocurridos en el sistema superficie terrestre-atmósfera (Gónima *et al.*, 2010). Las imágenes obtenidas por los satélites ofrecen una perspectiva única y particular de la tierra, sus recursos y el impacto humano sobre ella. Los sensores remotos han demostrado ser una importante fuente de información para un gran número de aplicaciones, entre las que cabe citar la planificación urbana, vigilancia del medio ambiente, gestión y manejo de cultivos, prospección petrolífera, exploración minera, usos del suelo, localización de bienes raíces, entre otras (Cardozo y Da Silva, 2013).

Materiales y métodos

El presente estudio está orientado a obtener la clasificación de usos de suelo y los cambios ocurridos a través del periodo 1998 – 2014. Estos cambios han sido estimados con la ayuda de imágenes Landsat y Spot, con una cobertura de nubosidad menor a 10% (Path/Row 011/060-061), técnicas de percepción remota, y el uso de Sistema de Información Geográfica.

Recopilación de información

Se basó en una recopilación de los antecedentes relacionados con las aplicaciones de las técnicas del sistema de información geográfica, además se realizó la descripción del área de estudio, que se seleccionó de la carta topográfica (instituto geográfico militar, sistema nacional de información y el instituto espacial ecuatoriano) y las imágenes de satélite del portal de servicio geológico de los Estados Unidos.

Selección y obtención de imágenes

Las imágenes de satélite fueron obtenidas del portal del servicio Geológico de los Estados Unidos (United States Geological Survey). Se consideraron las imágenes que contenían menor presencia de nubosidad que es problema recurrente en la zona de estudio.

Georreferenciación de datos espaciales

Las imágenes fueron georreferenciadas usando las coordenadas en la proyección cartográfica Universal Transversal de Mercator (UTM), Datum: WGS 84, Zona 17 Sur, para su integración dentro del entorno sistema de información geográfica.

Elaboración de mosaicos

Se procedió a unir las imágenes satelitales para obtener un solo perfil de toda la cuenca tanto para el periodo 1998 – 2014; y tener una visión completa de toda la zona de estudio.

Clasificación supervisada

Para clasificar las imágenes, se definió previamente la escala de trabajo y las clases de cobertura. Como las imágenes Landsat son imágenes para trabajar a nivel regional y tomando en cuenta el tamaño del píxel de 30 x 30 m. A la imagen del 2008 (Imagen Spot) se le hizo un resampleo de píxel con la ayuda del programa ArcGis, ya que poseía píxeles menores que las imágenes Landsat. La escala de trabajo que se definió fue a 1:80 000 y las coberturas que se identificaron (**tabla 1**) fueron vegetación (bosque húmedo tropical intervención, sin intervención y matorral) áreas agropecuarias (zonas de cultivos y pastizales) cuerpos de agua (ríos, lagunas) otros (población).

Tabla 1. Clasificación de cobertura vegetal utilizada

Clases Informales	Categorías
Vegetación	Bosque húmedo tropical sin intervención
	Bosque húmedo tropical intervención
Áreas Agropecuarias	Matorral
	Zonas de Cultivos, Pastizales
Cuerpos de aguas	Ríos, lagunas, entre otros.
Otros	Población

Índice de vegetación

Conocido como el índice de diferencia normalizada (NDVI), se utilizó para comprobar la eficacia de la clasificación supervisada; considerada como un indicador, el cual, se calculó por medio de una razón matemática entre los valores de los números digitales de las diferentes bandas (valor del píxel en una banda).

$$NDVI = \frac{IRc - R}{IR + R} \quad (1)$$

Dónde:

R e IRc= Reflectancia en la porción roja e infrarroja cercana del espectro electromagnético (Hernández y Parra, 2010).

Cálculo de la tasa de deforestación

La tasa de deforestación se calculó aplicando la fórmula utilizada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 1996).

$$t = \left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{1/N} - 1 \quad (2)$$

Dónde:

t = Tasa de cambio

S2 = Superficie en la fecha 2

S1 = Superficie en la fecha 1

= Número de años entre las dos fechas. Esta fórmula fue aplicada en forma general.

Trabajo de campo

Consistió en visitar algunas áreas de las cuencas, con sistema de posicionamiento global (GPS) para obtener puntos de control, así como para identificar áreas pilotos para la caracterización de áreas de modelo de la clasificación digital supervisada.

Matriz de confusión

Se realizó para determinar la concordancia de la clasificación con la realidad observada en el campo, siendo este método

más comúnmente utilizado, ya que dicha matriz contiene información sobre los valores totales o porcentajes de datos observados y estimados para cada característica o propiedad que se clasifique, y a partir de ésta se pueden calcular distintos parámetros que indican la precisión de la clasificación, y a la metodología de Chuvieco (1995), detalla que la estimación de la exactitud alcanzada por el mapa puede realizarse por tres criterios básicos: (i) Comparando el inventario de la clasificación con el obtenido con otras fuentes convencionales plenamente fiables, tales como, estadísticas oficiales, cartografía de detalle; etc., (ii) Estudiando la fiabilidad obtenida al clasificar las áreas de entrenamiento, para comprobar si se ajustan correctamente a las categorías que pretenden definir y (iii) Seleccionando ciertas áreas de verificación para las que se cuenta con la cubierta realmente presente en el suelo.

Resultados y discusión

A partir de la georreferenciación, se elaboraron mosaicos con las imágenes satelitales Spot y Landsat 5, 7, 8 TM 1998 – 2014, y posterior clasificación supervisada se generaron cuatro mapas de suelo, representando cinco usos y cobertura de suelo (Bosque, suelos agropecuarios, cuerpos de agua, población, nubes).

No obstante, la mayor superficie de bosque está entre los años 1998, 2014 (Tabla 2), lo que equivalen el 69,8% para el año 1998 y el 65,5% al 2014 (Figura 1 y 4), en las cuencas del río Portoviejo y Chone lo que demuestra la gran cantidad de los recursos forestal en las áreas de estudios. En cambio, los años 2000 y 2008 tienen una superficie menor que los periodos anteriores, lo que representa un 50,6% para el 2000 y un 48,8% en el 2008 (Figura 3 y 4). Estos resultados se relacionan con la investigación realizada por Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES,

(2009) demostró que la provincia de Manabí, cuenta con 3 258 km de bosques protectores y con 11,2% de bosque natural, además cuenta con un 59% de agua subterránea, y un 9,6% de actividades agrícolas y ganaderas.

De acuerdo con Galicia *et al.* (2014), la percepción remota y los sistemas de información geográfica permiten detectar tres procesos de cambio ambiental que operan en diferentes escalas de espacio y tiempo. El reto de transformar la información espectral en variables biológicas relevantes es clave para detectar patrones de degradación y monitoreo de procesos ecológicos (fenología) y geográficos (usos de suelo), y evaluar las respuestas rápidas e históricas de los ecosistemas a través de la detección en los cambios de cobertura y el NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada).

Además, los años que tienen una mayor representatividad en las áreas agropecuarias (zonas de cultivos, pastizales, entre otros.) es el 2000 con un 19,2% seguido del 2014 con un 18%, no obstante, el periodo 2008 obtuvo el 17,9% de las áreas agropecuaria que se encuentran distribuidas generalmente en las partes bajas de las cuencas, donde lo que más se evidenció mediante los recorridos de campo fueron: cultivos de plátano, maíz, maní, cebolla, y asociaciones de árboles frutales con café, cacao, yuca; pastizales ya que en la cuenca del río Chone la ganadería es una de las principales actividades desarrollada.

Los resultados obtenidos en las áreas agropecuarias que se deben a las actividades económicas que se desarrollan en la cuenca del río Chone, ya que el 66% de la población se dedica a la agricultura, produciendo maíz, cítricos, cacao, café, plátano, banano, yuca, hortaliza, pastos, además de ganado vacuno donde se mueve más la economía, considerándose el mayor hato ganadero del país, produciendo 200 a 300 mil litros de leches diarios (Centro del Agua y Desarrollo Sustentable [CADS] y Escuela Politécnica del Litoral [ESPOL], 2013).

Tabla 2. Base de datos de la cobertura vegetal de las cuencas del río Portoviejo - Chone periodo 1998-2014

	Años	Bosques	Áreas Agropecuarias	Cuerpos de Agua	Población	Nubes
1998	Área ha	332 782	79 216	17 775	20 541	26 347
	%	69,8	16,6	3,7	4,3	5,5
2000	Área ha	241 167	94 291	19 935	36 786	84 495
	%	50,6	19,8	4,2	7,7	17,7
2008	Área ha	232 859	85 565	39 210	25 593	93 498
	%	48,8	17,9	8,2	5,4	19,6
2014	Área ha	311 728	85 747	10 623	20 958	46 393
	%	65,6	18	2,2	4,4	9,8

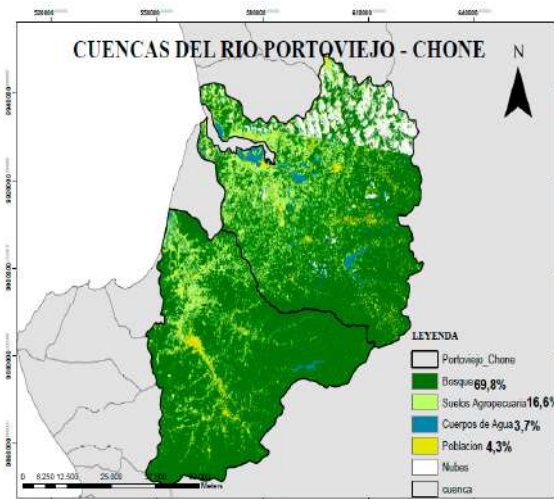


Figura 1. Mapa de cobertura vegetal del año 1998

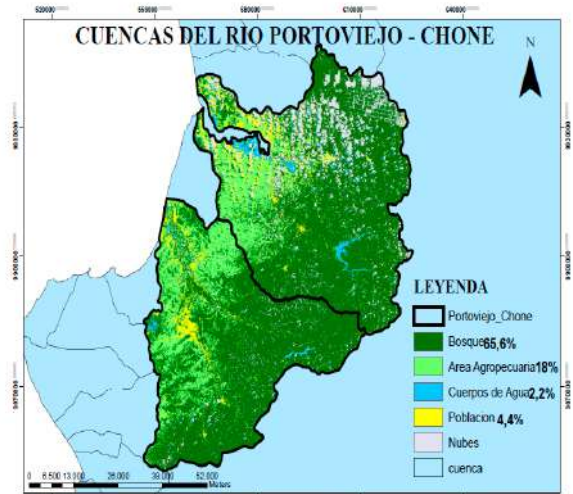


Figura 4. Mapa de cobertura vegetal del año 2014

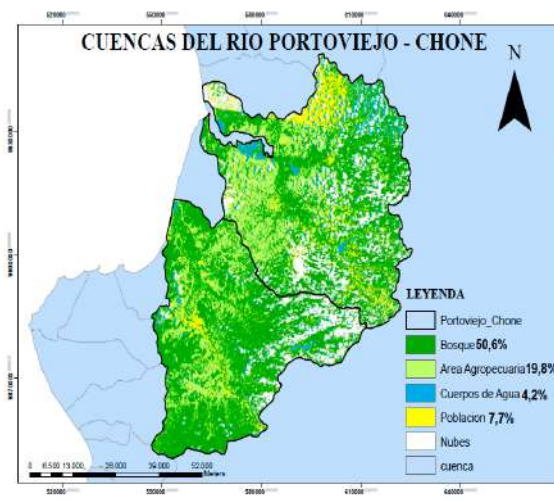


Figura 2. Mapa de cobertura vegetal del año 2000

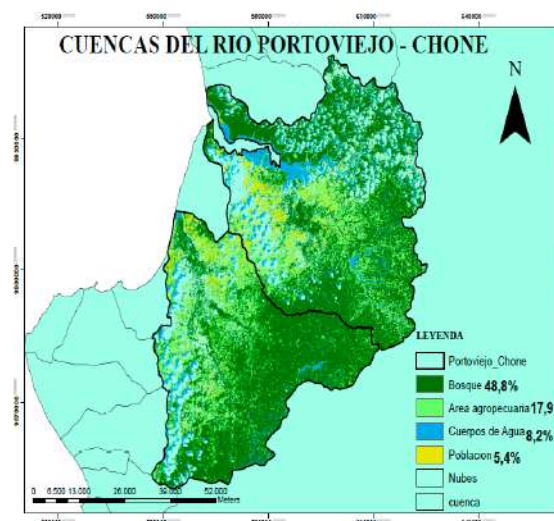


Figura 3. Mapa de cobertura vegetal del año 2008

El cambio que se registra para las cuencas del río Portoviejo y Chone para los años 1998–2014, se detallan en el Tabla 4. Para su análisis se procedió a unir las dos categorías que se detallan en la clasificación.

En el Tabla 3, se identifica el decrecimiento y el incremento de las distintas categorías de uso del suelo de las cuencas del río Portoviejo – Chone que han incidido en el deterioro de la cobertura forestal. El más alto cambio de cobertura fue en el periodo 1998–2000 que indica que en estos dos años hubo un decrecimiento de cobertura de 91 615 ha, y para el periodo 2000–2008 el decrecimiento es de 8 308 ha, estos decrecimientos se han dado por la conversión de bosque a áreas de cultivos, pastizales, debido que la economía de las áreas de estudio se basa principalmente en actividades agropecuarias. Para el periodo 2008–2014 se observa un crecimiento de cobertura de 78 869 ha en seis años, lo que se ha dado por los planes de reforestación que ha ejecutado el Gobierno provincial de Manabí (El diario, 2009).

La tasa de deforestación del bosque (Tabla 4), para el periodo 1998 – 2000 el cambio de cobertura forestal fue 91 615 ha y una tasa de deforestación – 14,8%; a diferencia del periodo 2000 – 2008 que la tasa de deforestación es de – 0,45% y el cambio de cobertura forestal fue 8 308 ha, lo que indica que para este año la pérdida de la cobertura forestal fue menor que de los demás periodos evaluados, esta decreciente de cobertura de bosques se relaciona con los planes de reforestación que el Gobierno Provincial de Manabí desarrollo en el año 2005 hasta la actualidad. De acuerdo con los resultados obtenidos por Cartaya y Zurita (2015) indican que la tasa de cambio para el 2008, fue de -0,43% y la deforestación total anual es 1 015,00 ha/año, ya que el uso de tierra es principalmente agrícola en el centro norte de la provincia de Manabí. En cambio, los resultados obtenidos en el periodo 2008–2014 la tasa de deforestación es de 1,3%; lo que se encuentra relacionada a causas directas como la explotación forestal, ampliación de la frontera agrícolas, la

formación de pastizales, cultivos, vialidad, entre otras actividades.

Tabla 3. Cambio que representan las categorías entre los diferentes años

Cobertura	Bosques	Áreas Agropecuarias	Cuerpos de Agua	Población	Nubes	Total
1998 ha	332 782	79 216	17 775	20 541	26 347	476 661
2000 ha	241 167	94 291	19 935	36 786	84 495	476 674
Cambios ha	-91 615	+15 075	+2 160	+16 245	+58 148	
Cambio/año ha	45 808	7 538	1 080	8 123	29 074	
2000 ha	241 167	94 291	19 935	36 786	84 495	476 674
2008 ha	232 859	85 565	39 210	25 593	93 498	476 725
Cambios ha	-8308	-8 726	+19 275	-11 193	+9 003	
Cambio/año ha	1 039	1 091	2 409	1 399	1 125	
2008 ha	232 859	85 565	39 210	25 593	93 498	476 725
2014 ha	311 728	85 747	10 623	20 958	46 393	475 449
Cambios ha	+78 869	+182	-28 587	-4 635	-47 105	
Cambio/año ha	13 145	30	4 765	773	7 851	

- : decrecimiento de cobertura.

+: Cremento de cobertura.

Tabla 4. Tasa de deforestación de las cuencas hidrográficas del río Portoviejo y Chone en el periodo 1998-2014

Descripción	1998	2000	Cambio ha	Tasa Cambio	Tasa deforestación %
	332 782 ha	241 167 ha	-91 615	-0.148	-14.8
	2000	2008	Cambio ha	Tasa Cambio	Tasa deforestación %
Bosque	241 167 ha	232 859 ha	-8 308	-0.0045	-0.45
	2008	2014	Cambio ha	Tasa Cambio	Tasa deforestación %
	232 859 ha	311 728 ha	+78 869	-0.0130	-1.3

ha: Hectárea.

Con el fin de cuantificar la fiabilidad del método de clasificación supervisada de mínima distancia se elaboró la matriz de confusión (Tabla 5) con los puntos verificados en campo, la cual la conformó una muestra representativa de las dos cuencas, para este caso se escogió la parroquia Quiroga por su accesibilidad en verificar los puntos tomados al azar de la clasificación supervisada realizada a la imagen 2014 fue validada mediante una matriz de confusión, elaboradas a partir de la tabulación cruzada de la información generadas por la clasificación inicial y el muestreo de campo (Chuvieco, 1995; Laurente, 2011).

La diagonal de esta matriz expresa el número de puntos de verificación en donde se produce el acuerdo entre las dos fuentes (mapa y realidad), y las columnas se ocupan por las clases de referencia (terreno) y las filas por las categorías deducidas en la clasificación. La fiabilidad global está sobre el 61,81%, lo que se considera aceptable para este tipo de imágenes y de acuerdo con la metodología de Chuvieco (1995), y a los resultados obtenidos por Laurente (2011) en donde obtuvieron una fiabilidad global de 64% lo que es aceptables para problemas de deforestación.

Tabla 5. Matriz de Confusión

Clasificación	Datos de referencia de la parroquia Quiroga					
	Bosque	Suelos agropecuarios	Cuerpos de agua	Población	Nubes	TOTAL
Bosque	58	0	0	0	0	58
Suelos agropecuarios	38	10	0	0	0	48
Cuerpo de Agua	0	4	0	0	0	4
Población	0	0	0	0	0	0
Nubes	0	0	0	0	0	0
((58+10)/110)*100= 61,81%						Total 110

Conclusiones

La integración de la percepción remota proporcione información valiosa sobre el análisis de deforestación asociada al crecimiento de las actividades antropogénicas en contra de la cobertura forestal natural existente en las cuencas del río Portoviejo – Chone, durante el año 1998 -2014.

Dentro de la clasificación supervisada se generó cinco usos y cobertura de suelo (Bosque, suelos agropecuarios, cuerpos de agua, población, nubes). Donde se evidencio que la mayor superficie de bosque está entre los años 1998 y 2014 con el 69,8% y 65,5%, a diferencia de los años 2000 y 2008 que obtuvieron el 50,6% y 48,8% de superficie de bosque. También se pudo evidenciar que las actividades agrícolas han jugado un rol preponderante dentro de las cuencas del río Portoviejo y Chone en los últimos años, presentando un incremento de áreas agropecuaria para el año 2000 de 19,2% y 18% para el año 2014, seguido del 2008 con un 17,8%; actividad que se realizan en su gran mayoría en la parte bajas de las cuencas.

Además, se identificó el decrecimiento y el incremento de las distintas categorías de usos de suelo, donde la cobertura de bosque obtuvo un decrecimiento de cobertura de cambio de 91 615 ha para el periodo 1998-2000 con una tasa de deforestación de -14,8%, sin embargo para el periodo 2000-2008 la tasa de deforestación fue de 0,45% de pérdida de cobertura de bosque; en cambio para el periodo 2008-2014 se obtuvo un crecimiento con una tasa de deforestación de -1,3% de cobertura de bosque con un cambio de 78 869 ha.

La matriz de confusión permitió verificar un listado de puntos de la cobertura real y de la deducida por la clasificación, de esta matriz se obtuvo el 61,81% de fiabilidad global lo que indica que la clasificación que se hizo es aceptable.

Referencias bibliográficas

Altamirano, A. y Lara, A. (2010). Deforestación en ecosistemas templados de la precordillera andina del centro-sur de Chile. *Bosque* 31(1). 53-64. <https://www.scielo.cl/pdf/bosque/v31n1/art07.pdf>

Barrantes, G., Chaves, H. y Vinuesa, M. (2010). *El bosque en el Ecuador; Una visión transformada para el desarrollo y la conservación*. <http://comafors.org/wp-content/uploads/2010/05/El-Bosque-en-el-Ecuador.pdf>.

Cardozo, O. y Da Silva, C. (2013). Aplicaciones urbanas de los sensores remotos. Resúmenes. *Revista Geográfica Digital*. 10(20), 1-6. <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/geo/article/view/2210/1934>

Carnevale, N. J., Alzugaray, C. y Di Leo, N. (2007). Estudio de la deforestación en la Cuña Boscosa santafesina mediante teledetección espacial. *Quebracho - Revista de Ciencias Forestales*, (14), 47-56. <https://www.redalyc.org/pdf/481/48101405.pdf>

Caro Becerra, J. L., (2014). Ordenamiento Urbano y Territorial visto desde el manejo de cuencas a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en la Cuenca El Ahogado, Jalisco. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 21(1), 55-65. <https://www.redalyc.org/pdf/104/10429976007.pdf>

Cartaya, S y Zurita, S. 2015. Determinación de la deforestación total y la tasa porcentual de cambio en la Reserva Natural de Pacoche y una Zona no protegida en el centro-norte de Manabí. *Revista La Técnica*. 14 Pp. 17-79. <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/latecnica/article/view/584/452>

Cartaya Ríos, S., & Zurita Alfaro, S. (2015). Determinación de la deforestación total y la tasa porcentual de cambio en la Reserva Natural de Pacoche y una zona no protegida en el centro-norte de Manabí: Determination of the total deforestation and the percentage of change in the Pacoche Natural Reserve and an unprotected zone in the north central area of Manabí. *La Técnica. Revista de las Agrociencias*. ISSN 2477-8982, (14), 72–79. https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i14.584

Centro del Agua y Desarrollo Sustentable [CADS] y Escuela Politécnica del Litoral [ESPOL], 2013. *Análisis de vulnerabilidad del cantón Chone. Perfil territorial 2013*. Digital Center, Primera edición. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56772.pdf>

Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de Teledetección Espacial*.

- (3ª ed., pp. 430) Editorial Rialp, S.A, https://www.u-cursos.cl/forestal/2011/1/EF016/1/material_docente/bajar?id_material=487457
- Escobar, R. (2016). *Estimación de la biomasa forestal de la sierra san miguelito por medio de imágenes de satélite*. [Tesis de Posgrado, Instituto Potosino de investigación científica y tecnológica, A.C]. <https://repositorio.ipicyt.edu.mx/bitstream/handle/11627/3013/TMIPICYTE8E72016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Galicia, L., Cuevas Fernández, M. L., González Ramírez, L. M., & Couturier, S. (2014). Detección de cambio ambiental en selvas y bosques de México con percepción remota: un enfoque multiescalar de espacio y tiempo. *Interciencia*, 39(6), 368-374. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33931213002>
- El diario, Grupo Ediasa S. A. (2009). La reforestación de Manabí es una necesidad prioritaria. *El diario Ecuador*. <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/116123-la-reforestacion-de-manabi-es-una-necesidad-prioritaria/>
- Gónima, L., Ruiz, L. y González, M. (2010). Desarrollo de una metodología sencilla para la georreferenciación y medición de distancias a partir de imágenes de satélite sistemáticamente georreferenciadas. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 39(1), 7-23. <http://www.scielo.org.co/pdf/mar/v39n1/v39n1a01.pdf>
- Laurente, M. Á. (2014). Medición de la deforestación mediante percepción remota en la microcuenca río Supte, Tingo María – Perú. *GeoFocus. International Review of Geographical Information Science and Technology*, (11), 1–15. <https://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/227>
- Lanly, J. (2006). *Los factores de la deforestación y de la degradación de los bosques*. XII Congreso Forestal Mundial, Boletín del XII Congreso Forestal Mundial Publicado por el Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible (IISD). Ed. Negociaciones de la Tierra. <https://www.fao.org/4/XII/MS12A-S.htm>
- Norambuena, H. y Orellana, D. (2012). Determinants of deforestation in the Amazon. *Revista interamericana de ambiente y turismo*. 8(1), 17-25. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4052088>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1996). *Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes*.
- Ortiz, N. y Pérez, U. (2009). Imágenes áster en la discriminación de áreas de uso agrícola en Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, 62 (1), 4923-4935. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v62n1/a18v62n1.pdf>
- Parra M., A. y Hernández T., F. L. (2010). Identificación Y Delimitación De Humedales Lénticos En El Valle Alto Del Río Cauca Mediante El Procesamiento Digital De Imágenes De Satélite. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, (9), 77-88. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231116434010>
- Peñaloza, R., González, J., Guerra, F., y Gómez, H. (2008). La Deforestación En La Cuenca Del Río Zulia, Barinas, Venezuela. Análisis Preliminar Utilizando Sig. *Geoenseñanza*, 13(1), 71-82. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36014579007>
- Polanco, J. (2012). Teledetección de la vegetación del páramo de belmira con imágenes Landsat. *Dyna*, 171, 1-11. <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v79n171/a28v79n171.pdf>
- Ponvert Delisles, D. y Lau Quan, A. (2013). Uso de las imágenes de satélites y los SIG en el campo de la Ingeniería Agrícola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(4), 75-80. <https://www.redalyc.org/pdf/932/93231386013.pdf>
- Rozkiewicz, F., y Zilio, A. 2010. Cambios en el uso del suelo de las tierras del ingenio Las Palmas, provincia de Chaco, en los años 1987 y 2001. *Geograficando*, 6(6), 223-239. https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art_revistas/pr.4751/pr.4751.pdf
- Ruiz, V., Savé, R., y Herrera, A. (2013). Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflores Moropotente Nicaragua, 1993 – 2011. *Ecosistemas*, 22(3), 117-123. <https://www.redalyc.org/pdf/540/54029508016.pdf>
- Sacristán, F. (2006). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *Revista científica de la Sociedad Española de Acuicultura, AquaTIC*, (24), 13-41. Universidad Complutense de Madrid http://www.revistaaquatic.com/aquatic/pdf/24_02.pdf
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES). (2009). *La planificación: Un instrumento para consolidar la regionalización*. <http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/08/La-Planificaci%C3%B3n.pdf>



Residuos orgánicos en la reproducción de *Eisenia foetida* L y en calidad de lombricompost

Organic residues in *Eisenia foetida* L reproduction and as lombricompost

María Amparo Gilces Reyna¹, Lexy Sánchez-Gavilanes¹, Gema Macias-Bazurto¹, Francisco Lafuente Álvarez²

¹Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.

²Universidad Valladolid, España.

Autor de correspondencia: amparogilces71@gmail.com

Recibido: 16/10/2023. Aceptado: 06/06/2024

Publicado el 11 de julio de 2024

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de residuos en la reproducción de *E. foetida*, caracterización fisicoquímica y fitotoxicidad de lombricompost. En esta investigación se analizaron 8 tratamientos: T1: bovinaza, T2: gallinaza, T3 tamo de maíz, T4: cáscara de maní, T5: bovinaza + cáscara de maíz, T6: bovinaza + cáscara de maní, T7: gallinaza + tamo de maíz y T8: gallinaza + cáscara de maní. Se evaluaron parámetros de reproducción, como número, tamaño y peso de lombrices. Los parámetros fisicoquímicos del lombricompost analizados fueron: rendimiento, humedad, densidad aparente, pH, conductividad eléctrica, concentración nitrógeno, fósforo y potasio, mientras que la fitotoxicidad se la analizó frente a semillas de *Lactuca sativa*. Los resultados obtenidos mostraron que en el T1 se lograron reproducir 912 unidades con una longitud media de 4,86 cm mismas que se generaron 17,17 kg de lombricompost, el T7 presentó mayor concentración de nitrógeno (2,64%) y contenido de materia orgánica 52,71%, el pH se mantuvo en valores neutros (6,9-7,2); mientras que conductividad eléctrica fue baja (0,22-0,64 ds/m). Ninguno de los tratamientos presentó toxicidad frente a semillas *L. sativa*, más bien los T1, T3, T4, T5, T7 y T8 presentaron actividad fito estimulante en la germinación de semilla. La transformación biológica de desechos es una importante herramienta para el manejo de residuos que influye en la reproducción de *E. foetida*, en rendimiento, calidad de lombricompost y estimula la germinación de *L. sativa*.

Palabras clave: *E. foetida*, desechos orgánicos, rendimiento, crecimiento, calidad.

Abstract

The objective of this study was to evaluate the effect of residues on the reproduction of *E. foetida*, the physicochemical characteristics and phytotoxicity of vermicompost. In this research, 8 treatments were analyzed: T1: bovine manure, T2: poultry manure, T3 corn chaff, T4: peanut shell, T5: bovine manure + corn husk, T6: bovine manure + peanut shell, T7: poultry manure + corn chaff and T8: poultry manure + peanut shell. Reproduction parameters such as number, size and weight of worms were evaluated. The physicochemical parameters of the vermicompost analyzed were yield, moisture, bulk density, pH, electrical conductivity, nitrogen, phosphorus and potassium concentration, while phytotoxicity was analyzed against *Lactuca sativa* seeds. The results obtained showed that T1 was able to reproduce 912 units with an average length of 4,86 cm and generated 17,17 kg of vermicompost, T7 presented a higher concentration of nitrogen (2,64%) and organic matter content of 52,71%, the pH remained in neutral values (6,9-7,2), while the electrical conductivity was low (0,22-0,64 ds/m). None of the treatments showed toxicity to *L. sativa* seeds, but T1, T3, T4, T5, T7 and T8 showed phytostimulant activity on seed germination. Biological transformation of wastes is an important tool for waste management that influences *E. foetida* reproduction, yield, vermicompost quality and stimulates *L. sativa* germination.

Keywords: *E. foetida*, organic wastes, performance, growth, quality.

Introducción

La acumulación de residuos representa un riesgo para la salubridad y el medio ambiente, debido a ellos, los países desarrollados cada día implementan tecnologías que permitan convertirlos en fuentes generadoras de energías (Villegas-Cornelio y Laines Canepa, 2017). El lombricompost es el resultado de la biooxidación, degradación y transformación de residuos orgánicos vegetales o animales por medio de lombrices como *E. phoetida* bajo condiciones controladas de humedad y temperatura (Sonntag *et al.*, 2022).

Según Ding; *et al.*, (2021), el uso de lombricompost influye benéficamente en las características fisicoquímicas del suelo; estimulando el incremento y la calidad de la materia orgánica; presentándose como una importante alternativa ante los productos sintéticos que aplicados en excesos conllevan a implicaciones negativas en el manejo eficiente de los recursos naturales, con esto también concuerda Neha y Jagdeep (2023).

Según un informe emitido por Verified Market Research (VMR, 2024), el mercado de lombricompost en el año 2022 se valoró en 98,68 billones de dólares, con una provisión para el año 2030 de 271,56 es decir una previsión de tasa de crecimiento anual de 15,56% a escala mundial. En el caso de Ecuador, son las provincias de Guayas, Azuay, Tungurahua, Los Ríos y Pichincha donde se ha fomentado esta práctica (Campoverde Santos *et al.*, 2020).

Los biofertilizantes obtenidos por la descomposición de materia orgánica aportan con nutrientes como K, Ca, S, Fe, Mn, P y N (Tammam *et al.*, 2023) pero sus características, rendimiento y sus efectos podrían verse condicionados a factores como la alimentación de las lombrices, lo cual es demostrado en estudios como los realizados por Vodounnou *et al.*, (2024) quien analizó el impacto de diferentes dietas en el crecimiento de la lombriz, encontrando mejores resultados en los tratamientos en los que se aplicó bovinaza.

Así también en el trabajo realizado por Riascos *et al.*, (2022) donde se observó que una mayor concentración de residuos de vegetales favoreció la presencia de potasio a diferencia de las dietas con gallinaza que incrementó el contenido de fósforo y materia orgánica.

Por lo antes expuesto se propuso el siguiente trabajo de investigación que tuvo como objetivo principal “Evaluar el efecto de lombricompost elaborados a partir residuos en la reproducción de lombriz *E. foetida*, las características fisicoquímicas del lombricompost y la toxicidad en semillas de *L. sativa*”.

Metodología

Este estudio se ejecutó en los predios de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Técnica de Manabí (UTM) ubicados en la parroquia de Lodana, provincia de Manabí (-1.1760707253263103, -80.38629471603299), Ecuador.

Recolección de residuos

La gallinaza se obtuvo en la granja avícola “Catalina” en la parroquia Colon Quimis, del cantón Portoviejo provincia de Manabí. La bovinaza en la Facultad de Ciencias Veterinaria de la UTM, la cáscara de maní en un centro de acopio de la parroquia Pachinche Adentro y la cáscara de maíz se recolectó en los predios de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la UTM. Los residuos vegetales fueron triturados en un molino de martillo marca Sirca y tamizados en un instrumento No. 10 obteniendo un tamaño de partícula de 2 mm. Los materiales fueron pesados y mezclados. El peso de los residuos recolectados fue de gallinaza 342,96 kg, bovinaza 514,5 kg, cáscara de maní 121 kg y cáscara de maíz 63,5 kg.

Caracterización fisicoquímica de residuos utilizados

Se evaluó la humedad y materia seca por el método de estufa, el pH (marca Hanna Instruments, la conductividad eléctrica se la analizó mediante la lectura en conductímetro estándar marca YSI, el carbono total por la técnica de combustión seca. La materia orgánica fue valorada por el método de calcinación, la concentración de nitrógeno se analizó considerando el método g, el carbono total y la concentración carbono nitrógeno C:N se obtuvo dividiendo la concentración de carbono sobre el contenido de nitrógeno. Todos los análisis fueron realizados en el laboratorio del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias en Pichilingue.

Preparación de pre-compost

Con el objetivo de mantener las condiciones óptimas para la descomposición de los sustratos y adaptación de las lombrices, se hizo un proceso de pre-compostaje. Se analizaron analizaron 8 tratamientos T1: bovinaza, T2: gallinaza, T3 tamo de maíz, T4: cáscara de maní, T5: bovinaza + tamo de maíz (2:1) T6: bovinaza + cáscara de maní (2:1), T7: gallinaza + tamo de maíz (1:1) y T8: gallinaza + cáscara de maní (1:1). Cada tratamiento fue realizado por triplicado obteniéndose 24 unidades experimentales. Cada unidad fue ubicada en una cama de ladrillo (1,10*1,20*0,40 m) en una edificación cubierta y con techado.

Siembra de lombriz.

Se introdujeron 400 lombrices jóvenes y 2 kg de residuos por cada unidad experimental. Las lombrices y los sustratos fueron distribuidos en cada lecho en capas de 10 centímetros. Durante el proceso de compostaje se controló la temperatura, humedad con un termohigrómetro marca Kex- Germany. así como la oxigenación por medio de volteo manual, el cual fue realizado mensualmente durante 4 meses. Finalizado este periodo, se procedió a contar las lombrices y se seleccionó una muestra compuesta por 100 crías para tomar el peso y medida de las muestras utilizando una balanza Pioneer Px3202 y un calibre Vernier.

Análisis de calidad de lombricompost

Las características físico químicas evaluadas fueron humedad, conductividad eléctrica (CE), pH, materia orgánica (MO), materia mineral (Mm), carbono orgánico (CO), relación carbono nitrógeno (C/N) y densidad aparente, de acuerdo con la norma NMX-FF-109-SCFI-2008. El fosforo y potasio por calorimetría de laboratorios HANNA INSTRUMENTS HI3896.

Ensayo de fitotoxicidad

En cajas Petri de 150 mm de diámetro se colocó en papel filtro 20 semillas de *L. sativa* y 5 ml de extracto acuoso del lombricompost, el que se obtuvo tomando 10g de muestra y diluyéndolo en 50ml de agua destilada, se llevó a agitación a temperatura ambiente por 50 minutos posteriormente fue filtrado en papel Whatman 1 se filtró; mientras que para el tratamiento testigo, las semillas fueron colocadas sobre la caja Petri y agua destilada. Los tratamientos fueron expuestos por 4 días en ausencia de luz, considerando la metodología usada por Varnero *et al.* (2007).

Para calcular el índice de germinación (IG) se consideró el porcentaje de germinación relativo (PGR) multiplicado por el crecimiento de radícula relativo (CRR) sobre 100. En las ecuaciones 1, 2 y 3 se detalla el cálculo de los parámetros antes enunciados.

La toxicidad del lombricompost fue clasificada considerando los criterios establecidos por Zucconi *et al.*, (1981) quien indica que hasta 50% las enmiendas orgánicas presentan alta toxicidad, 51 - 80% es moderada, 81-100% no existe toxicidad y >100% existe actividad estimulante para la germinación de semillas por parte del lombricompost.

Análisis estadístico

Los análisis fueron realizados por triplicado y los resultados fueron procesados en el estadígrafo Minitab versión 21.4.0 para lo cual se evaluó la normalidad por Anderson Darling, se aplicó una prueba de ANOVA y la diferencia significativa mediante análisis de Tukey ($p > 0,05$).

Resultados y discusión

Caracterización fisicoquímica de los residuos utilizados

En la Tabla 1 se observan los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica de los residuos empleados para el proceso de lombricompost, en donde se puede observar que la bovinaza concentra mayor cantidad de materia orgánica, carbono, relación carbono nitrógeno y humedad. La gallinaza presentó una mayor conductividad eléctrica y pH, mientras que la cáscara de maíz presentó una mayor concentración de nitrógeno.

$$PGR = \frac{N^{\circ} \text{ de semillas germinadas en solución}}{N^{\circ} \text{ de semillas germinadas en testigo}} * 100 \quad (1)$$

$$CRR = \frac{\text{Elongación de radícula en solución}}{\text{Elongación de radícula en testigo}} * 100 \quad (2)$$

$$IG = \frac{PGR * CRR}{100} \quad (3)$$

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica de los residuos utilizados

Tratamiento	Parámetro							
	MO	C%	N%	C/N	H (%)	M.S (%)	pH	Ce (ds/m)
Cáscara de maní	33,2	18,68	1,1	16,98	13	87	5,5	5
Tamo de maíz	25,1	14,6	1,5	7,28	16,8	83,2	6,5	13,5
Bovinaza	49,5	28,7	1,1	26,1	63,3	36,7	6,4	19,1
Gallinaza	45,8	26,56	1,1	24,15	13,77	86,2	7,2	26,2

M.O: Materia orgánica, C: Carbono, N: Nitrógeno, C/N: relación carbono nitrógeno, H: humedad, M.S: materia seca, CE: conductividad eléctrica.

En la Figura 1 se observa que el T1 presentó mayor rendimiento de lombricompost evidenciándose diferencias significativas con el resto de tratamientos ($p > 0,05$), resultandos menores a los reportados por Ramnarain *et al.* (2019) quien evaluó el efecto una enmienda con estiércol vacuno, paja de arroz y pasto.

En la Figura 2, se observa que el T1 presenta diferencias significativas ($p > 0,05$) con el resto de tratamientos en la reproducción de lombrices (912 unidades) finalizado el proceso de lombricompost; mientras que el tratamiento T8 presentó un menor rendimiento. Valores similares a los presentados por Adi y Noor (2009) quienes aplicaron residuos de bovinaza y cáscara de café (30:70). Al ser una importante fuente de nutrientes como nitrógeno, fósforo y calcio, la

aplicación de estiércol de bobino podría contribuir a una mayor reproducción de la lombriz en relación a los otros residuos utilizados (Da Silva *et al.*, 2023).

En la Figura 3, se presentan los resultados obtenidos del crecimiento de las lombrices, se observó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos estudiados, lo que indica que la alimentación no influyó en la longitud de las lombrices, dando valores similares a los obtenidos por Canales-Gutiérrez *et al.*, (2021) quien combinó estiércol bovino con residuos vegetales. No obstante, Manaig (2016) indica que el crecimiento de las lombrices está directamente relacionado a su alimentación, demostrando que la elección de un sustrato adecuado puede ser importante para la reproducción de la lombriz.

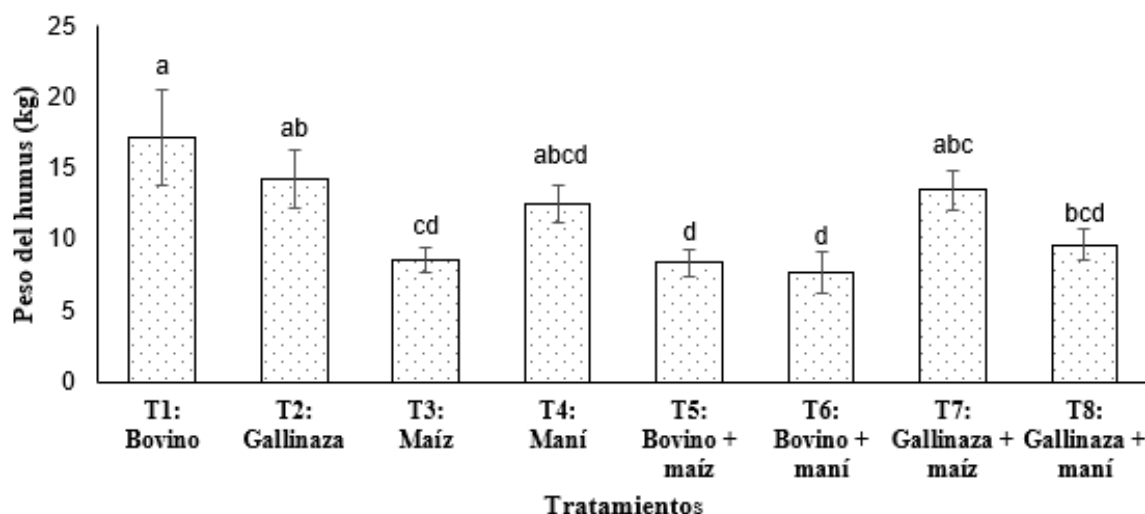


Figura 1. Peso (kg) de cada uno de los tratamientos una vez concluido el proceso de lombricompost. Letras representan diferencias significativas entre los tratamientos (Tukey $p > 0,05$)

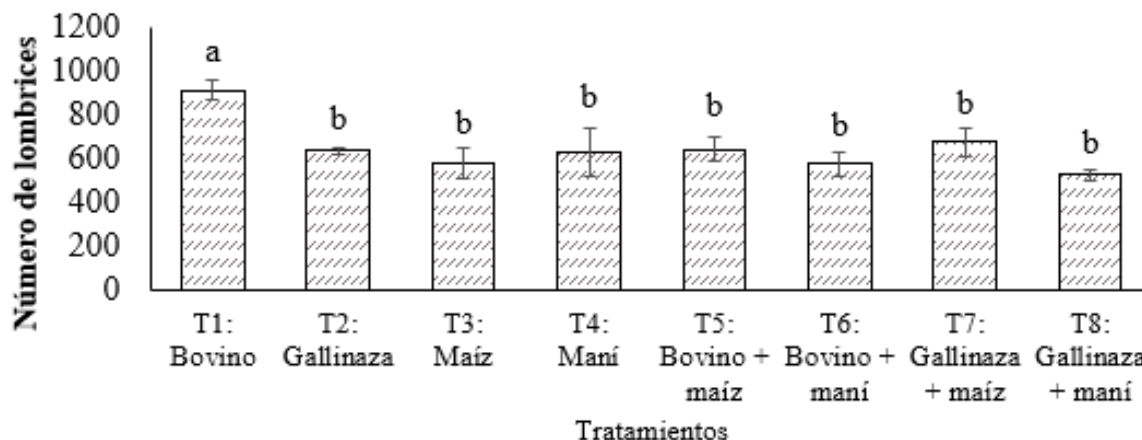


Figura 2. Número de lombrices por tratamiento. Letras diferentes denotan diferencias significativas entre los tratamientos (Tukey $p > 0,05$)

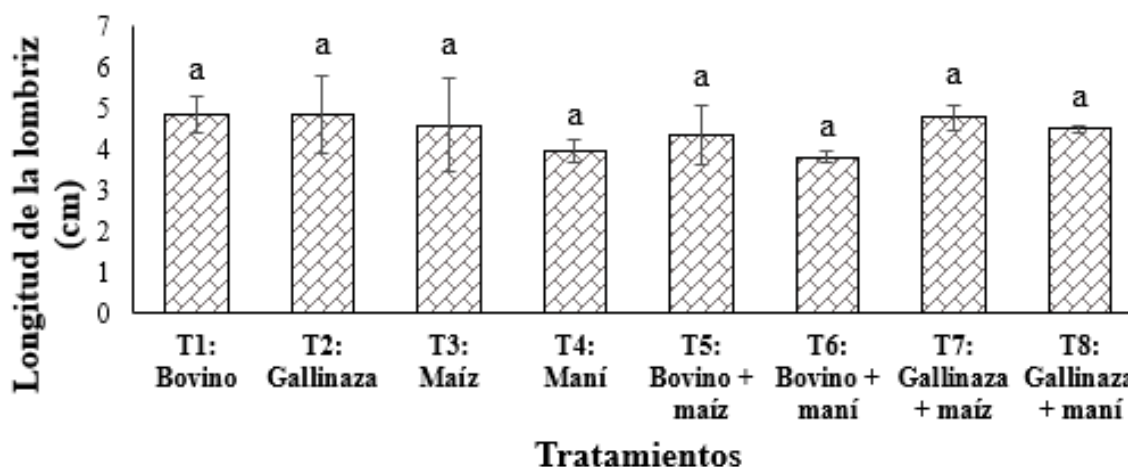


Figura 3. Longitud de lombriz. Las letras distintas denotan diferencias significativas entre tratamientos Tukey ($p > 0,05$)

Tabla 2. Características físicas de lombricompost

Tratamientos	H (%)	MS (%)	C.E. (ds/m)	Da (g cm ⁻³)
T1: Bovino	42,33ab	57,67bc	0,41ab	0,71ab
T2: Gallinaza	35,56c	64,44a	0,39ab	0,77 ^a
T3: Maíz	41,07a	58,93c	0,64a	0,64b
T4: Maní	40,79a	59,21c	0,22b	0,48 ^a
T5: Bovino + maíz	38,37ab	61,63bc	0,47ab	0,67b
T6: Bovino + maní	42,28ab	57,72bc	0,33ab	0,64b
T7: Gallinaza + maíz	39,30abc	60,70abc	0,44ab	0,66b
T8: Gallinaza + maní	38,33bc	61,67ab	0,33ab	0,69b

H: humedad, MS: materia seca, CE: conductividad eléctrica, Da: Densidad aparente. Letras representan diferencias significativas entre los tratamientos (Tukey $p > 0,05$)

En la Tabla 2, se presentan los resultados obtenidos de la caracterización física del lombricompost, la materia seca fue similar a la reportada por Zhang *et al.* (2020), quienes analizaron la calidad de lombricompost obtenido a partir de lodos deshidratados, con valor inferior a la presentada por Singh *et al.* (2023) quien obtuvo resultados que oscilaron entre 61,53% a 86,25% en un estudio en donde se analizaron parámetros fisicoquímicos de las enmiendas obtenidas de la descomposición de estiércol de vaca y residuos agrícola, en el mismo trabajo se observó que la humedad se encontró entre 13,75% y 38,48%, al contrario de la materia sólida, esta incrementó en relación a la altura de la pila en que se tomó la muestra. La conductividad eléctrica (C.E) en el lombricompost dependen de los residuos empleados (Lim *et al.*, 2015), pero que a altos niveles (<4ds/m) podría tener efectos tóxicos lo que limitaría el desarrollo de plántulas (Valenzuela y Gallardo, 1997). Se reportaron resultados inferiores al presentado por

Robe (2021) (3,2–6,7 ds/m) y a la presentada por (Mahaly *et al.*, 2018) (0,71ds/m) quien evaluó las características físicas de un lombricompost elaborados con biomasa obtenida de la destilación de hojas de té. Mientras que la densidad aparente se encontró en valores entre 0,48 y 0,71 g/cm³, esta fue mayor (0,33 g/cm³) a la presentada por Hernández *et al.* (2008) quien analizó las características físicas de un lombricompost elaborado con estiércol y residuos de palma de coco y similar (0,66 g/cm³) a la determinada por Zanor *et al.* (2018). Los parámetros físicos de todos los tratamientos se encuentran dentro de lo establecido por la NORMA NMX-FF-109-SCFI-2008.

En la Tabla 3, se muestran las características químicas de los diferentes tratamientos, en caso del pH fue similar al reportado en el estudio de Gupta *et al.* (2014) en donde se elaboró lombricompost con 100% de estiércol de vaca, es importante indicar también que el pH juega un rol esencial

en la reducción de metales pesados durante el proceso de lombricompost, según Singh y Kalamdhad (2013) el pH en escala neutra reduce la biodisponibilidad de estos elementos. El contenido de materia orgánica y en C/N fue similar que al presentado por Ugur *et al.* (2019). En el caso de nitrógeno y carbón orgánico la concentración fue mayor a la presentada por Trivikrama *et al.* (2023). Durante el proceso de lombricompost la relación carbono nitrógeno disminuyó, similar a lo reportado por Guzmán *et al.* (2020), lo cual según Boruah *et al.* (2019) se podría atribuir a la actividad respiratoria de los microorganismos y lombrices, lo que demuestra que la inclusión de estiércol bovino es importante debido a que contribuye al incremento de nutrientes (Khatua *et al.*, 2018). En el caso de la conductividad eléctrica, se observó un decrecimiento en el lombricompost en relación a lo presentado en los residuos, lo que podría deberse a la liberación de minerales durante la descomposición de los residuos orgánicos en forma de cationes (Tognett *et al.*, 2013). Sin embargo, es importante indicar que los valores de los análisis químicos obtenidos se encuentran dentro de lo establecido en la norma NMX-FF-109-SCFI-2008.

Se puede observar en la Figura 4, que ningún tratamiento presentó toxicidad, siendo el T4 en el cual se observó mayores resultados considerando la clasificación establecida por Zucconi *et al.* (1981).

Los resultados obtenidos fueron mayores a los reportados por Hernández-Rodríguez *et al.* (2017); quienes analizaron el efecto de diferentes proporciones de lombricompost combinado con turba de musgo; mientras que en el trabajo realizado por Vithirak y Chuleemas Boonthai, (2018) se

analizó la toxicidad de lombricompost elaborado con residuos de hojas de té, logrando un porcentaje de germinación en *L. sativa* del 95%. Así también los resultados obtenidos fueron superiores a los reportados por Quintela-Sabaris *et al.* (2022) quien evaluó el efecto fitotóxico en semillas de *Lipidium sativum* de una enmienda elaborada con biomasa de *Acacia dealbata*. Los autores antes citados hacen énfasis en que la transformación de residuos mediante lombricompost reduce la movilidad de los metales pesados disminuyendo los niveles de toxicidad, con esto concuerda Martínez Madrid y Marrugo-Negrete (2021) quienes aseveran que el uso de enmiendas favorece a germinación y desarrollo de plantas.

Prueba mediante ensayo de fitotoxicidad

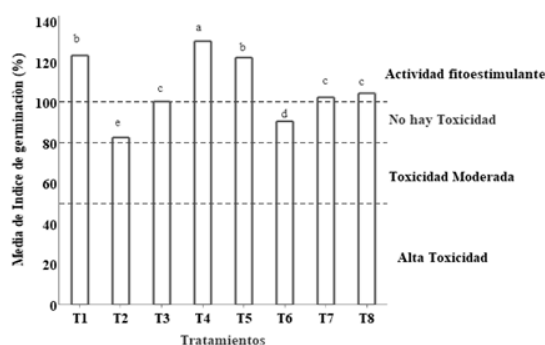


Figura 4. Fitotoxicidad de lombricompost en germinación de semillas de *L. sativa*. Las letras distintas denotan diferencias significativas entre tratamientos (Tukey $p > 0,05$)

Tabla 3. Análisis de parámetros químicos de lombricompost

Tratamientos	pH	Mm (%)	M. O. (%)	CO (%)	N (%)	C/N	P	K
T1: Bovino	7,10a	58,39ab	41,61cd	20,64c	2,22ab	11,17b	Alto	Alto
T2: Gallinaza	7,05a	56,16bc	43,8bc	23,38ab	2,52ab	10,60b	Alto	Alto
T3: Maíz	7,01a	62,43 ^a	37,57d	24,57bc	1,56b	13,51 ^a	Alto	Alto
T4: Maní	7,25a	58,39ab	41,61cd	23,54bc	2,07ab	11,24b	Alto	Alto
T5: Bovino + maíz	7,04a	53,00c	47,00b	24,74bc	2,05ab	11,57ab	Alto	Alto
T6: Bovino + maní	7,24a	53,77c	46,23b	24,68bc	2,24ab	11,12b	Alto	Alto
T7: Gallinaza + maíz	6,96a	47,34d	52,06a	29,30a	2,63a	11,32b	Alto	Alto
T8: Gallinaza + maní	6,98a	58,26ab	41,74cd	22,65c	2,27ab	11,29b	Alto	Alto

Mm: Materia mineral, **M.O:** Materia orgánica, **CO:** Carbono orgánico, **N:** Nitrógeno, **C/N:** Relación carbono nitrógeno, **K:** Potasio y **P:** Fosforo. Las letras distintas denotan diferencias significativas entre tratamientos (Tukey $p > 0,05$).

Conclusiones

La transformación del estiércol bovino T1 en lombricompost presentó mayor rendimiento de biomasa, número y longitud de *E. foetida*. Los parámetros fisicoquímicos de todos los tratamientos se encontraron dentro de los rangos establecidos por la Norma mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008. Los tratamientos estudiados no presentaron fitotoxicidad, a excepción de los tratamientos T2 y T6 que no tuvieron actividad fito estimulante en la germinación de semillas de *L. sativa*. Finalmente se concluye que la transformación de los desechos empleados en el presente estudio, permitió obtener un abono orgánico que cumple con los estándares de calidad conforme a los análisis realizados.

Agradecimientos

Para la ejecución de esta investigación los autores adquirieron fondos económicos otorgados por la Universidad Técnica de Manabí por medio del programa II Becas para el Desarrollo de Investigación Científica 2019, el cual se lo realizó en conjunto con la Secretaria de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) , lo cual permitió construir una infraestructura en donde se llevaron a cabo actividades de reproducción de las lombrices y producción de lombricompost.

Referencias bibliográficas

- Adi, A. y Noor, Z. (2009). Waste recycling: Utilization of coffee grounds and kitchen waste in vermicomposting. *Bioresource Technology*, 100(8), 1027-1030. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.07.02>
- Boruah, T., Barman, A., Kalita, P., Kalita, J. y Deka, H. (2019). Vermicomposting of citronella bagasse and paper mill sludge mixture employing *Eisenia fetida*. *Bioresource Technology*, 294(1), 122-147. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122147>
- Campoverde Santos, D. K., Velasco Matveev, L. A. y Acurio Martínez, W. (2020). Aplicación de sustratos orgánicos en la cría de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) para la producción de alimento animal. *Ciencia digital*, 3(1), 22-35. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i3.1.1354>
- Canales-Gutiérrez, Á., Mestas-Gutiérrez, N. y ChambiAlarcon, M. (2021). Growth and production of cocoons of *Eisenia foetida* (redworm) on four substrates. *Revista de Investigación Veterinaria de Peru*, 32(5), 1-6. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/veterinaria/article/view/19843/17317>
- Da Silva, L., Da Silva, E., S. Morais, F., Portela, J., T. de Oliveira, F., De Freitas, D., Almeida Ferreira, E., Gurgel, M., Pinheiro, A., Lima, R., Vasconcelos, A. y De Sousa Antunes, L. (2023). Potential of vermicomposting with mixtures of animal manure and vegetable leaves in the development of *Eisenia foetida*, microbial biomass, and enzymatic activity under semi-arid conditions. *Journal of Environmental Management*, 330(45), 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117169>
- Ding, Z., Kheir, A., A.M. Ali, O., Hafez, E., ElShamey, E. A., Zhou, Z., Wang, B., Lin, X. y Ge, Y. (2021). A vermicompost and deep tillage system to improve saline-sodic soil quality and wheat productivity. *Journal of Environmental Management*, 2-17. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111388>
- Gupta, R., Yadav, A. y Garg, V. (2014). Influence of vermicompost application in potting media on growth and flowering of marigold crop. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 3(47), 42-47. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s40093-014-0047-1>
- Guzmán Cedeño, A., Zambrano-Pazmiño, D. E., Conforme Álava, M. A. y Vera Vera, B. R. (2020). Microbial inoculum with cellulolytic capacity for compost production in manabí-ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 13(12), 39-45. <https://doi.org/https://revistas.uteq.edu.ec/index.php/cyt/article/view/391/448>
- Hernández, J., Guerrero L., Mármol, L., Bárcenas, J. y Salas, E. (2008). Caracterización física según granulometría de dos vermicompost derivados de estiércol bovino puro y mezclado con residuos de fruto de la palma aceitera. *Interciencia*, 33(9), 268-271. <https://acortar.link/zBixLD>
- Hernández-Rodríguez, A., Robles-Hernández, L., OjedaBarrios, D., Prieto-Luévano, J., González-Franco, A. y Guerrero-Prieto, V. (2017). Semicompost and vermicompost mixed with peat moss enhance seed germination and development of lettuce and tomato seedlings. *Interciencia*, 42(11), 774-779. <https://www.redalyc.org/journal/339/33953499012/html/>
- Joshi, S. y Mudgal, V. (2023). Influence of Cocopeat and Vermicompost on Growth and Yield of Cucumber. *Economy. Environment. and Construction*, 29(3), 189-195. <http://doi.org/10.53550/EEC.2023.v29i01s.02>
- Khatua, C., Sengupta, S., Krishna Balla, V., Kundu, B., Chakraborti, A. y Tripathi, S. (2018). Dynamics of organic matter decomposition during vermicomposting of banana stem waste using *Eisenia fetida*. *Waste Management*, 79(6), 287-295. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.07.043>
- Lim, S., Wu, T. Y., Pei, L. y Shak, K. (2015). The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(1), 1-18. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6849>
- Mahaly, M., Senthilkumar, A., Arumugam, S., Kaliyaperumal, C. y Karupannan, N. (2018). Vermicomposting of distillery sludge waste with tea leaf residues. *Sustainable Environment Research*, 18(6), 223-227. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117169>

- org/10.1016/j.serj.2018.02.002.
- Manaig, E. (2016). national E-publication: Publish Projects, Dissertation, Theses, Books, Souvenir, Conference Proceeding with ISBN. International E-Bulletin: Information/News regarding: Academics and Research. Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences, 4(1), 2016. https://www.isca.me/AGRI_FORESTRY/Archive/v4/i1/1.ISCA-RJAFS-2015-057.pdf
- Martínez Madrid, D. y Marrugo-Negrete, J. (2021). Efecto de la adición de enmiendas en la inmovilización de metales pesados en suelos mineros del sur de Bolívar, Colombia. *Daisy Escarlet Martínez. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(2), 1-14. https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num2_art:2272
- Neha, D. y Jagdeep, K. (2023). Impact of increasing pesticides and fertilizers on human health: A review. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 14-28. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.766>
- Quintela-Sabaris, C., Mendes, L. y Domínguez, J. (2022). Vermicomposting as a Sustainable Option for Managing. *Sustainability*, 14(21), 2-11. <https://doi.org/10.3390/su142113828>
- Ramnarain, Y., Ansari, A. y Ori, L. (2019). Vermicomposting of different organic materials using the epigeic earthworm *Eisenia foetida*. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8(4), 23-36. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40093-018-0225-7>
- Riascos, A., Crespo-López, G., Guerrero-Guerrero, E. y Medina-Mesa, Y. (2022). Effect of food source on the chemical composition of Californian red worm (*Eisenia foetida*) vermicompost. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 56(3), 1991-200. <http://scielo.sld.cu/pdf/cjas/v56n3/2079-3480-cjas-56-03-e08.pdf>
- Robe, E. (2021). Preparation and characterization of vermicompost made from different sources of materials. *Open Journal of Plant Science*, 6(1), 1-7. https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/354995967_Preparation_and_characterization_of_vermicompost_made_from_different_sources_of_materials
- Singh, J., y Kalamdhad, A. (2013). Effect of *Eisenia fetida* on speciation of heavy metals during vermicomposting of water hyacinth. *Ecological Engineering*, 60(1), 214-223. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.07.010>
- Singh, S., Jogdand, S., Naik, R., Victor, V., Pradhan, M. y Sonboir, H. (2023). To study the physical and engineering properties of vermicompost. *The Pharma Innovation Journal*, 12(6), 236-241. <https://doi.org/https://www.thepharmajournal.com/archives/2023/vol12issue6/PartC/12-5-446-375.pdf>
- Sonntag, E., Grimm, D. y Rahmman, G. (2022). Vermiculture for Human Nutrition across Scales – Potentials and Limitations. *International scientific*, 2(5), 1-3. <https://doi.org/10.1163/23524588-20230163>
- Tammam, A., Moez Shehata, R., Pessarakli, M. y El-Aggan, W. (2023). Vermicompost and its role in alleviation of salt stress in plants – I. Impact of vermicompost on growth and nutrient uptake of salt-stressed plants. *Journal of Plant Nutrition*, 46(7), 1446–1457. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2072741>
- Tognett, C., Laos, F., Mazzarino, M. y Hernández, M. (2013). Composting vs. Vermicomposting: A Comparison of End Product Quality. *Compost Science & Utilization*, 13(1), 6-13. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2005.10702212>
- Trivikrama Raju, J., Bhakar, S., Mahesh, K., Lakhawat, S., Ugur, S., Ulutaş, Z. y Fazli, W. (2019). Physico-chemical Status of Vermicompost Processed by Earthworm Species *Eisenia fetida*. *Turkish Journal of Agriculture -Food Science and Technology*, 7(11), 1868-1871. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v7i11.1867-1871.2799>
- Valenzuela, O. y Gallardo, C. (1997). Uso de lombricompost como medio de crecimiento para plantines de tomate (cv. Platense). *Revista Científica Agropecuaria*, 1(6), 15-21. http://ns1.fca.uner.edu.ar/rca/Volumenes%20Anteriores/Vol%20Ante%201/rca_1_pdf/Valenzuela-5-15-21.pdf
- Varnero, M., Rojas A., C. y Orellana R, R. (2007). Phytotoxicity indices of organic residues during composting. *Revista Ciencias de suelo y Nutrición Vegetal*, 7(1), 28-37. <https://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo/v7n1/art03.pdf>
- Verified Market Research. (Febrero de 2024). Global Vermicompost Market Size By Application, By Product Type, By Geographic Scope And Forecast. <https://www.verifiedmarketresearch.com/product/vermicompost-market/>
- Villegas-Cornelio, V. y Laines Canepa, J. (2017). Vermicompostaje: I avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(2), 393-406. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.59>
- VITHIRAK, H. y CHULEEMAS BOONTHAI, I. (2018). INTRODUCTION Research article Feasibility Study of Using Vermicompost Extract on Seed Germination on Green Romaine (*Lactuca sativa* L. var. Jericho) and Green Batavia (*Lactuca sativa* L. var. Concept) Lettuce. *International Journal of Environmental and Rural Development*, 9(1), 168-172. <https://iserd.net/ijerd91/IJERD9-1-27.pdf>
- Vodounnou, E., Kpogue, D., Tossavi, C., Mennsah, G. y Fiogbe, E. (2024). Effect of animal waste and vegetable compost on production and growth of earthworm (*Eisenia fetida*) during vermiculture. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 17, 87-92. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40093-016-01195/metrics>
- Zanor, G. A., López-Pérez, M., Martínez-Yáñez, R., Ramírez-Santoyo L, L. F., Gutiérrez-Vargas, S. y León-Galván, M. (2018). Physical and chemical properties improvement of an agricultural soil mixed with

- vermicompost from two biodigester effluents. Ingeniería Investigación y tecnología, 19(1), 1-10. <http://dx.doi.org/10.22201/ii.25940732e.2018.19n4.036>
- Zhang, H., Li, J., Zhang, Y. y Huang, K. (2020). Quality of Vermicompost and Microbial Community Diversity Affected by the Contrasting Temperature during Vermicomposting of Dewatered Sludge. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(3), 1-12. <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/5/1748>
- Zucconi, F., Pera, A., Forte, M. y Bertoldi, M. (1981). Evaluating toxicity of immature compost. Biocycle, 22(5), 54-57. <https://www.semanticscholar.org/paper/Evaluatingtoxicity-of-immature-compostZucconi-Pera/eb205f0cac75b2bee759cef8657005d61a87fc1>



Comparación de producción de compost con diferentes formulaciones de residuos de origen vegetal y pecuario

Comparison of compost production with different formulations of vegetable and livestock wastes.

Esthela Elizabeth Corrales Sillo¹, Ricardo Augusto Luna Murillo¹, Cristian Daniel Carrión Benavides², Eduardo Fabián Quinatoa Lozada¹, Ana Lucia Espinoza Coronel³,

¹Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador.

²Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Posgrado, Ecuador.

³Instituto Superior Tecnológico Ciudad de Valencia, Ecuador.

Autor de correspondencia: ricardo.luna@utc.edu.ec

Recibido: 10/12/2023. Aceptado: 10/06/2024
Publicado el 11 de julio de 2024

Resumen

Se realizaron tres estudios en el cantón La Maná, provincia de Cotopaxi, enfocados en la producción de abonos orgánicos mediante la reutilización de residuos de fincas agrícolas y ganaderas, los cuales estuvieron centrados en procesos de descomposición y compostaje, con el objetivo de encontrar soluciones sostenibles que no solo fueran eficientes en la gestión de desechos, sino también en desarrollar métodos efectivos y aplicables para los cultivos. Los lugares fueron: centro experimental "La Playita" Universidad Técnica de Cotopaxi, abonos orgánicos a partir de residuos animales y vegetales (estiércol bovino y residuo de pastos *Setaria sphacelata*), Comuna San José del Estero producción de humus a través de la lombriz roja californiana mediante el aprovechamiento del raquis del orito (*Musa acuminata*), tierra de huerto, estiércol bovino y hojarasca y Centro experimental "Sacha wiwa" empleando residuos de: cacao, pasto de corte, pasto de pastoreo y forrajeros. Se analizaron variables como: temperatura (°C), humedad (%), pH, peso total sobre humus (kg), conversión materia prima/ producción humus, análisis químico del compost. Se observaron temperaturas desde 22,26 a 33,97°C; humedad de 74,47 a 77,10%; pH 7,18 a 8,08, peso de humus de 18,46 a 37,50 kg y conversiones de 1,39 a 2,78. El mejor rendimiento se reporta en la formulación: Tierra de huerto 6,81 kg+ Raquis de orito 11,36 kg + Estiércol bovino 25,00 kg + hojarasca 4,54 kg) con 37,50 kg de humus de la Comuna San José del Estero. La composición química de los macro y micro elementos varían en cada experimento.

Palabras clave: abonos orgánicos, descomposición, compost, residuo animal, residuo vegetal, reutilización.

Abstract

Three studies were conducted in the canton of La Maná, province of Cotopaxi, focused on the production of organic fertilizers through the reuse of residues from agricultural and livestock farms, which were focused on decomposition and composting processes, with the objective of finding sustainable solutions that were not only efficient in waste management but also to develop effective and applicable methods for crops. The sites were: "La Playita" experimental center, Universidad Técnica de Cotopaxi, organic fertilizers from animal and vegetable waste (bovine manure and *Setaria sphacelata* grass waste), Comuna San José del Estero, production of humus through the Californian red earthworm by using the rachis of the orito (*Musa acuminata*), orchard soil, bovine manure and leaf litter, and the "Sacha wiwa" experimental center using waste from: cacao, cut grass, grazing grass and forage. The following variables were analyzed: temperature (°C), humidity (%), pH, total weight of humus (kg), conversion of raw material/humus production, chemical analysis of the compost. Temperatures from 22,26 to 33,97 °C; humidity from 74,47 to 77,10%; pH 7,18 to 8,08, humus weight from 18,46 to 37,50 kg and conversions from 1,39 to 2,78 were observed. The best performance is reported in the formulation: Orchard soil 6,81 kg + Orito rachis 11,36 kg + Bovine manure 25,00 kg + leaf litter 4,54 kg) with 37,50 kg of humus from the Comuna San José del Estero. The chemical composition of macro and micro elements varies in each experiment.

Keywords: organic fertilizers, decomposition, compost, animal waste, vegetable waste, reuse.

Introducción

Las actividades agrarias generan grandes cantidades de residuos orgánicos, que se transforman en contaminantes del ambiente y que provocan una serie de daños al ecosistema. A pesar de estos efectos negativos, dichos residuos también pueden ser reutilizados como fuente de nutrientes para las plantas en la agricultura si se les da un tratamiento adecuado, como el compostaje (Hernández *et al.*, 2013). La creciente demanda de alimentos ha establecido como alternativa un manejo sustentable de los sistemas de producción, promoviendo prácticas que preserven los recursos naturales y permitan hacer un uso eficiente y adecuado de los residuos que se derivan directa o indirectamente del sector agropecuario. El compostaje es un método biológico que permite la transformación de residuos orgánicos en un producto relativamente estable. Para el compostaje, el estiércol, desechos de pastos, hojarascas y los demás residuos deben ser mezclados en proporciones tales que la relación carbono/nitrógeno (C/N), la humedad y la aireación sean adecuadas para que estimulen una actividad microbiana intensiva, que modifique la estructura química y física de los materiales, cambiando la especiación química para que los nutrimentos sean disponibles (Dalzell *et al.*, 2010).

Durante la evolución de la biodegradación la participación de microorganismos mesófilos y termófilos con su respectiva actividad metabólica es muy importante ya que generan una termo-actividad biológica que es la responsable de la descomposición de la materia orgánica y su mineralización, que se reflejará en la calidad del mismo (Sztern y Pravia, 2008). El compostaje no debe ser visto simplemente como un sistema de tratamiento de residuos agrícolas a pesar de utilizar como materia prima dichos residuos, sino como un proceso basado en la actividad de microorganismos vivos, quienes son los responsables de la descomposición de la materia orgánica (Morales y Aristizábal, 2007). Este proceso debe realizarse con los cuidados necesarios para lograr unas condiciones óptimas de temperatura, humedad y oxigenación, donde se establezcan tomas de muestras y controles a lo largo del

mismo para seguir su funcionamiento con el fin de obtener un producto de calidad (Román *et al.*, 2013). La calidad de los compostajes se determina a través de las propiedades físicas, químicas y biológicas, así como de su contenido nutricional y de su capacidad de proveer nutrientes a un cultivo (Santamaría *et al.*, 2001). Además, con la producción de abono orgánico en las mismas fincas se puede generar ahorros económicos al ser reutilizados, si llegasen a ser de interés al productor, también se disminuye el uso de agroquímicos que contribuyen a disminuir la toxicidad, residual y degradación de los suelos (Morales y Aristizábal, 2007). La ventaja de la utilización de abonos orgánicos es que nos ayudan a preservar, recuperar y mejorar las características de los suelos para garantizar su productividad en el tiempo, también incorporar el equilibrio biológico, físico, químico y ecológico del suelo y repone la diversidad de la flora microbiana benéfica, restableciendo los nutrimentos esenciales demandados por los cultivos que el suelo no puede suplir, de esta manera permite mantener el nivel óptimo de los suelos y preservar los ecosistemas en el tiempo (Sztern y Pravia, 2008). Es por ello, el objetivo de estas investigaciones está caminada en crear abonos orgánicos por medio de la reutilización de desechos en fincas agrícolas y ganaderas, analizando también el proceso físico, químico, producción total de abono y contenido nutricional a través de procesos de descomposición y compostaje que sean efectivos y aplicables a cultivos implementados en la finca.

Materiales y métodos

Localidad de investigación

El estudio abarcó tres localidades: Centro Experimental “La Playita” de la Universidad Técnica de Cotopaxi, comuna San José del Estero y centro experimental “Sacha wiwa” ubicado en la parroquia Guasaganda, todos pertenecientes al cantón La Maná provincia de Cotopaxi. Se realizaron tres ensayos en diferentes años usando varios residuos de tres localidades mencionadas. Los tratamientos tenían una mezcla de residuos tanto animal como vegetal. (Tabla 1)

Tabla 1. Condiciones climáticas de las localidades de estudio

PARÁMETROS	PROMEDIOS		
	Ensayo uno	Ensayo dos	Ensayo tres
Altitud (m.s.n.m)	223,00	474,00	503,00
Temperatura (°C)	23,00	24,50	22,00
Humedad relativa (%)	89,00	87,00	88,00
Precipitación anual (mm/año)	2 854,00	2 761,00	2 761,00
Heliofania (horas-luz/año)	650,10	640,30	570,00

Fuente Instituto nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI, (2020)

El primer ensayo se llevó a cabo en el Centro Experimental “La Playita”, de la Universidad Técnica de Cotopaxi, a base de mezclas de residuos recolectados en el mismo centro experimental. El tratamiento de residuo animal contenía (60% estiércol bovino + 40% residuo de pasto), el residuo vegetal (60% residuo de pasto + 40% estiércol bovino) más 3 kilos de lombriz roja californiana por tratamiento. La cama fue dividida en lechos, separando cada tratamiento y repetición con tablas de playwood.

Posteriormente se distribuyó la materia prima, animal y vegetal, en los lechos previamente preparados. Los lechos, asignados a cada tratamiento, tenían dimensiones de 1,00 metro de ancho, 1,50 metros de largo y 1,0 metro de profundidad. Para asegurar las condiciones óptimas para cada tratamiento, se humedecieron los lechos antes de la distribución de la materia prima. Las variables evaluadas fueron peso total mezcla en kg, peso total de humus en kg, conversión materia prima sobre producción de humus y el contenido nutricional.

En el segundo ensayo, la investigación se realizó en la finca de la familia Chugchilán en la comuna San José del Estero del cantón la Maná, recolectando estiércol bovino de una ganadería de la zona, el raquis se obtuvo de bananeras de orito efectuando un picado completo del material vegetal, se recolectó la tierra de huerta y hojarasca para pasar a un proceso de descomponerlo durante cuatro semanas y monitorear el pH, luego se realizaron los cálculos para el llenado de cada uno de los tratamientos. Una vez obtenido el pH óptimo de 6,5 a 7,5 que necesita la lombriz roja californiana para sobrevivir en el sustrato, se colocaron 4 kg de lombriz por cada tratamiento establecidos en diferentes cantidades según sigue: T1 = tierra de huerto (TH) 6,81 kg + raquis de orito (RO1) 25,00 kg + estiércol bovino (EB1) 11,36 kg + hojarasca (H) 4,54 kg, T2 = tierra de huerto (TH) 6,81 kg + raquis de orito (RO2) 20,45 kg + estiércol bovino (EB2) 15,90 kg + hojarasca (H) 4,54 kg, T3 = tierra de huerto (TH) 6,81 kg + raquis de orito (RO3) 15,90 kg + estiércol bovino (EB3) 20,45 kg + hojarasca (H) 4,54 kg, T4 = tierra de huerto (TH) 6,81 kg + raquis de orito (RO4) 11,36 kg + estiércol bovino (EB4) 25,00 kg + hojarasca (H) 4,54 kg. Se evaluó la temperatura (°C), humedad (%), pH, peso total mezcla (kg), peso total sobre humus (kg), conversión materia prima sobre producción de humus y el contenido nutricional según cambios que se produjeron dentro de los componentes hasta convertirse en humus.

El tercer ensayo, se realizó en el centro experimental “Sacha wiwa” que se encuentra ubicado en la parroquia Guasaganda, se hizo una recolección al inicio del ensayo de residuos de cacao, pasto de corte (*King grass*), pasto de pastoreo (*Brachiaria decumbens*) y la forrajera (Botón de oro). Se elaboraron camas bajo cubierta de 1 m² utilizando materiales de la zona como caña guadua y plástico, se procedió a la mezcla de los residuos vegetales dando origen a los tratamientos: T1=50% estiércol de bovino +10% leguminosa canavalia + 40% residuo cacao, T2=50% estiércol de bovino +10% leguminosa canavalia +40% residuo pasto de corte ,

T3=50% estiércol de bovino + 10% leguminosa canavalia +40% residuo pasto de pastoreo, T4=50% estiércol de bovino +10% leguminosa canavalia +40% forrajera. Se colocaron 3 kg de lombriz por cada tratamiento establecido. Las variables evaluadas fueron: pH, temperatura (°C), Peso Total mezcla (kg), Peso Total /Humus (kg), conversión materia prima/ producción humus, volumen de biomasa inicial en proceso de transformación (m³) y volumen de la biomasa final en proceso de la transformación (m³). Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DCBA) con uso de estadísticas descriptivas en todos los ensayos.

Resultados y discusión

En el primer ensayo el residuo animal produce mayor cantidad de humus (24,72 kg), y una eficiencia en la conversión de materia prima sobre producción de humus ligeramente mejor que el residuo vegetal (2,78 versus 2,32), la investigación realizada por Ortiz y Milton (2015), obtuvo 29,80 kg de producción total de humus mientras que, en la conversión de materia prima sobre producción de humus, reporta valores más altos en residuo animal con 3,88 kg. Pantoja *et al.* (2013) menciona que el humus es la sumatoria de procesos metabólicos complejos realizados por parte de diferentes microorganismos. Vásquez *et al.* (2010) y Bernal *et al.* (2009), mencionan que pueden ser usados como mejorador de suelos. Pantoja *et al.* (2013) menciona sobre procesos de compostaje, la cual inicia por la etapa mesófila, en la cual comienzan a actuar bacterias mesófilas aerobias, produciendo ácidos y liberando calor. En esta etapa la temperatura no llega a superar los 40 °C. La etapa termófila, caracterizada por la presencia de bacterias y actinomicetos termófilos que degradan la materia orgánica más pesada González *et al.* (2003) ayudan a la actividad microbiana y la descomposición de residuos seguido de la etapa de maduración, en donde descende la actividad bacteriana y proliferan los hongos y actinomicetos termófilos. En esta etapa la temperatura baja hasta valores cercanos a la temperatura ambiente, luego de eso el compost está maduro como señala Beltrán *et al.* (2019). Un campo de buena calidad presenta parámetros como: aireación, humedad de sustrato, temperatura, pH y la relación C/N. En cuanto al potasio y el calcio, el residuo vegetal tiene valores más altos en ambos nutrientes en comparación con el residuo animal, Beltrán *et al.* (2019) mencionan que los desechos de cocina son de mejor calidad en el mundo, por su alto contenido de nutrientes y puede tener 12% de nitrógeno, 11% de P y 2% de K, mientras que Cárdenas (2015) dice que al compostar estiércol animal ayuda a la descomposición y a producir un producto final rico en humus con poco o nada de amonio o nitratos solubles. Drug (2015) menciona que el estiércol no daña las plantas, también es menos probable que cause desequilibrios de nutrientes. Se puede aplicar con seguridad directamente a vegetales. Kuepper (2003), explica que el nitrógeno está ligado como proteínas, aminoácidos, y otros componentes biológicos. Dentro de la

agricultura se ha vuelto necesaria el uso de abonos orgánicos del resultado de compost aprovechando la biodiversidad de residuos provenientes de las fincas. Tabla 2.

En el segundo ensayo, el tratamiento (TH+ RO4 + EB4 + H) experimenta las condiciones de temperatura más altas en comparación con otros tratamientos. Con el tratamiento (TH+ RO1 + EB1 + H) se registró la humedad más alta 77,10%, mientras que el pH más alto presenta el tratamiento (TH+ RO4 + EB4 + H) con 8,08 indicando condiciones ligeramente alcalinas, por otro lado, el tratamiento TH+ RO1 + EB1 + H tiene el pH más bajo 7,18, que es más cercano a la neutralidad. La producción de humus más alto presento en el tratamiento (TH+ RO1 + EB1 + H) con 1,53 (kg) lo que coincide con Márquez, *et al.* (2008), el compostaje pasa por fases o etapas mesófila, termófila, enfriamiento y maduración, dentro de estas etapas varía la temperatura alcanzando valores alrededor de los 1,54 (kg) y los microorganismos presentes son llamados termófilos, el calor generado hace que se eliminen bacterias perjudiciales. El pH aumenta por la transformación del nitrógeno en amoníaco. Gordillo y Chavez (2015) en su investigación obtuvieron resultados de pH 4,5 por exceso de ácidos orgánico, esto tiende a acidificarse por la presencia de materiales vegetales, restos de comida, frutas, recomendando adicionar materiales ricos en nitrógeno y una temperatura de 35 °C con déficit de nitrógeno para solucionar este compost es necesario añadir material con alto contenido de nitrógeno como estiércol. García *et al.* (2016) menciona que la humedad óptima para el crecimiento microbiano está entre el 50-70%; la actividad biológica decrece mucho cuando la humedad está por debajo del 30% dado que, para un adecuado proceso Richard, *et al.* (2002), recomienda que la humedad inicial se encuentre entre 50% y 60%.

Dentro del proceso de transformación de materia prima a un abono de compost finalizado se da reducción de masa y volumen de las mezclas orgánicas conforme avanza el tiempo, Nichorzon y Acuña (2020) indican que se debe en gran parte a las transformaciones químicas, biológicas y la liberación a la atmosfera de gases como el dióxido de carbono (CO₂). Peña

et al. (2002) analizaron que de los 170 kg de compost de materia prima, se obtenía un total de los 73 kg de compost, por otro lado Pierre et al. (2009), determinó que el compost a base de estiércol de bovino 420 kg más restos vegetales 50 kg como materia prima, presenta un resultado de peso total de humus de 240 kg de compost mientras que Soto y Muñoz (2002) reportaron valores de 50 kg para un compost de estiércol dando un resultado final de 27 kg, mientras que Pino *et al.* (2005), reportó para compost de residuos de hojarasca de cacao más residuo animal 25 kg total a un resultado final de producción de abono de 17 kg. Kuepper (2003) en general, es difícil dar un valor exacto a dicha pérdida en una pila de compost, ya que depende mucho del tipo de residuo y de la forma de compostar. Kuepper (2003) menciona sin error a equivocarse que se pierde más del 50% del **peso** de los residuos durante su compostaje. Tabla 3

La Tabla 4 muestra porcentajes de varios elementos en cuatro tratamientos diferentes, que están etiquetadas como T1, T2, T3 y T4. Las mezclas están compuestas por tierra de huerto (TH), raquis de orito (RO), estiércol bovino (EB) y hojarasca (H), la cual el contenido de nutrientes de cada tratamiento determina que si una planta requiere un alto nivel de nitrógeno entonces T1 es el mejor tratamiento a utilizar, ya que tiene el mayor porcentaje de nitrógeno, además de presentar mayor concentración de fósforo, zinc y cobre. El tratamiento T2 presenta alta concentración de potasio y cobre, mientras que el tratamiento T3 presenta altas concentraciones de magnesio y hierro, los elementos calcio y boro sobresalen en el tratamiento T4, los autores Bohórquez *et al.* (2014) en su investigación obtuvieron valores en nitrógeno (1,3%), fósforo (2,5%) y potasio (1,0%), valores superiores en microelementos, Labrador (2001) menciona el tiempo de compostaje que garantiza una adecuada maduración y mayor aporte de nutrientes en el compost producido es de 90 días. Hernández *et al.* (2013) el contenido de nutrientes de tierra de huerto, también conocida como suelo de jardín, varía significativamente según la ubicación geográfica, el tipo de suelo, la gestión agrícola y otros factores.

Tabla 2. Primer ensayo, rendimiento del compost y análisis químico proveniente de los residuos vegetal y animal

Variables	Tratamientos	
	Residuo vegetal	Residuo animal
P. Total mezcla kg	50,00	50,00
P. Total /Humus kg	18,46	24,72
Conversión materia prima/Producción humus	2,32	2,78
Contenido nutricional		
Nitrógeno %	1,80	1,20
Fosforo %	1,20	0,25
Potasio %	2,43	1,22
Calcio %	1,47	1,02

La materia orgánica en el suelo proviene de materiales vegetales y animales, proporcionando un hábitat para microorganismos beneficiosos. La composición química del estiércol de ganado puede variar según la dieta del ganado y otros factores, pero en general, el estiércol de ganado bovino es rico en nitrógeno en forma de urea y amoníaco, que se descompone gradualmente en el suelo, proporcionando

nitrógeno a las plantas. El nitrógeno es esencial para el crecimiento de las plantas y la síntesis de proteínas. Gordillo y Chavez (2015) las hojas caídas de los árboles (hojarasca) y otras materias orgánicas en descomposición en el suelo del bosque, son una fuente importante de nutrientes para los ecosistemas naturales, fuente clave de carbono y nutrientes.

Tabla 3. Segundo ensayo, rendimiento del compost, promedios de la temperatura, humedad y pH proveniente de la mezcla de residuos: Tierra de huerto + Raquis de orito + Estiércol bovino + hojarasca

Variables	Tratamientos			
	TH+ RO1 + EB1 + H	TH+ RO2 + EB2+H	TH+ RO3 + EB3+ H	TH+ RO4 + EB4 + H
Temperatura (°C)	22,26	22,49	22,94	23,44
Humedad (%)	77,10	76,88	74,97	74,47
pH	7,18	7,20	7,63	8,08
P. Total mezcla kg	52,27	52,27	52,27	52,27
P. Total /Humus kg	34,20	35,45	36,36	37,50
Conversión materia prima/ Producción humus	1,53	1,47	1,44	1,39

TH: Tierra de huerto, **RO:** Raquis de orito **EB:** Estiércol bovino **H:** hojarasca

T1 = TH+ RO1 + EB1 + H= tierra de huerto 6,81 kg+ raquis de orito 25,00 kg + estiércol bovino 11,36 kg + hojarasca 4,54 kg

T2 = TH + RO2 + EB2 + H= tierra de huerto 6,81 kg+ raquis de orito 20,45 kg + estiércol bovino 15,90 kg + hojarasca 4,54 kg

T3 = TH + RO3 + EB3 + H =tierra de huerto 6,81 kg+ raquis de orito 15,90 kg + estiércol bovino 20,45 kg + hojarasca 4,54 kg

T4 = TH + RO4 + EB4 + H =tierra de huerto 6,81 kg+ raquis de orito 11,36 kg + estiércol bovino 25,00 kg + hojarasca 4,54 kg

Tabla 4. Segundo ensayo, análisis químico del compost proveniente de la mezcla de residuos: tierra de huerto + raquis de orito + estiércol bovino + hojarasca

Elementos	Tratamientos			
	TH+ RO1 + EB1 + H	TH+ RO2 + EB2 + H	TH + RO3 + EB3 + H	TH+ RO4 + EB4 + H
Nitrógeno %	0,90	0,80	0,70	0,80
Fósforo %	0,20	0,06	0,13	0,15
Potasio %	0,72	0,76	0,68	0,59
Calcio %	1,02	1,07	1,06	1,08
Magnesio %	0,30	0,29	0,31	0,28
Azufre %	0,08	0,08	0,09	0,09
Boro ppm	17,00	22,00	19,00	27,00
Zinc ppm	53,00	49,00	48,00	48,00
Cobre ppm	15,00	15,00	14,00	13,00
Hierro ppm	902,00	896,00	909,00	905,00

TH: Tierra de huerto, **RO:** Raquis de orito **EB:** Estiércol bovino **H:** hojarasca

T1 = TH+ RO1 + EB1 + H= tierra de huerto 6,81 kg+ raquis de orito 25,00 kg + estiércol bovino 11,36 kg + hojarasca 4,54 kg

T2 = TH + RO2 + EB2 + H= tierra de huerto 6,81 kg+ raquis de orito 20,45 kg + estiércol bovino 15,90 kg + hojarasca 4,54 kg

T3 = TH + RO3 + EB3 + H =tierra de huerto 6,81 kg+ raquis de orito 15,90 kg + estiércol bovino 20,45 kg + hojarasca 4,54 kg

T4 = TH + RO4 + EB4 + H =tierra de huerto 6,81 kg+ raquis de orito 11,36 kg + estiércol bovino 25,00 kg + hojarasca 4,54 kg

En el tercer ensayo, el peso total de la mezcla es constante en todos los tratamientos, presentando un pH variado, este es una medida de acidez o alcalinidad que varían entre 7,20 y 7,80 en los diferentes tratamientos. La temperatura en todos los tratamientos, registra promedios más altos en el tratamiento de residuo de forrajera (33,97 °C) (Si es uniforme no hay mayor diferencia entre temperaturas). La producción total sobre humus en kg, muestra la relación entre el peso total y el peso del humus producido, el tratamiento con residuo de cacao tiene el valor más alto (28,80 kg), mientras que el pasto de corte tiene el valor más bajo (22,80 kg). El pasto de pastoreo y el pasto de corte tienen una conversión de materia prima a producto de humus similar, mientras que los residuos de cacao y forrajera tienen valores más bajos. El volumen de biomasa inicial en proceso de transformación disminuye considerablemente tras culminar la investigación, evidenciando que los residuos de cacao muestran mayor volumen, coincidiendo con los resultados de Silva *et al.* (2020) el tratamiento en proceso de transformación de forma general el proceso de descomposición de las gramíneas son lentos, ya que a los 60 días los pastos aún presenta el 45,3% de su peso inicial, con una mayor tasa de descomposición en los primeros 30 días. Sánchez *et al.* (2007) en su investigación presento un pH final de 5,2 y una temperatura de 30 °C, guardados a descomponer durante 84 días, mientras que para Santamaría *et al.* (2001) fluctuó entre 19 °C y 24 °C, y siguió una tendencia semejante a la temperatura ambiental. Sinha *et al.*, (2009) después de la inoculación inicial de lombrices muestra un incremento de 157% en la biomasa total, en la semana 12 la biomasa total alcanzó más de 1300 m³, sin embargo, en la semana 16 dichas cantidades habían disminuido 50%. Lo anterior quizá se debió a efectos negativos relacionados con pH y CE, ya que en este trabajo el pH alcanzó valores de 8,7. Al respecto, Sinha *et al.* (2009) mencionaron que las lombrices mueren en sustratos con pH inferior a 5 y superior a 9 mientras que las lombrices requieren concentraciones de sales menores a 7. La biomasa vegetal hace posible producir nuestro propio abono y compost natural, devolviendo los desechos al ciclo natural a partir de restos agrícolas como residuos de cacao

(*Theobroma cacao*), pasto de corte (King grass), pasto de pastoreo (*Brachiaria decumbens*) y forrajera (Botón de oro) partir de realizar procesos de compost. Tabla 5.

La conductividad eléctrica en el compost nos indica la concentración de sales solubles, mostrando el valor más alto en el pasto de corte seguido por el pasto de pastoreo con 5,05 y 4,60; dS/m valores aceptables según la Agencia Estatal Boletín del Estado (BOE, 2013) que indica los parámetros establecidos que se debe cumplir en los compuestos orgánicos utilizados como abonos o fertilizantes. Dentro de los elementos químicos, las muestras tienen un contenido de nitrógeno alrededor del 1,00%, con la excepción de la muestra forrajera, que tiene un 0,90%, pues el material forrajero es considerado de baja calidad para el suelo porque presentan valores altos en relación C/N, estos niveles de la relación C/N indican que probablemente ocurre un proceso de inmovilización de C y N en el suelo disminuyendo la disponibilidad de N (González *et al.*, 2022). El contenido de fósforo es similar en todas las muestras, alrededor de 0,10% a 0,11%. Las muestras tienen contenido más alto en residuo de cacao (K) 0,60%, (N) 1,00 tratamientos de pastoreo, corte y cacao, (P) más bajo en residuo de cacao, (Ca) bajo en el tratamiento residuo forrajero, (Mg) y (S) más alto en residuo de cacao. Los elementos analizados en ppm presentan valores altos en (B), (Zn) pasto de pastoreo con 30,00 ppm, (Cu) valor superior es el tratamiento forrajero, (Fe) valor alto pastoreo, (B) valor superior tratamiento pasto de corte, en general varía ligeramente siendo más alto en las muestras cacao y forrajera (Bohórquez *et al.*, 2014). Los pastos son gramíneas que tienen cantidades adecuadas de calcio, magnesio y potasio, por otro lado, los residuos de cacao son muy beneficiosos, un claro ejemplo, durante un año los árboles en un cacaotal aportan al suelo, 90,90 kg de nitrógeno, 10,00 kg de fósforo, 35,00 kg de potasio, 22,72 kg de magnesio y 140,00 kg de calcio por hectárea (Beltrán *et al.*, 2019). El compostaje es el sumatorio de procesos metabólicos complejos realizados por parte de diferentes microorganismos, que, en presencia de oxígeno, aprovechan el nitrógeno (N) y el carbono (C) presentes para producir su propia biomasa (Pantoja *et al.*, 2013). Tabla 6.

Tabla 5. Tercer ensayo, rendimiento del compost mediante el aprovechamiento del pasto de pastoreo, pasto de corte, residuos de cacao, y residuo forrajero

Variables	Tratamientos			
	Pasto de pastoreo	Pasto de corte	Residuo de cacao	Residuo Forrajera
pH	7,20	7,20	7,80	7,40
Temperatura (°C)	33,72	33,53	33,59	33,97
P. Total mezcla kg	60,00	60,00	60,00	60,00
P. Total /Humus kg	22,90	22,80	28,80	27,30
Conversión materia prima/ Prod. Humus	2,62	2,63	2,08	2,19
Volumen de biomasa inicial (m ³)	0,34	0,32	0,38	0,34
Volumen de la biomasa final (m ³)	0,12	0,12	0,14	0,13

Tabla 6. Tercer ensayo análisis químico del compost proveniente del pasto de pastoreo, pasto de corte, residuos de cacao, y residuo forrajero

Descripción	Tratamientos			
	Pasto de pastoreo	Pasto de corte	Residuo de cacao	Residuo Forrajera
Conductividad dS/m	4,60	5,05	4,10	4,45
Nitrógeno %	1,00	1,00	1,00	0,90
Fósforo %	0,11	0,11	0,10	0,11
Potasio %	0,52	0,52	0,60	0,46
Calcio %	0,87	0,87	0,84	0,77
Magnesio %	0,28	0,27	0,30	0,25
Azufre %	0,10	0,08	0,12	0,08
Boro ppm	57,00	61,00	65,00	57,00
Zinc ppm	30,00	29,00	27,00	29,00
Cobre ppm	1326,00	1323,00	1317,00	1350,00
Hierro ppm	274,00	271,00	250,00	267,00
Boro ppm	59,00	68,00	57,00	54,00

dS/m: decisiemens por metro

Conclusión

Se puede afirmar que el mejor rendimiento de compost presenta en la formulación: (TH + RO4 + EB4 + H = Tierra de huerto 6,81 kg + Raquis de orito 11,36 kg + Estiércol bovino 25,00 kg + hojarasca 4,54 kg) con un peso total de humus en kilogramos de 37,50.

Teniendo en cuenta que la composición química analizada en las diferentes formulaciones de compost no son todos iguales, pues las cualidades de un buen compost dependen de las materias primas que se usen y del proceso de compostaje.

Referencias bibliográficas

- Beltrán-Morales, F. A., Nieto-Garibay, A., Murillo-Chollet, J. S. A., Ruiz-Espinoza, F. H., Troyo-Díez, E., Alcalá-Jauregui, J. A. y Murillo-Amador, B. (2019). Contenido inorgánico de nitrógeno, fósforo y potasio de abonos de origen natural para su uso en agricultura orgánica. *Terra Latinoamericana*, 37(4), 371–378. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i4.520>
- Bernal, M. P., Alburquerque, J. A. y Moral, R. (2009). Composting of Animal Manures and Chemical Criteria for Compost Maturity Assessment. *A Review. Bioresource Technology*, 100, 5444-5453. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>
- Agencia Estatal Boletín del Estado BOE, 2013. Legislación Consolidada. Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos y fertilizantes. *Boletín Oficial del Estado*. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-7540>
- Bohórquez, A., Puentes, Y. J. y Menjivar, J. C. (2014). Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar. *Ciencia y tecnología agropecuaria*, 15(1), 73-81. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-87062014000100007&lng=en&tlng=es
- Cárdenas, R., 2015. Estiércol en Sistemas de Producción orgánica.:Producido por el Centro Nacional de Tecnología, Por Thea Rittenhouse, Especialista en Agricultura NCAT, pp.34-56. <https://attra.ncat.org/wp-content/uploads/2022/11/manure.pdf>
- Dalzell, H. W., Biddlestone, A., Gray, K. y Thurairajan, K., 2010. Manejo del suelo: producción y uso del compost en ambientes tropicales y subtropicales. Roma, Italia, <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/5192>
- Drug, A. U. F. a., 2015. Food Safety Modernization Act. Estados Unidos (Acta de Modernización de Seguridad Alimentaria) (en inglés), pp.43-65. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/us158372.pdf>
- García, C., Torres, M. y Rebellón, L., 2016. Evaluación de la adecuación de humedad en el compostaje de biorresiduos de origen municipal en la Planta de Manejo de Residuos Sólidos (PMRS) del Municipio de Versalles, Valle del Cauca. Medellín, Colombia: *Gestión y Ambiente*, Vol 19, núm. 1 <https://www.redalyc.org/pdf/1694/169446378012.pdf>
- González, C., Moiseev, R., Hernández, S. y Gutiérrez, V., 2003. Tratamiento biológico de compuestos orgánicos volátiles de fuentes fijas. México: Instituto Nacional de Ecología (INE) ISBN: 9688174998, 9789688174999 https://books.google.com.ec/books/about/Tratamiento_

- biol%C3%B3gico_de_compuestos_org.h
- González-Cifuentes, A. I., Reta-Sánchez, D. G., Cueto Wong, J. A., Sánchez Duarte, J. I., Ochoa Martínez, E. y Reyes González, A. (2022). Aporte de carbono y nitrógeno al suelo por residuos de cultivos forrajeros alternativos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(5), 773-784. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i5.2714>
- Gordillo, F. y Chavez, E., 2015. Evaluación comparativa del compost a partir de diferentes combinaciones de desechos agroindustriales azucareros. Ecuador Escuela Superior Politécnica Litoral Centro de Investigación Científica y Tecnológica <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/9112/1/Evaluaci%C3%B3n%20Comparativa%20de%20la%20calidad%20del%20compost.pdf>
- Hernández-Rodríguez, Ofelia Adriana, Hernández-Tecorral, Ana, Rivera-Figueroa, César, Arras-Vota, Ana María, y Ojeda-Barrios, Dámaris. 2013. Calidad nutrimental de cuatro abonos orgánicos producidos a partir de residuos vegetales y pecuarios. *Terra Latinoamericana*, 31(1), 35-46. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792013000100035&lng=es&tlng=es.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMI, 2020. Condiciones Climáticas de sitios de estudio [En línea] <https://www.inamhi.gob.ec/>
- Kuepper, G., 2003. Manures for Organic Crop Production (Abonos para la Producción de Cultivos Orgánicos.:NCAT <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/FINAL%20Esti%C3%A9n%20Sistemas%20de%20Producción%20Organica.pdf>
- Labrador, J., 2001. *La materia orgánica en los agrosistemas* <https://www.sech.info/ACTAS/Acta%20n%C2%BA%2056.%20III%20Jornadas%20del%20Grupo%20de%20Fertilizaci%C3%B3n/Conferencias%20Invitadas/Din%C3%A1mica%20de%20la%20materia%20org%C3%A1nica%20en%20los%20agrosistemas.pdf>
- Márquez, P., Díaz, M. y Cabrera, F., 2008. Factores que afectan al proceso de Compostaje. Universidad de Huelva. Facultad de Ciencias Experimentales. Campus El Carmen: Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, pp. 95- 230. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>
- Morales, G. y Aristizábal, M. A., 2007. Estudio de factibilidad técnico financiero de abono orgánico a partir de los desechos orgánicos de la plaza de Corabastos de Bogotá. *Universidad de La Salle. Colombia*, pp. 143. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1414&context=contaduria_publica
- Nichorzon, R. y Acuña, S., 2020. Calidad física y química de tres compost, elaborados con residuos de jardinería, pergamino de café y bora (*Eichhornia crassipes*). *Revista Ciencia Unemi* Vol 13 núm 32 ISSN-e 2528-7737, ISSN 1390-4272 pp 87-100 <https://www.redalyc.org/journal/5826/582661898009/html/>
- Ortiz, M. (2015). Elaboración de vermi compost con residuo de cosecha y producción de rábano (*Raphanus sativus*). pp. 65-67. <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/432c76fd-0143-48ea-b78d-63c4a51b53c0/content>
- Pantoja, A., Martínez, M. y Pilar, R., 2013. Manual de compostaje del agricultor. Oficina Regional para América Latina y el Caribe Santiago de Chile ISBN 978-92-5-307844-8,e-ISBN 978-92-5-307845-5 pp. 19-15. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/86a00877-877d-4fa7-8608-32071e1464d8/content>
- Peña, E., Ramirez, M., Martinez, F. y Nodals, A., 2002. Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana. Ciudad de la Habana, Cuba: Naturaleza y cultura Internacional, pp. 78. <https://pdfs.semanticscholar.org/2adb/b845452223cccd74da472b5f2cb17b4ba0fc.pdf>
- Pierre, F., Rosell, M., Quiroz, A. y Granda, Y., 2009. Evaluación química y biológica de compost de pulpa del café en caspito municipio Andrés Bello, estado Lara, Venezuela, *Bioagro*, 21(2), 105-110 ISSN 1316-3361 https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612009000200004
- Pino, P., Varnero, M. y Alvarado, P., 2005. Dinámica del compostaje de residuos vitivinícolas con y sin incorporación de guano de gallina. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición vegetal* Vol 5(2), pp. 19-25. <http://www.agren.cl/schcs/boletines/21/files/assets/downloads/page0108.pdf>
- Richard, T., Hamelers, B., Veeken, A. y Silva, T., 2002. Moisture Relationships in Composting Processes. *Compost Science & Utilization* Vol 10(4), pp. 286-302. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2002.10702093>
- Román, P., Martínez, M. M. y Pantoja, A., 2013. Manual de compostaje del agricultor Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Oficina Regional para América Latina y el Caribe, <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/86a00877-877d-4fa7-8608-32071e1464d8/content>
- Sánchez, S., Crespo, G. y Hernández, M., 2007. Acumulación de hojarasca en un pastizal de *Panicum maximum* y en un sistema silvopastoril de *Panicum maximum* y *Leucaena leucocephala* *Revista Pastos y Forrajes* Vol 30, núm 3, pp. 357-371 <https://www.redalyc.org/pdf/2691/269119702006.pdf>

- Santamaría Romero, S., Ferrera Cerrato, R., Almaraz Suárez, J. J., Galvis Spínola, A. y Barois Boullard, I. (2001). Dinámica y relaciones de microorganismos, C-Orgánico y N-Total durante el composteo y vermicomposteo. *Agrociencia* (1996), 35(4), 337-384. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30235401>
- Silva Olaya, A. M., Ortiz Morea, F. A., Cunacue Noreña, B. N., Peña Gómez, A. I., España Cetina, G. P., Olaya Montes, A., Chavarro Bermeo, J. P. y Zartha García, J. J. (2020). ELABORACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS “Herramienta para el mejoramiento de la salud del suelo potenciando la actividad de los microorganismos (Primera edición). Uniamazonia, Universidad de la Amazonia.
- Sinha, R., Herat, S., Valani, D. y Chauhan, K. A. (2009). Earthworms vermicompost: a powerful crop nutrient over the conventional compost & protective soil conditioner against the destructive chemical fertilizers for food safety and security. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 5(Suppl.), 14-22. <http://hdl.handle.net/10072/30336>
- Soto, G. y Muñoz, C., 2002. Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost, y su empleo en la agricultura orgánica. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* (Costa Rica), No.65 p. 123-129. <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5955/A2037e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sztern, D. y Pravia, M., 2008. Manual para la elaboración de compost. Bases conceptuales y procedimientos Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud pp. 69. <http://www.ingenieroambiental.com/newinformes/compost.pdf>
- Vásquez, C., López, A., Fuentes, B. y Cote, E., 2010. Aceleración del proceso de compostaje de residuos postcosecha (pulpa) del café con la aplicación de microorganismos nativos. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 41, 1-7. <https://www.redalyc.org/pdf/1812/181220509002.pdf>



Técnicas más utilizadas para conservación de productos pesqueros de la amazonia ecuatoriana

Techniques most used for the preservation of fishery products from the ecuadorian amazon

Santiago Nicolás Aguiar Novillo¹, Miguel Ángel Enríquez Estrella¹, Edgar Rubén Chicaiza Reisancho¹, Hernán Alberto Uvidia Cabadiana¹

¹Universidad Estatal Amazónica, Ecuador.
Autor de correspondencia: saguiar@uea.edu.ec

Recibido: 17/08/2023. Aceptado: 22/03/2024
Publicado el 11 de julio de 2024

Resumen

Los productos pesqueros amazónicos constituyen un componente indispensable en la seguridad alimentaria de los pueblos amazónicos del Ecuador. Este trabajo de revisión analiza las principales técnicas de conservación que garantizan la calidad e inocuidad de los productos pesqueros amazónicos que tienen una vida útil relativamente corta, se empleó una metodología descriptiva basada en el método PRISMA que incluyen varias investigaciones demostrado el uso de diferentes tecnologías de conservación (congelación, salazón, ahumado, envasado al vacío) aplicadas en la región capaces de extender la vida útil post mortem de los mismos. Los procesos de congelación tienen una mayor capacidad para alargar la vida útil de los productos pesqueros en comparación con la refrigeración convencional, sin embargo, en esta región que se practica la pesca artesanal no garantizan una cadena de frío eficaz. El envasado al vacío tiene un gran potencial para el envasado de productos pesqueros frescos. El uso de tecnologías no térmicas, como el ahumado tradicional además de la salazón propios de los pueblos nativos, se presentan como alternativas para la conservación de los productos pesqueros locales.

Palabras clave: alimentación, identidad cultural, pesquería artesanal.

Abstract

Amazonian fishery products are an indispensable component in the food security of the Amazonian peoples of Ecuador. This review work analyses the main preservation techniques that guarantee the quality and safety of Amazonian fishery products that have a relatively short shelf life, using a descriptive methodology based on the PRISMA method where several investigations have demonstrated the use of different preservation technologies (freezing, salting, smoking, vacuum packaging) applied in the area that are capable of extending the post-mortem shelf life of fishery products. Freezing processes have a greater capacity to extend the shelf life of fish products compared to conventional refrigeration, however, in this area artisanal fishing is practised and an effective cold chain is not guaranteed. Vacuum packaging has great potential for the packaging of fresh fish products. The use of non-thermal technologies, such as traditional salting and smoking by native peoples, is an alternative for the preservation of local fish products.

Keywords: food, cultural identity, artisanal fishery.

Introducción

Los ríos amazónicos brindan servicios como seguridad alimentaria (pesca y agua), suministro y regulación de caudales de agua, productividad primaria, recreación y ecoturismo (Latrubesse *et al.*, 2017). La limitada información del sector pesquero en la Amazonía ecuatoriana donde la seguridad alimentaria de las comunidades indígenas y colonos ha sido sustentada de manera significativa por peces nativos de la cuenca Amazónica de 36 especies pertenecientes a 13 familias en 6 órdenes (*Siuriformes*, *Siluriformes*, *Osteoglossiformes*, *Cruciformes*, *Ciclidos* y *Perciformes*) (Burgos, 2019; Coronel y Solórzano, 2017). Muchas especies comercializadas figuran como “vulnerables” o “amenazadas” en la lista roja nacional de peces de agua dulce de Ecuador (Aguirre *et al.*, 2019). Esto aplica a especies de gran tamaño como el bagre dorado (*Zungaro zungaro*), el bagre errante (*Pseudoplatystoma* spp, *Brachyplatystoma* spp), el arapaima (*Arapaima gigas*) y el sábalo (*Brycon* spp). Su consumo per cápita supera los 18 kg/año, procedente principalmente de la pesca artesanal y de subsistencia (Vasco y Sirén, 2018) de igual manera la demanda de dichos productos va en aumento debido a su palatabilidad, nutrición y cultura de consumo.

Sin embargo, los productos pesqueros, son altamente perecederos debido a su composición química proporcionando un medio perfecto para el deterioro bacteriano y bioquímico (Liu *et al.*, 2014). Una vez que el organismo muere, comienza las siguientes fases: pre-rigor, rigor mortis, que a su vez afectan la calidad del producto final donde implica una serie de reacciones y cambios postmortem: textura, pH, capacidad de retención de agua, etc. Un factor determinante que afecta al rigor mortis es la temperatura de almacenamiento donde retardar el inicio mejora la calidad y la vida de anaquel (Tomé *et al.*, 2000) lo que concuerda con (Montoya-Camacho *et al.*, 2020).

Durante el almacenamiento después de su captura directamente inician su función tanto las bacterias como las enzimas (catepsinas) operan en función directa de la temperatura, a mayor temperatura, más rápida será su actividad y más rápido el deterioro, por lo tanto, la temperatura a la cual el pescado se conservará fresco durante más tiempo es la de 0 a 4. Actualmente, el almacenamiento congelado en menos 18 °C es la técnica más eficaz para ampliar la vida útil de los productos acuáticos.

Las aminas biógenas son compuestos orgánicos básicos de bajo peso generados mediante la descarboxilación de aminoácidos (Fuentes *et al.*, 2017). Su formación ocurre durante procesos de putrefacción catalizados por enzimas microbianas a partir de un aminoácido precursor, lo que se convierte en un indicador de deterioro (Ruíz-Orsorio *et al.*, 2015). Estas aminas se encuentran naturalmente en los alimentos que consumimos habitualmente provocan efectos perjudiciales sobre la salud. Por ello, se sugiere mantener su contenido por debajo de límites permisibles. En el estudio

realizado por (Ruíz-Capillas y Moral, 2001) se observó que la concentración de todas las aminas biógenas, excepto la espermidina, aumentó gradualmente con el tiempo de almacenamiento del pescado especialmente la cadaverina y agmatina, antes de que ocurriera la descomposición del mismo. Esto sugiere que estas aminas podrían indicar el estado de frescura de conservada en hielo. Además, se ha informado sobre la presencia de varias aminas biógenas incluyendo la histamina, tiramina, cadaverina, putrescina, agmatina, espermina y espermidina en pescado (Gozzi *et al.*, 2011).

Para proporcionar productos pesqueros de calidad con mayor vida útil, se han desarrollado varias tecnologías de conservación como: Super enfriamiento (Liu *et al.*, 2014), alta presión hidrostática (HHP) (Téllez *et al.*, 2001), envasado en atmósfera modificada (MAP) (Enriquez, 2018), envase activo (AP) (Dong *et al.*, 2018), irradiación y recubrimientos comestibles (Tomac y Yannes, 2012). Todas estas técnicas controlan uno o varios factores que causan el deterioro de la calidad, logrando así la extensión de la vida útil. El objetivo del presente trabajo fue revisar las técnicas de conservación más utilizadas en productos pesqueros de la amazonia ecuatoriana.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló aplicando un enfoque mixto de nivel exploratorio no experimental mediante la revisión bibliográfica sobre técnicas de conservación de productos pesqueros, seleccionando artículos científicos en las bases de datos, tales como Google Scholar, Scopus, Scielo.

El método empleado es de tipo exploratorio de orden secundario, se realizó una búsqueda minuciosa de información bibliográfica de documentos en bases científicas. Las palabras claves durante la búsqueda bibliográfica fueron “post mortem” “productos pesqueros amazónicos” “congelamiento” “salado” “ahumado”. Adicionalmente, se incluyó el operador booleano “AND” para refinar la búsqueda.

Los trabajos científicos seleccionados abarcan un período de tiempo que va desde 1990 hasta 2021, lo que proporciona una amplia perspectiva temporal sobre el tema. Durante el análisis de estos trabajos, se identificaron varias técnicas de conservación utilizadas en la región amazónica para preservar los productos pesqueros y garantizar su calidad.

Resultados y discusión

La investigación bibliográfica sobre las técnicas de conservación de productos pesqueros en la Amazonía ecuatoriana arrojó un total de 89 artículos identificados en la primera búsqueda. Estos artículos fueron sometidos a un análisis utilizando criterios de selección específicos, lo que resultó en la inclusión de 25 trabajos científicos para su revisión. El deterioro de la carne de pescado es un proceso complejo que involucra mecanismos físicos-químicos y microbiológicos (Hong *et al.*, 2012).

Tabla 1. Características de frescura y deterioro de carne de especies amazónicas

Órgano de inspección	Pescado fresco	Pescado descompuesto	Referencias
Piel	Color brillante mucus transparente	Decolorada mucus opaco	Metodologías para la evaluación de la calidad de productos pesqueros Balaño (2016).
Ojos	Convexos transparentes brillantes	Cóncavos, lechosos, opacos	
Branquias	Rojas brillantes	Amarillentas amarronadas	Calidad físico-química y atributos sensoriales de filetes sajados biopreservados de cachama, empacados al vacío bajo refrigeración (Suárez <i>et al.</i> , 2008)
Apariencia muscular	Firme elástica color uniforme	Blanda manchada	
Olor muscular	Fresco	Fuerte mal olor	
Órganos internos	Bien definidos	Autolisados olor ácido	
Parámetros sensoriales de calidad de carne de pescado			

Cambios post mortem en el pescado fresco

Durante el proceso de almacenamiento de productos pesqueros, los primeros cambios perceptibles están relacionados principalmente con la apariencia y la textura. Específicamente, el sabor característico de las diferentes especies de peces suele desarrollarse en los primeros dos días de almacenamiento. La Tabla 1 proporciona una visión general de algunos de los atributos sensoriales asociados con las especies amazónicas, los cuales son útiles para detectar patrones característicos de deterioro durante el almacenamiento. Estos atributos incluyen aspectos relacionados con la apariencia de los órganos inspeccionados (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2008).

En la Tabla 1 se presentan los atributos sensoriales específicos asociados con las especies amazónicas durante el almacenamiento. Estos atributos incluyen cambios en la apariencia de órganos específicos, los cuales pueden ser utilizados como indicadores tempranos de deterioro. La observación de estos atributos sensoriales proporciona información valiosa sobre el estado de frescura y calidad del producto durante su almacenamiento.

Factores que influyen en la conservación de productos pesqueros

El tiempo de conservación de productos pesqueros está influenciado por una variedad de factores, incluyendo la temperatura, los daños físicos y factores intrínsecos asociados a las características del pescado. La Tabla 2 presenta una lista de los factores intrínsecos que influyen en la tasa de deterioro de los productos pesqueros.

Tabla 2. Factores intrínsecos que influyen en la tasa de deterioro

Factores intrínsecos	Tasa relativa de deterioro	
	Tasa baja	Tasa alta
Forma	Peces planos	Peces redondos
Contenido de grasa	Especies magras	Especies grasas
Tipo de piel	Piel gruesa	Piel delgada

Fuente: FAO (2008).

En la Tabla 2 se muestran los factores intrínsecos que afectan la tasa de deterioro de los productos pesqueros. Estos factores incluyen la forma del pescado, el contenido de grasa y el tipo de piel. Se observa que el deterioro es menor en especies con forma plana, bajo contenido de grasa y piel gruesa en comparación con especies de forma redondeada, con contenido semigraso o grasoso y piel delgada.

Técnicas de conservación de productos pesqueros en la Amazonía ecuatoriana

Las técnicas de conservación de productos pesqueros son mencionadas en la Tabla 3.

La Tabla 3 resume las investigaciones relacionadas con diversas técnicas de conservación de pescados en la Amazonía ecuatoriana, incluyendo los autores, años de publicación, procedimientos y metodologías utilizadas, así como el tiempo de conservación y relaciones asociadas a cada técnica.

Tabla. 3. Reseña bibliográfica de los artículos relacionados con las técnicas de conservación de pescados

Técnicas de conservación para pescados	Investigaciones relacionadas	Autores / años	Procedimientos y metodologías	Tiempo de conservación y relaciones
Enhielado	Técnicas de conservación de los recursos pesqueros en la amazonia peruana	Cortez-Solís (1990).	Mantener las características del pescado mediante el descenso de su temperatura, que fluctúan entre los cero grados y cinco grados centígrados, para ello el método más utilizado en la Amazonía es el hielo en trozos pequeños almacenados en recipientes, que debe ser reemplazado en sus capas superficiales cada 2 días	Varía con la especie de 2 a 10 días.
Congelación	Optimización del proceso de congelación de tilapia	Hurtado (2014).	Antes de la congelación se realiza actividades básicas previas como: decapitado, eviscerado, fileteado, despellejado posterior a su congelación a una temperatura entre los -20 a -30 °C.	365 días
Seco salado	Salado y secado solar de tilapia (<i>Oreochromis</i> sp) en la región de San Martín	Mendieta-Taboada, y Medina-Vivanco (2006).	El pescado capturado es eviscerado y se lo conserva añadiendo sal, lo que hace que el cloruro de sodio penetre en los músculos del pescado y haga que pierda agua por deshidratación la utilización es una relación de 2 a 1 durante un día, el tiempo de secado al sol se lo realiza durante 2 días.	120 días
Salazón	Potential hazards in cold-smoked fish	Ruiz-Alonso <i>et al.</i> (2021) - Flick <i>et al.</i> (2001).	Salazón en los filetes de tilapia aplicando la técnica en dos tiempos diferentes (4h y 8h) y tres concentraciones de NaCl en salmuera (5%, 7,5% y 10%), logrando determinar que las muestras de filete saladas con salmuera al 10% durante 4h y 7.5% de salmuera durante 8h cumplió con la recomendación del Codex Alimentarius. Concentraciones de NaCl de hasta el 2% no inhiben la producción de histamina, niveles más altos de sal 5,5% da un inhibidor que conduce a la conservación mediante un secado al sol durante 3 a 4 días.	60
Ahumado	Estudio preliminar de ahumado de pescado con especies amazónicas	Cortez-Solís (1991).	La técnica consiste en eliminar la máxima cantidad de agua o humedad mediante el uso de calor uniforme, para lo cual se lo somete al humo de la madera es un proceso lento, pero asegurando su conservación, dando como resultado un producto de consumo muy valorado. Fases de procesamiento: Eviscerado y lavado, salmuerado 20-23 grados Baumé durante 2 a 3 horas Ahumado directo al humo de carbón durante 3 a 4 horas	15 a 30 días

Técnica de conservación en hielo

El enfriamiento mediante la técnica de conservación en hielo es una estrategia efectiva para ralentizar el proceso de descomposición de los productos pesqueros, aunque no detiene completamente dicho proceso. Se distinguen dos tipos de congelamiento: lento y rápido.

Congelamiento Lento: Durante este proceso, se forman cristales de hielo de gran tamaño, lo que puede ocasionar la ruptura de las células y la pérdida de líquido en el citoplasma, provocando una descomposición más rápida de la carne tras la descongelación.

Congelamiento Rápido: En este caso, la congelación se realiza de forma rápida, creando cristales de hielo más pequeños que tienen menos probabilidades de dañar las paredes celulares. Esto se logra mediante la exposición a cámaras frías o túneles de congelación.

En la Tabla 4 se describen las especies de pescado junto con su tiempo de conservación en hielo y su contenido de grasa correspondiente:

Tabla 4. Tiempo de conservación en hielo de pescado y contenido de grasa

Especie	Tiempo de conservación en hielo /días	Observación
Siluriformes	15-27	Magro
<i>Osteoglossiformes</i>	27	Magro
<i>Cruciformes</i>	16-20	Magro/poco graso
Cachama	14	Graso
Sábalo	25	Medianamente graso

De Oliveira et al. (2015) llevaron a cabo un estudio para medir los cambios sensoriales, físico-químicos y microbiológicos en muestras de pescado almacenadas a una temperatura de $(2 \pm 1^\circ\text{C})$. Los resultados mostraron que la vida útil para el consumo, según la evaluación sensorial, fue de aproximadamente $27 \pm 0,5$ días en hielo, con una carga microbiológica de 0 UFC/g. Esta información detallada en la Tabla 4, destaca la importancia del tiempo de conservación en hielo y su relación con el contenido de grasa de las diferentes especies.

Envasado al vacío

Suárez et al. (2008) evaluaron una nueva tecnología para mitigar la presencia de espinas en filetes de cachama blanca envasados al vacío, almacenados durante 30 días a $(0,5^\circ\text{C})$ obteniendo valores de 39,36 para el Nitrógeno Básico Volátil Total; 6,22 pH; y 3,3% de pérdida de humedad.

Salado

Rodríguez et al. (2009) Realizo la Evaluación física y química de filetes de bagre salados en salmuera empacados al vacío y almacenados en refrigeración de sodio (NaCl) al 36% en una relación 1:2 pescado: salmuera durante nueve días. Los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en los parámetros de humedad, concentración de sal, y AW. Los filetes que fueron empacados al vacío y almacenados a 4°C resultaron significativamente diferentes ($p < 0,05$) al resto de los tratamientos ambiente y atmosfera sin modificar; no observándose diferencias significativas debido a la temperatura de almacenamiento a los 3 meses. La condición más favorable para conservar el pescado salado en salmuera con un empacado al vacío y refrigerado a temperaturas de 4°C .

Ahumado y salado

Cortez-Solis (1991) Menciona que es una técnica tradicional de conservación de alimentos que combina los efectos de la salazón, la impregnación de componentes de humo y el secado; con este proceso se consiguen características tanto de sabor como de color que son apreciadas por el consumidor. En el salado con salmuera se generan simultáneamente dos flujos: sal que se difunde de la salmuera al pescado y agua que se difunde del pescado a la salmuera, debido a las diferencias de concentración y presión osmótica entre las células internas del pescado y la salmuera.

Conclusiones

Los recursos pesqueros de la Amazonía ecuatoriana son un componente importante en la alimentación de las comunidades en la región, dado el grado de dependencia de la pesca de este importante segmento de la población, el consumo de pescado de captura y el uso de técnicas no térmicas, como el salado y ahumado tradicional de los pueblos nativos, son alternativas para la conservación de dichos productos pesqueros locales manteniendo su identidad cultural.

La técnica de enhielado, utilizando trozos pequeños de hielo, es ampliamente utilizada en la Amazonía para mantener las características del pescado al descender su temperatura entre 0 y 5 grados Celsius. El tiempo de conservación varía según la especie, siendo de 2 a 10 días, lo que demuestra su eficacia para mantener la calidad del producto fresco durante períodos relativamente cortos.

La optimización del proceso de congelación permite prolongar significativamente el tiempo de conservación del pescado hasta 365 días. La preparación previa del pescado mediante actividades como decapitado, eviscerado, fileteado y despellejado, seguida de la congelación a temperaturas muy bajas entre -20 y -30 grados Celsius, garantiza la conservación de la calidad del producto durante largos períodos.

La técnica de salado y secado solar muestra un tiempo de conservación de hasta 120 días. Esta técnica implica la adición

de sal al pescado eviscerado, lo que provoca la deshidratación y conserva el producto por un período considerable. El proceso de secado al sol durante 2 días complementa esta técnica, asegurando una conservación efectiva.

El proceso de salazón en filetes, utilizando diferentes concentraciones de salmuera, demuestra ser efectivo para la conservación del pescado. Concentraciones de salmuera del 10% durante 4 horas y del 7,5% durante 8 horas cumplen con las recomendaciones del Codex Alimentarius. Además, niveles de sal del 5,5% permiten la conservación mediante secado al sol durante 3 a 4 días, lo que demuestra la versatilidad de esta técnica para la conservación del pescado.

El proceso de ahumado, combinado con el salado y el secado, ofrece un tiempo de conservación de 15 a 30 días. Este proceso implica la eliminación de la humedad mediante calor uniforme y el humo de la madera, lo que proporciona al producto un sabor y color característicos apreciados por los consumidores.

Estas técnicas de conservación ofrecen diversas opciones para prolongar la vida útil de los productos pesqueros en la Amazonía ecuatoriana, garantizando su calidad y disponibilidad para el consumo. La selección de la técnica adecuada dependió de factores como la especie de pescado, las condiciones ambientales y los recursos disponibles.

Referencias bibliográficas

- Aguirre, W., Anaguano-Yancha, F., Burgos-Morán, R., Carrillo-Moreno, C., Guarderas, L., Jácome-Negrete, I., Jiménez-Prado, P., Laaz, E., Nugra, F., Revelo, W., Rivadeneira, J., Utreras, V. y Valdiviezo-Rivera, J. (2019). *Lista roja nacional de peces de agua dulce de Ecuador. Dirección nacional de biodiversidad*. <http://mesadeayuda.ambiente.gob.ec/Documentacion/Biodiversidad/pagina/listaRoja-PecesAD.pdf>
- Baliño Zuazo, L. (2016). Nuevas metodologías para la evaluación de la calidad de productos pesqueros [Tesis doctoral, Universidad del País Vasco]. <https://addi.ehu.es/handle/10810/26194>
- Burgos, R. (2019). *Diagnóstico de la situación actual de los recursos pesqueros amazónicos del Ecuador*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2582594>
- Coronel Cisneros, M. y Solórzano Orellana, J. (2017). *Comunidades locales y pueblos indígenas: su rol en la conservación, mantenimiento y creación de áreas protegidas*. International Union for Conservation of Nature. <https://doi.org/10.2305/iucn.ch.2017.09.es>
- Cortez-Solís, J. P. (1990). Técnicas de conservación de los recursos pesqueros en la amazonia peruana. *Folia amazónica*, 2(1-2), 87-96. <https://doi.org/10.24841/fa.v2i1-2.106>
- Cortez-Solís, J. P. (1991). Estudio preliminar de ahumado de pescado con especies amazónicas. *Folia amazónica*, 3(1-2), 95-105. <https://doi.org/10.24841/fa.v3i1-2.204>
- De Oliveira Felizardo, V. D., Vieira Melo, C. C., Dessinoni Dias, M. A., Pimentel, R. M., De Freitas, R. T. F. y Solis Murgas, L.D. (2015). Using morphometric variables in evaluations of fish body yields. *Journal of Veterinary Medicine and Research*, 2(4), 1032-1036. <https://www.jscimedcentral.com/journal-article-info/Journal-of-Veterinary-Medicine-and-Research/Using-Morphometric-Variables--in-Evaluations-of-Body-of-Fish--Yields-9596>
- Dong, Z., Xu, F., Ahmed, I., Li, Z. y Lin, H. (2018). Characterization and preservation performance of active polyethylene films containing rosemary and cinnamon essential oils for Pacific white shrimp packaging. *Food Control*, 92, 37-46. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.04.052>
- Enríquez, M. (2018) Atmósfera modificada en la conservación de carne de trucha arcoíris (*oncorhynchus mykiss*). *Novasinergia*, 1(1), 67-71. <https://doi.org/10.37135/unach.ns.001.01.08>
- Flick, G. J., Oria, M. P. y Douglas, L. (2001). Potential hazards in cold-smoked fish: Biogenic amines. *Journal of Food Science*, 66(s7), <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb15528.x>
- Fuentes López, A., Fernández Segovia, I. y García Martínez, EM. (2017). Determinación de aminas biógenas mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/83318>
- Gozzi, M. S., Piacente, M. L., Cruces, V. y Díaz, E. G. (2011). Influence of Storage Temperature on Histamine Formation in Mackerel (*Scomber japonicus*). *Información tecnológica*, 22(6), 53-62. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642011000600006>
- Hong, H., Luo, Y., Zhou, Z. y Shen, H. (2012). Effects of low concentration of salt and sucrose on the quality of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) fillets stored at 4 °C. *Food Chemistry*, 133(1): 102-107. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.01.002>
- Hurtado, J.C. (2014). Optimización del proceso de congelación de tilapia (*Oreochromis Aureus*) en bloques e IQF para lograr una máxima calidad. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2933>
- Latrubesse, E. M., Arima, E. Y., Dunne, T., Park, E., Baker, V. R., d'Horta, F. M., Wight, C., Wittmann, F., Zuanon, J., Baker, P. A., Ribas, C. C., Norgaard, R. B., Filizola, N., Ansar, A., Flyvbjerg, B. y Stevaux, J. C. (2017). Damming the rivers of the Amazon basin. *Nature*, 546(7658), 363-369. <https://doi.org/10.1038/nature22333>
- Liu, Y., Li, X., Chen, Z., Yu, J., Wang, F. y Wang, J. (2014). Characterization of structural and functional properties of fish protein hydrolysates from surimi processing by-products. *Food Chemistry*, 151, 459-465. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.089>

- Mendieta-Taboada, Ó. y Medina-Vivanco, M. L. (2006). SALADO y SECADO SOLAR DE TILAPIA (*Oreochromis* SP) EN LA REGION DE SAN MARTIN. *Folia amazónica*, 5(1-2), 117-127 <https://doi.org/10.24841/fa.v5i1-2.234>.
- Montoya-Camacho, N., Márquez-Ríos, E., Castillo-Yáñez, F. J., Ruíz-Cruz, S., Cárdenas-López, J. L., Arvizu-Flores, A. A., Torres-Arreola, W. y Ocaño-Higuera, V. M. (2020). Efecto de la temperatura de almacenamiento sobre el rigor mortis del músculo de tilapia (*Oreochromis niloticus*)//Effect of storage temperature on tilapia muscle (*Oreochromis niloticus*) rigor mortis. *Biotechnia*, 22(2), 88-93. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v22i2.1249>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2008). El Pescado Fresco: Su Calidad y Cambios de su Calidad. <https://www.fao.org/3/v7180s/v7180s00.htm#Contents>
- Rodríguez, D., Barrero, M. y Kodaira, M. (2009). Evaluación física y química de filetes de bagre (*Pseudoplatystoma* sp.) salados en salmuera empacados al vacío y almacenados en refrigeración. *Archivos latinoamericanos de nutricion*, 59(2), 206-213. <https://www.alanrevista.org/ediciones/2009/2/art-14/>
- Ruiz-Alonso, S. A., Girón-Hernández, L. J., López-Vargas, J. H., Muñoz-Ramírez, A. P. y Simal-Gándara, J. (2021). Optimizing salting and smoking conditions for the production and preservation of smoked-flavoured tilapia fillets. *LWT*, 138, 110733. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110733>.
- Ruiz-Capillas, C. y Moral, A. (2001). Production of biogenic amines and their potential use as quality control indices for hake (*Merluccius merluccius*, L.) stored in ice. *Journal of Food Science*, 66(7), 1030-1032. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb08230.x>
- Ruiz-Osorio, Y. L., Amorocho-Cruz, C. M. y Gutiérrez-Guzmán, N. (2015). Physicochemical and microbiological changes in gutted and ungutted red tilapia (*Oreochromis* spp) stored in ice. *Ciencia e Investigacion Agraria*, 42(2), 263-272. <https://doi.org/10.4067/s0718-16202015000200012>
- Suárez Mahecha, H., Pardo Carrasco, S. C. y Cortés Rodríguez, M. (2008). Calidad físico-química y atributos sensoriales de filetes sajados biopreservados de cachama, empacados al vacío bajo refrigeración. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 21(3), 330-339. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/rccp/article/view/324304>
- Téllez-Luis, S. J., Ramírez, J. A., Pérez-Lamela, C., Vázquez, M. y Simal-Gándara, J. (2001). Aplicación de la alta presión hidrostática en la conservación de los alimentos. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 3(2), 66-80. <https://doi.org/10.1080/11358120109487649>
- Tomac, A. y Yannes, M. I. (2012). Gamma radiation effect on quality changes in vacuum-packed squid (*Illex argentinus*) mantle rings during refrigerated (4–5 °C) storage. *International Journal of Food Science & Technology*, 47(7), 1550-1557. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03005.x>
- Tomé, E., Iglesias, M., Kodaira, M. y González, A. (2000). Efecto de la temperatura de almacenamiento en el rigor mortis y en la estabilidad de la tilapia (*Oreochromis* spp.) cultivada. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad del Zulia*, 10(4), 339-345. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/cientifica/article/view/14719>
- Vasco, C. y Sirén, A. (2018). Determinants of wild fish consumption in indigenous communities in the Ecuadorian Amazon. *Society & Natural Resources*, 32(1), 21-33. <https://doi.org/10.1080/08941920.2018.1475587>



Efecto de la pasteurización y calentamiento óhmico en la detección de deoxinivalenol en mosto base de cerveza artesanal

Effect of pasteurization and ohmic heating on the detection of deoxynivalenol in craft beer wort base

Bryan Augusto Velarde Salas¹, Orlando Meneses Quelal¹, Carlos Alberto Rivas Rosero¹

¹Universidad Politécnica Estatal del Carchi, Ecuador.

Autor de correspondencia: bryan.velarde@upec.edu.ec

Recibido: 08/03/2024. Aceptado: 25/06/2024

Publicado el 11 de julio de 2024

Resumen

En la industria de alimentos y bebidas; se ha observado que la presencia de micotoxinas en cereales ha impulsado el desarrollo de procedimientos para garantizar la seguridad e inocuidad del producto final. Sin embargo, a nivel nacional, en las microcervecías, este aspecto aún no ha sido abordado. Esta investigación se enfocó en determinar la presencia y concentración de deoxinivalenol (DON) en la malta utilizada para la elaboración de cerveza artesanal, así como el efecto de la pasteurización y el calentamiento óhmico en esta micotoxina. El estudio se llevó a cabo en dos etapas. En la primera etapa, se analizó la presencia de DON en la malta mediante la técnica analítica ELISA con un nivel de detección de 0,25ppm/5,0. Posteriormente en la segunda etapa, se preparó mosto utilizando esta malta y se evaluó el efecto de la pasteurización, como método tradicional, y el método alternativo de calentamiento óhmico sobre la micotoxina. Para ello, se desarrolló un equipo experimental de calentamiento óhmico, en el cual se establecieron parámetros de tiempo y voltaje. Los resultados mostraron una leve reducción en uno de los lotes de mosto al aplicar calentamiento óhmico sobre la micotoxina, con una concentración de 0,057 μL , en comparación con la pasteurización, donde la concentración fue la misma de 0,058 μL . Estos hallazgos sugieren que la pasteurización mantiene estables los niveles de concentración de la micotoxina; sin embargo, la combinación con el calentamiento óhmico puede ser efectiva para mitigar la presencia de micotoxinas en el mosto base de cerveza artesanal, contribuyendo así a su inocuidad.

Palabras clave: cerveza, calentamiento óhmico, deoxinivalenol, malta, pasteurización

Abstract

In the food and beverage industry, the presence of mycotoxins in cereals has driven the development of procedures to ensure the safety and quality of the final product. However, at the national level, this aspect has not yet been addressed in microbreweries. This research focused on determining the presence and concentration of deoxynivalenol (DON) in malt used for craft beer production, as well as the effect of pasteurization and ohmic heating on this mycotoxin. The study was conducted in two stages. In the first stage, the presence of DON in the malt was analyzed using the ELISA analytical technique with a detection level of 0,25ppm/5,0. Subsequently, in the second stage, wort was prepared using this malt, and the effects of pasteurization, as a traditional method, and ohmic heating, as an alternative method, on the mycotoxin were evaluated. For this purpose, an experimental ohmic heating equipment was developed, in which time and voltage parameters were established. The results showed a slight reduction in one of the wort batches when ohmic heating was applied to the mycotoxin, with a concentration of 0.057 μL , compared to pasteurization, where the concentration remained the same at 0.058 μL . These findings suggest that pasteurization maintains stable mycotoxin concentration levels; however, the combination with ohmic heating may be effective in mitigating the presence of mycotoxins in the wort base of craft beer, thereby contributing to its safety.

Keywords: beer, deoxynivalenol, ohmic heating, malt, pasteurization

Introducción

La cerveza se destaca como una de las bebidas alcohólicas más apreciadas a nivel mundial, siendo consumida en cantidades significativas en prácticamente todos los rincones del planeta (Desira *et al.*, 2020). Para elaborar la cerveza es indispensable contar con las materias primas para el proceso de maceración y elaboración del mosto que es la base de esta bebida, cabe mencionar que el agua y la malta componen entre el 90 y 95% del producto final (Díaz *et al.*, 2022). Las ventajas de emplear este cereal en la fabricación de cerveza son ampliamente reconocidas; la producción de malta de cebada representa uno de los ejemplos más antiguos y complejos de aplicación biotecnológica (Dabija *et al.*, 2021).

Actualmente el consumo de esta bebida es relevante en la dieta humana; sin embargo, es importante tener en cuenta que cualquier alimento ingerido en grandes cantidades puede representar una potencial fuente de sustancias dañinas. (Barboza *et al.*, 2020). En el país, se ha observado un notable aumento en el número de microcervecías artesanales, se ha constatado que existen 284 marcas registradas en esta asociación y que la producción a nivel nacional ha tenido un crecimiento significativo, considerando que en el 2021 se produjeron 4,1 millones de litros y en el 2023 6,4 millones incrementando un 36% a nivel de producción de cerveza (Coba, 2023). A pesar del compromiso de estas microcervecías por garantizar la calidad y seguridad de sus productos, enfrentan desafíos cruciales que influyen tanto en la salud de los consumidores como en la excelencia de calidad del producto final (Yordi *et al.*, 2024).

Las micotoxinas constituyen un grupo de alrededor de 500 metabolitos secundarios tóxicos producidos principalmente por hongos pertenecientes a los géneros *Claviceps*, *Alternaria*, *Fusarium*, *Penicillium* y *Aspergillus* (Grajewski *et al.*, 2019). Estos hongos pueden desarrollarse en una amplia gama de alimentos de origen animal como vegetal. Los niveles máximos permitidos de micotoxinas en productos alimenticios son regulados por la Unión Europea y otras agencias internacionales (Liu *et al.*, 2018); no obstante, en el país siendo la cerveza la bebida más demandada por los consumidores (Coba, 2023) aún no ha establecido de manera definitiva tales límites basados en la normativa a nivel nacional (INEN, 2003).

Abou Dib *et al.*, (2022) señala que las micotoxinas no aumentan su concentración durante el proceso de maceración del mosto. Esta observación resalta la ineficacia de muchas medidas preventivas para controlar la proliferación de hongos en alimentos y piensos en las etapas previas y posteriores a la cosecha. Por consiguiente, ha surgido un interés considerable en la mitigación de estas micotoxinas, que puede lograrse mediante la aplicación de una variedad de agentes químicos, físicos y/o tratamientos biológicos (Matumba *et al.*, 2021). El proceso de transformar cereales en cerveza puede parecer simple a primera vista, pero el control, prevención de la

proliferación de microorganismos patógenos y micotoxinas son aspectos fundamentales, estas medidas son esenciales para garantizar tanto la seguridad del consumidor como la calidad del producto terminado (Carvalho *et al.*, 2023), ambas están estrechamente relacionadas con la selección y tratamiento de las materias primas, así como con los procesos tecnológicos empleados durante su producción. Entre los diversos factores que pueden afectar la calidad de la cerveza, la presencia de micotoxinas, como el deoxinivalenol (DON), es de particular interés dentro de la industria de alimentos y bebidas por su constante aparición en distintos tipos de cereales y sus posibles efectos adversos para la salud humana (Ciont *et al.*, 2022).

En este contexto, resulta fundamental investigar la presencia y los niveles de concentración de DON en las distintas etapas del proceso de elaboración de cerveza artesanal, sabiendo que la inactivación microbiana mediante pasteurización ha sido una técnica ampliamente empleada en la industria alimentaria pero presenta ciertas desventajas, como un alto consumo energético, largos tiempos de procesamiento, pérdidas no deseadas de compuestos termosensibles y una eficacia térmica limitada (Chen *et al.*, 2017). Además, varios informes han señalado la presencia de mohos resistentes al calor y esporas bacterianas en los alimentos incluso después de procesos de pasteurización industrial (Rico-Munoz, 2017).

Para superar estas limitaciones, existen métodos de pasteurización alternativos como el calentamiento óhmico, que es un proceso emergente que ha demostrado ser eficaz en la eliminación de microorganismos patógenos y en la mejora de la estabilidad microbiológica de los alimentos líquidos, aunque su efecto sobre las micotoxinas aún no se comprende completamente (Kamonpatana *et al.*, 2013).

Actualmente, existen muchos ensayos y aplicaciones sobre el calentamiento óhmico debido a sus diferentes beneficios ya que este puede conducir a una disminución en los gradientes de temperatura internos y un aumento de temperatura más rápido/homogéneo (Fadl y Liu, 2014), además proporciona efectos de inactivación no térmica en algunas situaciones, lo que resulta en daño adicional a los microorganismos debido a la aplicación de un campo eléctrico (Murashita *et al.*, 2017).

Ahmed y Alam (2012) aplicaron el calentamiento óhmico a un mosto base de cerveza, evaluando tanto sus beneficios como los riesgos potenciales; tales como la formación de compuestos no deseados, contaminación por el metal, degradación de nutrientes y alteraciones sensoriales por lo tanto optimizaron este proceso para mantener la calidad y la seguridad de la cerveza, minimizando los riesgos asociados a las micotoxinas, ya que se ha evidenciado que el calentamiento óhmico puede conservar productos de manera eficiente sin embargo existen alimentos sensibles a dicho proceso, Gavahian y Chu (2022) demostraron la efectividad del calentamiento óhmico en la extracción de compuestos bioactivos del corazón de la piña.

Pascari *et al.*, (2018) y Arrúa *et al.*, (2019) también investigaron la presencia de micotoxinas en cereales y sus

derivados, encontrando que la industria y los consumidores deben considerar estos resultados.

Los estudios previos sustentan la necesidad de explorar los efectos de este proceso en la cerveza artesanal y las posibles implicaciones en la presencia de micotoxinas, proporcionando una base para mejorar la producción y seguridad para los consumidores, en este contexto, el presente estudio propone analizar la eficacia de la pasteurización y el calentamiento óhmico en la reducción de la concentración de DON en el mosto de cerveza para lo cual se utilizó la técnica analítica ELISA que se distingue por su alta sensibilidad en las mediciones y estimaciones, atribuida a las características de unión de los anticuerpos y a la variedad de sistemas de lectura utilizados para la amplificación de señales Peruzzo y Pioli (2016). A pesar de su eficacia, a nivel nacional los costos asociados a este método analítico son elevados, lo cual limita su utilización.

Este estudio no solo contribuirá al conocimiento científico sobre la presencia de micotoxinas en la cerveza artesanal y su relación con los procesos tecnológicos utilizados en su producción, sino que también proporcionará información relevante para la industria cervecera y los organismos reguladores en términos de establecimiento de límites de seguridad y desarrollo de estrategias de control y prevención de micotoxinas en la cerveza.

Materiales y métodos

Materias primas

La materia prima principal fue la cebada (malteada) proveniente de marcas importadas y comercializadas a nivel nacional como parte de kits de elaboración de cerveza artesanal, la misma que presentó una humedad del 7% (Liguori *et al.*, 2021). En principio se preparó un mosto base de cerveza, con variedades de malta como extra pale pilsner, abbey malt y carabelge (Tunick *et al.*, 2023). La variedad extra pale pilsner (base) se utilizó por su alto contenido de hidrato de carbono y enzimas diastáticas, que generan los azúcares fermentables desde el almidón y la abbey malt, carabelge (especiales) ya que brindan color, sabor y aroma (caramelo, café tostado) (Delos, 2008).

Procedimiento experimental

Para determinar el efecto del calentamiento óhmico se dividieron las muestras en seis: la primera correspondió a la malta molturada (grano grueso) con un tamaño comprendido entre 500-700 μm (Goldammer, 2008), la segunda al lote de mosto pasteurizado, y las cuatro muestras restantes se obtuvieron del lote de mosto pasteurizado sometido a calentamiento óhmico.

Pasteurización- Calentamiento Óhmico

El proceso de pasteurización del mosto se llevó a cabo durante 60 minutos a una temperatura constante de 85 °C, se

realizó en recipientes de cocción de acero quirúrgico de grado alimentario, como información adicional se determinó la densidad inicial del mosto al enfriarse, que resultó en 9.7821 grados plato (°P) esto indica la concentración de azúcares fermentables (Snyder, 2013), así como también el pH y se obtuvo una medida de 4,0 la cual se encontró dentro de los parámetros establecidos por la normativa nacional (INEN, 2003).

A partir de un diseño factorial 2x2 (Montgomery, 2017) se determinó dos variables independientes: voltajes (10 y 16 V) y períodos de tiempo (10 y 20 min), como se detalla en la Tabla 1.

Posteriormente, se sometió el mosto previamente pasteurizado (85 °C) al calentamiento óhmico, empleando un contenedor de polietileno de alta densidad grado 2. Este contenedor se adaptó con placas de acero quirúrgico que sirvieron para conducir la corriente hacia el mosto mediante una fuente de poder.

El amperaje se determinó a partir de la relación con la fuente de poder, basados en el principio de Joule como se describe en (Sensoy, 2012) lo que resultó en 2 y 4 Ω .

Tabla 1. Tratamientos del mosto sometido a calentamiento óhmico

Tratamiento	Voltaje (V)	Tiempo (min)	Temperatura C°/ 60 (min)
T1	10	10	85 °C
T2	10	20	85 °C
T3	16	10	85 °C
T4	16	20	85 °C

Nota: Aparte de las muestras T1,T2,T3,T4 se tomó una muestra de malta molturada y mosto pasteurizado las cuales no fueron sometidas a calentamiento óhmico y se analizaron para determinar la presencia, concentración de DON.

Análisis de deoxinivalenol

Se decidió adoptar como parámetro de referencia los estándares legales fijados por la Unión Europea (UE) 0,750 partes por millón (ppm), en lo que refiere al máximo de concentración de DON conforme a lo especificado en la (Commission Regulation (EU) 2023/915, 2023), debido a que en la actualidad, se carece de una normativa nacional que establezca límites regulatorios para los niveles de micotoxinas en la cerveza, para determinar y cuantificar la concentración de DON en la malta, mosto pasteurizado, mosto sometido a calentamiento óhmico se utilizó la técnica analítica ELISA con un nivel de detección de 0,25ppm/5,0 aplicando el protocolo indicado por Romer Labs. (2015). Brevemente, se pipeteó 200 μL de solución de conjugado en los pocillos de dilución, se agregó 100 μL de cada muestra MM, MP, T1, T2, T3, T4 en los pocillos de dilución, se mezcló 30 segundos y se transfirió 100 μL de los pocillos de dilución a pocillos

recubiertos con anticuerpos, se incubó a temperatura ambiente durante 15 minutos, se lavó cinco veces con solución de lavado diluida, se colocó en pozos lavados y secos. Se pipeteó 100 μ L de solución de sustrato en los pocillos recubiertos con anticuerpos y se incubó a temperatura ambiente durante 5 minutos, se agregó 100 μ L de solución de parada en los pocillos recubiertos con anticuerpos, la lectura se realizó en lector ELISA utilizando filtro de 450 nm y filtro diferencial de 630 nm. En todos los ensayos experimentales se realizó tres repeticiones para cada una de las muestras, dichos resultados se interpretaron a partir de un análisis de varianza (valor de $p > 0,05$) considerando el voltaje y tiempo.

Resultados y discusión

Los resultados de concentración del presente estudio indican resultados similares en las muestras analizadas, tanto la MM, el MP y las diferentes condiciones de tratamiento experimental (T1, T2, T3, T4) presentan concentraciones cercanas, todas en el rango de 0,057 a 0,058 μ L. Estos resultados pueden interpretarse de varias maneras. En primer lugar, la consistencia en las concentraciones de micotoxinas entre la malta molturada y el mosto pasteurizado sugiere que el proceso de molienda y pasteurización no tuvo un efecto significativo en la reducción de la presencia de micotoxinas en el producto final, esto puede ser un hallazgo relevante para la industria cervecera, ya que indica que estas etapas del proceso de producción pueden no ser efectivas para eliminar o reducir las micotoxinas presentes en la malta (Carvalho *et al.*, 2023).

Esto podría indicar que el proceso de pasteurización por sí solo es suficiente para mantener estable la concentración de micotoxinas, sin importar las condiciones específicas del tratamiento térmico (Yordi *et al.*, 2024); sin embargo, se notó una ligera influencia del tratamiento óhmico combinado con la pasteurización en la concentración de DON en las muestras tratadas con 16 V durante 10 y 20 minutos, mientras que las muestras tratadas con 10 V durante 10 y 20 minutos, se registró una concentración de 0,058 μ L, confirmando que el calentamiento óhmico no tuvo ningún efecto en estas como se observa en la Tabla 2. Es importante considerar que el DON es muy estable en el proceso de producción de cerveza la cual se transfiere de la cebada al mosto y su concentración puede variar a lo largo del proceso de producción (Bertuzzi *et al.*, 2011).

En este estudio, se observó que después de los procesos de pasteurización y calentamiento óhmico, hubo una interacción mínima con la concentración de DON, lo cual no generó diferencias significativas entre las muestras tratadas y las muestras no tratadas.

Tabla 2. Niveles de DON en las muestras analizadas

Muestra	Concentración (ppm)	Concentración (μ L)
Malta molturada (MM)	0,58	0,058
Mosto pasteurizado (MP)	0,58	0,058
T1 10 V- 10min	0,58	0,058
T2 10 V- 20min	0,58	0,058
T3 16 V- 10min	0,57	0,057
T4 16 V- 20min	0,57	0,057

Nota: Resultados de la concentración obtenidos mediante técnica analítica ELISA con un nivel de detección de 0,25ppm/5,0 cuyos resultados no presentan diferencias significativas (valor de $p > 0,05$) entre las muestras MM, MP, T1, T2, T3, T4.

Arrúa *et al.*, (2019) llevaron a cabo una investigación sobre la presencia de micotoxinas en el vino y la cerveza en Paraguay y observaron que alrededor de una cuarta parte de las cervezas, tanto artesanales como importadas, mostraban presencia de DON 0,46 ppb.

Es importante tener en cuenta que de acuerdo con la Tabla 2, la concentración de DON encontrada en todas las muestras está dentro de un rango relativamente bajo, lo que sugiere que el riesgo para la salud depende del consumo.

Pasteurización y el calentamiento óhmico

Mediante una visión comparativa de los niveles de concentración de DON en varios tipos de cerveza, se ha evidenciado su presencia y variabilidad significativa entre los diferentes tipos. Por ejemplo, la cerveza artesanal de Paraguay presenta una concentración de DON de 1,08 μ g kg^{-1} , mientras que la cerveza industrial de Paraguay exhibe niveles de 0,73 μ g kg^{-1} y 0,46 μ g kg^{-1} . Estas diferencias pueden atribuirse a diversas variables, como las materias primas utilizadas, los procesos de producción y las condiciones de almacenamiento.

Los resultados del estudio indican que la pasteurización y el calentamiento óhmico pueden reducir la concentración de DON en el mosto, pero su efecto es limitado considerando los parámetros determinados en la fase experimental sin embargo mediante la fundamentación teórica es posible aplicar diferentes variables para obtener nuevos resultados a partir de esta investigación, como por ejemplo el uso de fuentes de poder con mayor voltaje, diferentes temperaturas (Negri Rodríguez, 2021), así como también distintos tipos de materiales conductores de electricidad (Fadl y Liu, 2014) y una gran variedad de alimentos en donde sus características fisicoquímicas tienen un rol preponderante (Marina, 2007), permitiendo conocer las perspectivas futuras del calentamiento óhmico en la industria de alimentos y bebidas.

El calentamiento óhmico representa un avance significativo en el procesamiento térmico de alimentos, donde el material mismo actúa como una resistencia eléctrica, generando calor mediante el paso de electricidad a través de él. Este proceso resulta en un calentamiento rápido y uniforme del producto, gracias a la rápida disipación de energía eléctrica (Kamal *et al.*, 2023). Esta característica volumétrica del calentamiento óhmico ofrece ventajas en comparación con los métodos de calentamiento convencionales, ya que no está limitada por los procesos de conducción y convección (Shi *et al.*, 2020). Además, es considerada una tecnología verde, al no generar emisiones durante su uso y utilizar exclusivamente corriente eléctrica para su efecto (d'Angelo *et al.*, 2023).

En términos de conservación de alimentos, el calentamiento óhmico se basa en el principio de electroporación, inducida por el paso de corriente eléctrica. Esta técnica busca garantizar la inocuidad de los alimentos, preservando sus propiedades nutricionales, inactivando o destruyendo microorganismos patógenos, y manteniendo componentes termolábiles como vitaminas y antioxidantes. Además, se ha demostrado eficaz en la inactivación de enzimas responsables de la degradación de los alimentos, como lipasas y proteasas, lo que contribuye a prolongar la vida útil de los productos alimenticios (Manuel *et al.*, 2015).

El Calentamiento óhmico ofrece diversas aplicaciones en la industria de alimentos y bebidas, respaldadas por investigaciones científicas. Desde la producción de bebidas tradicionales como el aguamiel y el pulque (Vera Morales *et al.*, 2024), inmovilización de antimicrobianos en cerveza, vino (Martínez Ruiz, 2020), bebida funcional a partir de mashua negra (Echarri y Gustavo, 2022), zumo de fruta (Negri Rodríguez, 2021), reducción de aflatoxina en leche bovina (Hernández y Arias, 2020), así como también en la extracción de aceites esenciales de plantas aromáticas (Fernando y Gutiérrez, 2018), estos estudios subrayan la eficacia y versatilidad de esta técnica en la mejora de procesos y la calidad de productos alimenticios. En definitiva, el calentamiento óhmico emerge como una herramienta prometedora con aplicaciones diversas y favorables en la industria alimentaria y de bebidas (Tunick *et al.*, 2023).

Conclusiones

Los resultados obtenidos confirman la presencia y concentración de DON desde la adquisición de la materia prima comercializada consecuentemente en las muestras analizadas, se observa que la pasteurización no parece tener un efecto significativo en la reducción de DON en el mosto base, esto sugiere que el proceso de pasteurización por sí solo puede ser suficiente para mantener estable la concentración de micotoxinas, independientemente de las condiciones específicas del tratamiento térmico (Pascari *et al.*, 2018).

Además, se evidencia que las condiciones actuales del calentamiento óhmico, tanto en términos de temperatura

como de tiempo, no influyen de manera significativa en la concentración DON en el mosto, pese a que se detectó una leve influencia del tratamiento óhmico combinado con la pasteurización en la concentración de DON, lo que sugiere que este proceso podría tener un efecto moderado empleando diferentes variables como parte del proceso de producción.

Dado que las micotoxinas pueden estar presentes en los productos terminados cuando la materia prima utilizada está contaminada, es crucial implementar sistemas de monitoreo en toda la cadena de producción para garantizar no solo la calidad, sino también la inocuidad del producto (Martínez-Rodríguez y Carrascosa, 2009). Esta premisa justifica la necesidad de llevar a cabo investigaciones a nivel local con un enfoque en las microcervecías nacionales, ya que en el Ecuador la producción de cebada malteada es limitada, lo que conlleva a la importación de dicho producto, es de gran importancia contar con la documentación necesaria que garantice la trazabilidad de esta materia prima, así como también de los insumos sustitutos que también son susceptibles a la contaminación por hongos.

Los resultados de este estudio proporcionan una base inicial para futuras investigaciones sobre la presencia, concentración, efectos de las micotoxinas en la producción de cerveza y si representan un riesgo significativo para la salud humana, así como para el desarrollo de estrategias efectivas de control, prevención para garantizar la calidad y seguridad en estas etapas del proceso de producción.

Referencias bibliográficas

- Abou Dib, A., Assaf, J. C., El Khoury, A., El Khatib, S., Koubaa, M. y Louka, N. (2022). Single, subsequent, or simultaneous treatments to mitigate mycotoxins in solid foods and feeds: A critical review. *Foods (Basel, Switzerland)*, 11(20), 3304. <https://doi.org/10.3390/foods11203304>
- Ahmed, J. y Alam, T. (2012). An overview of food packaging: Material selection and the future of packaging. *In Handbook of Food Process Design* (pp. 1237–1283). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781444398274.ch41>
- Arrúa, A. A., Mendes, J. M., Arrúa, P., Ferreira, F. P., Caballero, G., Casal, C., Kohli, M. M., Peralta, I., Ulke, G. y Ríos, D. F. (2019). Occurrence of deoxynivalenol and ochratoxin a in beers and wines commercialized in Paraguay. *Toxins*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/toxins11060308>
- Barboza, L. G. A., Lopes, C., Oliveira, P., Bessa, F., Otero, V., Henriques, B., Raimundo, J., Caetano, M., Vale, C. y Guilhermino, L. (2020). Microplastics in wild fish from North East Atlantic Ocean and its potential for causing neurotoxic effects, lipid oxidative damage, and human health risks associated with ingestion exposure. *Science of The Total Environment*, 717, 134625. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134625>

- Bertuzzi, T., Rastelli, S., Mulazzi, A., Donadini, G. y Pietri, A. (2011). Mycotoxin occurrence in beer produced in several European countries. *Food Control*, 22(12), 2059–2064.
- Carvalho, G., Leite, A. C., Leal, R. y Pereira, R. (2023). The Role of Emergent Processing Technologies in Beer Production. *Beverages*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/beverages9010007>
- Ciont, C., Epuran, A., Kerezi, A. D., Coldea, T. E., Mudura, E., Pasqualone, A., Zhao, H., Suharoschi, R., Vriesekoop, F. y Pop, O. L. (2022). Beer safety: New challenges and future trends within craft and large-scale production. *Foods (Basel, Switzerland)*, 11(17), 2693. <https://doi.org/10.3390/foods11172693>
- Coba, G. (2023). *Aumenta la producción de cerveza artesanal en Ecuador*. Primicias Economía. [https://www.primicias.ec/noticias/economia/cerveza-artesanal-produccion-ecuador/#:~:text=Foto%3A%20Cortes%C3%ADa%20Asocerv-,Para%20potenciar%20la%20producci%C3%B3n%20de%20cerveza%20artesanal%2C%20los%20representantes%20del,de%20Cervecer%C3%ADas%20Artesanales%20\(Asocerv\)](https://www.primicias.ec/noticias/economia/cerveza-artesanal-produccion-ecuador/#:~:text=Foto%3A%20Cortes%C3%ADa%20Asocerv-,Para%20potenciar%20la%20producci%C3%B3n%20de%20cerveza%20artesanal%2C%20los%20representantes%20del,de%20Cervecer%C3%ADas%20Artesanales%20(Asocerv))
- Commission Regulation (EU) 2023/915, Official Journal of the European Union 103 (2023). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R0915>.
- Dabija, A., Ciocan, M. E., Chettrariu, A. y Codină, G. G. (2021). Maize and sorghum as raw materials for brewing, a review. *Applied Sciences (Basel, Switzerland)*, 11(7), 3139. <https://doi.org/10.3390/app11073139>
- Desira, B., Watson, S., Van Doorn, G., Timora, J. y Spence, C. (2020). Happy hour? A preliminary study of the effect of induced joviality and sadness on beer perception. *Beverages*, 6(2), 1–14. <https://doi.org/10.3390/beverages6020035>
- d'Angelo, M., Galassi, C. y Lecis, N. (2023). Thermoelectric materials and applications: A review. *Energies*, 16(17), 6409. <https://doi.org/10.3390/en16176409>
- Delos, G. (2008). *El Gran Libro de las Cervezas*. Iberlibro.
- Díaz, A. B., Durán-Guerrero, E., Lasanta, C. y Castro, R. (2022). From the raw materials to the bottled product: Influence of the entire production process on the organoleptic profile of industrial beers. *Foods (Basel, Switzerland)*, 11(20), 3215. <https://doi.org/10.3390/foods11203215>
- Echarri, T., y Gustavo, A. (2022). *Elaboración de una bebida funcional a base de Mashua Negra (Tropaeolum tuberosum) con adición de extracto de maracuyá y enriquecida con colágeno hidrolizado y edulcorada con Estevia (Stevia rebaudiana)*. Universidad Católica de Santa María. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/12504>
- Fadl, M., y Liu, S. (2014). A comprehensive review on applications of ohmic heating (OH). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 262–269. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.061>
- Fernando, F. y Gutiérrez, V. (2018). Ohmic heater for extracting essential oils from aromatic plants. *Scientia et Technica Año XXIII*, 23(02).
- Gavahian, M. y Chu, R. (2022). Ohmic Heating Extraction at Different Times, Temperatures, Voltages, and Frequencies: A New Energy-Saving Technique for Pineapple Core Valorization. *Foods*, 11(14). <https://doi.org/10.3390/foods11142015>
- Goldammer, T. (2008). *The Brewer's Handbook: The Complete Book to Brewing Beer*. Apex Publishers. <https://books.google.com.ec/books?id=4auVPwAACAAJ>
- Hernández, E. P. y Arias, P. A. (2020). Efectos de campos eléctricos moderados en la reducción de la aflatoxina m1 en leche bovina-un breve resumen. *Vances En Investigación Científica*, 1305.
- Kamal, B., Abbasi, Z. y Hassanzadeh, H. (2023). Water-cut measurement techniques in oil production and processing—A review. *Energies*, 16(17), 6410. <https://doi.org/10.3390/en16176410>
- Kamonpatana, P., Mohamed, H. M. H., Shynkaryk, M., Heskitt, B., Yousef, A. E., y Sastry, S. K. (2013). Mathematical modeling and microbiological verification of ohmic heating of a solid-liquid mixture in a continuous flow ohmic heater system with electric field perpendicular to flow. *Journal of Food Engineering*, 118(3), 312–325. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.04.005>
- Liguori, L., De Francesco, G., Orilio, P., Perretti, G., y Albanese, D. (2021). Influence of malt composition on the quality of a top fermented beer. *Journal of Food Science and Technology*, 58(6), 2295–2303. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04740-8>
- Manuel, J., Arcos, G., Hoyos Manchado, R., Roció, R. I., Ávila, E., Maldonado Lasunción, I. y Revello Sánchez, J. (2015). *Portada Carmen Santisteban Trigo y María Manuela Valverde Logotipo y Título de la revista* (1st ed., Vol. 17). MOLEQLA. <http://www.upo.es/MoleQla>
- Marina, M. C. T. (2007). *La Ciencia de los Alimentos: Lo que hay detrás de las recetas de cocina*. Trillas. <https://books.google.com.ec/books?id=aHqdlwEACAAJ>
- Martínez Ruiz, L. (2020). *Inmovilización de antimicrobianos de origen natural y su aplicación en la industria alimentaria* [Tesis de grado, Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/148959>
- Martínez-Rodríguez, A. J. y Carrascosa, A. V. (2009). HACCP to control microbial safety hazards during winemaking: Ochratoxin A. *Food Control*, 20(5), 469–475. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2008.07.015>
- Matumba, L., Namaumbo, S., Ngoma, T., Meleke, N., De Boevre, M., Logrieco, A. F. y De Saeger, S. (2021). Five keys to prevention and control of mycotoxins in grains: A proposal. *Global Food Security*, 30, 100562. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100562>

- doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100562
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and Analysis of Experiments*. Wiley. <https://books.google.com.co/books?id=xJBEDwAAQBAJ>
- Murashita, S., Kawamura, S. y Koseki, S. (2017). Effects of Ohmic Heating, Including Electric Field Intensity and Frequency, on Thermal Inactivation of *Bacillus subtilis* Spores. *Journal of Food Protection*, 80(1), 164–168. <https://doi.org/https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-16-300>
- Negri Rodríguez, L. M. (2021). *Elaboración de zumos pasteurizados mediante tratamiento térmico convencional y calentamiento óhmico a partir de zanahoria de descartes*.
- Pascari, X., Ortiz-Solá, J., Marín, S., Ramos, A. J. y Sanchis, V. (2018). Survey of mycotoxins in beer and exposure assessment through the consumption of commercially available beer in Lleida, Spain. *LWT*, 92, 87–91. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.021>
- Peruzzo, A. M. y Pioli, R. N. (2016). Micotoxinas en harinas derivadas de trigo y soja detectadas por prueba de Elisa. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51(5), 647–653. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000500027>
- Rico-Munoz, E. (2017). Heat resistant molds in foods and beverages: recent advances on assessment and prevention. *Current Opinion in Food Science*, 17, 75–83. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.10.011>
- Romer Labs. (2015). *Agrauquant Deoxinivalenol Ensayo 0,25/5,0*. <http://www.romerlabs.com>
- Sensoy, I. (2012). Design of Ohmic Heating Processes. *Handbook of Food Process Design, 2 Volume Set*.
- Shi, X.-L., Zou, J. y Chen, Z.-G. (2020). Advanced thermoelectric design: from materials and structures to devices. *Chemical Reviews*, 120(15), 7399–7515.
- Snyder, S. (2013). *The Brewmaster's Bible: The Gold Standard for Home Brewers*. Harper Collins.
- Tunick, M., Waterhouse, A., Villarreal, R., Ungermann, S., Bamforth, C., Gislason, N., Toth, J., Sanchez, K., Uhl, K., Madison, M., Trout, R. y Trout, J. (2023). *The Science and Craft of Artisanal Food*. <https://doi.org/10.1093/oso/9780190936587.001.0001>
- Vera Morales, J. M., Vargas Hernández, M., Dector Espinoza, A. y Amaya Cruz, D. M. (2024). Aguamiel y pulque: más que bebidas tradicionales. *Perspectivas de La Ciencia y La Tecnología*, 7(12), 40–51. <https://doi.org/10.61820/a8ja8g05>
- Yordi, E., Rodríguez, S., Barroso, D. y Pérez, A. (2024). Factores tecnológicos que afectan la vida útil de la cerveza artesanal de alta fermentación. *Revista centro azúcar* 51(2).





CIENCIA Y TECNOLOGÍA

revistas.uteq.edu.ec/index.php/cyt



cienciaytecnologia@uteq.edu.ec



+593 997507331

