

CIENCIA Y TECNOLOGÍA

UTEQ

ISSN:1390 - 4051

e-ISSN:1390 - 4043

Vol. 17, Núm. 1 | Enero 2024

Índice de contenido

Análisis multitemporal de cambios de uso del suelo en la isla Santa Cruz, archipiélago de las Galápagos, periodo 1991 - 2023. <i>Multi-temporal analysis of changes in land use in Santa Cruz Island, Galapagos archipelago, period 1991 - 2023</i>	1
Efecto de la aplicación de microorganismos fijadores de nitrógeno en el desarrollo del cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.). <i>Effect of the application of nitrogen-fixing microorganisms on the growth of maize (Zea mays L.) crop</i>	10
Sensibilidad <i>in vitro</i> de <i>Gammarus pulex</i> a la exposición controlada de Sulfatos de Cobre y Aluminio. <i>In vitro sensitivity of Gammarus pulex to controlled exposure to Copper and Aluminum Sulfates</i>	16
Efecto de la temperatura y la radiación sobre la respuesta fisiológica del cacao (<i>Theobroma cacao</i> L): estrategias de mejoramiento. <i>Effect of temperature and radiation on the physiological response of cacao (Theobroma cacao L): breeding strategies</i>	24
Efecto de tierra de diatomeas en el control de cochinilla algodonosa (<i>Pseudococcus</i> spp.) en guanábana (<i>Annona muricata</i>). <i>Effect of diatomaceous earth on the control of cottony cochineal (Pseudococcus spp.) in soursop (Annona muricata)</i>	33
Calidad química del cacao (<i>Theobroma Cacao</i> L.) tipo nacional de la parroquia Valle Hermoso – Ecuador. <i>Chemical quality of national type cocoa (Theobroma Cacao L.) from Valle Hermoso parish – Ecuador</i>	38

Análisis multitemporal de cambios de uso del suelo en la isla Santa Cruz, archipiélago de las Galápagos, periodo 1991 - 2023

Multi-temporal analysis of changes in land use in Santa Cruz Island, Galapagos archipelago, period 1991 - 2023

Fernando González Soto¹, Danny Ullon², Julia Loján³

¹Universidad Nacional de Loja, ²Universidad Agraria del Ecuador, ³Universidad Técnica Particular de Loja

Autor de correspondencia: alexfernado1996@hotmail.es

Recibido: 10/04/2023. Aceptado: 22/01/2024

Publicado el 31 de enero de 2024

Resumen

La modificación del uso del suelo derivada de las actividades humanas se manifiesta a escalas tanto global como local. Por lo tanto, el presente estudio se centra en la evaluación temporal del cambio en el uso del suelo en la isla Santa Cruz, Galápagos. En este sentido, se planteó un análisis detallado de los usos del suelo y su transición con la cobertura vegetal para examinar su evolución. Se utilizaron Sistemas de Información Geográfica y la técnica de Clasificación Supervisada con el fin de identificar las transformaciones en el terreno a lo largo del tiempo, así como los factores responsables de dichos cambios. Con el propósito de obtener información precisa acerca de los usos del suelo en el área de estudio, se emplearon imágenes satelitales gratuitas que permitieron la diferenciación de cuatro clases distintas. A través de este análisis, se logró determinar la evolución del uso del suelo durante un periodo de 32 años, comprendido entre 1991 y 2023. Los resultados revelaron que las áreas clasificadas experimentaron modificaciones debidas a factores tanto naturales como antropogénicos, incluyendo actividades ganaderas, agrícolas y el crecimiento demográfico. Para validar los datos obtenidos, se implementó una matriz de confusión y se calculó el índice Kappa. Estos procedimientos evidenciaron la robustez y la concordancia del modelo utilizado, asegurando una alta precisión en comparación con la realidad. En conclusión, este estudio proporciona una visión comprehensiva del cambio en el uso del suelo en la isla Santa Cruz, Galápagos, y ofrece información relevante sobre los factores que han contribuido a dichos cambios a lo largo del tiempo. Los resultados obtenidos poseen implicaciones significativas para la gestión sostenible del territorio y la conservación del ecosistema en esta relevante región.

Palabras clave: análisis multitemporal, área protegida, desarrollo sostenible, índice kappa, SIG, uso del suelo.

Abstract

The change in land use resulting from human activities occurs at both global and local scales. The present research focuses on the multi-temporal analysis of land use change on Santa Cruz Island, Galápagos. Therefore, the analysis of land uses and their transition with vegetation cover was proposed to examine their evolution. Geographic Information Systems and the Supervised Classification technique were employed to identify changes in the terrain over time and the factors responsible for these alterations. In order to obtain accurate information about existing land uses in the study area, free satellite images were used, allowing the distinction of four distinct classes. Through this analysis, it was possible to determine the evolution of land use over a period of 32 years, spanning from 1991 to 2023. The results revealed that the classified areas underwent modifications due to both natural and human-induced factors, including livestock and agricultural activities, as well as demographic growth. To validate the obtained data, a confusion matrix was conducted, and the Kappa index was applied. These procedures demonstrated the robustness and agreement of the model used, ensuring high accuracy compared to reality. In conclusion, this study provides a comprehensive view of land use change on Santa Cruz Island, Galápagos, and offers relevant information about the factors that have contributed to such changes over time. The results have significant implications for sustainable land management and ecosystem conservation in this important region.

Keywords: multitemporal analysis, protected area, galapagos, kappa index, GIS, land use.

Introducción

La Isla Santa Cruz está localizada en el en la zona central del Archipiélago de Galápagos, siendo reconocida por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) como área protegida de Ecuador y a su vez se encuentra la Dirección del Parque Nacional Galápagos, promueve la conservación de la reserva y la biodiversidad de los ecosistemas de la Isla (García, 2021). La Isla Santa Cruz ha presentado cambios en los usos de suelo de manera progresiva, debido al requerimiento de terreno para la producción agrícola por tener una creciente demanda de recursos por el aumento poblacional a lo largo del tiempo. (Saldaña, 2019).

El cambio de uso del suelo se define como la transformación de la cubierta vegetal local para transformarla a otros usos, como lo son la agricultura, ganadería y construcciones de infraestructura (Plan Galápagos, 2016); lo cual degradan la calidad de la vegetación modificando su densidad y su composición referente a las especies presentes. Entre las principales consecuencias del cambio de uso del suelo se encuentra la pérdida de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos (Almeida y Guevara, 2015). Además, el cambio en el uso del suelo está comúnmente asociado con la intensificación de la actividad agrícola en un determinado sector. Este fenómeno ocasiona impactos negativos significativos en los ecosistemas naturales, siendo el suelo el recurso más afectado. La utilización excesiva de agroquímicos desencadena alteraciones en los procesos de transporte de nutrientes, resultando en una aceleración de la erosión hídrica y eólica, así como en el aumento del escurrimiento superficial. Además, se ven afectados la infiltración del agua en el suelo y los procesos de transformación física, química y biológica del mismo (Barreto, 2019).

Los usos del suelo en la isla Santa Cruz se dividen en cuatro categorías principales: vegetación natural, agropecuarios, eriales e infraestructura. A lo largo del tiempo, los factores contribuyentes al cambio en el uso del suelo y la pérdida de vegetación han experimentado un aumento significativo. Entre estos factores se incluyen el crecimiento demográfico, que se suma a la expansión de la infraestructura, el turismo, la introducción de especies invasoras que desplazan a las especies endémicas, la actividad ganadera y la agricultura intensiva, todos los cuales provocan transformaciones en el suelo. (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2020).

La producción agrícola en la isla Santa Cruz (Galápagos) en las últimas décadas ha aumentado debido a la demanda de productos de consumo por actividades turísticas (Muñoz, 2015). Esto, ha generado que plantas invasoras como la mora ocupan grandes extensiones de terreno (Plan Galápagos, 2016), transformando áreas agrícolas en zonas de extensos cultivos, causando impactos negativos a los ecosistemas y a la economía local, principalmente para los agricultores porque su control implica altos costos de producción (Almeida y

Guevara, 2015).

A su vez, Puerto Ayora, el centro poblado de la Isla Santa Cruz, ha tenido un crecimiento en los límites urbanos, siendo que en el año 1981 tenía un aproximado de 109.41 Hectáreas de suelo y en el año 2009 incrementó a aproximadamente 328.70 Hectáreas. El principal motivo de la expansión es nuevamente el crecimiento poblacional, conllevando así a un mayor requerimiento de infraestructura para la sustentación de la población local y turista (Nájera *et al.*, 2010).

Los cambios de uso de suelo y los impactos que tienen sobre los sistemas naturales y la biodiversidad, la presente investigación tiene como objetivos: a) Identificar los diversos usos de suelo en la Isla Santa Cruz mediante el análisis visual en imágenes satelitales; b) Analizar la transición de la cobertura vegetal mediante Sistemas de Información Geográfica.

Área de estudio

El presente proyecto de investigación toma como zona de estudio la Isla Santa Cruz, la cual tiene una superficie de 98,522 ha. La Isla Santa Cruz tiene un clima tropical ecuatorial, siendo que todo el año presenta temperaturas cálidas que oscilan en promedio entre los 20°C a 31°C, además que la temperatura del agua se mantiene entre los 20°C a 25°C. Su punto más alto se encuentra en el cerro Crocker a una altura de 864 m.s.n.m. con una población de 13000 habitantes. La precipitación puede tener grandes variaciones. Donde la temporada caliente puede recibir un máximo de 2,769 mm y la temporada fría un máximo de 2,666 mm. La mayor parte de la Isla se encuentra cubierta por roca desnuda, con una capa muy delgada de litosoles ubicadas en la zona árida (120m.s.n.m.), mientras que en los 300 m.s.n.m. se pueden llegar a tener capas gruesas de suelo arcilloso. Existen grandes variaciones en la vegetación donde se tiene la zona árida con 130 m.s.n.m. donde se tienen especies espinosas y deciduas. Las zonas de humedad se encuentran especies de arbustos endémicos y miconias (Domínguez, 2011).



Figura 1. Área de estudio

Materiales y métodos

Diagrama de flujo

Para el tratamiento de las imágenes satelitales y la obtención de la información se siguió la metodología descrita en el siguiente diagrama de flujo (Figura 2).

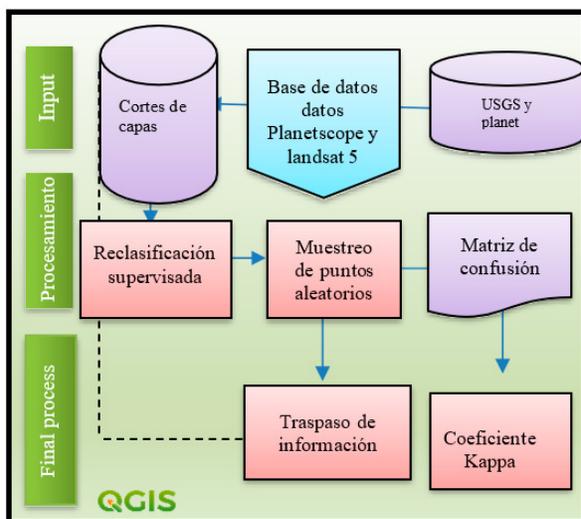


Figura 2. Diagrama de flujo del procesamiento empleado

Las imágenes satelitales fueron obtenidas de plataformas web: USGS y PlanetScope, siendo las bases de datos para la obtención de las imágenes Landsat-5 y PlanetScope respectivamente. Las capas obtenidas ya presentan correcciones atmosféricas. Por medio del polígono de la Isla Santa Cruz, se realiza el corte de las capas ráster. Luego, por medio de los valores de píxeles del ráster se procede a realizar la clasificación supervisada para identificar los usos de suelo de la zona de estudio.

Utilizando puntos de muestreo aleatorio homogéneos pro clase, se procede a realizar la matriz de confusión para identificar las clases obtenidas por la reclasificación supervisada y por las identificadas por el usuario, para poder aplicar el Coeficiente Kappa.

Clasificación supervisada

La clasificación supervisada permite realizar la clasificación de la capa ráster, creando zonas de entrenamiento que sirven como muestras para poder organizar la información proporcionada por el ráster mediante las firmas espectrales de cada píxel. Para ello se le asignan números para identificar adecuadamente el valor de cada clase (USGS, 2020).

La clasificación supervisada se apoya en la máxima verosimilitud (ML) en donde los valores de reflectancia de las clases se encuentran en patrones de distribución de probabilidad normal multivariante, en la cual se usa los vectores de media y matriz de varianza/covarianza para identificar la probabilidad de que un píxel se encuentre dentro de alguna de las clases. Finalmente se establecen umbrales de

probabilidad para cada clase para disminuir la probabilidad que los píxeles se encuentren en clases diferentes a las que pertenecen. El valor máximo de probabilidad es un indicador para demostrar la exactitud del proceso (Del Toro *et al.*, 2013).

Índice de coeficiente Kappa

Los datos derivados de los geoprocamientos fueron utilizados para generar tablas estadísticas descriptivas con el objetivo de comparar las hectáreas por clase y por año. Este enfoque permitió calcular el porcentaje y la cantidad de pérdida o ganancia de hectáreas por clase durante el periodo de estudio.

Posteriormente, se aplicó el índice de coeficiente Kappa, una metodología que organiza los valores al azar. La fórmula del coeficiente Kappa se empleó para corregir datos y verificar la consistencia del análisis, proporcionando una medida de la concordancia del modelamiento final. La eficacia de esta concordancia puede variar entre alta y baja, siendo preferible alcanzar un nivel elevado de concordancia.

Este procedimiento tiene como finalidad identificar la exactitud y precisión de los datos obtenidos, validando el proceso mediante la aplicación del coeficiente Kappa. La fórmula para el cálculo de dicho coeficiente se presenta a continuación:

$$K = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e}$$

Dónde:

K = Kappa

P_o = Precisión total

P_e = Precisión aleatoria

La imagen utilizada del año 1991 es del satélite Landsat-5 Collection 2 Level-1, la cual contiene 7 bandas espectrales. Véase la Tabla 1.

La imagen utilizada del año 2023 es del satélite PlanetScope; la imagen satelital permite una mayor precisión al realizar observaciones debido a su tamaño de píxel, siendo de 3.7 metros. La imagen contiene las siguientes bandas espectrales (Tabla 2).

Las imágenes satelitales utilizadas para el presente estudio se describen en la siguiente Tabla 4.

Tabla 1. Características de bandas del satélite Landsat-5 (USGS, 2020)

Número de banda	Nombre de la banda	Rango espectral (micrómetros)	Resolución espacial
1	Banda azul	0.45 - 0.52	
2	Banda verde	0.52 - 0.60	
3	Banda roja	0.63 - 0.69	
4	Banda cercana al infrarrojo (NIR)	0.77 - 0.90	30 metros
5	Banda medio infrarrojo (MIR)	1.55 - 1.75	
6	Banda térmica	10.40 - 12.50	120 metros
7	Banda infrarroja a media resolución (MIR)	2.08 - 2.35	30 metros

Tabla 2. Características de bandas del satélite PlanetScope

Número de banda	Nombre de la banda	Rango espectral (nm)	Resolución espacial
1	Coastal aerosol	452	
2	Banda Azul	515	
3	Banda verde	549	
4	Banda verde	583	
5	Banda amarilla	620	3.7 metros
6	Banda Roja	680	
7	Banda Roja	713	
8	Banda cercana al infrarrojo (NIR)	885	

Tabla 3. Descripción de variables, representación y cálculo

Nombre de la variable	Tipo de variable	Unidad de Medida	Método de cálculo/ recolección
Tiempo	Independiente	Año	USGS
Pérdida o Ganancia de suelo	Dependiente	Porcentaje (%)	Diferencia de clasificación supervisada interanual
Cambio de uso de suelo	Dependiente	Hectárea (ha)	Clasificación supervisada

Tabla 4. Insumos utilizados

Satélite	Año	Corrección atmosférica	Tamaño de pixel
Landsat-5	1991	Sí	30 m
PlanetScope	2023	Sí	3.7 m

Resultados y discusión

Diferencias de los diversos usos del suelo en la Isla Santa Cruz

Mediante el uso de imágenes satelitales de los satélites Landsat-5, se procedió a clasificar en 4 clases de suelos en la zona de estudio, permitiendo identificar previamente las clases, siendo: suelos eriales, suelos agropecuarios, suelos con vegetación natural e infraestructura; El tipo de suelo de vegetación invasora no fue considerada como una clase individual, debido a que este tipo de vegetación suele encontrarse dentro del suelo agropecuario y los cuerpos de agua a pesar de tener relevancia en la productividad de suelos.

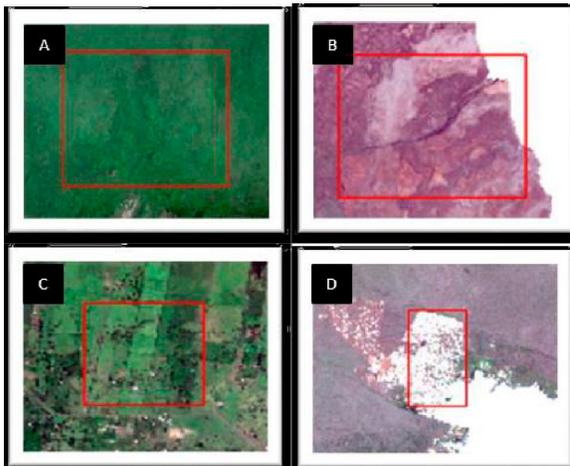


Figura 2. Clases obtenidas mediante los geoprocursos

En la Figura 2. Se pudo obtener las siguientes clases: Literal a) correspondiente a vegetación natural que posee vigorosidad en su flora, propio de un bosque frondoso, la Figura 1, literal b) perteneciente a suelo erial con terrenos áridos, desérticos o sin cultivar, con tonalidad marrón, la Figura 1, literal c) concierne a suelo agropecuario con parcelas delimitadas, destinadas a la agricultura, ganadería y pastoreo en la zona central de la isla, finalmente en la Figura 1, literal d) se aprecia construcciones de infraestructura, por lo general con tono blanco debido a las superficies impermeables presentes en la isla Santa Cruz.

Comparación de los cambios del uso de suelo entre el año 1991 y 2023

En la Figura 3. Correspondiente al año 1991 se utilizó la imagen Landsat-5 C1, la cual se realizaron correcciones atmosféricas mediante la herramienta Semiautomatic Classification Plugin (SCP. Mediante la clasificación supervisada, se obtuvieron 4 clases considerando los valores de las firmas espectrales de la imagen, teniendo un valor mínimo de pixel de 61.96 y un valor máximo de 219.93. En la Figura 3 se puede constatar que la vegetación Natural en este periodo ocupa la mayor parte del área en el territorio, el uso de suelo con 76,998.73 ha de suelo ocupado; el uso de suelo de infraestructura se encuentra

asentada en el área específica de Puerto Ayora, constituyendo así un bajo índice para este año, siendo que obtuvo un valor de 109.41 ha de suelo ocupado. En los suelos de tipo Eriales se obtuvo 16,230.45 ha y el suelo agrícola con 6,021.10 ha del total del territorio ocupado.

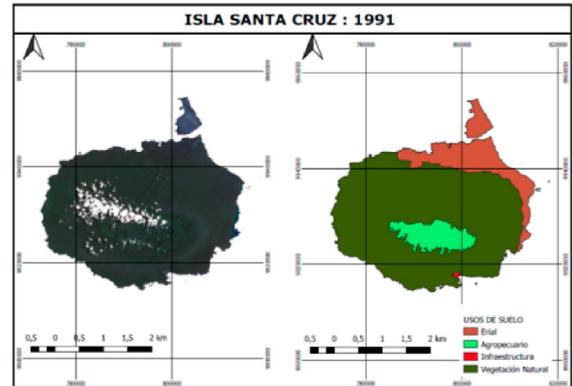


Figura 3. Clasificación de la Isla Santa Cruz para el año 1991

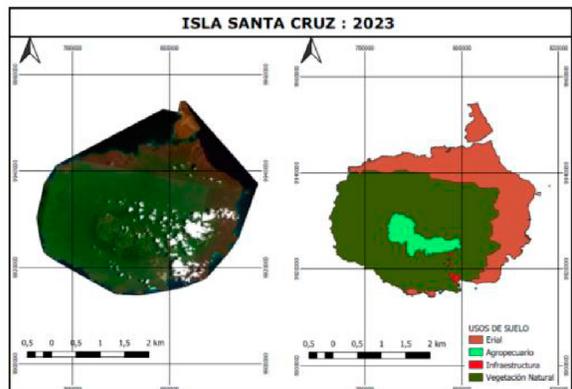


Figura 4. Clasificación de la Isla Santa Cruz para el año 2023

En la Figura 4. Correspondiente al año 2023 se utilizó la Imagen Landsat-5, la cual ya presentaba correcciones atmosféricas, por ello se procedió a realizar la clasificación supervisada considerando los valores mínimos y máximos de las firmas espectrales de cada clase, siendo que el valor mínimo obtenido es de 217.11 y el valor máximo es de 4,024.49 de los valores del píxel. Se pudo constatar mediante la clasificación supervisada que la clase predominante es la vegetación natural, predominando con un área de 62,363.35 ha, seguido del suelo de tipo erial con un área de 32,485.98 ha de terreno ocupado, mientras que el suelo agropecuario tiene un área de 6,021.10 ha y el suelo de tipo infraestructura tiene 328,70 ha de terreno ocupado.

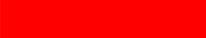
Tabla 4. Distribución porcentual de la superficie de la Isla Santa Cruz para 1991 y 2023

Clase	Área (%)	
	1991%	2023%
Eriales	16.03	32.10
Agropecuario	7.76	5.94
Infraestructura	0.11	0.32
Vegetación Natural	76.08	61.62
Total	100	100

La Tabla 4 presenta la distribución porcentual de las clases en el área de estudio. En el año 1991, el suelo con vegetación natural abarcaba el 76.08% del área total de la zona de estudio, seguido por el 16.03% de suelos de tipo eriales. Los suelos destinados a actividades agropecuarias representaban el 7.76%, mientras que el suelo destinado a infraestructura ocupaba una proporción menor, con un 0.11% del área total.

En contraste, para el año 2023, los suelos con vegetación natural representan el 61.62% del área total de la zona de estudio, mientras que los suelos de tipo eriales aumentaron su participación al 32.10%. Los suelos dedicados a actividades agropecuarias representan el 5.94% del área utilizada, y los suelos con infraestructuras ocupan el 0.32% del área total.

Tabla 5. Pérdidas y ganancias de las zonas clasificadas entre 1991 y 2023

Clase	Simbología	Ganancia o pérdida (%)
Eriales		16.06
Agropecuarios		-1.81
Infraestructura		0.21
Vegetación Natural		-14.46

La Tabla 5 expone la variación en el área ocupada por cada clase entre los años 2023 y 1991. Las clases que experimentaron cambios más significativos fueron los suelos de tipo eriales, los cuales evidenciaron un aumento del 16.06% en el área ocupada en 2023. Esta expansión podría atribuirse al abandono de tierras productivas. En contraste, el área ocupada por vegetación natural experimentó una pérdida del 14.46% entre 2023 y 1991, posiblemente debido a la disminución de la actividad agrícola en el pasado, el crecimiento poblacional y el incremento de los suelos eriales.

En cuanto a los suelos agropecuarios, se observa una disminución del 1.81% en el área ocupada en 2023 en comparación con 1991, lo cual podría asociarse al abandono de tierras productivas y la búsqueda de terrenos no explotados que cumplan con las condiciones necesarias para la producción y satisfacción de la demanda poblacional.

El suelo destinado a infraestructura experimentó un ligero crecimiento del 0.21% en 2023 respecto a 1991. Aunque su aumento es relativamente pequeño en comparación con las variaciones en otras clases de uso de suelo, su comportamiento se atribuye a las normativas locales establecidas en las Islas Galápagos en general.

Índice Kappa

Se aplicó el índice de coeficiente Kappa para verificar la validez de estudio a cada año estudiado, mediante la herramienta implementada en el software QGIS, utilizando los valores del índice van de 0 a 1, donde el valor más alto describe una fuerza de concordancia muy buena y, el valor más bajo es relacionada a una fuerza débil sobre el modelamiento.

A partir de la selección de 200 puntos aleatorios distribuidos en 50 puntos por cada clase, se obtuvieron los valores asignados por la clasificación supervisada y por los valores observados por el usuario obteniendo la siguiente matriz para el año 1991.

En el Tabla 6, los puntos aleatorios por clase describen que la clase de suelo agropecuario cuenta con 48 concordancias, seguido de vegetación natural con 46, suelos eriales con 45 y suelos con infraestructura con 44 concordancias.

Tabla 6. Índice de Kappa para el año 1991

Clases	Eriales	Agropecuario	Infraestructura	Vegetación natural	Total
Eriales	45	0	2	1	48
Agropecuario	1	48	2	1	52
Infraestructura	2	1	44	2	49
Vegetación natural	2	1	2	46	51
Total	50	50	50	50	200

Tabla 7. Descripción de la precisión de la clasificación para el año 1991

Clases	Error de comisión	Error de omisión	Precisión global	Precisión global %	Índice Kappa	Índice Kappa %
Eriales	6	10				
Agrícola	8	0				
Infraestructura	10	0	0.915	91.5	0.886	88.7
Vegetación natural	10	0				

Tabla 8. Descripción de la precisión de la clasificación para el año 2023

Clases	Error de comisión	Error de omisión	Precisión global	Precisión global %	Índice Kappa	Índice Kappa %
Eriales	2	4				
Agrícola	6	0				
Infraestructura	0	0	0.975	97.5	0.9666	96.7
Vegetación natural	2	0				

En la Tabla 7. Describe que la precisión global es del 91.5% del modelo de clasificación supervisada con un 88.7% de coeficiente Kappa, teniendo un nivel de concordancia alta entre el geoprocesamiento y el usuario. Para la imagen satelital del año 2023, se realizó el mismo procedimiento, con 200 puntos aleatorios distribuidos para cada clase con 50 puntos cada uno, obteniendo los siguientes valores representados en la siguiente matriz.

Los puntos aleatorios por clase indican que existe una alta concordancia entre el geoproceso de clasificación supervisada y la interpretación del usuario para las clases de suelo agropecuario y vegetación. A continuación, se observa que la clase de suelos eriales presenta 48 concordancias, seguida por la clase de suelo de infraestructura con 47 concordancias.

En la Tabla 8, se detalla que la precisión global del modelo de clasificación supervisada es del 97.5%, con un coeficiente Kappa del 96.7%. Estos resultados indican un alto nivel de concordancia entre el geoprocesamiento y la interpretación del usuario. El índice Kappa, que varía de 0.86 a 0.96, demuestra una fuerza de concordancia muy buena en el trabajo de investigación. Se alcanza un 91% de validez en el modelamiento basado en la técnica de clasificación supervisada.

Tras analizar los cambios en el uso del suelo en el área de estudio y constatar la pérdida de vegetación natural, el aumento de suelo agropecuario y de infraestructura entre 1991 y 2023, se evidencia que estos cambios son consecuencia de las actividades antrópicas. Como parte de este análisis, se propone un conjunto de estrategias para el desarrollo sostenible, orientadas al manejo adecuado del suelo en la isla Santa Cruz.

Lange (2018) generó una cuantificación de la deforestación y el cambio de cobertura de suelo en la ciudad de Puerto Ayora en el periodo del 2001-2017 utilizando imágenes de los satélites Landsat 5 y 8 logrando describir el cambio presentado en la zona de estudio a lo largo del lapso temporal de 16 años. Se muestra que existe un cambio en las dimensiones del terreno de vegetación cediendo paso al crecimiento de la zona antrópica disminuyendo el terreno de vegetación del 56.35% del área de estudio al 32.7% del área total, lo que resulta en una disminución significativa, lo propio ocurre con los cuerpos de agua reduciéndose de un 0.7% a un 0.007%, en cuanto a los valores del área antrópica, aumentó de un 43.58% de la superficie de estudio a un 67.3%. En términos de área y refiriéndose a la Vegetación del área de estudio podemos observar que desde el 2001 ha sufrido una disminución progresiva de superficie, pasando de tener 1.49 km² para el año 2001, a solo 0.86 km² para 2017, cabe recalcar que el periodo de deforestación más evidentemente agresivo ha sido entre los años 2015 a 2017 en los que la vegetación ha sufrido una disminución en tan solo dos años de prácticamente la mitad del periodo comprendido entre 2001 y 2010, considerablemente mayor, en escala temporal.

Tarapues (2015) examinó el cambio urbano en Puerto Baquerizo Moreno - Galápagos a través de la utilización de imágenes proporcionada por el satélite Landsat, aplicando la técnica de clasificación supervisada, procedió a evaluar la variación de cambio de los distintos años y como resultado obtuvo que superficies impermeables (asfalto, cemento, techos de zinc) aumentaron considerablemente, implicando la disminución de la cobertura vegetal y cambios de los usos de suelo desde el año 1985 al 2013, debido a factores como:

actividades antropogénicas, pérdida de la diversidad forestal, aumento de la población, construcciones de infraestructura, Esta investigación concuerda, puesto que se analizaron los cambios de uso del suelo en un lapso de 32 años en la isla Santa Cruz, se utilizaron las imágenes proporcionadas por los satélites: Landsat 5 y Landsat 7, aplicando la misma técnica mencionada de clasificación supervisada observando un cambio significativo.

Balón y Vera (2019) examinaron en su estudio de campo que los suelos de las islas Galápagos tienen características volcánicas con propiedades únicas, El uso agrícola puede afectar de manera significativa al suelo y su funcionamiento al momento de generar presión hacia la tierra por incremento de productos agrícolas, Su investigación tuvo como finalidad generar conocimiento a la población sobre el uso del suelo para recomendar su uso sostenible en las islas habitadas, Este estudio concuerda ya que se estima que el uso de suelo destinado a actividades agropecuarias afecta a otros suelos con vegetación natural, además, la presente investigación propuso estrategias de desarrollo sostenible para el correcto manejo del suelo destinado a la población y entidades públicas y privadas.

Cayambe y Simancas (2020) estudiaron la cobertura vegetal mediante SIG para formulación de medidas de recuperación de espacios degradados en la cuenca alta del Río Jubones, utilizaron imágenes satelitales que se obtuvieron de diversas fuentes públicas o privadas para la realización de mapas temáticos, generaron planes estratégicos sobre el cuidado del ecosistema, diferenciando los territorios en el área a intervenir, dirigiendo de manera correcta los mecanismos de recuperación, asegurando la sostenibilidad y sustentabilidad en la cuenca alta, Con este autor se concuerda, puesto que se utilizaron imágenes satelitales las cuales fueron obtenidas de plataformas públicas y privadas para realizar mapas temáticos, posteriormente plantear estrategias de desarrollo sostenible sobre el correcto manejo del terreno y de los recursos naturales existentes, además indicando las zonas afectadas para implementar la reforestación en suelos perturbados con especies endémicas propias de la zona de estudio.

Como lo corroboran Mas *et al.* (2009) en su análisis sobre el cambio en la cobertura y uso del suelo, donde discuten la importancia de estas evaluaciones presentando importantes procesos en el que destaca la deforestación, como resultados obtuvieron un importante incremento de los pastizales y cultivos en ciertas regiones, así como un decremento de las áreas forestales, Este estudio concuerda con la presente investigación puesto que se realizaron las evaluaciones y modelamientos mediante sistemas de información geográfica sobre los cambios de uso del suelo en la zona de estudio, además, son de gran aporte para el análisis y prevención en la pérdida de cobertura vegetal natural.

Por su parte Guailas (2015) realizó un análisis multitemporal sobre el uso del suelo en el cantón Cuenca, en el cual sus resultados indicaron que los factores causantes de la alteración de los usos de suelo fueron: el incremento de

las acciones humanas y evolución natural del hábitat, Dichos resultados concuerdan con la presente investigación en donde se constató que los factores causantes de la pérdida de usos del suelo son las actividades agropecuarias y el crecimiento de la brecha urbana, además, del constante cambio de manera natural que se genera en los ecosistemas a través del año.

Conclusiones

Los principales usos del suelo en la zona de estudio son los eriales y la vegetación Natural. Aunque este último ha experimentado una considerable pérdida de cobertura en la isla, aún representa más del 60% de la cobertura total. En contraste, los terrenos eriales han ganado aproximadamente un 16% de la cobertura total de la isla. En cuanto a la Infraestructura y los terrenos de uso Agropecuario, los cambios en los usos del suelo son poco significativos, siendo la infraestructura la clase que ocupa menos superficie en la isla, seguida por la superficie destinada a actividades agropecuarias.

La transición observada en la cobertura de la isla resulta preocupante, especialmente en el contexto del avance de los terrenos Eriales y el retroceso de la cobertura Vegetal Natural. Otro punto para destacar, aunque con un impacto positivo, es la disminución de los terrenos destinados a actividades Agropecuarias. Aunque no ocupan una extensión tan grande como los Eriales, han experimentado una pérdida aproximada de 1800 hectáreas, lo cual es considerable en términos de producción, considerando que la Isla Santa Cruz es predominantemente rocosa debido a su origen volcánico, lo que naturalmente limita la disponibilidad de nutrientes para cultivos productivos.

Las propuestas desarrolladas para la implementación se alinean con el desarrollo sostenible de la isla, siempre y cuando se realice un correcto ordenamiento y manejo del territorio de manera controlada y rigurosa en todos los niveles. El objetivo es preservar y optimizar el uso de los recursos existentes en el territorio, creando un proceso de mejora continua a través de acuerdos y cumplimiento de la jurisdicción del régimen especial.

Los productores están dispersos, lo que se evidencia en la relación entre la superficie total de cultivo (2,650 ha) y la superficie promedio de cultivo por productor (2.5 ha), lo que dificulta la organización e incursión.

Referencias bibliográficas

- Almeida, P. y Guevara, C. (2015). Uso de los sistemas de información geográfica (SIG) y tecnología espacial para la conservación de los ecosistemas de Galápagos mediante la generación de información básica y de cobertura vegetal y uso del suelo. *Universidad de las Fuerzas Armadas*. [Tesis de maestría, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE].<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/12393>

- Balón, F. y Vera, E. (2018). Análisis de fertilidad de los suelos agrícolas de las Islas Galápagos-Santa Cruz, San Cristóbal, Isabela y Floreana. *Universidad Central del Ecuador*. [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador] <https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/f05b9dc7-7124-4d50-81fb-9b6ab019ab8f/content>
- Barreto, D. (2018). Evaluación multitemporal de cambio de uso del suelo en la Isla Santa Cruz, Galápagos. *Universidad Estatal Amazónica*. [Tesis de grado, Universidad Estatal Amazónica] <https://repositorio.uea.edu.ec/handle/123456789/489>
- Cayambe, M. y Simaneas, P. (2020). Estudio de cobertura vegetal mediante SIG para formulación de medidas de recuperación de espacios degradados en la cuenca alta del río Jubones. *Universidad Agraria del Ecuador*. [Tesis de grado, Universidad Agraria del Ecuador] <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/SINMANCA%20QUIZHPE%20PABLO%20IVAN.pdf>
- Del Toro, N., Gomariz-Castillo, F., Cánovas-García, F. y Alonso-Sarria, F. (2015). Comparación de métodos de clasificación de imágenes de satélite en la cuenca del río Argos (Región de Murcia). *Boletín De La Asociación De Geógrafos Españoles*, (67). <https://doi.org/10.21138/bage.1828>
- Domínguez, G. (2011). Análisis de la variabilidad espacial y temporal de la trascolación en la isla Santa Cruz. *Escuela Politécnica Nacional*. [Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional] <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/3982>
- García, L. (2021). Tipos de uso de suelo y sus características. *Nocnok*. <https://crm.nocnok.com/blog-inmobiliario/tipos-uso-de-suelo>
- Guaillas, M. (2015). Análisis de cambio de cambios de usos de suelo multitemporal en el cantón Cuenca. *Universidad del Azuay*. [Tesis de maestría, Universidad del Azuay] <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/4935?locale=es>
- Lange, G. (2018). Análisis multitemporal de la deforestación y cambio de la cobertura del suelo de la ciudad de Puerto Ayora-Santa Cruz mediante el uso de la teledetección y sistemas de información geográfica. *Universidad de Guayaquil*. [Tesis de grado, Universidad de Guayaquil] <https://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/29495>
- Mas, F., Velázquez, A. y Courtier, S. (2009). La evaluación de los cambios de cobertura/uso del suelo en la República Mexicana. *Investigación ambiental Ciencia y Política pública*. https://www.ccms.org.mx/wp-content/uploads/2014/10/La_evaluacion_de_los_cambios_de_cobertura-uso_de_suelo_en_la_Republica_Mexicana.pdf
- Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica. (2020). Parque Nacional Galápagos, Puerto Ayora, Santa Cruz. *Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica*. <https://www.ambiente.gob.ec/parque-nacional-galapagos/>
- Muñoz, A. (2015). La contradicción del turismo en la conservación y el desarrollo en Galápagos – Ecuador. *Estudios y perspectivas en turismo*, 24(2), 399-413. <https://www.cieturisticos.com.ar/wp/2015/04/01/v24-n2/>
- Nájera, G., Serrano, B., Lemus, C. y Flores, M. (2010). Cambio de cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Mololoa Nayarit. *Revista Bio Ciencias*, 1(1), 19-29. <https://doi.org/10.15741/revbio.01.01.03>
- Plan Galápagos. (2016). Plan de Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial del Régimen Especial de Galápagos, Galápagos: Consejo de Gobierno de Régimen Especial de Galápagos. *Consejo de Gobierno de Régimen Especial de Galápagos*. <https://www.gobiernogalapagos.gob.ec/plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial-de-galapagos/>
- PlanetScope. (2022). Planet imagery product specifications. *Planet*. <https://acortar.link/0fwytQ>
- Saldaña, V. (2019). Análisis de los cambios de cobertura y usos del suelo con imágenes satelitales con imágenes satelitales del distrito de Chancay años 2001 y 2018. *Universidad Nacional de Cajamarca*, Perú. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca] <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/2990>
- Tarapues, A. (2015). Evolución Urbana en Puerto Baquerizo Moreno. *Universidad San Francisco de Quito*, Ecuador. [Tesis de grado, Universidad San Francisco de Quito] https://rraae.cedia.edu.ec/Record/USFQ_8ab057498258bcde74f6f724a716dd2e
- U.S.G.S. (2021). *Landsat 4-7 Collection 2 (C2) Level 2 Science Product (L2SP) Guide*. https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/media/files/LSDS-1618_Landsat-4-7_C2-L2-ScienceProductGuide-v4.pdf



Efecto de la aplicación de microorganismos fijadores de nitrógeno en el desarrollo del cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

Effect of the application of nitrogen-fixing microorganisms on the growth of maize (*Zea mays* L.) crop

Marisol Rivero Herrada¹, Darío Javier Quimi Villanueva¹, Carmen Victoria Marín Cuevas¹, Mayra Carolina Vélez Ruíz¹

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Autor de correspondencia: mrivero@uteq.edu.ec

Recibido: 27/08/2023. Aceptado: 15/01/2024
Publicado el 31 de enero de 2024

Resumen

La aplicación de microorganismos fijadores de nitrógeno ha demostrado beneficios en la nutrición de las plantas. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de microorganismos fijadores de nitrógeno en el crecimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.). En el experimento se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA), con tres repeticiones. Los tratamientos aplicados fueron: T1 - *Paenibacillus polymyxa* 2 L ha⁻¹; T2 - *P. polymyxa* 3 L ha⁻¹; T3 - *P. polymyxa* 4 L ha⁻¹; T4 - *Azotobacter chroococcum* 2 L ha⁻¹; T5 - *A. chroococcum* 3 L ha⁻¹; T6 - *A. chroococcum* 4 L ha⁻¹; T7 - *P. polymyxa* + *A. chroococcum* 2 L ha⁻¹; T8 - *P. polymyxa* + *A. chroococcum* 3 L ha⁻¹; T9 - *P. polymyxa* + *A. chroococcum* 4 L ha⁻¹ y T10 - Control (sin aplicación). Las variables evaluadas fueron: altura de la planta, diámetro del tallo e inserción de la mazorca. Los resultados mostraron que a los 55 días después de la siembra (DDS) del cultivo se obtuvo un buen crecimiento de las plantas de maíz con altura de 182,01 cm y diámetro del tallo de 20,14 mm con la aplicación del tratamiento T9 - *P. polymyxa* + *A. chroococcum*. Además, la inserción de la mazorca también fue a los 120 cm de altura, para este mismo tratamiento.

Palabras clave: microorganismos, crecimiento, nitrógeno, agroecología, mazorca.

Abstract

The application of nitrogen-fixing microorganisms has shown benefits in plant nutrition. This research aimed to evaluate the effect of the application of nitrogen-fixing microorganisms on the growth of corn (*Zea mays* L.) crops. The experiment used a randomized complete block design (RCDB), with three repetitions. The treatments applied were: T1 - *Paenibacillus polymyxa* 2 L ha⁻¹; T2 - *P. polymyxa* 3 L ha⁻¹; T3 - *P. polymyxa* 4 L ha⁻¹; T4 - *Azotobacter chroococcum* 2 L ha⁻¹; T5 - *A. chroococcum* 3 L ha⁻¹; T6 - *A. chroococcum* 4 L ha⁻¹; T7 - *P. polymyxa* + *A. chroococcum* 2 L ha⁻¹; T8 - *P. polymyxa* + *A. chroococcum* 3 L ha⁻¹; T9 - *P. polymyxa* + *A. chroococcum* 4 L ha⁻¹ y T10 - Control (without application). The variables evaluated were: plant height, stem diameter and insertion of the cob. The results showed that at 55 days after sowing (DDS) of the crop, good growth was obtained in the corn plants with a height of 182.01 cm and stem diameter of 20.14 mm with the application of the T9 - *P. polymyxa* + *A. chroococcum*. In addition, the insertion of the cob was also at 120 cm in height, for this same treatment.

Keywords: microorganisms, growth, nitrogen, agroecology, cob.

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo de importancia económica a nivel mundial, debido a su utilidad como alimento para humanos y ganado, además de ser fuente de un gran número de productos industriales (Guamán *et al.*, 2020). El maíz es una planta con capacidad de crecimiento rápido y alta producción que requiere cantidades considerables de nutrientes. La demanda de nitrógeno del cultivo del maíz aumenta conforme la planta se desarrolla; cuando se aproxima el momento de la floración, la absorción de este elemento crece rápidamente, en tal forma que, al aparecer las flores femeninas, la planta ha absorbido más de la mitad del total extraído durante todo el ciclo. Los híbridos de alto rendimiento en grano necesitan unos 30 kg de nitrógeno (N) por cada tonelada de grano producida (Deras, 2011).

Una alternativa al uso de los agroquímicos para suministrar el N y otros elementos a las plantas es la fertilización biológica, la cual proporciona a las plantas sus requerimientos nutricionales a través de las diversas funciones que presentan algunos microorganismos como hongos y bacterias. Estos microorganismos han demostrado tener la capacidad de promover de manera directa e indirecta el crecimiento vegetal y la mayoría de ellos forman una asociación simbiótica con las raíces de las plantas (Hodge, 2015).

La bacteria *Azotobacter* tiene la eficiencia de fijar alrededor de 20 kg ha⁻¹ de N por año, puede aplicarse con éxito en la producción de cultivos como alternativa para al menos una parte de los fertilizantes nitrogenados minerales (Esmailpour, 2013). Las especies de *Paenibacillus* pueden influir directamente en el crecimiento de las plantas al producir ácido indol-3-acético (IAA) y otras fitohormonas como las auxinas, solubilizando el fósforo inaccesible en una forma que puede ser absorbida por las raíces de las plantas, y algunas especies también pueden fijar nitrógeno atmosférico. Además, *Paenibacillus* ayuda a controlar los fitopatógenos activando la resistencia sistémica inducida (ISR) y produciendo una variedad de sustancias biosidas (Weselowski *et al.*, 2016).

El nitrógeno es uno de los nutrientes más utilizados por los agricultores ya que mejoran ampliamente los rendimientos, pero este elemento se encuentra deficiente en el suelo, debido al uso excesivo de los fertilizantes químicos. La fertilización del cultivo del maíz en las fincas de los agricultores, en su gran mayoría se basa en la aplicación de los fertilizantes nitrogenados de síntesis química, sin un sustento técnico que garantice una eficiente asimilación de este elemento, provocando que la planta no reciba el nitrógeno de forma adecuada, por lo que se afectan los rendimientos y hay pérdidas económicas por el mal uso de los recursos y contaminación ambiental. Una de las alternativas para resolver este problema es la aplicación de los microorganismos fijadores de N con las bacterias *Paenibacillus polymyxa* y *Azotobacter* que tienen un efecto estimulante en los indicadores de crecimiento y el rendimiento del cultivo de maíz.

El cultivo del maíz en la parroquia San Carlos del cantón Quevedo provincia de Los Ríos presenta problemas de crecimiento y bajos rendimientos, la aplicación de microorganismos fijadores de nitrógeno puede constituir una alternativa biológica que promueva el incremento del crecimiento del cultivo de maíz.

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de microorganismos fijadores de nitrógeno en el crecimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.).

Materiales y métodos

La investigación se realizó en un suelo franco arcilloso de la finca “El Provenir” de la señora Antonieta Saa, ubicada en la parroquia San Carlos del cantón Quevedo de la provincia de Los Ríos. La localidad donde se realizó la investigación tiene en promedio 24.2 °C de temperatura, 75% de humedad relativa y 2,252.2 mm de precipitación, según registros de la Estación Experimental Pichilingue (INIAP, 2020).

Se utilizó como material genético de siembra el híbrido comercial de maíz Somma, que es un híbrido de maíz amarillo, con ciclo vegetativo de 125 días promedios. Entre sus principales características se destacan el buen potencial de rendimiento con promedio de 8.5 t ha⁻¹ (seco y limpio), tolerancia a las principales enfermedades tropicales de hoja y de mazorca. Además, posee un buen rendimiento en trilla y uniformidad en altura de inserción de mazorca, la misma que es de forma cónica. Tiene entre 55-56 días a floración, altura de la planta promedio es de 207 cm (Syngenta, 2021).

Se utilizó un diseño experimental de Completos al Azar (DBCA), con diez tratamientos en tres repeticiones (Tabla 1). Las variables de respuesta fueron sometidas al análisis de varianza ANOVA, se utilizó la prueba de comparación múltiple de Tukey al 0.05% de probabilidad del error para la comparación de las medias de los tratamientos. La tabulación de los datos obtenidos se la efectuó en Excel 2016, mientras que para el procesamiento estadístico se utilizó el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2020).

Durante el desarrollo del experimento se realizaron todas las labores y prácticas agrícolas que requiere el cultivo, para su normal crecimiento y desarrollo según lo indicado por (INIAP, 2014).

La bacteria *Paenibacillus polymyxa* se obtuvo del producto comercial “Fijador de Nitrógeno[®]” con una concentración de 7x10¹¹ UFC L⁻¹. La bacteria *Azotobacter chroococcum* cepa BP121, fue obtenida del producto comercial “NITROGEL[®] SC (Suspensión Concentrada). La aplicación se realizó en la siembra, a los 25 y 40 días después de la siembra (DDS). Se procedió a inocular las semillas antes de la siembra con los productos biológicos por un tiempo de dos horas, considerada esta la primera aplicación, a los 25 DDS se hizo la segunda aplicación en el cultivo y la tercera aplicación a los 40 DDS, de forma foliar asperjando sobre las plantas, usando una bomba de mochila, previamente calibrada y para una mejor

eficiencia se utilizó una boquilla de abanico estándar 110°-01 para presión de 1.5-4 kg cm².

Se evaluaron diez plantas al azar por tratamiento dentro de la parcela útil de cada unidad experimental en dos momentos del desarrollo de la planta (45 y 55 DDS), en las que se midió la altura de la planta, diámetro del tallo y altura de inserción de mazorca. La altura de la planta se midió con una cinta métrica (cm), desde la base del tallo hasta la inserción de la

inflorescencia masculina y para la variable diámetro del tallo se utilizó un calibrador (mm), midiendo en la parte media del tallo de la planta. La variable altura de inserción de la mazorca se realizó antes de la cosecha y se determinó por la distancia (cm) comprendida entre el nivel del suelo hasta el punto de inserción de la mazorca principal.

Tabla 1. Tratamientos estudiados

Microorganismos fijadores de nitrógeno		Dosis (L ha ⁻¹)
T1	Paenibacillus polymyxa	2.0 L ha ⁻¹
T2	Paenibacillus polymyxa	3.0 L ha ⁻¹
T3	Paenibacillus polymyxa	4.0 L ha ⁻¹
T4	Azotobacter chroococcum	2.0 L ha ⁻¹
T5	Azotobacter chroococcum	3.0 L ha ⁻¹
T6	Azotobacter chroococcum	4.0 L ha ⁻¹
T7	P. polymyxa + A. chroococcum	1 L ha ⁻¹ + 1 L ha ⁻¹
T8	P. polymyxa + A. chroococcum	1.5 L ha ⁻¹ + 1.5 L ha ⁻¹
T9	P. polymyxa + A. chroococcum	2.0 L ha ⁻¹ + 2.0 L ha ⁻¹
T10	Control (sin aplicación)	

Tabla 2. Altura de la planta de maíz a los 45 y 55 días (AP) después de la siembra en respuesta a la aplicación de los tratamientos en estudio

	Microorganismos fijadores de nitrógeno	Dosis (L ha ⁻¹)	AP45 (cm)	Sig	AP55 (cm)	Sig
T1	Paenibacillus polymyxa	2.0 L ha ⁻¹	145,98	e f	147,94	d
T2	Paenibacillus polymyxa	3.0 L ha ⁻¹	169,28	bc	170,00	b
T3	Paenibacillus polymyxa	4.0 L ha ⁻¹	158,89	cd	160,01	c
T4	Azotobacter chroococcum	2.0 L ha ⁻¹	145,67	f	147,14	d
T5	Azotobacter chroococcum	3.0 L ha ⁻¹	157,08	d	158,8	c
T6	Azotobacter chroococcum	4.0 L ha ⁻¹	174,54	ab	175,09	ab
T7	P. polymyxa + A. chroococcum	1 L ha ⁻¹ + 1 L ha ⁻¹	156,32	d	157,66	c
T8	P. polymyxa + A. chroococcum	1.5 L ha ⁻¹ + 1.5 L ha ⁻¹	168,45	bc	169,06	b
T9	P. polymyxa + A. chroococcum	2 L ha ⁻¹ + 2 L ha ⁻¹	181,42	a	182,01	a
T10	Control (sin aplicación)		138,5	f	144,54	d
	Promedio		159,61		161,22	
	CV (%)		2,10		1,80	
	E. E		10,61		8,73	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes, según la prueba de Tukey (p > 0.05). Sig (Significancia). CV (Coeficiente de variación)

Resultados

Los resultados del análisis de varianza para la variable altura de la planta a los 45 y 55 días después de la siembra (DDS) reflejaron significancia estadística ($p < 0.05$) entre los tratamientos (Tabla 2). La mayor altura de la planta a los 45 días la obtuvo el tratamiento T9 (*P. polymyxa* + *A. chroococcum*, 2.0 L ha⁻¹ + 2.0 L ha⁻¹) con 181.42 cm, siendo significativamente superior al resto de tratamientos, excepto al T6 (*A. chroococcum* 4.0 L ha⁻¹). El valor promedio para esta variable fue de 159.61 cm.

A los 55 DDS, las plantas también alcanzaron la mayor altura con el tratamiento T9 (*P. polymyxa* + *A. chroococcum*), seguido de T6 (*A. chroococcum* 4.0 L ha⁻¹), difiriendo significativamente ($p < 0.05$) con el resto de los tratamientos, incluyendo al control T10 (sin aplicación) que alcanzó la menor altura con un valor de 144.54 cm. Se obtuvo un valor promedio en el crecimiento de la planta en altura a los 55 DDS de 161.22 cm (Tabla 2).

Para la variable diámetro del tallo de la planta de maíz (Tabla 3) a los 45 y 55 DDS en respuesta a la aplicación de los tratamientos en estudio, se pudo apreciar que se

registró significancia estadística ($p < 0.05$) entre estos. El mejor tratamiento a los 45 DDS fue T9 (*P. polymyxa* + *A. chroococcum*, 2 L ha⁻¹ + 2 L ha⁻¹) que obtuvo un diámetro de 20.2 mm, seguido del T6 (*A. chroococcum* 4.0 L ha⁻¹) y T3 (*P. polymyxa* 4.0 L ha⁻¹), que alcanzaron también los mayores valores del diámetro del tallo, con 19.56 y 19.51, respectivamente. Todos los tratamientos difieren estadísticamente con el control (sin aplicación) que registró el menor diámetro de tallo con 15.86 cm. El valor promedio para esta variable fue de 18.43 cm (Tabla 3).

A los 55 días después de la siembra también se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos en la variable del diámetro del tallo (Tabla 3). El mayor diámetro de tallo se obtuvo con el tratamiento T9 (*P. polymyxa* + *A. chroococcum*, 2 L ha⁻¹ + 2 L ha⁻¹), con 20.14 mm, seguido del T6 (*A. chroococcum* 4.0 L ha⁻¹), con 19.72 mm y T3 (*P. polymyxa* 4.0 L ha⁻¹), con 19.56 mm. Los tratamientos que tuvieron menores diámetros de tallo fueron T4 (*A. chroococcum* 2.0 L ha⁻¹), con 17.70 mm y T10 control (sin aplicación) con un valor de 16.60 cm, sin diferencias significativas entre ellos.

Tabla 3. Diámetro del tallo a los 45 y 55 días (DT45) después de la siembra en respuesta a la aplicación de los tratamientos en estudio

	Microorganismos fijadores de nitrógeno	Dosis (L ha ⁻¹)	DT45 (mm)	Sig	DT55 (mm)	Sig
T1	<i>Paenibacillus polymyxa</i>	2.0 L ha ⁻¹	17,65	b	17,77	d e
T2	<i>Paenibacillus polymyxa</i>	3.0 L ha ⁻¹	18,9	a b	18,69	a b c d e
T3	<i>Paenibacillus polymyxa</i>	4.0 L ha ⁻¹	19,51	a	19,56	a b c
T4	<i>Azotobacter chroococcum</i>	2.0 L ha ⁻¹	17,59	b	17,7	e
T5	<i>Azotobacter chroococcum</i>	3.0 L ha ⁻¹	18,44	a b	18,39	b c d e
T6	<i>Azotobacter chroococcum</i>	4.0 L ha ⁻¹	19,56	a	19,72	a b
T7	<i>P. polymyxa</i> + <i>A. chroococcum</i>	1 L ha ⁻¹ + 1 L ha ⁻¹	17,79	b	17,95	c d e
T8	<i>P. polymyxa</i> + <i>A. chroococcum</i>	1.5 L ha ⁻¹ + 1.5 L ha ⁻¹	19,05	a b	19,23	a b c d e
T9	<i>P. polymyxa</i> + <i>A. chroococcum</i>	2 L ha ⁻¹ + 2 L ha ⁻¹	20,02	a	20,14	a
T10	Control (sin aplicación)		15,86	c	16,6	e
	Promedio		18,43		18,57	
	CV (%)		2,00		2,13	
	E. E		0,14		0,16	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes, según la prueba de Tukey ($p > 0.05$). Sig (Significancia). CV (Coeficiente de variación)

Los resultados del análisis estadístico para a variable altura de inserción de la mazorca se presentan en la Figura 1. El tratamiento T9 (*P. polymyxa* + *A. chroococcum*, 2 L ha⁻¹ + 2 L ha⁻¹), obtuvo la mayor altura de inserción de mazorca en la planta de maíz, con un valor de 118.51 cm, difiriendo significativamente ($p < 0.05$) con el resto de los tratamientos estudiados.

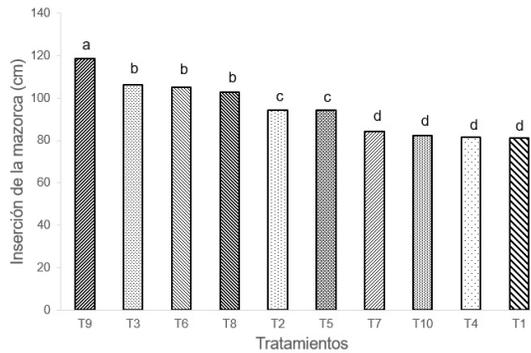


Figura 1. Inserción a la mazorca en respuesta a la aplicación de los tratamientos en estudio

Medias con una letra común no son significativamente diferentes, según la prueba de Tukey ($p > 0.05$). CV=1, 61. E.E = 2.40. Promedio= 95.01 cm. T1 (*Paenibacillus polymyxa* 2.0 L ha⁻¹), T2 (*P. polymyxa* 3.0 L ha⁻¹), T3 (*P. polymyxa* 4.0 L ha⁻¹), T4 (*Azotobacter chroococcum* 2.0 L ha⁻¹), T5 (*A. chroococcum* 3.0 L ha⁻¹), T6 (*A. chroococcum* 4.0 L ha⁻¹), T7 (*P. polymyxa* + *A. chroococcum* 1 L ha⁻¹ + 1 L ha⁻¹), T8 (*P. polymyxa* + *A. chroococcum* 1.5 L ha⁻¹ + 1.5 L ha⁻¹) T9 (*P. polymyxa* + *A. chroococcum* 2 L ha⁻¹ + 2 L ha⁻¹) y T10 (Control - sin aplicación). T10 Control (sin aplicación)

Discusión

Los resultados obtenidos en la presente investigación dan un punto de partida para la mejoría de la sustentabilidad agrícola en los sistemas de producción maicero con el uso de productos biológicos a base de bacterias fijadoras de nitrógeno, que pueden incrementar el nitrógeno en la planta y por tanto se pueden obtener al inicio discretos beneficios económicos. En tal sentido al combinarse los microorganismos o bacterias como *P. polymyxa* y *A. chroococcum* se incrementó el crecimiento de la planta del maíz. Este resultado se puede atribuir a un efecto de la combinación de los productos biológicos en un agroecosistema con un manejo convencional (degradado por el uso excesivo de los agroquímicos), donde se aplicaron por primera vez los productos (BFN). Estos microorganismos han demostrado tener la capacidad de promover de manera directa e indirecta el crecimiento vegetal, la mayoría de ellos forman una asociación simbiótica con las raíces de las plantas (Hodge, 2015).

La primera aplicación de los tratamientos se hizo con la inoculación de la semilla con las BFN, para la siembra

del maíz y se observó un beneficio en el crecimiento de las plantas (AP45, DT45, AP55 y DT55) tratadas en relación con el testigo sin aplicación. Al respecto Tanya (2019) considera que desde el punto de vista agrícola los microorganismos eficientes (ME) promueven la germinación de semillas, favorecen, el crecimiento y desarrollo de los frutos y permiten una reproducción más exitosa en las plantas. Adicionalmente se ha demostrado que mejoran la estructura física de los suelos, incrementan la fertilidad química de los mismos y suprimen a varios agentes patógenos causantes de enfermedades en numerosos cultivos. Desde el punto de vista sociológico se ha determinado que los ME incrementan la capacidad fotosintética de los cultivos, así como su capacidad para absorber agua y nutrientes. Además, mejoran la calidad y reducen los tiempos de maduración de abonos orgánicos, en particular, el composteo.

El tratamiento T6 (*A. chroococcum* 4.0 L ha⁻¹) también tuvo efecto sobre los indicadores de crecimiento de la planta de maíz, al parecer la inoculación directa de las semillas con la bacteria generó el efecto de simbiosis que se establece entre las raíces de las plantas y el suelo, logrando mejor fijación de N. Las bacterias *Azotobacter* son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico en el suelo, fijan aproximadamente 20 mg N/g de azúcar en el cultivo o puro en un medio libre de nitrógeno siendo una fuente para obtener un biofertilizante. Así mismo los microorganismos de alta biotecnología, aumentan la capacidad de intercambio catiónico, mejoran la estructura del suelo, aportan bacterias fijadoras de nitrógeno al suelo, también disminuyen las incidencias de plagas y enfermedades en los cultivos, se reduce la aplicación de pesticidas, disminuye la aplicación de abono químico, la aplicación edáfica y foliar en pre y post-siembra, floración y fructificación (Andrade, 2019).

Tanto las variables de crecimiento estudiadas mostraron un incremento moderado con respecto a las aplicaciones de los dos tipos de microorganismos, en el caso del *P. polymyxa* parece ser que su combinación con el *A. chroococcum*, donde se mezclaron 2.0 L de cada producto, se reforzaron los efectos y la influencia fue mejor, tal y como lo considera Weselowski *et al.* (2016) las especies de *Paenibacillus* asociadas a plantas pueden influir directamente en el crecimiento de las plantas al producir ácido indol-3-acético (IAA) y otras fitohormonas auxinas, solubilizando el fósforo inaccesible en una forma que puede ser absorbida por las raíces de las plantas, y algunas especies también pueden fijar nitrógeno atmosférico. Además, *Paenibacillus* ayuda a controlar los fitopatógenos activando la resistencia sistémica inducida (ISR) y/o produciendo una variedad de sustancias biosidas.

Los microorganismos de importancia agrícola representan una estrategia ecológica clave hacia el desarrollo integrado de prácticas tales como manejo de nutrientes, enfermedades y plagas, con miras a reducir el uso de productos químicos en la agricultura, así como para mejorar el rendimiento de los cultivos (Bhattacharyya *et al.*, 2016).

Paramanandham *et al.* (2017) refieren que el uso de

los microorganismos en los sistemas agrícolas, conllevan a un aumento y desarrollo de las plantas y suprimen las enfermedades. Las influencias beneficiosas incluyen la fijación de nitrógeno, la absorción de los nutrientes principales, la promoción del crecimiento de ramas y raíces, el control o la supresión de enfermedades y la mejora de la estructura del suelo (Vadakattu, 2012). Lo anterior tributa a los resultados obtenidos en esta investigación, partiendo del hecho que fue la primera práctica agrícola orgánica con productos biológicos que recibió este sistema y que se partió de un problema de degradación y contaminación por el uso inadecuado de los productos químicos y a pesar de tratarse de un Híbrido Somma importante por tener rendimientos promedios de 8.5 Mg ha⁻¹, se obtuvo un crecimiento óptimo del cultivo con la aplicación de la mayor dosis de microorganismos fijadores de nitrógeno.

Con los aportes científicos de esta investigación se puede destacar la importancia de implementar el uso de las bacterias fijadoras de Nitrógeno como fuentes de suministro de este importante elemento para el crecimiento y desarrollo de la planta, a la vez se reconoce la necesidad de seguir investigando la combinación de esta técnica con la otras alternativas ecológicas que permitan llegara a establecer tecnologías de los sistemas de producción en el cultivo del maíz hacia la sostenibilidad agrícola, para promover el rendimiento y productividad de este cultivo de considerable importancia económica para el país.

Conclusiones

A los 55 días después de la siembra (DDS) del cultivo se obtuvo un buen crecimiento de las plantas de maíz con altura de 182.01 cm, y diámetro del tallo de 20.14 mm con la aplicación del tratamiento T9 (*P. polymyxa* + *A. chroococcum* 2 L ha⁻¹ + 2 L ha⁻¹). Además, la inserción de la mazorca también fue a los 120 cm de altura de la planta, para este mismo tratamiento.

Referencias bibliográficas

- Andrade, J. (2019). Efecto de la inoculación con *Azotobacter* sp. en el crecimiento de plantas injertadas de cacao (*Theobroma cacao* L.), genotipo nacional, en la provincia de Esmeraldas. Escuela Politécnica Nacional, Quito. [Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional]
- Bhattacharyya, P., Goswami, M. y Bhattacharyya, L. (2016). Perspective of beneficial microbes in agriculture under changing climatic scenario: A review. *Journal of Phytology*, 8, 26-41. doi:doi: 10.19071/jp.2016.v8.3022
- Deras Flores, H. (2011). El cultivo del maíz. Guía Técnica. San Salvador: IICA. Instituto Latinoamericano de Cooperación para la Agricultura. Recuperado el septiembre de 15 de 2021, de <https://repositorio.iica.int/handle/11324/11893>.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo, C. (2020). InfoStat versión 2019. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba-Argentina, Obtenido de <http://www.infostat.com.ar>.
- Esmailpour, A. H. (2013). Impact of Livestock Manure, Nitrogen and Biofertilizer (*Azotobacter*) on Yield and Yield Components Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Cercetari Agronomice in Moldova*, 46(2).
- Guamán Guamán, R. N., Desiderio Vera, T. X., Villavicencio Abril, Á. F., Ulloa Cortázar, S. M. y Romero S. E. J. (2020). Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) utilizando cuatro híbridos. *Siembra*, 7(2), 47-56.
- Hodge, A. (2015). Arbuscular mycorrhiza and nitrogen: implications for individual plants through to ecosystems. *Plant Soil* 386, 1-19. doi:<https://doi.org/10.1007/s11104-014-2162-1>
- INIAP.(2014). Maíz duro. Obtenido de INIAP: <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mcereal/rmaizd>
- INIAP. 2020. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Estación Experimental Tropical Pichilingue, Mocache, Ecuador.
- Paramanandham, P., Rajkumari, J., Pattnaik, S. y Busi, S. (2017). Biocontrol Potential Against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* and *Alternaria solani* and Tomato Plant Growth Due to Plant Growth-Promoting Rhizobacteria. *International Journal of Vegetable Science*, 23(4), 294-303.
- Syngenta.(2021). Ecuador. <https://www.syngenta.com.ec/somma>
- Tanya Morocho, M. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro Agrícola*, 46(2), 93-103.
- Vadakattu, G. (2012). Beneficial microorganisms for sustainable agriculture. *Official Journal of the Australian Society for Microbiology INC*, 33(3), 113-115.
- Weselowski, B. N.-C. (2016). Isolation, identification and characterization of *Paenibacillus polymyxa* CR1 with potentials for biopesticide, biofertilization, biomass degradation and biofuel production. *BMC Microbiology*, 16(1), 1-10.



Sensibilidad *in vitro* de *Gammarus pulex* a la exposición controlada de Sulfatos de Cobre y Aluminio

In vitro sensitivity of *Gammarus pulex* to controlled exposure to Copper and Aluminum Sulfates

Angel Virgilio Cedeño Moreira¹, Ketty Vanessa Arellano Ibarra¹, Cristhian John Macias Holguín¹, Daysi Katherine Puente Bosquez¹, Genesis Alondra Molina Sanchez¹, Pablo Cesar Ramos Corrales¹

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Autor de correspondencia: acedenom@uteq.edu.ec

Recibido: 4/10/2023. Aceptado: 14/01/2024

Publicado el 31 de enero de 2024

Resumen

Los ecosistemas acuáticos, vitales para la purificación del agua, la regulación climática y la preservación de la biodiversidad, se encuentran amenazados por la creciente liberación de contaminantes, entre los cuales destacan el sulfato de cobre y el sulfato de aluminio. Estos compuestos ejercen graves efectos en la salud de los organismos acuáticos y la integridad de sus nichos biológicos. Este estudio se enfoca en *Gammarus pulex*, un indicador altamente sensible de la contaminación en hábitats acuáticos. Para abordar esta investigación, se implementó una metodología rigurosa que abarcó desde el aislamiento y la identificación de individuos de *G. pulex* hasta su aclimatación y posterior exposición controlada a sulfato de cobre y aluminio. La evaluación integral de los efectos de esta exposición incluyó análisis morfométricos y poblacionales detallados. Los resultados revelaron que todas las concentraciones estudiadas de estos contaminantes provocaron reducciones significativas en el crecimiento de las poblaciones de *G. pulex*. Destacando, de manera preocupante, que el tratamiento con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ durante un período de exposición de 48 horas y a una concentración de 40 ppm resultó en una mortalidad del 100%. En conjunto, estos hallazgos subrayan la urgente necesidad de abordar la contaminación por sulfato de cobre y sulfato de aluminio en los ecosistemas acuáticos, reconociendo la vulnerabilidad de especies clave como *G. pulex*. La preservación de la salud de estas poblaciones y la conservación de la integridad de los ecosistemas acuáticos son esenciales para garantizar el funcionamiento adecuado y la sostenibilidad de estos valiosos hábitats.

Palabras clave: Vulnerabilidad; poblacionales; organismos; ecosistemas; preservación.

Abstract

Aquatic ecosystems, essential for water purification, climate regulation and biodiversity conservation, face increasingly worrying threats due to the release of contaminants, including copper sulfate and aluminum sulfate. These compounds, exert serious adverse effects on the health of aquatic organisms and the integrity of their biological niches. This study focuses on *Gammarus pulex*, a highly sensitive indicator of pollution in aquatic habitats. To address this research, a rigorous methodology was implemented that ranged from the isolation and identification of *G. pulex* individuals to their acclimatization and subsequent controlled exposure to copper and aluminum sulfate. Comprehensive evaluation of the effects of this exposure included in detailed morphometric and population analyses. The results revealed that all studied concentrations of these contaminants caused significant reductions in the growth of *G. pulex* populations. Noting, worryingly, that treatment with $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ during an exposure period of 48 hours and at a concentration of 40 ppm resulted in 100% mortality. Together, these findings underscore the urgent need to address copper sulfate and aluminum sulfate pollution in aquatic ecosystems, recognizing the vulnerability of key species such as *G. pulex*. Preserving the health of these populations and conserving the integrity of aquatic ecosystems is essential to ensure the proper functioning and sustainability of these valuable habitats.

Keywords: vulnerability; population; organisms; ecosystems; preservation

Introducción

Los ecosistemas acuáticos representan uno de los biomas más vitales de nuestro planeta, proporcionando servicios ecológicos cruciales como la purificación del agua, la regulación del clima y el sustento de una rica diversidad biológica (Buonocore *et al.*, 2021). Los océanos, en particular, funcionan como sumideros de carbono, absorbiendo grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico. Este proceso ayuda a mitigar el cambio climático al reducir la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, además de influir en los patrones climáticos globales y locales. La influencia de los ecosistemas acuáticos en la regulación del clima se extiende a través de la evapotranspiración, la liberación de humedad y la formación de nubes, contribuyendo a la estabilidad climática en diversas regiones del mundo (Ferreira *et al.*, 2023; Assefa *et al.*, 2021).

Por otra parte, los ecosistemas acuáticos albergan una asombrosa diversidad biológica. Desde las diminutas fitoplancton y zooplancton que forman la base de la cadena alimentaria acuática, estos entornos son cunas de vida y esenciales para la subsistencia de numerosas especies, incluyendo al ser humano, que depende de los recursos acuáticos para alimentarse y para su sustento económico (Wei *et al.*, 2023). Sin embargo, estos entornos frágiles están bajo una creciente presión debido a la liberación de contaminantes de diversas fuentes antropogénicas, lo que amenaza su salud y estabilidad. Entre los contaminantes más preocupantes en ecosistemas acuáticos se encuentran el sulfato de cobre y el sulfato de aluminio, dos compuestos químicos utilizados extensamente en la agricultura y la industria (Gomes *et al.*, 2017).

El sulfato de cobre, un compuesto ampliamente utilizado en la agricultura y la industria, y el sulfato de aluminio, un fungicida de uso común en la agricultura, son responsables de una serie de problemas ambientales graves cuando son liberados en entornos acuáticos. Estos contaminantes pueden tener efectos adversos en la salud de los organismos acuáticos, alterando la dinámica de las poblaciones y afectando la calidad del agua en términos generales (Tleuova *et al.*, 2020; Solís, 2022).

La extensa aplicación de estos compuestos no está exenta de consecuencias ambientales significativas. Cuando estos productos químicos ingresan a los ecosistemas acuáticos, ya sea a través de la escorrentía agrícola, el lavado de equipos o las filtraciones industriales, su impacto puede ser profundo y sostenido. Los problemas ambientales que surgen de la liberación de sulfato de cobre y sulfato de aluminio son multifacéticos y abarcan una serie de ámbitos cruciales (Kirk y Andreescu, 2019).

Uno de los problemas más evidentes es el efecto adverso que tienen sobre la salud de los organismos acuáticos (Hadjipanagiotou *et al.*, 2020). La exposición a concentraciones elevadas de sulfato de cobre puede causar daño tóxico a los

tejidos, interferir con las funciones metabólicas y reducir la capacidad de los organismos para resistir enfermedades y depredadores. Por su parte, el sulfato de aluminio, aunque destinado principalmente a combatir hongos, puede tener impactos indirectos en otros componentes de los ecosistemas acuáticos al alterar la disponibilidad de recursos y, en última instancia, desencadenar efectos en cascada en las cadenas tróficas acuáticas (Izdihar *et al.*, 2023; Runkle *et al.*, 2017).

Estos contaminantes también pueden modificar drásticamente la dinámica de las poblaciones en ecosistemas acuáticos. La eliminación selectiva de especies sensibles o la proliferación de organismos resistentes pueden perturbar el equilibrio natural de los ecosistemas y llevar a cambios indeseados en la estructura y la función de la comunidad biológica (Anderson *et al.*, 2021).

Dentro de este contexto, el género *Gammarus*, y específicamente la especie *Gammarus pulex*, se ha destacado como un organismo indicador sensible a la contaminación en ecosistemas acuáticos. Los microorganismos de agua dulce del género *Gammarus* son crustáceos anfipodos que ocupan una posición crítica en las cadenas tróficas acuáticas, desempeñando un papel fundamental en la transferencia de energía y nutrientes en estos ecosistemas (Cikcikoglu *et al.*, 2022). Dada su posición ecológica y su alta sensibilidad a cambios en las condiciones del agua, *G. pulex* se ha convertido en un modelo valioso para el estudio de la toxicidad de contaminantes en ambientes acuáticos (Tatar y Türkmenoğlu, 2020; Serdar *et al.*, 2019).

El presente trabajo se centra en investigar la sensibilidad *in vitro* de *G. pulex* ante la exposición a dos de los contaminantes más prevalentes y preocupantes en ecosistemas acuáticos como son el sulfato de cobre y el sulfato de aluminio. A través de una serie de ensayos de laboratorio rigurosamente diseñados, se busca comprender en profundidad cómo estos contaminantes afectan a nivel morfológico y fisiológico a los individuos de *G. pulex*. Además, se pretende arrojar luz sobre la posible implicación de esta especie en la evaluación de la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos en presencia de estos contaminantes.

Este estudio se presenta como un paso crucial hacia una mejor comprensión de la respuesta de los organismos acuáticos a la contaminación y, en última instancia, hacia la formulación de estrategias más efectivas para la conservación y protección de nuestros valiosos ecosistemas acuáticos.

Materiales y métodos

Aislamiento de *Gammarus* sp.

Se colectaron y procesaron muestras de agua en un reservorio ubicado en el Campus La María de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, situado en el cantón Mocache, provincia de Los Ríos. Cada muestra tenía un volumen de 1 litro y fue cuidadosamente almacenada en recipientes de vidrio para su posterior transporte al Laboratorio de Biología y Microbiología

de la Facultad de Ciencias Pecuarias y Biológicas.

Las muestras fueron sometidas a un proceso de análisis individual, en el que se realizaron observaciones para identificar a los individuos adultos utilizando un estereomicroscopio de la marca Boeco, en una aproximación de aumento de 10x. Posteriormente, estos individuos fueron cuidadosamente separados y colocados en recipientes de vidrio que contenían agua de estanque previamente filtrada y esterilizada. A estos individuos separados se les proporcionó alimento en forma de extracto de levadura con una concentración de 0.5 g/L, y se los mantuvo bajo un fotoperiodo de 12 horas. Este procedimiento se llevó a cabo con el objetivo de preparar adecuadamente a los organismos para su posterior estudio y análisis en el laboratorio.

Análisis morfológico

Se realizaron mediciones morfológicas en individuos adultos con el propósito de caracterizar aspectos relacionados a su tamaño, forma y estructuras anatómicas. Además, se tomaron muestras aleatorias de la población para registrar datos biométricos, como la longitud corporal, el ancho de la cabeza, la longitud de los apéndices. Estos procedimientos analíticos permitieron la identificación precisa de la especie bajo estudio.

Evaluación de la dinámica de crecimiento con diferentes dietas alimenticias

Las poblaciones previamente establecidas e identificadas fueron sometidas a distintos regímenes de alimentación con el objetivo de optimizar su desarrollo y adaptabilidad. Para este propósito, se diseñaron tres dietas específicas: Dieta A, que consistió en harina de maíz 1g/L; Dieta B, que incluyó levadura de cerveza 0.20 g/L y espirulina 0.30 g/L; y Dieta C, que se basó en levadura de cerveza 0.25 g/L. Además, se incluyó un grupo de control que recibió agua de estanque sin adición de alimento.

A lo largo del estudio, se realizaron registros de datos de crecimiento en intervalos de tres días con el propósito de determinar la cantidad de individuos desarrollados, comenzando con una población inicial de 10 ejemplares de *G. pulex*.

Temperatura óptima de desarrollo

Una vez determinada la dieta óptima, se procedió a llevar a cabo un ensayo con el fin de determinar la temperatura óptima para el desarrollo poblacional de las cepas de *G. pulex*. Para este propósito, se seleccionaron 10 individuos adultos, los cuales fueron transferidos a contenedores de vidrio de 100 mL que contenían agua de estanque estéril. Además, se suministró una dieta compuesta por levadura de cerveza y espirulina en una concentración de 0.5 g/L.

Cada uno de los contenedores fue colocado en una cámara de incubación con una temperatura ajustada a 24, 28, 32, 36 y 40 °C, respectivamente. Se instaló un foco LED en la cámara de incubación para proporcionar un fotoperiodo de 12 horas.

El oxígeno fue suministrado mediante un aireador marca JAD con capacidad de 68 Lph, manteniendo los valores de oxígeno disuelto con valores superiores a 86%. El ensayo se llevó a cabo durante un período de 21 días, tras el cual se realizaron las evaluaciones del número de individuos juveniles y adultos.

Mortalidad de *G. pulex* expuesto a sulfato de cobre y Sulfato de aluminio

Para llevar a cabo el ensayo de mortalidad, se asignó un total de 40 individuos a cada tratamiento, distribuidos en 2 grupos compuestos por 20 individuos cada uno. Estos grupos fueron sometidos a una dieta que incluía levadura de cerveza a una concentración de 0.2 g/L y espirulina a 0.3 g/L a lo largo de todo el ensayo, iniciando esta alimentación 5 días antes de la aplicación de sulfato de cobre (CuSO_4) y sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$).

La metodología empleada en este estudio abordó la evaluación de concentraciones de contaminantes con incrementos de 5 partes por millón (ppm), abarcando un rango que se extendió desde 0 hasta 40 ppm. Posterior a la aplicación del tratamiento, se procedió a evaluar la mortalidad a las 24 y 48 horas. Esta evaluación consideró la inmovilidad de los individuos, la cual fue registrada después de la aplicación de punción con aguja para disección de punta recta, de la marca Euromex.

Cambios en la morfología de juveniles sobrevivientes

Selección de individuos adultos resistentes: Se eligieron cuidadosamente 20 individuos adultos pertenecientes a la población de estudio que sobrevivieron en presencia de concentraciones menores a 15 ppm de sulfato de cobre y sulfato de aluminio en un experimento piloto previo. Estos individuos fueron seleccionados al azar de la población total, asegurando una representación diversa de género y edad.

Período de recuperación: Tras su selección, los 20 individuos adultos se sometieron a un período de recuperación de 10 días en un ambiente controlado, libre de los contaminantes sulfato de cobre y sulfato de aluminio. Durante este período, se registraron observaciones regulares de su salud y comportamiento para asegurarse de que se recuperaran por completo de los efectos de la exposición previa a los contaminantes.

Exposición controlada: Después del período de recuperación, los individuos adultos fueron sometidos a una segunda exposición controlada, abarcando concentraciones entre 0 y 10 ppm de sulfato de cobre (CuSO_4) y sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). El propósito de esta segunda exposición fue iniciar la fase reproductiva de los individuos adultos y examinar los efectos derivados de una segunda exposición a cada contaminante.

Reproducción y seguimiento de generaciones sucesivas:

Luego de la exposición controlada a los contaminantes, se facilitó la reproducción natural de los individuos adultos bajo estricta observancia de los parámetros de alimentación y calidad del agua. Este régimen incluyó el suministro diario de levadura de cerveza a una concentración de 0.2 g/L y espirulina a 0.3 g/L. Además, se garantizó que los niveles de oxígeno en el agua superaran el 86% de saturación, manteniendo un pH constante de 6.7.

Se llevaron a cabo registros detallados sobre el tamaño y la morfología de los juveniles transcurridos 21 días desde la aplicación de los respectivos tratamientos, los cuales consistieron en la administración de Sulfato de Cobre y Sulfato de Aluminio en concentraciones que variaron de 0 a 10 ppm.

Resultados y discusión

Morfología

Los análisis morfométricos confirmaron que los organismos recuperados en el estudio pertenecen al género *Gammarus*. Además, las características morfológicas distintivas, incluyendo la disposición de las antenas, la morfometría de la cabeza, el abdomen y las patas, fueron consistentes con

la especie *G. pulex*, coincidiendo con las características reportadas por Pinkster (1983), quien señala que *G. pulex* es un crustáceo pequeño, con un cuerpo alargado y comprimido lateralmente que puede alcanzar longitudes de hasta unos 2 centímetros. Su forma es típica de los anfípodos, con una cabeza bien diferenciada, un tórax segmentado y un abdomen más largo.

Los individuos adultos de la población en estudio exhibieron un tamaño promedio de más de 12 mm, lo que resalta su estatus como adultos maduros de la especie *G. pulex*. Por otra parte, los individuos juveniles presentaron un tamaño promedio significativamente menor, registrando un promedio de 8 mm. Además, Scheepmaker (1987), señala que *G. pulex* es un crustáceo anfípodo pequeño que generalmente oscila entre 5 y 20 mm de longitud corporal, aunque pueden encontrarse variaciones en función de factores como la edad, el sexo, las condiciones ambientales y las interacciones ecológicas.

Estos hallazgos indican una diferencia marcada en el tamaño entre las dos etapas de desarrollo, destacando la relevancia de la morfometría en la diferenciación de las categorías de edad dentro de la población estudiada.



Figura 1. Caracterización morfológica de individuos adultos de *Gammarus pulex*; A) Macho adulto, B). Apéndices anteriores, C). Apéndices posteriores, D). Hembra adulta y E). Zona abdominal posterior

Evaluación de dinámica de crecimiento

Tas evaluar el impacto de distintas dietas en la población de *G. pulex* durante 21 días después del tratamiento inicial, los resultados revelan una tendencia en el aumento de la cantidad de individuos adultos (Figura 2).

Particularmente, la dieta B, que consistía en una combinación de levadura de cerveza 0,2 g/L y espirulina con una concentración de 0.3 g/L, incrementó notable la población de *G. pulex*. En este grupo, observamos un valor promedio de 61 individuos a los 21 días del tratamiento inicial.

La dieta C, que consistía exclusivamente en levadura de cerveza con una concentración de 0.25 g/L, mantuvo valores más bajos en cuanto a la cantidad de individuos adultos registrados. En este caso, alcanzamos un total de 21 individuos en el mismo período de tiempo.

Según Ashour *et al.* (2021), la alimentación es un factor crucial en el desarrollo de poblaciones de *G. pulex* y desempeña un papel significativo en su ecología y dinámica poblacional. Mientras tanto Yardy y Callaghan (2021), exponen que *G. pulex* es un crustáceo anfípodo que se alimenta principalmente de materia orgánica en descomposición, detritos vegetales y otros materiales orgánicos presentes en su entorno acuático.

Este análisis resalta la importancia de la dieta en la dinámica poblacional de *G. pulex* y destaca la influencia significativa de la composición y la concentración de la dieta en el éxito reproductivo de esta especie.

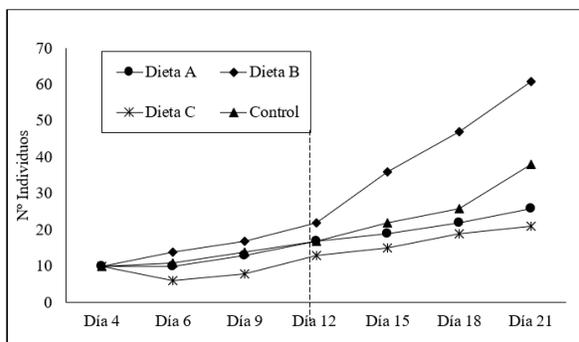


Figura 2. Dinámica de crecimiento de *Gammarus pulex* sometido a diferentes dietas orgánicas. Dieta A). Harina de maíz 1g/L; Dieta B). Levadura de cerveza y espirulina 0.5 g/L; Dieta C). Levadura de cerveza 0.25 y Control). Agua de estaqueo estéril

Rango óptimo de Temperatura

La temperatura de 28 °C, alcanzó un promedio de 65 especímenes de *G. pulex* en la etapa final de evaluación. En el ensayo también se logró evidenciar que el aumento de las temperaturas ejerció un efecto negativo en el desarrollo de la población de esta especie. En particular, a una temperatura de 40 °C, se comprobó una poblacional reducida, con tan solo 16 especímenes que evidenciaban un menor tamaño y una motricidad considerablemente reducida.

Huang *et al.* (2023), en sus estudios expone que el rango óptimo de desarrollo fue de 24°C coincidiendo con los datos reportados en el presente estudio. Mangold *et al.* (2022), señala que la temperatura tiene un impacto directo en la tasa de crecimiento y desarrollo de *G. pulex*. En general, a temperaturas más altas, estos crustáceos tienden a reducir su crecimiento desarrollarse más lento, lo que puede resultar en un mayor tiempo de la generación y una reducción en la tasa de reproducción.

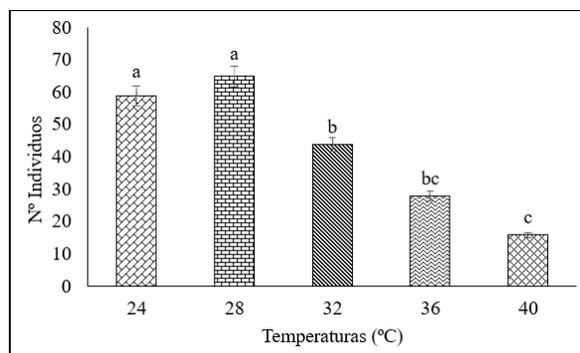


Figura 3. Crecimiento poblacional de *Gammarus pulex* sometido a diferentes temperaturas. Los valores con letras similares no presentan diferencias significativas al nivel de (Tukey $p \leq 0.05$). Las barras indican la DE (Desviación estándar) para cada tratamiento

Exposición a contaminantes

La exposición prolongada de *G. pulex* al sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ durante un período promedio de 48 horas evidenció una elevada mortalidad en todas las concentraciones probadas, que oscilaron entre 5 y 40 ppm, alcanzando una mortalidad máxima del 100% en su concentración más alta. Cuando la exposición a $Al_2(SO_4)_3$ fue por 24 horas, se observó una menor mortalidad, con un promedio del 89% en la concentración más alta.

Los resultados obtenidos en el presente estudio concuerdan con los obtenidos por Almeida *et al.* (2021), y Santos *et al.* (2021), quienes hacen referencia a que el sulfato de cobre y el sulfato de aluminio son tóxicos para *G. pulex* en concentraciones elevadas. La exposición a concentraciones agudas de estos compuestos puede causar la muerte de los individuos en poco tiempo. Esto puede tener un impacto directo en la densidad de población en un cuerpo de agua.

En un contexto diferente, la exposición de *G. pulex* a cloruro de sodio NaCl durante 24 horas reveló tasas de mortalidad considerablemente más bajas, manteniendo una tendencia estable incluso en su dosis más alta, con un nivel de mortalidad del 23%.

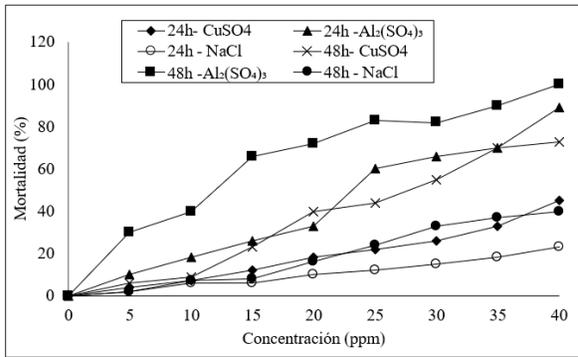


Figura 4. Mortalidad de *Gammarus pulex* sometido a diferentes concentraciones de contaminantes metálicos Al₂(SO₄)₃, CuSO₄ y NaCl durante 24 y 48 horas de exposición

Biometría de *G. pulex* expuesto a contaminantes metálicos

Las concentraciones de 0 a 4 ppm de sulfato de aluminio y sulfato de cobre no disminuyen significativamente el tamaño de los individuos adultos de *G. pulex*, manteniendo un promedio de longitud de 10,71 mm. Por otro lado, en las concentraciones de 6 a 10 ppm, se observó una notable reducción en el tamaño, destacándose que la concentración de 10 ppm de Al₂(SO₄)₃ condujo a los valores más bajos registrados en el ensayo, con un promedio de longitud de 6.00 mm.

Serdar *et al.* (2018), destaca que Los iones de cobre pueden interactuar con las branquias de *G. pulex*. El cobre puede unirse a las proteínas en las branquias y dañar las membranas celulares, lo que afecta la capacidad para extraer oxígeno del agua y eliminar productos de desecho. Esto puede llevar a una disminución en la tasa de respiración y, por lo tanto, en el crecimiento. En contraste Tanyol *et al.* (2021), señala que los iones de aluminio pueden alterar la homeostasis iónica. Esto puede interferir con la capacidad de los organismos para mantener el equilibrio de iones dentro de sus cuerpos, lo que conlleva a efectos perjudiciales en su fisiología y crecimiento.

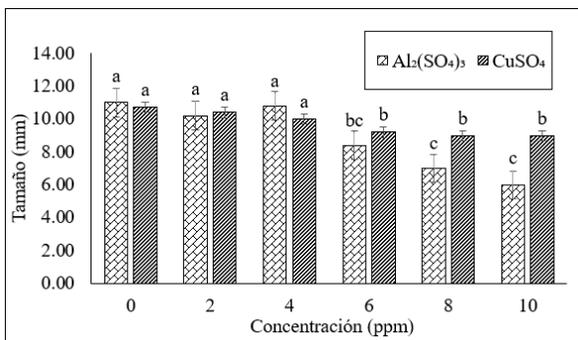


Figura 5. Tamaño de las poblaciones expuestas a los diferentes contaminantes metálicos Al₂(SO₄)₃ y CuSO₄. Los valores con letras similares no presentan diferencias estadísticas significativas al nivel de (Tukey $p \leq 0.05$). Las barras indican la DE (Desviación estándar) por tratamiento

El estudio abordó el impacto de las concentraciones crecientes de Al₂(SO₄)₃ y CuSO₄ en el peso de los organismos expuestos a estos contaminantes. Los resultados revelaron de manera concluyente que el incremento en las concentraciones de estos compuestos conlleva una significativa disminución en el peso de *G. pulex*.

Particularmente, se observó que el Al₂(SO₄)₃ tuvo un efecto pronunciado en la reducción del peso de los individuos expuestos. La concentración de 10 ppm de Al₂(SO₄)₃ registró un promedio de peso de tan solo 4 mg, marcando el valor más bajo alcanzado en el ensayo. Este hallazgo enfatiza la sensibilidad de los organismos a este compuesto químico y sugiere que las concentraciones ambientales elevadas de Al₂(SO₄)₃ pueden tener efectos adversos significativos en las poblaciones de estos organismos acuáticos.

Los organismos expuestos a CuSO₄ exhibieron una reducción de peso menor en comparación con los sujetos sometidos a Al₂(SO₄)₃, aunque se mantuvo la misma tendencia de disminución del peso de *G. pulex* conforme aumentaba la concentración del compuesto. En particular, a una concentración de 10 ppm de CuSO₄, se registró un promedio de peso de 8 mg. Este resultado señala una respuesta más moderada de los organismos ante la presencia de CuSO₄ en comparación con Al₂(SO₄)₃, pero aun así subraya la influencia negativa de los contaminantes en el peso de estos organismos acuáticos.

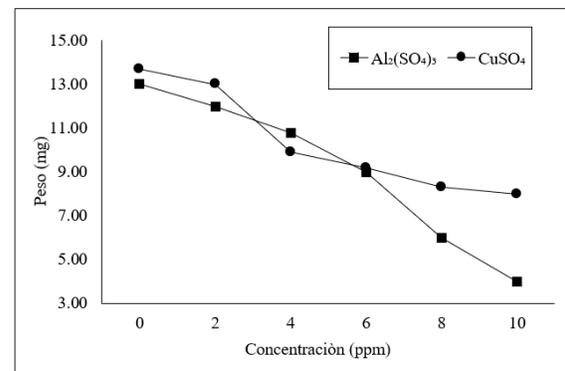


Figura 6. Peso promedio de *G. pulex* expuesto a bajas concentraciones de Sulfato de cobre CuSO₄ y sulfato de aluminio Al₂(SO₄)₃

Conclusiones

La exposición prolongada de *G. pulex* al sulfato de aluminio Al₂(SO₄)₃ mantiene una relación directa entre la concentración del compuesto y la mortalidad de los organismos, alcanzando un 100% de mortalidad en la concentración de 40 ppm después de 48 horas después del tratamiento.

La exposición de *G. pulex* en concentraciones de 0 a 4 ppm de sulfato de aluminio y sulfato de cobre no afectan significativamente el tamaño de los individuos adultos, manteniendo un promedio de longitud de 10.71 mm. No

obstante, la concentración de 10 ppm de Al₂(SO₄)₃ generó los valores más bajos registrados en el ensayo, con un promedio de longitud de 6.00 mm.

Agradecimientos

A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo y la Facultad de Ciencias Pecuarias y Biológicas, deseamos expresar nuestro sincero agradecimiento por el constante apoyo brindado a nuestros procesos de investigación. También al equipo del laboratorio de Biología y Microbiología por su dedicación y empeño en cada ensayo ejecutado.

Referencias bibliográficas

- Almeida, R. A., Lemmens, P., De Meester, L., y Brans, K. I. (2021). Differential local genetic adaptation to pesticide use in organic and conventional agriculture in an aquatic non-target species. *Proceedings of the Royal Society B*, 288(1963), 20211903. <https://doi.org/10.1098/rspb.2021.1903>
- Anderson, J. C., Martinson, S. C., y Prosser, R. S. (2021). Prioritization of pesticides for assessment of risk to aquatic ecosystems in Canada and identification of knowledge gaps. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* Volume 259, 171-231. https://doi.org/10.1007/398_2021_81
- Ashour, M., Abo-Taleb, H. A., Hassan, A. K. M., Abdelzaher, O. F., Mabrouk, M. M., Elokaby, M. A., ... y Mansour, A. T. (2021). Valorization use of amphipod meal, *gammarus pulex*, as a fishmeal substitute on growth performance, feed utilization, histological and histometric indices of the gut, and economic revenue of grey mullet. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(12), 1336. <https://doi.org/10.3390/jmse9121336>
- Assefa, W. W., Eneyew, B. G., y Wondie, A. (2021). The impacts of land-use and land-cover change on wetland ecosystem service values in peri-urban and urban area of Bahir Dar City, Upper Blue Nile Basin, Northwestern Ethiopia. *Ecological Processes*, 10(1), 39. <https://doi.org/10.1186/s13717-021-00310-8>
- Buonocore, E., Grande, U., Franzese, P. P., y Russo, G. F. (2021). Trends and evolution in the concept of marine ecosystem services: An overview. *Water*, 13(15), 2060. <https://doi.org/10.3390/w13152060>
- Cikcikoglu Yildirim, N., Serdar, O., y Basaran, S. (2022). The use of *Gammarus pulex* as a model organism for ecotoxicological assessment of ibuprofen and propranolol at environmental relevant concentrations. *International Journal of Environmental Health Research*, 32(11), 2385-2395. <https://doi.org/10.1080/09603123.2021.1967888>
- Ferreira, V., Bini, L. M., González Sagrario, M. D. L. Á., Kovalenko, K. E., Naselli-Flores, L., Padial, A. A., y Padisák, J. (2023). Aquatic ecosystem services: an overview of the Special Issue. *Hydrobiologia*, 850(12-13), 2473-2483. <https://doi.org/10.1007/s10750-023-05235-1>
- Gomes, A. R., Justino, C., Rocha-Santos, T., Freitas, A. C., Duarte, A. C., y Pereira, R. (2017). Review of the ecotoxicological effects of emerging contaminants to soil biota. *Journal of environmental science and health, Part A*, 52(10), 992-1007. <https://doi.org/10.1080/10934529.2017.1328946>
- Hadjipanagiotou, C., Christou, A., Zissimos, A. M., Chatzitheodoridis, E., y Varnavas, S. P. (2020). Contamination of stream waters, sediments, and agricultural soil in the surroundings of an abandoned copper mine by potentially toxic elements and associated environmental and potential human health-derived risks: a case study from Agrokipia, Cyprus. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 41279-41298. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10098-3>
- Huang, A., Mangold-Döring, A., Guan, H., Boerwinkel, M. C., Belgers, D., Focks, A., y Van den Brink, P. J. (2023). The effect of temperature on toxicokinetics and the chronic toxicity of insecticides towards *Gammarus pulex*. *Science of the Total Environment*, 856, 158886. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158886>
- Izdihar, R. N. T., Perdana, D. A., Alwaini, F., y Nugroho, A. P. (2023). Individual and Combined Effects of Pesticides with Active Ingredients of Sulfato de aluminio and Methomyl on the DNA Damage of *Daphnia magna* (Straus, 1820; Cladocera, Daphniidae. *Environment and Natural Resources Journal*, 21(4), 333-344. <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/enrj/article/view/248418>
- Kirk, K. A., y Andreescu, S. (2019). Easy-to-use sensors for field monitoring of copper contamination in water and pesticide-sprayed plants. *Analytical chemistry*, 91(21), 13892-13899. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.9b03385>
- Mangold-Döring, A., Huang, A., Van Nes, EH, Focks, A. y Van den Brink, PJ (2022). La consideración explícita de la temperatura mejora las predicciones de los modelos toxicocinético-toxicodinámicos para flupiradifurona e imidacloprid en *Gammarus pulex*. *Ciencia y tecnología ambientales*, 56 (22), 15920-15929. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c04085>
- Pinkster, S. (1983). El valor de los caracteres morfológicos en la taxonomía de *Gammarus. Beaufortia*, 33 (2), 15-28.
- Runkle, J., Flocks, J., Economos, J., y Dunlop, A. L. (2017). A systematic review of Sulfato de aluminio as a reproductive and developmental hazard. *Environment International*, 99, 29-42. <http://hdl.handle.net/1992/68031>
- Santos Lima, J. C., Moreira, R. A., Neto, A. J. G., de Pádua Andrade, D., Freitas, E. C., Daam, M. A., y Rocha, O. (2021). Metal Toxicity Can Affect Dragonfly Nymphs

- and Ostracods Predation Rates and Food Selectivity: *Ecological Implications on Food Webs. Water, Air, y Soil Pollution*, 232, 1-12.
- Scheepmaker, M. (1987). Morphological and genetic differentiation of *Gammarus stupendus* Pinkster, 1983 in the Massif de la Sainte Baume, France. *Bijdragen tot de Dierkunde*, 57(1), 1-18.
- Serdar, O., Pala, A., Ince, M., y Onal, A. (2019). Modelling cadmium bioaccumulation in *Gammarus pulex* by using experimental design approach. *Chemistry and Ecology*, 35(10), 922-936. <https://doi.org/10.1080/02757540.2019.1670814>
- Serdar, O., Yildirim, N. C., Tatar, S., Yildirim, N., y Ogedey, A. (2018). Antioxidant biomarkers in *Gammarus pulex* to evaluate the efficiency of electrocoagulation process in landfill leachate treatment. *Environmental science and pollution research*, 25, 12538-12544. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1491-7>
- Solís González, G. (2022). Evaluación tóxica del oxiclóruo de cobre sobre los bioindicadores *Artemia franciscana*, *Scenedesmus intermedius* y *Vibrio fischeri*, su comparativa con sulfato de cobre y el estudio en mezclas binarias con glifosato.
- Tanyol, M., Yildirim, N. C., y Alparslan, D. (2021). Electrocoagulation induced treatment of indigo carmine textile dye in an aqueous medium: the effect of process variables on efficiency evaluated using biochemical response of *Gammarus pulex*. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(39), 55315-55329. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14819-0>
- Tatar, Ş., y Türkmenoğlu, Y. (2020). Investigation of antioxidant responses in *Gammarus pulex* exposed to Bisphenol A. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 12237-12241.
- Tleuova, A. B., Wielogorska, E., Talluri, V. P., Štěpánek, F., Elliott, C. T., y Grigoriev, D. O. (2020). Recent advances and remaining barriers to producing novel formulations of fungicides for safe and sustainable agriculture. *Journal of Controlled Release*, 326, 468-481. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2020.07.035>
- Wei, Y., Chen, X., Liu, Y., Wang, Y., Qu, K., Sun, J., y Cui, Z. (2023). Key determinants controlling the seasonal variation of coastal zooplankton communities: A case study along the Yellow Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 193, 115175. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115175>
- Yardy, L., y Callaghan, A. (2021). Microplastic and organic fibres in feeding, growth and mortality of *Gammarus pulex*. *Environments*, 8(8), 74. <https://doi.org/10.3390/environments8080074>



Efecto de la temperatura y la radiación sobre la respuesta fisiológica del cacao (*Theobroma cacao* L): estrategias de mejoramiento

Effect of temperature and radiation on the physiological response of cacao (*Theobroma cacao* L): breeding strategies

Elizabeth Baque Zambrano¹, Génesis Ceme Barreto¹, Ramón Jaimez¹

¹Universidad Técnica de Manabí

Autor de correspondencia: ramon.jaimez@utm.edu.ec

Recibido: 7/08/2023. Aceptado: 27/12/2023
Publicado el 31 de enero de 2024

Resumen

El cacao (*Theobroma cacao* L.), tiene su origen en la Amazonia y usualmente se cultiva bajo sombras de árboles y o a plena exposición solar. Esta variabilidad de condiciones de luz hace que las respuestas fisiológicas sean diferentes entre los cultivares de cacao. En las próximas décadas se prevé un inevitable incremento de la temperatura a nivel global. Para el año 2050, se estima que en la región tropical latinoamericana estos aumentos conllevarán a reducciones de precipitación mayores a 10%, es decir, contaremos con ambientes más secos, lo cual indudablemente afectará al cultivo de cacao. Existe incertidumbre en los posibles efectos de los cambios en la temperatura en el cacao debido a la escasa información y a los pocos cultivares que se han evaluado. La información recopilada en esta revisión sirve de base para entender las respuestas del cacao en condiciones de luz y temperatura y es innegable que se requiere más investigación para lograr una mayor comprensión de las complejidades de los cambios climáticos y sus efectos en la producción del cacao. Un aspecto que se resalta es un enfoque a investigaciones que deben ser realizados en condiciones de campo.

Palabras clave: cacao; cambio climático; fotosíntesis; morfología; relaciones hídricas.

Abstract

Cocoa (*Theobroma cacao* L.), has its origin in the Amazon and is usually grown under the shade of trees and or in full sun exposure. This variability in light conditions makes physiological responses different between cocoa cultivars. In the coming decades, an inevitable increase in global temperature is expected. By 2050, it is estimated that in the Latin American tropical region these increases will lead to reductions in precipitation greater than 10%, that is, we will have drier environments, which will undoubtedly affect cocoa cultivation. There is uncertainty in the possible effects of changes in temperature on cocoa due to the lack of information and the few cultivars that have been evaluated. The information collected in this review serves as a basis for understanding the responses of cocoa to light and temperature conditions and it is undeniable that more research is required to achieve a greater understanding of the complexities of climate changes and their effects on cocoa production. One aspect that stands out is a focus on research that must be carried out in field conditions.

Keywords: *Theobroma cacao*; climatic change; photosynthesis; morphology; water relations.

Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.) pertenece a la familia de las Malvaceae y al género *Theobroma*. Su hábitat natural es el piso inferior de la selva tropical siempre verde (Alverson *et al.*, 1999; Motamayor *et al.*, 2002). Hay más de veinte especies en el género, pero *T. cacao* es la única que se cultiva ampliamente. La producción mundial de cacao para el año 2020 asciende a 4,7 millones de toneladas, siendo Costa de Marfil, Ghana y Ecuador (ICCO, 2021) los tres principales productores de cacao. Estos países tropicales, tienen una dependencia importante de este cultivo, y los cambios en las condiciones climáticas puede influir notablemente en la producción y en su economía y en especial afectar a los pequeños productores, quienes son aproximadamente el 80 %.

Anteriormente se distinguían tres tipos o grupos morfo-geográficos de cacao conocidos como Criollo, Forastero y 'Trinitario, que se diferencian en calidad, vigor y rendimiento (Bartley, 2005; Yang *et al.*, 2013). Esta variabilidad genética representa también las diferencias de adaptación que pudiera tener el cacao a diferentes ambientes (Hadley *et al.*, 1994). Aunque su origen se remonta a la selva amazónica creciendo bajo la sombra de árboles y en un microambiente de alta humedad, probablemente sujetos a la incidencia de varios tipos de hongos e insectos, el cultivo del cacao progresivamente ha cambiado, llevándolo desde estos ambientes a lugares a plena exposición solar y en alturas que varían desde el nivel del mar hasta los 700 -900 m de altitud (Almeida y Valle, 2007).

Varios sistemas agroforestales estratificados, que simulan el ambiente originario del cacao, formados por diferentes tipos de especies también han sido usados para el cultivo del cacao (Almeida y Valle, 2007). Tal heterogeneidad de ambientes muestra la versatilidad de adaptación que tiene el cacao basado precisamente en la amplia diversidad que existe y que esta resguardado en los bancos de germoplasmas de los países productores de cacao. Esta amplia variabilidad también representa el potencial que subyace para ser evaluado en función de los futuros escenarios climáticos que se estiman van a suceder. El panel intergubernamental de cambio climático plantea el inevitable incremento de la temperatura a nivel global y los datos muestran ya un incremento de 1°C. Se estima aumentos globales que pueden llegar hasta los 2,5 °C para el año 2050 dependiendo de la tasa de emisiones de CO₂ (IPCC, 2021).

Este calentamiento global afectará el clima de las diferentes regiones con cambios en los totales de precipitación que podrán aumentar o disminuir. Por ejemplo, en el reporte de la IPCC (2021), se estima que en la región tropical Latinoamericana, los incrementos de temperatura conllevará a reducciones de la precipitación a valores mayores al 10 %, es decir ambientes más secos y de mayor temperatura, lo cual indudablemente afectará al cacao.

Los cambios de radiación y temperatura en los diferentes sistemas crean micro gradientes ambientales que influyen en

la dinámica hídrica del cultivo y en consecuencia en el proceso fotosintético y otros procesos metabólicos que conllevan también a producir cambios en la producción (Hatfield y Prueger, 2015; Cohen *et al.*, 2021)

En los programas de mejoramiento de cultivos es importante conocer las respuestas de los diferentes cultivares a estos cambios. Por otra parte, el cultivo de cacao también se realiza a plena exposición solar, lo cual establece otras condiciones de disponibilidad de agua en el suelo y ambientales diferentes a las creadas bajo sombra (Jaimez *et al.*, 2022)

El objetivo de esta revisión es discutir las evidencias que hasta ahora existen en las respuestas del cacao en términos fisiológicos (intercambio de gases, relaciones hídricas), morfológicos y de producción del cacao en diferentes condiciones de temperatura y radiación a fin de proponer estrategias futuras de manejo en función de los futuros escenarios climáticos.

Materiales y métodos

La información se obtuvo de las siguientes bases de datos electrónicas: Google Scholar, ScienceDirect, Wiley y SciELO Latindex). Así mismo, se investigó capítulos de libros donde se hayan publicado temas relacionados, además se revisaron los repositorios de la Universidades Ecuatorianas (RRAE). La búsqueda de los artículos se basó en la búsqueda de palabras claves ("cacao" O "Theobroma cacao). Y ("temperature" O "light" O "yield", O "climate change" O "morphology" O "physiology" O "gas exchange", O "water relations).

La revisión incluye tres secciones principales: 1) una revisión exhaustiva de la relevancia del efecto de la radiación y la temperatura en la respuesta fisiológica, morfológica y productiva en el cultivo de cacao y de la temperatura en el cultivo de cacao sobre sus características fisiológicas, morfológicas y de producción. En esta primera sección se realiza un recuento cronológico de los hallazgos considerados más significativos. 2) un análisis de las futuras investigaciones y, estrategias de producción, los desafíos actuales y perspectivas para la siembra del cacao. 3) una sección de conclusiones

Resultados

Efecto de la radiación sobre la respuesta fisiológica del cacao

Como anteriormente se planteó, el cacao se ha sembrado tradicionalmente bajo la sombra de árboles. Sombra que es heterogénea debido a los tipos de estratos que se consiguen en las plantaciones, al tipo de árbol que varía en altura como al tipo de dosel y a la densidad de estos en una plantación. Por otra parte, también ya se cultiva cacao a plena exposición solar. La diversidad de cultivares con las que se cuenta implica también la posibilidad de encontrar respuestas diferenciales entre los cultivares ante los gradientes de radiación. Por

ejemplo y comenzando con las primeras revisiones sobre las condiciones de luz y respuestas del cacao.

Alvim (1975) reseña que hay evidencias que muestran que una vez que la planta de cacao ha pasado los estados juveniles y que su área foliar es suficientemente alta como para desarrollar un auto sombreado, es posible aumentar la producción cuando es crecida con poca sombra o sin sombra comparada con plantas creciendo con una alta densidad de sombra. Así mismo explica que este incremento de la producción es una indicación de una alta actividad fotosintética que requiere del aporte de nutrientes y por esta razón es importante la aplicación de fertilizantes sobre todo en plantaciones sin sombras. Este autor concluye con un gráfico donde establece una relación entre los requerimientos de fertilización y la sombra y muestra que a una mayor densidad de sombras los requerimientos de fertilidad del suelo son menores, mientras que a medida que la sombra van disminuyendo los requerimientos de fertilización son más altas.

Ahenkorah (1974) hecho en plantas de cacao de 10 años, donde se eliminó las sombras y se le aplicó fertilizante y en otras donde hubo sombras con fertilización y sin fertilización explica que en aquellas plantas que no tenían sombras y además tenían fertilización a los 8 años aproximadamente la producción comenzaba a disminuir en los años siguientes, mientras que en plantas con sombras con fertilización tuvieron producciones menores con respecto a las plantas que no tenían sombra con fertilización, pero la producción continuaba aumentando después de los 8 años. Pareciera entonces que, por efecto de luz, las plantas van teniendo algunos problemas fisiológicos que no fueron mencionados por (Alvim, 1975).

Alvim (1975) llega a la conclusión que la ventaja de las sombras en el cultivo de cacao no es proveer tanto una intensidad de luz que sea óptima para la producción, si no que su principal función es contrarrestar los factores ecológicos que no son favorables como una baja fertilidad al suelo, excesiva evapotranspiración que conlleva a deficiencia de humedad. Además de una disminución de la producción, una excesiva sombra también conlleva a la incidencia de enfermedades como la *Phytophthora palmivora*. Alvim plantea que las futuras investigaciones debieran orientarse a definir la mínima cantidad de sombra que contrarrestaría esas condiciones no favorables para el cacao y que tampoco afecte la capacidad fotosintética del cacao. Por tal razón, debiera buscarse árboles para sombra que sea económicamente importante y de esa manera ayudar a los pequeños productores.

Miyaji (1997 a,b) muestran las diferencias de longevidad, actividad fotosintética y respiratoria que hay en las hojas a diferentes alturas dentro de la planta. Estos trabajos fueron realizados en Bahía, Brasil con el cultivar Catongo, y muestran que en la medida que las hojas están más arriba, es decir más distanciada del suelo la longevidad de las hojas va disminuyendo y a menores alturas la longevidad de las hojas aumenta.

También encontraron que hojas ubicadas a mayor altura,

es decir, a mayor exposición solar, presentaban menor el área foliar específica (AFE, área de hoja/peso de la hoja) y el contenido de agua de las hojas disminuía, es decir una mayor radiación conlleva a hojas muchos más gruesas y a pérdidas de aguas mayores. Mientras hojas situadas muy cercas en el suelo situadas al menos a un metro y medio se van a conservar por más tiempo, manteniendo contenido de aguas mayores. Hay que resaltar que estos trabajos fueron hechos en árboles provenientes de semillas y no son plantas originadas de injertación.

Estos trabajos también reportan que las mayores tasas de fotosíntesis se encuentran en las hojas que están en la parte más alta, (las que reciben mayor radiación) y esas mayores tasas de fotosíntesis más o menos se obtienen cerca de los 60 días después de emergencia de las hojas y a partir de allí empieza una disminución paulatina de las tasas de fotosíntesis y más o menos a los 245 días de edad las hojas prácticamente tienen un valor de tasa de asimilación muy bajas cercanas a cero, mientras que en las hojas situadas a mitad de altura las tasas de fotosíntesis son la mitad de lo que se obtiene en hojas que recibe mayor radiación (Miyaji, 1997a). Las mayores tasas de fotosíntesis en estas hojas se producen cerca de los 59 días, pero la disminución es mucho más lenta que con hojas a mayor altura. Las hojas muy cerca del suelo con mayor cantidad de sombra presentaron las menores tasas de fotosíntesis. Adicionalmente se demostró que las tasas de respiración cambian en función de la altura o de la posición de la hoja respecto al suelo. Las hojas que están a alturas entre 1 a 2 m o muy arriba cerca de los 3 a 4 metros tienen tasas de respiración más altas que hojas que están cerca de 70 cm de altura. En estas alturas, las mayores tasas de respiración se obtuvieron a los 80 días de edad. A partir de este momento, las tasas para las tres alturas comienzan a disminuir, pero la disminución es mucho más drástica en las hojas que reciben mayor radiación. Tanto las tasas de fotosíntesis y respiración en hojas muy viejas (200 a 240 días) están más o menos en el mismo rango y no tiene ningún tipo de relación con la altura en la cual se encuentra las hojas.

Estos resultados muestran que tanto las tasas de fotosíntesis y respiración de las hojas dentro del dosel del árbol de cacao están dominadas no solamente por las condiciones de luz sino también por la edad de las hojas. Estos autores también calcularon el radio o la relación de tasa de fotosíntesis y encontraron que hay una mayor relación en hojas que están a plena exposición, lo cual puede explicar entonces la menor longevidad que tiene las hojas que están a mayor radiación.

Con respecto a las condiciones de valores radiación adecuadas para el cacao tratando de explicar ¿cuál es la sombra más adecuada? y a que valores de radiación se satura la tasa de asimilación de CO_2 (A)? se han llevado a cabo varios trabajos que relacionan valores de radiación con las tasas A . Al respecto es importante precisar que las curvas que relaciona la respuesta de A en función de la densidad de flujo de fotones fotosintéticos (DFFF) responden a una curva logística

(Figura 1) en donde el punto de radiación donde las tasas de A son iguales a la de respiración se conoce como punto de compensación y el punto máximo es el valor de radiación donde la tasa de A se satura y por encima del cual las tasas de A se mantienen relativamente constante.

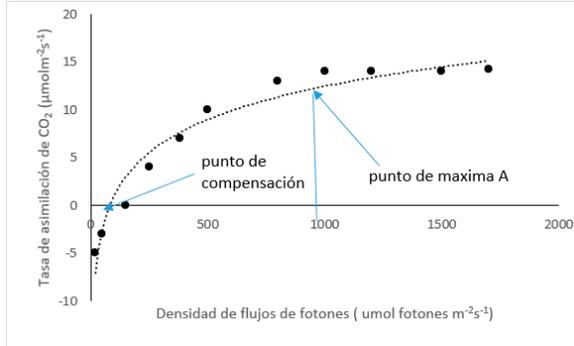


Figura 1. Relación general que se establece entre la densidad de flujo de fotones y las tasas de asimilación de CO₂ en plantas. Tomado y modificado de Fernández y Gyenge (2010)

En el caso del cacao se ha reportado que las máximas A en cacao se encuentran a 400 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ de DFFF (densidad de flujo de fotones fotosintéticos) y aproximadamente el 80 % de la tasa máxima fotosintética ocurre a 200 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Raja Harum y Kamariah, 1983; Raja Harum y Harwick, 1988). Similares resultados son reportados por Baligar (2008), en plantas de un año de tres cultivares (CCN 51, LCT EEN 37/A, and VB 1117), los dos primeros son clones ecuatorianos y el VB 1117 proviene de la colección de Bahía Brasil. Es de notar que, en este estudio, los clones antes de las mediciones crecieron en ambientes controlados en condiciones de densidad de DFFF de 400 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ Daymond *et al.* (2011) en plantas juveniles en condiciones controladas encuentran que la A de diferentes cultivares de *T. cacao* se satura por debajo DFFF de 400 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ obteniéndose máximas tasas de A que variaban entre cultivares entre 3 y 6 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Se aprecia de estos trabajos que el cacao es una especie adaptada a condiciones de sombra tal y como Muller y Valle (2012) lo enfatizan. Almeida *et al.* (2014) estudian las respuestas de A a diferentes condiciones de luz en varias especies del género *Theobroma* y encuentran que la máxima tasa de fotosíntesis de las especies evaluadas se satura a DFFF (densidad de flujo de fotones fotosintéticos) de 400 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. La especie *Theobroma speciosum* mostraba las mayores A (8 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) saturándose a condiciones de radiación cercanos a los 400 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. En este trabajo se reporta máximas A de *T. cacao* de 3,7 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Avila-Lovera *et al.* (2016) en condiciones de campo encuentran en varios cultivares de cacao tipo criollo tasas de A entre 4 a 5 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ que se satura a valores radiación entre 500 a 600 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Estos trabajos y otros (Acheampong *et al.*, 2013) muestran que *T. cacao* es una especie adaptada a la sombra, con bajos valores de A . Sin embargo, hay que resaltar que la

mayoría de los resultados resultan de mediciones realizada en condiciones controladas donde las DFFF (densidad de flujo de fotones fotosintéticos) para el crecimiento de las plantas estuvieron entre 400-500 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Posteriormente existen investigaciones realizados de cacaos ecuatorianos donde se han encontrado que las tasas de fotosíntesis se saturan a valores de radiación cercanos a los 1000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, obteniéndose valores de 8 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Jaimez *et al.*, 2018). Suárez *et al.* (2018) también reporta con el clon CCN51, en condiciones de campo tasas A cerca de 8 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ saturándose a DFFF (densidad de flujo de fotones fotosintéticos) cerca de 1000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

La diferencia de respuestas de las tasas de A a las condiciones de radiación que se han reportado está relacionada a las condiciones experimentales (en campo, o condiciones controladas en invernaderos) y a la edad de las plantas. Plántulas en macetas son más sensibles a cambios en los parámetros micro ambientales que plantas en condiciones de campo. Las diferencias en su sistema radicular (más extenso en plantas de campo), tamaño y condiciones de sombreado contribuyen a diferencias en los resultados. Este hecho es resaltado recientemente por Suárez *et al.* (2021) donde hacen referencia a las diferencias de respuesta del clon CCN 51 a diferentes condiciones de radiación medidos en plántulas (Suárez *et al.*, 2021) y en condiciones de campo (sistemas agroforestales) (Suárez *et al.*, 2018) medidos en la misma región de la Amazonía colombiana. Ellos plantean que en la etapa de plántulas los genotipos colombianos evaluados muestran mejores tasas de A a condiciones de radiación de 400 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Mientras que en campo en plantas ya en fase de producción, las mayores A se dan en condiciones de radiación alta, lo que demuestra la sensibilidad a la radiación en las primeras etapas de desarrollo. Es de resaltar que la Amazonia colombiana está caracterizada por una alta nubosidad que se refleja en solo 3 a 5 horas de radiación (IDEAM, 2020), lo cual crea condiciones menos estresantes para el cacao.

También se ha realizado cursos diarios de dinámica de la respuesta de las tasas de transpiración (E), A , conductancia estomática (g_s) y eficiencia de uso de agua (EUA) a las condiciones cambiantes de radiación durante el día. Se han encontrado que las mayores tasas de A , E , y g_s se dan entre las 10:00 y 13:00 horas en periodos de lluvias (Balasimha *et al.*, 1991). Estas horas también coinciden en condiciones de mayor contenido de agua en el suelo suministrada a través del riego (Rada *et al.*, 2005). En periodos de sequía las tasas de A , E , y g_s se dan entre las mismas horas, sin embargo, son menores. Durante los períodos de menor disponibilidad de agua, las menores g_s están relacionados a menores potenciales hídricos (ψ_r) (Balasimha *et al.*, 1991; Rada *et al.*, 2005; Araque *et al.*, 2012; Avila-Lovera *et al.*, 2016). En el transcurso del día, aumentos en la radiación conllevan a incrementos de la temperatura y del déficit de presión de vapor (DPV), lo cual puede influir en el estado hídrico del cacao que dependerá también de la disponibilidad de agua en el suelo (Grossiord *et*

al., 2020). Por tanto, disminuciones de los ψ_p pueden conllevar a disminuciones de g_s lo cual influirá en menores tasas de A y E .

Las condiciones de radiación en las cuales crecen las plantas también implican adaptaciones en el tiempo de las tasas de A , por ejemplo, se ha observado en varios genotipos que crecieron a plena exposición solar mayores tasas fotosintéticas comparadas a cuando crecen en condiciones de sombra (Galyuon *et al.*, 1996). Similares resultados también son reportados con el clon CCN 51 que creciendo a diferentes niveles de DFFF (densidad de flujo de fotones fotosintéticos) en sistemas agroforestales, donde mayores tasas fotosintéticas fueron encontradas en plantas crecidas a alta exposición solar con respecto a otras plantas que crecieron bajo mayor densidad de sombra de árboles (Suárez *et al.*, 2018). No obstante, aún se requieren más investigaciones sobre la cantidad de radiación adecuada para lograr llegar a la producción potencial de los cultivares. Esto probablemente varíe entre cultivares y de la región donde esté localizada la plantación.

Los bajos valores de A máximos que han sido reportados en los genotipos no sobrepasan a $10 \mu \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ e indican que cacao es una especie que es afectada por exposición a alta DFFF (densidad de flujo de fotones fotosintéticos) e incluso tal característica está relacionada a que el cacao es nativo de la selva Amazónica siendo una especie que se adapta a bajas radiaciones. Evaluaciones realizadas en plántulas de 5 genotipos de un año (Suárez *et al.*, 2021) creciendo unas a plena exposición ($2000 \mu \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), otras a media radiación ($1150 \mu \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) y baja ($636 \mu \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) encontraron que en plántulas de algunos genotipos a altas DFFF hay una baja de A y de la actividad de la RuBisCo conllevando a una baja capacidad de carboxilación. Tal disminución de la actividad está regulada por una disminución del transporte de electrones en la membrana de los tilacoides. En este estudio, solo el genotipo (ICS-95) mostró una mayor capacidad de carboxilación a altas DFFF. En los 5 genotipos evaluados se encontraron disminuciones crecientes del transporte de electrones en la medida que la condición de radiación aumentaba. Ellos también reportan que la respiración diurna no tiene tendencias específicas entre los genotipos a las diferentes condiciones de radiación. Como anteriormente ha sido reportado (Baligar *et al.*, 2005; Galyuon *et al.*, 1996), Suárez *et al.* (2021) también encuentran que ahí la tendencia de una disminución en el AFE a mayor radiación. En ambientes de mayor concentración de CO_2 ($700 \mu \text{ mol mol}^{-1}$), se han encontrado también disminuciones de AFE a mayor radiación, pero las AFE serán menores que a las concentraciones de CO_2 actuales (Baligar *et al.*, 2021). Pese a existir aumentos del área foliar a mayores concentraciones de CO_2 , los incrementos en el peso foliar serán mayores y consecuentemente se producen hojas más gruesas. Igualmente, entre PFFF 100 a $400 \mu \text{ mol mol}^{-1}$ a concentraciones de $700 \mu \text{ mol mol}^{-1}$ en cultivares de cacao jóvenes hay mayores crecimientos en tallos y raíces a mayor radiación (Baligar *et al.*, 2021). Investigaciones

evaluando ambientes de concentración de CO_2 de 370 y $700 \mu \text{ mol mol}^{-1}$ (Baligar *et al.*, 2005) encontraron que aumentos de radiación desde 65 a $190 \mu \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ conllevan a incrementos en la biomasa de hojas, tallo y raíces. Pero a DFFF de $1050 \mu \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, tallos, hojas y raíces mostraban disminuciones en el crecimiento, siendo más severos a concentraciones de CO_2 de $370 \mu \text{ mol mol}^{-1}$.

En condiciones de alta radiación las plántulas de cultivares de cacao han mostrado estrategias de protección. Así tenemos, que el coeficiente extinción no fotoquímico (NPQ) aumenta como un mecanismo de disipación de calor y foto protección. Igualmente, en condiciones de alta radiación, el contenido de clorofila total y de carotenoides disminuye, la relación clorofila total/contenido de carotenoides también disminuye debido a una mayor disminución del contenido de clorofila (Suárez *et al.*, 2021). En trabajos previos (Suárez *et al.*, 2018) en plantas en producción de 3 años del clon CCN 51 encuentran en el rango de promedios de DFFF (densidad de flujo de fotones fotosintéticos) máximas en el día de $1300 \mu \text{ mol mol}^{-1}$ (alta radiación) a $500 \mu \text{ mol mol}^{-1}$ (baja radiación) disminuciones en el contenido de clorofila, aumentos en contenido de carotenoides que conlleva a disminución de la relación carotenoides/clorofila en la medida que los niveles de radiación aumentan. Las evaluaciones de estas variables permiten conocer diferencias de adaptación entre cultivares y la selección para estas condiciones de adaptación a altas DFFF estará definida por una alta A acompañado de una mayor eficiencia en los mecanismos de foto-protección. Por otra parte, resulta necesario relacionar estos variables con los rendimientos. Por ejemplo, CCN 51 un clon de alto rendimiento mantiene altas tasa de A , medianos valores de NPQ en regiones de baja demanda evaporativa (Jaimez *et al.*, 2022), pero es necesario evaluar a largo plazo los rendimientos.

Efecto de la temperatura sobre la respuesta fisiológica del cacao

El incremento del promedio de la temperatura global ha sido en los últimos 15 años de 1°C aproximadamente y las proyecciones estiman incrementos entre 2 a 3°C para finales del siglo XXI (IPCC, 2021). Por ello, evaluar las respuestas de los cultivos a temperatura mayores es de vital importancia. Desde 1975 se ha reportado que la temperatura anual promedio de lugares donde se cultiva cacao en África (Ghana y Nigeria), Sur América (Ecuador y Brasil) y Costa Rica en Centro América de temperatura varía en 22,4 y 26,7 y las variaciones mensuales esta entre 18.8 y 27.9°C (Alvim, 1975). Este autor también sugiere que la temperatura base para el crecimiento de cacao es de 9°C y establece una fórmula para calcular el número de días que se requiere para llegar a la madurez de los frutos. Esta temperatura es 8 a 9°C por debajo de lo usado en estudios posteriores en la cual se establece que la temperatura base varía de 18.6 a 20.8 (Daymond y Hadley, 2008) Es probable que tales diferencias radican en las condiciones experimentales en las cuales se determinaron.

En relación al crecimiento, se ha reportado que a mayores temperaturas los cultivares de cacao presentan mayor área y cuyos incrementos también dependen del cultivar foliar. Por ejemplo, el cultivar SCA6 para ese ensayo mostró menores áreas foliares con respecto a SPS54/1. Aumentos de temperatura conllevan a menores peso de las mazorcas y de las almendras y una mayor cantidad de flores caídas (Daymond y Hadley, 2004).

Amorin (1993) realizó evaluaciones de tasas de fotosíntesis en plantas juveniles de cacao, sometiendo las raíces a diferentes temperaturas entre 10°C a 40°C. El encontró que entre 20°C y 30°C las tasas fotosintéticas fueron mayores debido que los flujos de agua y la conductancia estomática fueron mayores. El rango de temperatura entre 24,1 a 25,6 °C es el óptimo donde se han obtenido los valores máximos de la fluorescencia máxima de la clorofila (Fv/Fm) para varios cultivares (Daymond y Hadley, 2008). Recientemente, ensayos de Mensah (2022) en plántulas encuentran que las temperaturas óptimas donde se obtienen las mayores A están entre 30-33 °C. A mayores temperaturas el fotosistema II se ve muy afectado, lo cual conlleva a disminuciones de las tasas fotosintéticas, bien sea en condiciones de sombra o de plena exposición. Sin embargo, es de hacer notar que las conductancias estomáticas disminuyeron solo en condiciones de alta radiación y altas temperaturas y temperaturas promedios actuales. Mientras a bajas radiaciones (400-600 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) las conductancias fueron más altas independientemente de la temperatura.

Como ya se mencionó los escenarios climáticos futuros muestran incrementos de temperaturas globales entre 2 a 2,5 °C lo cual dependerá de las emisiones de gases invernadero. Aquellos lugares donde se cultiva cacao, con promedios de temperatura más altos serán los más afectados y las producciones se verán disminuidas. Indiscutiblemente una los sectores más afectados serán los medianos y pequeños productores en especial, los que dependen fundamentalmente de este cultivo. Es probable que regiones que actualmente son frías para el cultivo, en un escenario futuro tengan las condiciones climáticas para que se desarrollen nuevas plantaciones.

Futuras estrategias de producción

Por las escasas investigaciones que se han realizado en cacao y sus respuestas fisiológicas por altas temperatura (Almeida y Valle 2007; Medina y Laliberte, 2017; Lahive *et al.*, 2018) existen aún incertezas y poca comprensión de los mecanismos de respuestas que tiene el cacao. Es prioritario evaluar una mayor cantidad de cultivares y explorar posible nuevos clones que pudieran adaptarse a condiciones de mayor temperatura (Hutchins *et al.*, 2015) y diferentes condiciones de luz (De Araujo *et al.*, 2017).

Como ya se ha planteado, plantaciones sin sombra requieren de una mayor atención en su manejo que incluye mayores requerimientos de fertilización (Alvim, 1975; Baligar *et al.*, 2005) y de una adecuada disponibilidad de agua

bien sea a través de una buena distribución de las lluvias a lo largo del año o de la implementación de riego (Jaimez *et al.*, 2022). La implementación del sombreado evitaría altas tasas transpiratorias y una menor condición estresante para las plantas de cacao en términos de disponibilidad de agua. La combinación con árboles sería implementada dependiendo de las condiciones de cada lugar y estarían mayormente definidas por las horas e intensidad de radiación.

Un aspecto que se ha planteado como alternativa es mantener las plantaciones de cacao bajo la sombra de árboles. Indudablemente un aspecto que debe continuar evaluándose es la búsqueda de árboles de altura cuyas bifurcaciones primarias estén por arriba de 5 m, creando de este manera un microclima para las plantas de cacao más estable. Por otra parte, es necesario la evaluación de las densidades de siembra de los árboles lo cual depende del diámetro de la copa.

Los resultados de Mensah *et al.* (2022) indican que la sombra pareciera no influir en los efectos negativos de altas temperaturas, no obstante, son resultados en condiciones de invernadero y en plántulas. Como se ha evidenciado, en la fase de plántulas los efectos de las variaciones micros climáticos son más drásticos.

La estrategia en función de crear ambientes propicios para el cultivo del cacao para los escenarios climáticos futuros apunta a tener sistemas de cultivos agroforestal que cuenten con ambientes más estables de temperatura y humedad relativa para el cacao. Se ha reportado para algunos cultivares de cacao una buena adaptación, en términos de funcionamiento del aparato fotosintético, bajo condiciones de sombreado parciales menores al 30 % (Suárez *et al.*, 2021, Sauvadet *et al.*, 2021).

El cultivo sólo utiliza una parte de la radiación fotosintéticamente activa que llega a la plantación, el resto es interceptado por los árboles de sombra, por lo tanto, es de suma importancia el manejo del sombreado en las plantaciones de cacao (Jaimez *et al.*, 2013). Además, se debe considerar la sensibilidad del cacao a la deficiencia de agua (Juby *et al.*, 2021) donde normalmente todos sus procesos fisiológicos se afectan por la falta de humedad del suelo que conlleva a reducciones de la producción total (Araque *et al.*, 2012; De Almeida *et al.*, 2021; Dzandu *et al.*, 2021). Por ello, la importancia de crear ambientes agroforestales que se conformarían con diferentes especies dependiendo de la región.

Una pregunta que surge es la vulnerabilidad del cacao a temperaturas más altas en condiciones de plena exposición en comparación con aquellas que están bajo la sombra. ¿Cuál será la respuesta en un escenario de mayor concentración de CO₂ y mayor temperatura? Tal incógnita no es fácil de responder (Dusenge *et al.*, 2019; Hebbbar *et al.*, 2020; Kizildeniz *et al.*, 2021) ya que las respuestas fisiológicas también conllevarán a cambios en el transporte de asimilados entre los diferentes componentes de la planta y no es claro como cambiarán y cómo afectará la producción. En consecuencia, ensayos que

evalúen este aspecto son necesarios (Black *et al.*, 2021).

Conclusiones

La información recopilada sirve de base para entender las respuestas del cacao en condiciones de luz y temperatura y aún se necesita más investigación para lograr una mayor comprensión de las complejidades de los cambios climáticos y sus efectos en la producción del cacao. Aunque las predicciones climáticas futuras son preocupantes, existe la expectativa de que haya suficiente diversidad genéticas que permita seleccionar cultivares más tolerantes a Cohen altas temperatura. Cultivar el cacao en lugares por arriba de 30 °C conllevará a cierres estomáticos y consecuentemente disminuciones de *A* además de daños en el aparato fotosintético.

Pareciera que ante un escenario climático de alta temperatura una estrategia del cultivo será su combinación con árboles. El cacao en campo al parecer mantiene altas tasas de *A* en radiaciones de 800 a 1000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Por ello es importante lograr esta condición con la combinación de árboles por lo que el manejo del sombreado en las plantaciones de cacao resulta un aspecto a seguir investigando.

Referencias bibliográficas

- Acheampong, K., Hadley, P. y Daymond, A.J. (2013). Photosynthetic activity and early growth of four cacao genotypes as influenced by different shade regimes under West African dry and wet season conditions. *Experimental Agriculture*. 49, 31–42. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0014479712001007>
- Ahenkorah, Y., Akrofi, G.S. y Adri, A.K. (1974). The end of the firstcocoa shade and manurial experiment at the cocoa research institute of Ghana. *Journal. Horticultura . Science*. 49: 43-51. <https://doi.org/10.1080/00221589.1974.11514550>
- Almeida, A. y Valle, R. (2007). Ecophysiology of the cocoa tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19(4): 425-448. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400011>
- Almeida, AAF, Gomes, F, Araujo, R. Santos, RC. y Valle, R. (2014). Leaf gas exchange in species of the *Theobroma* genus. *Photosynthetica*. 52(1):16–21. Doi:10.1007/s11099-013-0048-8
- Alverson W. S., Whitlock, B. A., Nyffeler, R., Bayer, C. y Baum, D. A. (1999). Phylogeny of the core Malvales: evidence from *ndhF* sequence data. *American Journal of Botany* 86:1474–1486. <https://doi.org/10.2307/2656928>
- Alvim, T. (1975). Ecophysiology of cacao In: Simposio sobre Ecofisiologia de cultivos tropicales Manaus, Brasil
- Araque, O., Jaimez, R. E., Tezara, W., Coronel, I., Urich, R. y Espinoza, W. (2012). Comparative photosynthesis, water relations, growth and survival rates in juvenile Criollo cacao cultivars (*Theobroma cacao*) during dry and wet seasons. *Experimental Agriculture* 48:513–522. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0014479712000427>
- Avila-Lovera, E., Coronel, I., Jaimez, R., Urich, R., Pereyra, G. y Araque, O. (2016). Rasgos ecofisiológicos de árboles adultos de cultivares de cacao criollo (*Theobroma Cacao* L.) De un banco de germoplasma de venezuela *Agricultura experimental*, 52 (1), 137-153. doi:10.1017/S0014479714000593
- Balasmilha, D., Daniel, E.V. y Bhat, P.G. (1991). Influence of environmental factors on photosynthesis in cocoa trees. – *Agricultural and Forest. Meteorology*. 55(1-2), 15-21 [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(91\)90019-M](https://doi.org/10.1016/0168-1923(91)90019-M)
- Baligar, V. C., Bunce, J. A., Bailey, B. A., Machado, R. C. y Pomella, A. W. V. (2005). Carbon dioxide and photosynthetic photon flux density effects on growth and mineral uptake of cacao. *J Food Agric Environ*, 3(2), 142-147 <https://www.wfpublisher.com/Abstract/590>
- Baligar, VC, Bunce, JA, Machado ,RCR. y Elson, MK. (2008). Photosynthetic photon flux density, carbon dioxide concentration and vapour pressure deficit effects on photosynthesis in cacao seedlings. *Photosynthetica* 46(2):216–221. <https://doi.org/10.1007/s11099-008-0035-7>
- Baligar, V. C., Elson, M. K., Almeida, A. A. F., de Araujo, Q. R., Ahnert, D. y He, Z. (2021). The impact of carbon dioxide concentrations and low to adequate photosynthetic photon flux density on growth, physiology and nutrient use efficiency of juvenile cacao genotypes. *Agronomy*, 11(2), 397. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020397>
- Bartley, B.G.D. (2005). Genetic diversity of cacao and its utilization. CABI, Wallingford
- Black, E., Pinnington, E., Wainwright, C., Lahive, F., Quaife, T., Allan, R.P., Cook, P., Daymond, A., Hadley, P., McGuire, P.C., Verhoef, A. y Vidale, P.L. (2021). Cocoa plant productivity in West Africa under climate change: a modelling and experimental study. *Environ. Res. Lett.* 16, 014009. DOI: 10.1088/1748-9326/abc3f3
- Cohen, I., Zandalinas, S.I., Huck, C., Fritschi, F.B. y Mittler, R. (2021). Meta-analysis of drought and heat stress combination impact on crop yield and yield components. *Physiol. Plant.* 171, 66–76. <https://doi.org/10.1111/ppl.13203>
- Daymond, A.J. y Hadley, P. (2004). The effects of temperature and light integral on early vegetative growth and chlorophyll fluorescence of four contrasting genotypes of cacao (*Theobroma cacao*). *Annals of Applied Biology*, 145(3), 257–262. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2004.tb00381.x>
- Daymond, A.J. y Hadley, P. (2008). Differential effects of temperature on fruit development and bean quality of contrasting genotypes of cacao (*Theobroma cacao*). *Annual. Appl. Biology*. 153, 175–185. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2008.00246.x>

- Daymond, A. J., Tricker, P. J. y Hadley, P. (2011). Genotypic variation in photosynthesis in cacao is correlated with stomatal conductance and leaf nitrogen. *Biologia Plantarum* 55:99–104. <https://doi.org/10.1007/s10535-011-0013-y>
- De Almeida, J., Tezara, W. y Herrera, A. (2016). Physiological responses to drought and experimental water deficit and waterlogging of four clones of cacao (*Theobroma cacao* L.) selected for cultivation in Venezuela. *Agric. Water Management*. 171, 80–88. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.03.012>
- De Araujo, RP, de Almeida ,AAF, Barroso, JP, de Oliveira, RA, Gomes ,FP, Ahnert D, y otros. (2017). Molecular and morphophysiological responses cocoa leaves with different concentrations of anthocyanin to variations in light levels. *Scientia Horticulturae* 224:188–97. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.008>
- Dusenge, M.E., Duarte, A.G. y Way, D.A. (2019). Plant carbon metabolism and climate change: elevated CO₂ and temperature impacts on photosynthesis, photorespiration and respiration. *New Phytol.* 221, 32–49. <https://doi.org/10.1111/nph.15283>
- Dzandu, E., Enu-Kwesi, L., Markwei, C.M. y Ayeh, K.O. (2021). Screening for drought tolerance potential of nine cocoa (*Theobroma cacao* L.) genotypes from Ghana. *Heliyon* 7(11), e08389. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08389>
- Fernández, M. y Gyenge, J. (2010). Técnicas en medición en ecofisiología vegetal : conceptos y procedimientos / editores :. – Buenos Aires : Ediciones INTA, 2010. 140 p. :
- Galyon, I. K. A., McDavid, C. R., Lopez, F. B. y Spence, J. A. (1996). The effect of irradiance level on cocoa (*Theobroma cacao* L.): II. Gas exchange and chlorophyll fluorescence. *Tropical agriculture*, 73(1). <https://journals.sta.uwi.edu/ojs/index.php/ta/article/view/2538>
- Grossiord, C., Buckley, T.N., Cernusak, L.A., Novick, K.A., Poulter, B., Siegwolf, R.T.W., Sperry, J.S. y McDowell, N.G. (2020). Plant responses to rising vapor pressure deficit. *New Phytol.* 226, 1550–1566. <https://doi.org/10.1111/nph.16485>
- Hadley, P., Acheampong, K., Pearson, S., End, M.J. y Wieb, H. (1994). The effects of environmental factors on cherelle wilt in cocoa grown in controlled environments. In: Proceedings of the 11th International Cocoa Research Conference. pp. 661–666.
- Hatfield, J.L. y Prueger, J.H. (2015). Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather Clim. Extrem.* 10, 4–10. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001>
- Hebbar, K.B., Apshara, E., Chandran, K.P. y Prasad Vara, P. V. (2020). Effect of elevated CO₂, high temperature, and water deficit on growth, photosynthesis, and whole plant water use efficiency of cocoa (*Theobroma cacao* L.). *Int. J. Biometeorol.* 64, 47–57.
- Hutchins, A., Tamargo, A., Bailey, C. y Kim, Y. (2015). Assessment of climate change impacts on cocoa production and approaches to adaptation and mitigation: A contextual view of Ghana and Costa Rica ICCO 2021, Quartely Bulletin of Cocoa Statistics, Vol. XLVII, No. 2, Cocoa year 2021-21
- IDEAM. Atlas Climatológico de Colombia. (2020). Available online: <http://www.ideam.gov.co>
- IPCC (2021) Cambio climático 2021. Bases físicas. Contribución del Grupo de Trabajo I al Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC: www.ipcc.ch
- Jaimez, R. E., Araque, O., Guzman, D., Mora, A., Espinoza, W. y Tezara, W. (2013). Agroforestry systems of timber species and cacao: survival and growth during the early stages. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics (JARTS)*, 114(1), 1-11. : <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:hebis:34-2012112642171>
- Jaimez, R.E., Amores, F., Vasco, A., Gastón, R., Tarqui, O., Quijano, G., Jimenez, J. y Tezara W. (2018). Photosynthetic response to low and high light of cacao growing without shade in an area of low evaporative demand. *Acta Biologica Colombiana* 23:95_103 <https://doi.org/10.15446/abc.v23n1.64962>
- Jaimez RE, Barragan, L., Fernández-Niño, M., Wessjohann, LA., Cedeño-García, G., Sotomayor Cantos, I. y Arteaga, F. (2022). *Theobroma cacao* L. cultivar CCN 51: a comprehensive review on origin, genetics, sensory properties, production dynamics, and physiological aspects. *PeerJ* 9:e12676 <https://doi.org/10.7717/peerj.12676>
- Juby, B., Minimol, J.S., Suma, B., Santhoshkumar, A.V., Jiji, J. y Panchami, P.S. (2021). Drought mitigation in cocoa (*Theobroma cacao* L.) through developing tolerant hybrids. *BMC Plant Biol.* 21, 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-03352-4>
- Kizildeniz, T., Pascual, I., Irigoyen, J.J. y Fermin, M., (2021). Future CO₂, warming and water deficit impact white and red Tempranillo grapevine: Photosynthetic acclimation to elevated CO₂ and biomass allocation. *Physiol. Plant.* 172, 1779–1794. <https://doi.org/10.1111/ppl.13388>
- Lahive, F., Hadley, P. y Daymond, A.J. (2018). The impact of elevated CO₂ and water deficit stress on growth and photosynthesis of juvenile cacao (*Theobroma cacao* L.). *Photosynthetica*, 56(3), 911-920. <https://doi.org/10.1007/s11099-017-0743-y>
- Medina, V. y Laliberte, B. (2017). *A review of research on the effects of drought and temperature stress and increased CO₂ on Theobroma cacao L., and the role of genetic diversity to address climate change.* <https://alliancebioversityciat.org/publications-data/review-research-effects-drought-and-temperature-stress-and-increased-co2>

- Mensah, E. O. (2022). Limited effects of shade on physiological performances of cocoa (*Theobroma cacao* L.) under elevated temperatura. *Environmental and Experimental Botany* 201: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104983>.
- Miyaji, K., Da Silva, W. y Alvim, P. (1997a). Longevity of leaves of a tropical tree, *Theobroma cacao*, grown under shading, in relation to position within the canopy and time of emergence. *New Phytologist*, 135(3), 445-454. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1997.00667.x>
- Miyaji, K., Da Silva, W. y Alvim, P. (1997b). Productivity of leaves of a tropical tree, *Theobroma cacao*, grown under shading, in relation to leaf age and light conditions within the canopy. *New Phytologist*, 137(3), 463-472. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1997.00841.x>
- Muller, W. y Valle, R. (2012) Ecofisiologia do cultivo do cacauero. In: Valle R, editor. *Ciência Tecnologia e manejo do cacauero*. MAPA: CEPLAC Brasil; 2012. p. 31-66.
- Motamayor, J., Risterucci, A., Lopez, P. *et al.* Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity* 89, 380–386 (2002). <https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6800156>
- Rada, F., Jaimez, R. E., García-Núñez, C., Azócar, A. y Ramírez, M. E. (2005). Relaciones hídricas e intercambio de gases en *Theobroma cacao* var. Guasare bajo periodos de déficit hídrico. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 22:112–120.
- Raja Harun, R.M. y Kamariah, H. (1983). The effects of shading regimes on the growth of cocoa seedlings (*Theobroma cacao* L.). – *Pertunika* 6: 1-5, 1983.
- Raja Harun, R.M. y Hardwick, K. 1988 The effects of prolonged exposure to different light intensities on the photosynthesis of cocoa leaves. – In: 10th Inter. Cocoa Res. Conf. Pp. 205-209, Santo Domingo 1988.
- Sauvadet, M., Dickinson, A. K., Somarriba, E., Phillips-Mora, W., Cerda, R. H., Martin, A. R. y Isaac, M. E. (2021). Genotype–environment interactions shape leaf functional traits of cacao in agroforests. *Agronomy for Sustainable Development*, 41, 1-12
- Suárez Salazar, J. C., Melgarejo, L. M., Casanoves, F., Di Rienzo, J. A., DaMatta, F. M. y Armas, C. (2018). Photosynthesis limitations in cacao leaves under different agroforestry systems in the Colombian Amazon. *Plos One*, 13(11), e0206149. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206149>
- Suárez, J. C., Gelpud, C., Noriega, J. E. y Ortiz-Morea, F. A. (2021). How do different cocoa genotypes deal with increased radiation? An analysis of water relation, diffusive and biochemical components at the leaf level. *Agronomy*, 11(7), 1422. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071422>
- Yang, J.Y., Scascitelli, M., Motilal, L.A., Sveinsson, S., Engels, J.M.M., Kane, N.C., Dempewolf, H., Zhang, D., Maharaj, K. y Cronk, Q.C.B., (2013). Complex origin of Trinitario-type *Theobroma cacao* (Malvaceae) <https://doi.org/10.1007/s11295-013-0601-4>



Efecto de tierra de diatomeas en el control de cochinilla algodonosa (*Pseudococcus* spp.) en guanábana (*Annona muricata*)

Effect of diatomaceous earth on the control of cottony cochineal (*Pseudococcus* spp.) in soursop (*Annona muricata*)

Marisol Rivero Herrada¹, Marco Antonio Hurtado Orellana², Carmen Victoria Marín Cuevas¹,
Mayra Carolina Vélez Ruiz¹

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo, ²Investigador Independiente

Autor de correspondencia: mrivero@uteq.edu.ec

Recibido: 24/08/2023. Aceptado: 15/01/2024

Publicado el 31 de enero de 2024

Resumen

El cultivo de guanábana puede ser afectado por una diversidad de plagas que afectan su desarrollo normal, medidas para el control de plagas especialmente en flores y frutos son necesarias. El uso de tierra de diatomeas es una alternativa para el manejo de plagas, sin embargo, se desconoce su potencial de control. La investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la tierra de diatomeas en el control de cochinilla algodonosa y la incidencia de fumagina en frutos de guanábana. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con siete tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron Tierra de diatomeas (SIO-DEM+) en dosis de 2.00; 4.00; 6.00; 8.00; 10.00 y 12.00 kg ha⁻¹ y control (sin aplicación). Las variables evaluadas fueron: porcentaje de incidencia de las cochinillas, grado de severidad de fumagina en frutos de guanábana. Los resultados obtenidos mostraron que el porcentaje de incidencia de cochinilla algodonosa utilizando la dosis 10.00 kg ha⁻¹ y 12 kg ha⁻¹ disminuyó en más del 40% la incidencia de la plaga. La severidad del daño de la fumagina en frutos de guanábana bajo el efecto de diferentes dosis de tierras de diatomeas disminuyó de grado 3 (2.67 grado severo) a grado 2 (2.00 daño medio) en los tratamientos T5 (10.00 kg ha⁻¹) y T6 (12.00 kg ha⁻¹).

Palabras clave: crecimiento, insecticida orgánico, silicio, plagas.

Abstract

Soursop cultivation can be affected by a variety of pests that affect its normal development, measures to control pests especially in flowers and fruits are necessary. The use of diatomaceous earth is an alternative for pest management; however, its control potential is unknown. For this reason, the objective of the research was to evaluate the effect of diatomaceous earth on the control of cottony cochineal and sooty mold in fruits of the soursop crop. A randomized complete block design (DBCA) with seven treatments and three repetitions was used. The treatments evaluated were diatomaceous earth (SIO-DEM+) in doses of 2.00; 4.00; 6.00; 8.00; 10.00 and 12.00 kg ha⁻¹ and control (without application). The variables evaluated were, percentage of incidence of mealybugs, degree of severity of sooty mold and fruit development (length, thickness and weight). The results obtained showed that the percentage of incidence of cottony mealybug using the doses of 10.00 kg ha⁻¹ and 12 kg ha⁻¹ decreased the incidence of the pest by more than 40%. The severity of sooty mold damage in soursop fruits under the effect of different doses of diatomaceous earth decreased in grade 3 – 2 with the treatments T5 (10.00 kg ha⁻¹) and T6 (12.00 kg ha⁻¹).

Keywords: growth, organic insecticide, silicon, pests.

Introducción

El cultivo de la guanábana (*Annona muricata*) constituye uno de los frutales más prometedores para el Ecuador (Guzmán, 2022). Este cultivo ha evolucionado y se empezó a desarrollar en Ecuador desde el año 2016, debido a la aceptación que ha tenido por los consumidores de frutas tropicales no tradicionales y porque proporciona variados sabores y alto valor nutricional cuyas cualidades terapéuticas favorece la salud de sus consumidores. Las plantaciones de guanábana establecidas presentan tecnologías amigables con el ecosistema, por sus condiciones edafoclimáticas Ecuador constituye uno de los países más prometedores para la producción y comercialización de este cultivo (Cedeño, 2020; Pino *et al.*, 2021).

La cochinilla harinosa o algodonosa (*Pseudococcus* spp.) es conocida por su importancia a nivel comercial, ya que puede afectar todas las etapas de desarrollo del cultivo de la guanábana y causar pérdidas de la cosecha. En ataques fuertes de cochinilla se debilita el árbol provocando caída de flores y frutos (Saunders y Coto, 2001). El debilitamiento de las plantas se debe a la succión de la savia, distorsión y amarillamiento de las hojas y caída prematura de estas. En fuertes infestaciones de cochinillas, favorece el desarrollo de fumagina (*Capnodium* sp.) por la secreción de sustancias azucaradas, lo cual interfiere en la fotosíntesis de la planta de guanábana (Rao *et al.*, 2006).

La fumagina es una enfermedad en la guanábana, el crecimiento del hongo el cual forma una película de color negro en la superficie de los órganos e impide que los rayos solares lleguen a los tejidos, consecuentemente evita el funcionamiento normal de la planta ya que dificulta el proceso de fotosíntesis, inhibe el intercambio gaseoso y transpiración al ocluir las estomas. Infestaciones severas de fumagina retardan el crecimiento, floración, reducen el potencial productivo de la planta y demerita la estética del fruto (Molano, 2007).

Otero y Castellanos (2019) definen que la tierra de diatomeas es un polvo inerte derivado de sedimentos amorfos y compuesto por caparazones fosilizados de algas unicelulares; por tanto, constituye un material ligero de baja densidad y su color se adecua a una variación de blanco al gris oscuro. Contiene aproximadamente 80% de dióxido de silicio, el 20% restante comprende minerales arcillosos, materia orgánica, cuarzo, carbonato de calcio y magnesio. Los pesticidas de tierras diatomeas pueden servir para el control de plagas como cochinilla algodonosa, se percibe como una buena opción para lograr un desarrollo agrícola sostenible en los cultivos agrícolas.

En el cultivo de la guanábana el daño provocado por la infestación de cochinilla algodonosa es considerable, ya que al realizar el enfunde para proteger al futuro fruto desde su etapa inicial, se genera un microclima ideal para la infestación de este insecto y producto de sus excrementos azucaradas sirve de sustrato para la colonización de hongos saprófitos que generan

lo que comúnmente se conoce como fumagina. Además, la presencia de fumagina produce manchas en la fruta de un tono negruzco y la vuelve visiblemente desagradable para su comercialización, lo que ocasiona importantes pérdidas económicas y una baja comercialización en la producción de la guanábana.

Basados en el daño provocado por la cochinilla algodonosa y como consecuencia la presencia del hongo fumagina, que afecta la calidad estética y comercial de los frutos de guanábana y debido a que se han demostrado científicamente los efectos de la tierra diatomeas como un posible pesticida natural para el control de plagas y enfermedades, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la tierra de diatomeas en el control de la cochinilla algodonosa y la incidencia de fumagina en frutos de guanábana, variedad gigante brasileña.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en la Unidad de Producción Agropecuaria (UPA) Agro avícola Hurtado, ubicado en la Provincia de los Ríos, cantón Ventanas, parroquia Zapotal, recinto la Ercilia. El suelo del local es Franco Arcilloso, de topografía ondulada-plana y pH de 5,7. La temperatura promedio de la zona es de 24 °C, Humedad relativa de 75% y 2,252.2 mm de precipitación (INIAP, 2020).

Fueron evaluados siete tratamientos seis dosis de tierras de diatomeas al 85% de concentración de silicio (SIO-DEM+) y un tratamiento control sin aplicación (Tabla 1). Se utilizó un diseño de bloques completo al azar (DBCA) con 5 repeticiones. Los datos de las evaluaciones de las diferentes variables evaluadas fueron sometidos a un análisis de varianza (ADEVA) y para la comparación múltiple de medias se utilizó la prueba de Tukey al 0.05% de probabilidad de error. La tabulación de los datos se realizó en la herramienta de Microsoft Excel 2016 y el procesamiento estadístico se efectuó con el Software estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2020).

Tabla 1. Descripción de los tratamientos

Descripción de los tratamientos	Dosis (kg ha ⁻¹)
T1. Tierra de diatomeas (SIO-DEM+)	2.00
T2. Tierra de diatomeas (SIO-DEM+)	4.00
T3. Tierra de diatomeas (SIO-DEM+)	6.00
T4. Tierra de diatomeas (SIO-DEM+)	8.00
T5. Tierra de diatomeas (SIO-DEM+)	10.00
T6. Tierra de diatomeas (SIO-DEM+)	12.00
T7. Control	Sin aplicación

La investigación se estableció en una plantación del cultivo de la guanábana en producción de la variedad gigante brasileña, con una densidad poblacional de 156 árboles por hectáreas plantados en marco real (8.0 x 8.0 m), con edad

de siete años. Antes de realizar las respectivas evaluaciones en la investigación se determinó el porcentaje de incidencia cochinilla algodonosa el cual reportó una incidencia del 63.0%, lo que se consideró como el principal problema de investigación. El área total del experimento fue 0.50 hectáreas, se seleccionaron cinco árboles por tratamientos (35 en total) y se escogieron 10 flores y frutos por cada punto cardinal del árbol. Cada tratamiento de tierra de diatomeas (SIO-DEM+) en las diferentes dosis estudiadas se aplicó a 10 flores de cinco árboles en cada repetición, para un total de 50 flores y frutos por tratamiento.

Para la aplicación de la Tierra de diatomeas (SIO-DEM+) se utilizó una pulverizadora de espalda con motor a gasolina, con capacidad de 20 litros por hectárea y con boquilla rociadora tipo abanico. El volumen del producto fue regulado y dirigida a las flores y frutos en formación en cada aplicación. La primera aplicación fue realizada a las flores polinizadas en la etapa tres de maduración de la flor del cultivo de guanábana, cubriendo la totalidad de la flor de cada árbol seleccionado por tratamiento. La segunda aplicación fue realizada al momento del enfunde de los frutos en formación.

Como la fruta enfundada genera un efecto de invernadero propicio para el desarrollo de la cochinilla algodonosa y posterior crecimiento de fumagina, a los cinco días después de la primera y segunda aplicación de la tierra de diatomeas se procedió a evaluar el grado de severidad de daños de la fumagina en las frutas seleccionadas por árbol. Las mediciones a las frutas se realizaron cuando la fruta de la guanábana se encontraba completamente formada. El resto de las atenciones durante la etapa del experimento en el cultivo de la guanábana se realizaron con sistema de producción agroecológica y orientaciones técnicas para el cultivo (INIAP, 2014).

Las variables evaluadas fueron el porcentaje (%) de incidencia de cochinilla algodonosa en frutos en inicio de formación (antes del enfunde). La incidencia se determinó por la fórmula indicada por la cantidad de flores polinizadas y frutos afectados por la plaga de cochinilla con respecto a la totalidad de flores y frutos evaluados por árbol en cada tratamiento. Se empleó la siguiente fórmula para determinar el porcentaje de incidencia de la cochinilla.

$$I = \frac{\text{Total de árboles enfermos}}{\text{Total de árboles muestreados}} * 100$$

I= Incidencia (%)

También se determinó el índice promedio de severidad (IPS) de fumagina en frutos de guanábana en inicio de formación antes del enfunde. Para verificar el índice promedio de severidad de fumagina en frutos de guanábana se utilizó la escala de severidad de daño propuesta por Ploper *et al.* (2006) (Tabla 2).

Tabla 2. Grado y severidad de daños causados por fumagina

Grado	Severidad de daño (%)	Nivel de la enfermedad
0	0	Sano
1	1-5	Daño ligero
2	6-20	Daño medio
3	21-50	Daño severo
4	>50	Daño muy severo

Fuente: Ploper et al. (2006).

Resultados y discusión

Antes de la aplicación de los tratamientos la plantación de guanábana tenía un porcentaje de incidencia del 63.0% de cochinillas algodonosa, como consecuencia de esto el grado de daño de fumagina era muy severo (3 a 4) teniendo en cuenta que, al aumentar la incidencia de cochinillas, incrementa la severidad en grados de la fumagina. Los resultados del análisis de varianza no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$). La severidad de daño de fumagina en el cultivo de la guanábana después de la segunda aplicación, cuando los frutos estaban en inicio de formación antes del enfunde mostraron que los tratamientos de Tierra de diatomeas en las dosis de 12.00 y 10.00 kg ha⁻¹ obtuvieron los mejores resultados, disminuyendo el grado de severidad de daño de fumagina a un valor de 2.00, sin diferir significativamente ($p > 0.05$) entre ellos. No obstante, las dosis antes indicadas fueron significativamente superiores ($p < 0.05$) al resto de los tratamientos. En general todos los tratamientos tuvieron diferencias estadísticas ($p < 0.05$) con el tratamiento T7 (control) que obtuvo la mayor severidad de daños con un grado 4 (Tabla 4).

Se observa que después de la segunda aplicación del producto al momento antes del enfunde en inicio de formación frutos, el tratamiento T6 obtuvo un porcentaje de incidencia del 10.67%, con el mayor efecto control de la cochinilla, sin diferencias significativas con el tratamiento T5 que obtuvo un valor de incidencia 15.33% de cochinillas (Tabla 3). Comparando con el 63.00% de incidencia que tenía la plantación antes de la aplicación de los tratamientos, hubo una reducción del 40% en la incidencia de cochinilla.

Tampoco fueron encontradas diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos para la severidad de daño ocasionado por la fumagina como un resultado de la incidencia de la cochinilla algodonosa en el cultivo de guanábana después de la primera aplicación de los tratamientos en flores de guanábana luego de la polinización (Tabla 4).

Tabla 3. Incidencia de cochinilla algodonosa en frutos de guanábana en inicio de formación (antes del enfunde) bajo el efecto de los tratamientos

Descripción de los tratamientos	Dosis (kg ha ⁻¹)	Media (%)	
T6. Tierra de diatomeas (SIO-DEM+)	12.00	10.67	a
T5. Tierra de diatomeas (SIO-DEM+)	10.00	15.33	ab
T4. Tierra de diatomeas (SIO-DEM+)	8.00	20.33	bc
T3. Tierra de diatomeas (SIO-DEM+)	6.00	22.67	bc
T2. Tierra de diatomeas (SIO-DEM+)	4.00	28.67	cd
T1. Tierra de diatomeas (SIO-DEM+)	2.00	33.00	d
T7. Control	Sin aplicación	86.33	e
Promedio		31.00	
Coefficiente de variación (%)		9.92	

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes, según la prueba de Tukey ($p > 0.05$)

Tabla 4. Grado de severidad de fumagina en frutos en inicio de formación antes del enfunde

Descripción de los tratamientos	Dosis (kg ha ⁻¹)	Media (Grado)	
T5. Tierra de diatomeas (SIO-DEM+)	10.00	2.00	a
T6. Tierra de diatomeas (SIO-DEM+)	12.00	2.00	a
T4. Tierra de diatomeas (SIO-DEM+)	8.00	2.67	b
T1. Tierra de diatomeas (SIO-DEM+)	2.00	3.00	b
T2. Tierra de diatomeas (SIO-DEM+)	4.00	3.00	b
T3. Tierra de diatomeas (SIO-DEM+)	6.00	3.00	b
T7. Control	Sin aplicación	4.00	c
Promedio		2.81	
Coefficiente de variación (%)		7.77	

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes, según la prueba de Tukey ($p > 0.05$)

La severidad de daño de fumagina en el cultivo de la guanábana después de la segunda aplicación, cuando los frutos estaban en inicio de formación antes del enfunde mostraron que los tratamientos de Tierra de diatomeas en las dosis de 12.00 y 10.00 kg ha⁻¹ obtuvieron los mejores resultados, disminuyendo el grado de severidad de daño de fumagina a un valor de 2.00, sin diferencias significativas entre ellos, pero si tuvieron diferencias significativas con el resto de los tratamientos. En general todos los tratamientos tuvieron diferencias estadísticas con el tratamiento T7 (control) que obtuvo la mayor severidad de daños con un grado 4 (Tabla 4).

Los resultados obtenidos permiten inferir que hubo un control de la cochinilla al momento después de la segunda aplicación en el enfunde en el inicio de formación de los frutos. Este resultado pudo estar influenciado por las condiciones climáticas que se presentaron en esta época del año en que se estableció el experimento, las condiciones del clima pudo haber ayudado a que la tierra de diatomeas tuviera un mejor efecto control por efecto del silicio directamente, lo anterior también fue considerado por Fimbres (2019) al referir que la eficacia de la tierra de diatomeas se puede ver afectada

por algunos factores como temperatura, humedad relativa, sustratos.

Los resultados mostraron efecto de control sobre cochinillas cuando fue utilizada la dosis de 10.00 kg ha⁻¹ de tierra de diatomeas, lo que significa que las cochinillas necesitan mayor cantidad de tierra de diatomeas para que ocurra una disminución en el porcentaje de incidencia. Estos resultados están sustentados por Fernández y Rodríguez (2020), quienes mencionan que la tierra de diatomeas es un polvo fino similar al talco que se considera no tóxico para los mamíferos y que puede ser utilizado de manera sostenible para la agricultura actual.

En el momento de la formación del fruto, con la segunda aplicación se mostraron los efectos más marcados de la tierra diatomeas en la disminución de la incidencia de cochinilla. Este resultado fue mejor cuando se utilizó la dosis de 10.00 kg ha⁻¹ considerada alta. Al respecto Morelos y Paredes (2017) consideran que la eficacia de la tierra de diatomeas cuando se usa sola contra insectos-plaga depende de una gran cantidad aplicada y un mayor tiempo de exposición.

En general se observó un mayor control de la tierra

de diatomeas sobre las cochinillas a partir de la segunda aplicación y con el tratamiento T5 (10.00 kg ha⁻¹ de tierra diatomeas).

En relación con la severidad de la fumagina esta disminuyó a grado 2 para todos los tratamientos con aplicación de las tierras de diatomeas, en contraste con el incremento de grado de severidad de 3 a 4 en el tratamiento T7 (Sin aplicación). Como consecuencias de la disminución del porcentaje de incidencia de la cochinilla, también disminuyó el grado de severidad de la enfermedad provocada por la fumagina.

Conclusiones

La incidencia de cochinilla algodonosa bajo el efecto de diferentes dosis de tierras de diatomeas disminuyó en 52.33%, con los tratamientos donde se utilizaron las dosis de 10.00 kg ha⁻¹ y 12.00 kg ha⁻¹. La severidad del daño de la fumagina en frutos de guanábana bajo el efecto de diferentes dosis de tierras de diatomeas disminuyó de grado 3 (2.67 grado severo) a grado 2 (2.00 daño medio), con los tratamientos de 10,00 kg ha⁻¹ y 12.00 kg ha⁻¹.

Referencias bibliográficas

- APAEU. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. (2020). Uso de tierra de diatomeas en calidad alimentaria y control de plagas. Informe agrícola, NPIC, Centro Nacional de Información Pesticida, Washington.
- Altieri, M. A., Manfrino, A. y Lattari, M. (2018). Alternativas agroecológicas para el control de insectos en los cultivos hortícolas en el parque Pereyra Iraola. (LEISA, Ed.) *Revista de Agroecología*, 34(1), 63. <https://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-34-numero-1/3222-alternativas-agroecologicas-para-el-control-de-insectos-en-los-cultivos-hortícolas-en-el-parque-pereyra-iraola>
- Cedeño, R. M. A. (2020). *Inventario actualizado de insectos plaga presentes en el cultivo de Guanábana (Annona muricata L.) en la provincia del Guayas* [Tesis de grado, Universidad de Guayaquil].
- Córdova, M. A. y Iturralde, R. (2020). Estudio de estrategias agroecológicas para la gestión de plagas en frutales de producción ecológica. Uso de tierra diatomeas en control de plagas. Investigación científica, Universidad Politécnica de Valencia, Programa Doctoral en Agroindustria, Madrid.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo, C. (2019). InfoStat versión 2019. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba-Argentina, Obtenido de <http://www.infostat.com.ar>
- Fernández, J. y Rodríguez, E. S. (2020). Ensayo para la mejora de estreses abióticos y bióticos con tierra de diatomeas. Artículo científico, Instituto de Tecnología e Investigación Agrícola, Programa de Maestría en Desarrollo Agrícola, Madrid.
- Guzmán Nevares, M. A. (2022). *Identificación de tipos de injertos utilizados en el cultivo de Guanábana (Annona muricata L.), en el Ecuador* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Babahoyo].
- INIAP. 2014. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Repositorio. Guanábana.
- INIAP. 2020. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Estación Experimental Tropical Pichilingue, Mocache, Ecuador.
- Mercedes, L. M. y Paredes, M. (2017). *Determinación del índice trófico de la calidad de agua a partir de la presencia de diatomeas epilíticas en el río Cutuchi, sector Lasso, cantón Latacunga* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Cotopaxi].
- Molano, P. J. T. (2007). Enfermedades del aguacate. *Revista politécnica*, 3(4), 51-70.
- Otero, A. C. y Castellanos, L. (2019). Eficacia de la tierra de diatomeas y la cal sobre ariónidos agriolímácidos. *Revista de Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(3), 583. <https://doi.org/10.21930/rcta.vol20num3art:1587>
- Pino, M. d., Calderón, E., Campos, B., Rodríguez, C. y Vela, J. M. (2021). *Gestión integrada de la Cochinilla blanca del mango*. Informe Agropecuario, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Madrid.
- Ploper, L. D., Escobar, D., Ivancovich, A., Diaz, C. G., Sillon, M., Formento, N. y Saieg, E. (2006). Propuesta de protocolo para muestreo y evaluación de la roya asiática de la soja en Argentina. Avance agroindustrial-Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes, 27(3), 35-37.
- Rao, C. N., Shivankar, V. J. y Singh, S. (2006). Citrus mealy bug (*Planococcus citri* Risso) management-a review. *Agricultural Reviews*, 27(2), 142-146.
- Saunders, J. L. y Coto, D. A. (2001). Insectos plaga de la guanábana (*Annona muricata*) en Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas*, 61, 60-68. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6416>
- Zhang, Y., Liang, Y., Zhao, X., Jin, X., Hou, L. y Shi, Y. A. (2019). Silicon compensates phosphorus deficit-induced growth inhibition by improving photosynthetic capacity, antioxidant potential, and nutrient homeostasis in tomato. *Agronomy*, 9(11), 733. <https://doi.org/10.3390/agronomy9110733>



Calidad química del cacao (*Theobroma Cacao L.*) tipo nacional de la parroquia Valle Hermoso – Ecuador

Chemical quality of national type cocoa (*Theobroma Cacao L.*) from Valle Hermoso parish – Ecuador

Wiston Javier Morales-Rodríguez¹, José Miguel Carlosama - Martínez², Carmen Alexandra Sinchi Rivas¹, Abelardo Jerónimo Alderete Rendon¹, Christian Amable Vallejo Torres¹, Wiston Joel Morales Cedeño³

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador. ²Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador. ³Universidad de los Andes, Ecuador.

Autor de correspondencia: wmorales@uteq.edu.ec

Recibido: 22/06/2023. Aceptado: 15/01/2024
Publicado el 31 de enero de 2024

Resumen

El cacao del tipo Arriba, también llamado Nacional o Fino de Aroma, es considerado una variedad de cacao con calidad excepcional gracias a su sabor incomparable, fragancia exquisita y beneficios nutricionales destacados. La investigación tuvo el objetivo de determinar las características químicas y principales minerales de los granos de cacao tipo Nacional de los diferentes productores de los recintos de la parroquia “Valle Hermoso” en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con tres repeticiones y se analizaron veintiún muestras que constituyeron las almendras de cacao fermentadas y secas de los productores. Se determinaron variables químicas como pH, humedad, grasa, proteína, fibra cruda, ceniza, teobromina y minerales como Calcio, Magnesio, Potasio, Hierro, Zinc y Fósforo; para el análisis se utilizaron los métodos AOAC y los usuales en calidad del cacao. Para los resultados, se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) y separación de medias se realizó con la prueba de Tukey al 5%. Los resultados obtenidos presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) por tanto los parámetros que se obtuvieron pueden servir como diferenciadores de calidad para los productores. Mediante el análisis de minerales de las muestras, se demostró mayor contenido en potasio, fósforo, calcio y magnesio, con ello se definieron como los minerales principales en el grano de cacao fino de aroma. Los parámetros de grasa, proteína, teobromina y minerales difirieron a los parámetros de calidad del cacao en Ecuador, debido a que estas variables dependen de factores como las condiciones climáticas, manejo de post cosecha, características del suelo, prácticas de cultivo y por la genética de cacao que producen.

Palabras clave: Cacao Arriba, contenido de minerales, Teobromina, fibra bruta.

Abstract

Arriba type cocoa, also called Nacional or Fino de Aroma, is considered a variety of cocoa with exceptional quality thanks to its incomparable flavor, exquisite fragrance and outstanding nutritional benefits. The objective of the research was to determine the chemical characteristics and main minerals of national type cocoa beans from different producers in the “Valle Hermoso” parish in the province of Santo Domingo de los Tsáchilas. A completely randomized design (CRD) with three replications was used. Twenty-one samples of fermented and dried cocoa beans from were analyzed. Chemical variables such as pH, humidity, fat, protein, crude fiber, ash, theobromine and minerals such as calcium, magnesium, potassium, iron, zinc and phosphorus were determined using AOAC methods and the usual methods for cocoa quality. For the results, an analysis of variance (ANOVA) and separation of means was performed with Tukey’s test at 5%. The results obtained showed significant differences ($p < 0.05$); therefore, the parameters obtained can serve as quality differentiators for producers. The mineral analysis of the samples showed a higher content of potassium, phosphorus, calcium and magnesium, which were defined as the main minerals in the fine aroma cocoa beans. The parameters of fat, protein, theobromine and minerals differed from the quality parameters of cocoa in Ecuador, because these variables depend on factors such as climatic conditions, post-harvest management, soil characteristics, cultivation practices and the genetics of cocoa produced.

Key words: Cacao Arriba, mineral content, Theobromine, raw fibre.

Introducción

El cacao (*Theobroma Cacao L.*) del tipo Arriba, también conocido como Nacional o Fino de Aroma, es una variedad catalogada de excelencia en cuestión a calidad sensorial debido a su inigualable sabor, exquisita fragancia y propiedades nutricionales (Ávila y Cedeno, 2021). Esta característica lo ha convertido en un importante rubro dentro de la economía no petrolera del Ecuador, compartiendo prominencia con el banano, camarón y flores. Las exportaciones de cacao ecuatoriano superan las 400 mil toneladas anuales, generando ingresos que exceden los \$1,000 millones de dólares por año. Este flujo de ingresos constituye un 1.97% del Producto Interno Bruto (PIB) ecuatoriano, otorgándole una destacada presencia en el mercado global (El Misionero, 2023).

El cacao tipo Nacional tiene las características idóneas en cuestión a aromas y sabores buscadas por los fabricantes de chocolate. Este cacao representa el 5% de toda la producción mundial, que equivale al 63% de la producción ecuatoriana convirtiéndolo en el país productor más codiciado a nivel internacional (Elaje-Solis, 2022).

La producción de cacao ha sido de gran importancia en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, que se ha convertido en su mayor fuente de ingresos económicos para los productores, estimándose una superficie de 19 837 hectáreas de cacao entre CCN51 y Nacional (Anzules *et al.*, 2018).

Según (García Vidal *et al.*, 2017) la parroquia de Valle Hermoso es una de las zonas con mayor producción de cacao CCN51 y Nacional, seguida de las parroquias Puerto Limón, Luz de América y San Jacinto del Búa, en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. La mezcla y los injertos empíricos de dichas plantaciones con clones de cacao como: EET-103, EET-019, EET-48, EET-62, EET-96 y EET-555 desarrollados por el INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias), donde se desconoce la calidad química de las variedades de cacao, motivando a que se establezca una división socio productiva entre asociaciones causando una inequidad económica a causa de la calidad final del cacao que producen. Los recintos que conforman la parroquia de Valle Hermoso, cuentan con numerosas variedades de cacao, generalmente en mezclas, las cuales fueron adaptadas para mejorar su rendimiento.

Según el diagnóstico y caracterización realizada por el GAD Parroquial de Valle Hermoso en el 2015, indica que la parroquia de Valle Hermoso presenta, dentro de su extensión territorial, un 67.56 % de suelo franco-arenoso (60% arena, 30% limo y 10% de arcilla) el cual se considera adecuado para el cultivo de cacao (GAD VALLE HERMOSO, 2015). Según (Martínez-Aguilar *et al.*, 2020), en un suelo de similares características que el de Valle Hermoso, la composición de macro y micronutrientes (suelo franco-arenoso) fue: 74.78 mg/kg de Fósforo, 3.12 mg/kg de Potasio, 4.91 mg/kg de Calcio, 9.22 mg/kg de Magnesio, y valores menores a 3 mg/

kg de Hierro y Zinc.

La composición química de las almendras de cacao, dependen de varios factores como la genética, el origen geográfico, el grado de fermentación, la forma de secado y el manejo poscosecha (Fernández *et al.*, 2022). Sin embargo, Kakaw Sana (2012) indica que, dependiendo del procesamiento agroindustrial al que se ha sometido al grano, su composición química resulta ser muy compleja, por ello al referirse a la calidad del cacao, se involucra las características químicas de las almendras fermentadas y secas.

En la poscosecha, los parámetros implicados en los procesos como fermentación, secado, limpieza, transporte y almacenamiento influyen significativamente en el desarrollo de las propiedades, las cuales determinan la calidad del chocolate final (Mora *et al.*, 2022).

El desconocimiento de la calidad química de las variedades de cacao por parte de los productores de la parroquia ha causado una inequidad económica a pesar de obtener una producción alta de cacao, e inclusive ha provocado una división socio productiva entre productores, debido al incremento desordenado del área productiva. El conocimiento de la calidad química por parte de los productores, permitiría destacar las características únicas de sus cacaos en comparación de otros en el mercado, lo cual puede brindarles una ventaja competitiva. Ante este escenario, se diseñó y ejecutó el presente trabajo investigativo con el objetivo de determinar las características químicas de los granos de cacao tipo Nacional fermentados y secos de 21 fincas cacaoteras de la parroquia de Valle Hermoso, comparadas bajo las normativas ecuatorianas y europeas.

Materiales y métodos

Características de la localidad de estudio

La toma de las muestras de cacao se obtuvo de 21 fincas productoras de cacao fino de aroma con una edad media de la plantación de cuatro años, pertenecientes a 21 recintos de la Parroquia de Valle Hermoso, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, cuya ubicación geográfica es: 0°05'14" de latitud Sur y 79°16'49" de longitud Oeste.

Las condiciones climáticas de la zona de estudio son: un clima subtropical húmedo, se encuentra a una altura de 260 msnm, temperatura media de 28°C, humedad relativa de 80 – 90 %, horas de brillo solar de 2 a 4 horas/ día y pluviosidad promedio anual de 2000 mm (GAD VALLE HERMOSO, 2015).

El análisis químico se desarrolló en el Laboratorio de Bromatología de la Universidad UTE, Sede Santo Domingo, localizada en la vía Chone km. 4.5 de la ciudad de Santo Domingo de los Colorados, su ubicación geográfica es: 01°06" de latitud Sur y de 79°29" de longitud Oeste.

Las almendras de cacao fino de aroma fueron fermentadas durante 5 días en cajas de madera de una capacidad de 20 kg. Después de este proceso, las muestras fueron secadas al sol en

una marquesina para deshidratar las almendras hasta un 6 - 7 %.

En el estudio se empleó un diseño completamente al azar (DCA) de 21 muestras (recintos) con tres repeticiones de las almendras de cacao fermentadas y secas. La codificación de los recintos se describe en la Tabla 1.

Tabla 1. Códigos de las fincas de los productores de cacao fino de aroma de Valle Hermoso

Recintos de origen de las muestras de cacao	Código del productor
San Vicente	CVH1
La Marianita	CVH2
Auténticos Campesinos	CVH3
La Asunción	CVH4
Cuatro de Febrero	CVH5
El Cristal	CVH6
Cristóbal Colón	CVH7
Nuevo Amanecer	CVH8
Recinto 9 de Octubre	CVH9
Mirador de la Selva	CVH10
La Bocana	CVH11
Bella Esperanza	CVH12
El Salazar	CVH13
La Primavera	CVH14
Blanquito	CVH15
Unión Ganadera	CVH16
El Triunfo	CVH17
El Sábalo	CVH18
El Recreo	CVH19
Pambilandia	CVH20
El Descanso	CVH21

CVH#: Cacao de Valle Hermoso # de recinto

Medición de variables

Las variables químicas que se evaluaron de los granos de cacao fino de aroma son: pH, humedad, grasa, proteína, fibra cruda, ceniza, teobromina y minerales como Calcio, Magnesio, Potasio, Hierro, Zinc y Fósforo; todos los análisis se llevaron a cabo por triplicado. En la Tabla 2 se detallan los métodos de referencia y técnicas que se aplicaron en las variables de estudio.

Tabla 2. Métodos y técnicas de medición de las variables de estudio

Análisis	Método de referencia	Técnica
Humedad	Método. N° 931.04, AOAC	Gravimétricos
pH	Método. N° 970.21, AOAC	Potenciométrico
Grasa	Método. N° 936.15, AOAC	Soxleth
Proteína cruda	Método. N° 968.06, AOAC	Kjeldahl
Ceniza	Método. N° 923.03, AOAC	Gravimétrico
Fibra cruda	Método. N° 923.09 AOAC	Weende
Teobromina	Método. N° 980.14 AOAC	Cromatografía HPLC
Minerales		
Calcio	Método N° 985.35, AOAC	Espectrofotometría
Magnesio	Método N° 985.35, AOAC	Espectrofotometría
Potasio	Método N° 985.35, AOAC	Espectrofotometría
Hierro	Método N° 985.35, AOAC	Espectrofotometría
Zinc	Método N° 985.35, AOAC	Espectrofotometría
Fósforo	Método N° 995.11, AOAC	Colorimetría

Fuente: métodos de análisis oficiales dentro de la normativa INEN 176. (AOAC, 2011)

Análisis estadísticos

Los análisis estadísticos de las muestras de granos de cacao fermentadas y secas se realizaron usando el programa estadístico InfoStat versión 2020. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y la separación de medias se realizó con la prueba de Tukey $\alpha = 0.05$ (Leiva-Rojas *et al.*, 2019).

Resultados y discusión

Composición Química

pH. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las muestras analizadas en cuestión del pH. Los valores de pH variaron entre 4.72 a 6.08 pertenecientes a las muestras CVH1 y CVH14 respectivamente (Tabla 3). Loureiro *et al.* (2017), citado por Andrade Almeida *et al.* (2019), mostraron valores de 5.20 a 6.30 de pH de las almendras de cacao respectivamente. Los resultados mostraron que la mayor parte de las muestras que fueron analizadas se encontraron dentro

del rango mencionado anteriormente, a excepción de las muestras CVH1 (4.72), CVH2 (5.15), CVH3 (4.70), CVH18 (5.02) y CVH21 (5.06) las cuales presentaron un pH inferior a 5.2. Estas variaciones de pH, se producen principalmente en la etapa de fermentación, donde se producen cambios por efectos de temperatura y acción microbiana, las cuales están presentes en esta etapa. También, dentro de la investigación realizada por Andrade Almeida *et al.*, (2019), obtuvieron una media de 5.18 de pH el cual no se aproxima con el obtenido en esta investigación, ya que la media de pH obtenida de las muestras analizadas fue de 5.52. FEDECACAO, (2005) menciona que una almendra de cacao fermentada y seca con un pH (≤ 4.5) disminuye potencialmente en aromas, y por ende disminuye su potencial aromático dando presencia de defectos organolépticos en el producto final.

Contenido de humedad (%). En el contenido de humedad se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$), donde las muestras analizadas contaron con un rango de 6.04 a 6.99% de humedad, correspondientes a las muestras CVH4 y CVH7, respectivamente (Tabla 3). La humedad en los granos de cacao es uno de los requisitos más importantes en su comercialización, conservación y producción y es un parámetro de calidad que permite la preservación del grano durante su almacenamiento, empaque y transporte (Álvarez *et al.*, 2007). En la normativa ecuatoriana vigente para los granos de cacao (INEN, 2018) "Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0176:2018. Cacao en grano. Requisitos.", "type": "report", "uris": [{"http://www.mendeley.com/documents/?uuid=d67c29d7-7d84-47bb-a583-bed256ade67a"}], "mendeley": {"formattedCitation": "(INEN, 2018, recomienda que el contenido máximo de humedad aceptable es del 7%, por lo tanto, los valores obtenidos se encontraron dentro del rango establecido por la normativa NTE INEN 0176. Estos resultados son suficiente para que en el grano no se desarrollen mohos, hongos, malos olores, y daños por insectos. En un estudio bromatológico de granos de cacao de variedad arriba realizado en distintos departamentos de Colombia se obtuvo un rango de humedad entre 6.0 a 6.5% (FEDECACAO, 2005). Los valores obtenidos en esta investigación que cumplen con este rango son las muestras CVH1 (6.43%), CVH3 (6.07%), CVH4 (6.04%), CVH5 (6.06%), CVH6 (6.28%), CVH8 (6.38%), CVH9 (6.38%), CVH11 (6.24%), CVH12 (6.32%), CVH17 (6.14%) y CVH21 (6.18%). Braudeau (1970) recomienda que el contenido de humedad debe estar dentro de un rango de 6 a 7% para garantizar su almacenamiento y prevenir la contaminación de microorganismos. Una almendra de cacao con humedad menor al 6% tiende a ser frágil y quebradizo.

Contenido de proteína (%). Se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las muestras analizadas, registrándose un rango de proteína entre 11.78% y 13.74% correspondientes a las muestras CVH2 y CVH10,

respectivamente y un promedio general de 12.71% (Tabla 3). Verdesoto (2009), en su estudio realizado de los parámetros químicos según las calidades de cacao, obtuvo un rango de contenido de proteína entre 11.50% a 12.40%, las cuales no coinciden con los resultados que se obtuvieron de las muestras CVH4 (13.47%), CVH6 (12.61%), CVH7 (13.00%), CVH8 (13.17%), CVH10 (13.74%), CVH11 (13.03%), CVH12 (12.51%), CVH13 (12.43%), CVH14 (12.50%), CVH17 (13.38%), CVH19 (13.11), CVH20 (13.51%) y CVH21 (13.07%). En una investigación realizada sobre las características físicas y químicas de almendras secas del cacao fino de aroma provenientes de la región Amazonas, Chapa Gonza (2022) obtuvieron un rango de contenido de proteína entre 11.81 a 16.19%. Por lo tanto, los valores obtenidos en esta investigación estuvieron dentro de este rango a excepción de la muestra CVH2 (11.78%) la cual tuvo un valor por debajo del mínimo mencionado, sin embargo, ninguno de las muestras llegó al máximo de contenido de proteína de la investigación mencionada, ya que la muestra que tuvo mayor porcentaje de proteína fue CVH10 con 13.74%. El contenido de proteína actúa en la formación del aroma y en el sabor astringente del grano de cacao (del Valle González-Canache *et al.*, 2014).

Contenido de grasa (%). Las medias de las muestras de cacao analizadas, mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) (Tabla 3), en donde la muestra CVH11 tuvo el mayor porcentaje de grasa con 44.89%, siendo este el más próximo a lo referido por Chang *et al.* (2014) donde señalan que el cacao fino de aroma adquiere menos del 50% de grasa para lo cual requieren de 3 días de fermentación; mientras que la muestra CVH6 obtuvo el menor contenido de grasa con 36.15%, dando un promedio general de 42.30%.

Según Camino Castillo *et al.* (2014) el contenido de grasa varía entre 43.84 y 48.85%, en donde las muestras CVH8 (44.84%); CVH11 (44.89%); CVH15 (44.31%) y CVH16 (44.84%) coincidieron con lo mencionado por los investigadores citados, mientras que las demás muestras de la investigación no coincidieron con el rango mencionado. De acuerdo a los parámetros físico químicos del grano de cacao (FEDECACAO, 2005) el porcentaje de grasa debe estar entre 52% a 55%, con lo cual ninguna de las muestras que se analizaron, coinciden con este rango.

El contenido de grasa es uno de los factores primordiales para la calidad del grano, ya que un nivel elevado del mismo puede interferir en el proceso normal de fermentación, haciéndolo más largo (Perea *et al.*, 2011). El contenido de grasa se convierte en unos de los indicadores de calidad más importantes y que diferencian una almendra de cacao fino de aroma de otra ordinaria, ya que es un componente muy variable que es el responsable directo de las propiedades y el aroma del licor de cacao, el cual depende del genotipo del cacao, su fermentación, secado, condiciones climáticas y época de cosecha (Ramírez *et al.*, 2020).

Contenido de ceniza (%). La comparación de medias registró diferencias significativas ($p < 0.05$) en los contenidos de ceniza en las muestras de cacao de los diferentes productores de la parroquia de Valle Hermoso en donde se presentó un rango de 2.84% a 3.48% de ceniza correspondiente a las muestras CVH11 y CVH20, respectivamente y un promedio general de 3.23% (Tabla 3). La media que se obtuvo, ligeramente se aproximó a la obtenida por Amaiz *et al.* (2012), en donde registraron una media mayor a $2.96\% \pm 0.05\%$.

Según la investigación de Chapa Gonza (2022), el rango de ceniza de las almendras de cacao varía entre 2.14% a 3.13%, las cuales coinciden con los resultados que se obtuvieron de las muestras CVH8 (3.05%), CVH11 (2.84%), CVH15 (3.04%), CVH18 (3.01%) y CVH19 (3.13%), las demás muestras sobrepasaron este rango. Sin embargo, las investigaciones realizadas en el estado de Aragua con muestras de cacao tipo arriba fermentadas y secas se obtuvo resultados de entre 2.86% a 3.32% de ceniza. En relación con nuestro estudio las muestras que sobrepasaron este rango son CVH4 (3.33%), CVH5 (3.35%), CVH7 (3.41%), CVH12 (3.41%) y CVH20 (3.48%). La muestra que presentó un valor por debajo del rango presentado es CVH11 con 2.84%.

El contenido de cenizas es una variable importante para definir la calidad del cacao ya que conlleva a la mayor reducción de agua, el cual va arrastrando los minerales hidrosolubles hacia el medio a través de los poros (Nogales *et al.*, 2006). La ceniza o contenido de minerales, tiende a disminuir por largos lapsos de almacenamiento de las mazorcas de cacao antes de su fermentación y además por el accionar de los microorganismos dentro de la fase de fermentación (Afoakwa *et al.*, 2013).

Contenido de fibra (%). Las muestras de cacao analizadas presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) para el contenido de fibra, en donde se presentó un rango de 3.19% a 3.35% de porcentaje de fibra correspondiente a las muestras CVH16 y CVH18, respectivamente (Tabla 3).

En la investigación realizada por FEDECACAO (2004), en muestras de cacao que se obtuvieron de un lugar con clima tropical húmedo, el contenido de fibra varía en un rango de 2.51% a 4.13%, con ello se observó que las muestras analizadas en Valle Hermoso están dentro de los rangos obtenidos por FEDECACAO (2004) para un clima tropical húmedo que tiene condiciones similares en ambos estudios. Naranjo González (2011), en su análisis usó como referencia los parámetros químicos de semillas de cacao de Ghana, como uso estándar en el mercado internacional debido a su adecuado tratamiento poscosecha, siendo estos los estándares establecidos para la calidad química que el cacao comercial y negociable, debe cumplir con un porcentaje de ceniza de 3.20%.

De acuerdo con los datos que se obtuvieron, las muestras que estuvieron acorde con el porcentaje mencionado son: CVH10 (3.20%), CVH14 (3.23%), CVH15 (3.04%), CVH16

(3.20%) y CVH17 (3.20%), las otras muestras superan el porcentaje establecido por dicho autor.

Análisis de agrupamiento jerárquico de Ward de las Similitudes en pH, proteína, grasa y fibra de 21 fincas cacaoteras de la parroquia Valle hermoso

El análisis jerárquico de Ward produjo resultados que se ilustran en la Figura 1, donde se identificaron cuatro grupos, que facilitaron el discernimiento de similitudes entre las muestras de cacao de las 21 fincas ubicadas en diferentes recintos de Valle Hermoso. Estos grupos se establecieron en base a las variables de pH, proteína, grasa y fibra que fueron analizadas.

En detalle, el grupo 1 incluyó las fincas CVH6, CVH5 y CVH7. El grupo 2 estuvo compuesto por las fincas CVH9, CVH16, CVH15, CVH14, CVH13 y CVH12. El grupo 3 abarcó las fincas CVH21, CVH4, CVH19, CVH7, CVH8, CVH11, CVH20 y CVH10. Por último, el grupo 4 estuvo conformado por las fincas CVH18, CVH2, CVH3 y CVH1. Con una distancia euclidiana media de 2,5533.

Estos resultados permiten una clara identificación de las relaciones entre las diferentes muestras de cacao, facilitando la comprensión de las variaciones en las variables seleccionadas. La organización en grupos ofrece una perspectiva estructurada y reveladora sobre las características químicas del cacao en las distintas fincas de Valle Hermoso, contribuyendo así a una apreciación más profunda de la diversidad en la composición química de los productos locales.

Contenido de teobromina

En cuestión del contenido de teobromina, se presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$), siendo la muestra CVH11 con menor valor (1.04%), mientras que la muestra CVH3 fue la de mayor contenido con 1.76% de teobromina. El promedio general de concentración de teobromina de las muestras analizadas fue de 1.31% tal como se observa en la Figura 2. Con respecto a lo indicado por Camino Castillo *et al.* (2014), en el estudio de cacao tipo Nacional de diferentes zonas del litoral ecuatoriano obtuvieron un rango de contenido de teobromina entre 1.52 a 2,59%. La muestra CHV3 fue es la única que entra en el rango con un contenido de teobromina de 1.76%, todas las demás muestras analizadas, obtuvieron un valor por debajo a lo indicado por los autores mencionados.

Vázquez-Ovando *et al.* (2016), mencionan en su investigación que las almendras de cacao fino de aroma fermentadas y secas contienen hasta 1.5% de contenido de teobromina. Con los resultados obtenidos, se observa que la mayor parte de muestras analizadas tienen un contenido menor al 1.5% de teobromina, solo la muestra CVH3 presentó un valor elevado a lo mencionado anteriormente. En una investigación de Aldas-Morejon *et al.* (2023), se determinó que el contenido de teobromina dentro de los granos de cacao tiende a disminuir por algunos factores como genotipo, nivel y tiempo de fermentación y temperatura del tostado.

Tabla 3. Composición proximal (%) de los granos de cacao tipo Nacional de la Parroquia de Valle Hermoso

Muestra	pH	Humedad (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Ceniza (%)	Fibra (%)
CVH1	4.72 ± 0.001 a	6.43 ± 0.02 h	12.11 ± 0.02 b	43.83 ± 0.11 h	3.25 ± 0.02 d e f	3.26 ± 0.01 g
CVH2	5.15 ± 0.02 d	6.70 ± 0.01 k l	11.88 ± 0.02 a	43.18 ± 0.28 f	3.29 ± 0.02 f g h	3.23 ± 0.01 d e f
CVH3	4.70 ± 0.02 a	6.07 ± 0.02 a b	12.39 ± 0.01 c d e	43.64 ± 0.08 g h	3.29 ± 0.04 f g h i	3.24 ± 0.01 d e f
CVH4	5.43 ± 0.01 f	6.04 ± 0.03 a	13.47 ± 0.00 i	43.13 ± 0.38 f	3.33 ± 0.02 h i	3.25 ± 0.01 f g
CVH5	5.51 ± 0.02 h	6.06 ± 0.03 a	12.12 ± 0.00 b	37.42 ± 0.38 b	3.35 ± 0.02 i	3.21 ± 0.01 a b c
CVH6	5.29 ± 0.01 e	6.28 ± 0.01 e f	12.61 ± 0.01 f	36.15 ± 0.02 a	3.22 ± 0.01 d e	3.20 ± 0.01 a
CVH7	5.57 ± 0.01 i	6.99 ± 0.01 n	13.00 ± 0.02 g	43.03 ± 0.02 f	3.41 ± 0.01 j	3.21 ± 0.00 a b c
CVH8	5.66 ± 0.00 j	6.38 ± 0.02 g h	13.17 ± 0.01 h	44.84 ± 0.10 j	3.05 ± 0.01 b	3.22 ± 0.00 c d e
CVH9	5.69 ± 0.01 j	6.38 ± 0.02 g h	12.14 ± 0.01 b	43.30 ± 0.12 f g	3.26 ± 0.01 e f g	3.22 ± 0.01 b c d
CVH10	5.84 ± 0.02 m	6.56 ± 0.02 i	13.74 ± 0.02 j	42.06 ± 0.02 e	3.31 ± 0.01 g h i	3.20 ± 0.01 a b
CVH11	5.72 ± 0.01 k	6.24 ± 0.01 d e	13.03 ± 0.14 g h	44.89 ± 0.13 j	2.84 ± 0.01 a	3.23 ± 0.01 d e f
CVH12	6.04 ± 0.01 o	6.32 ± 0.03 f g	12.51 ± 0.01 e f	40.03 ± 0.24 d	3.41 ± 0.01 j	3.24 ± 0.01 d e f
CVH13	5.89 ± 0.01 n	6.95 ± 0.03 n	12.43 ± 0.12 d e	42.10 ± 0.10 e	3.28 ± 0.01 f g h	3.24 ± 0.00 d e f
CVH14	6.08 ± 0.01 p	6.96 ± 0.03 n	12.50 ± 0.01 e f	44.46 ± 0.24 i j	3.23 ± 0.04 d e	3.20 ± 0.01 a b c
CVH15	5.75 ± 0.01 k	6.86 ± 0.03 m	12.12 ± 0.01 b	44.31 ± 0.14 i	3.04 ± 0.02 b	3.19 ± 0.01 a
CVH16	5.74 ± 0.00 k	6.76 ± 0.01 l	12.26 ± 0.15 b c	44.84 ± 0.06 j	3.20 ± 0.01 d	3.19 ± 0.00 a
CVH17	5.79 ± 0.00 l	6.14 ± 0.02 b c	13.38 ± 0.02 i	38.13 ± 0.05 c	3.20 ± 0.00 d	3.20 ± 0.01 a b c
CVH18	5.02 ± 0.00 b	6.59 ± 0.03 i j	12.33 ± 0.02 c d	40.12 ± 0.01 d	3.01 ± 0.01 b	3.35 ± 0.01 h
CVH19	5.47 ± 0.00 g	6.86 ± 0.01 m	13.11 ± 0.12 g h	41.91 ± 0.13 e	3.13 ± 0.01 c	3.24 ± 0.01 e f g
CVH20	5.91 ± 0.00 n	6.64 ± 0.02 j k	13.51 ± 0.08 i	43.82 ± 0.10 h	3.48 ± 0.02 k	3.21 ± 0.01 a b c
CVH21	5.06 ± 0.00 c	6.18 ± 0.02 c d	13.07 ± 0.02 g h	43.07 ± 0.04 f	3.26 ± 0.01 e f g	3.25 ± 0.01 f g

*Los resultados se expresan como el promedio ± error estándar.

Los resultados están expresados en porcentaje de base húmeda.

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (p<0.05) según Tukey.

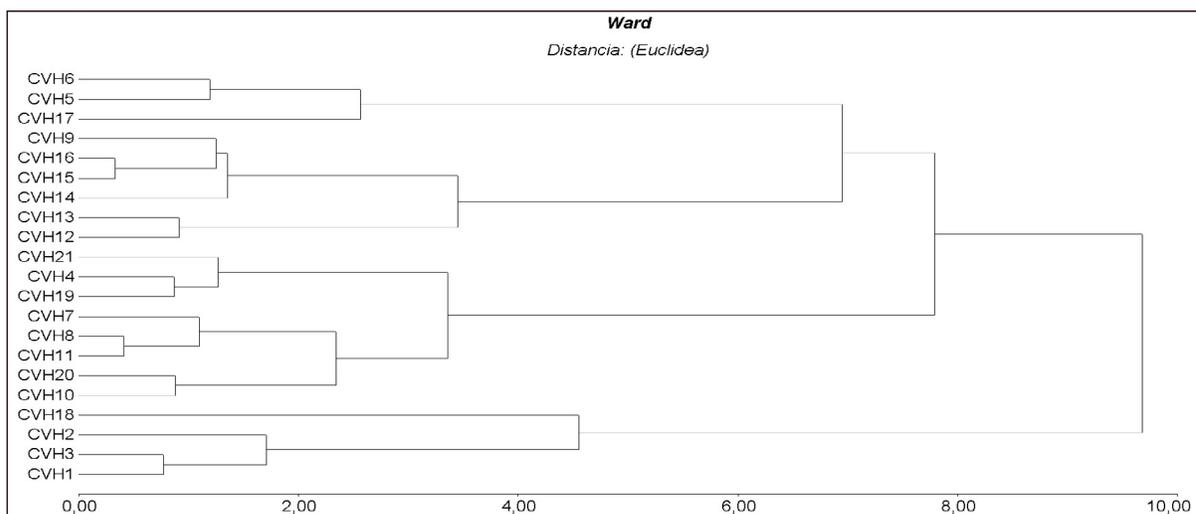


Figura 1. Similitudes en pH, proteína, grasa y fibra de 21 fincas cacaoteras del recinto Valle Hermoso

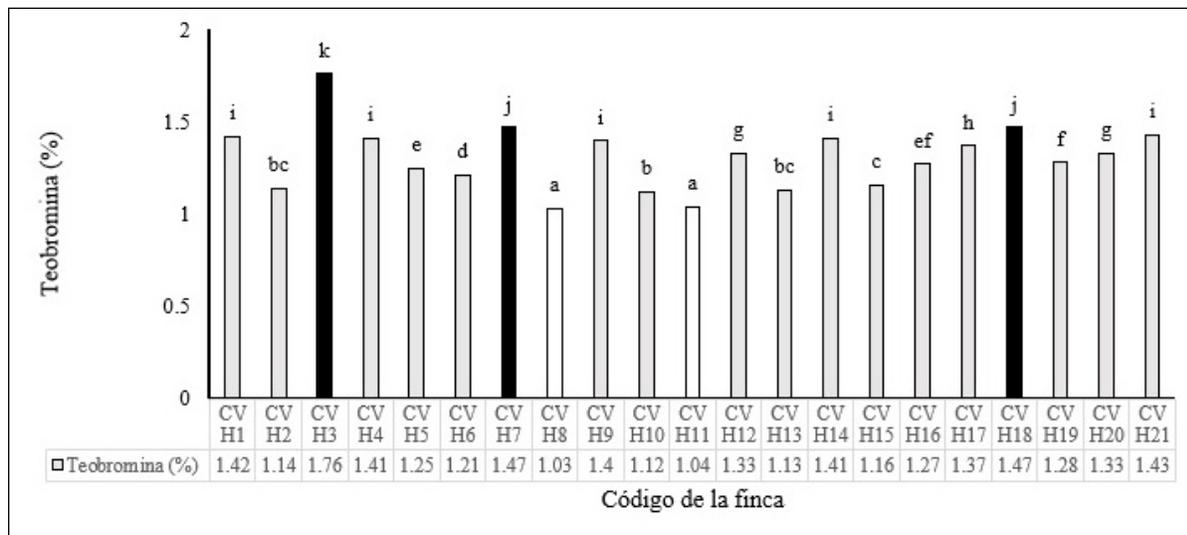


Figura 2. Contenido de Teobromina (%) de los granos de cacao tipo Nacional de la Parroquia de Valle Hermoso. Los resultados se expresan como el promedio de tres repeticiones. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$) según Tukey. Las barras con fondo negro indica los más altos contenidos y las barras en blanco, los contenidos más bajos de teobromina

Minerales

Potasio (mg/100g). Se observó que el mineral con mayor presencia en las muestras analizadas es el potasio, de cual se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$), siendo las muestras CVH16 (824.00 mg/100g); CVH15 (822.60 mg/100g) y CVH20 (820.35 mg/100g) con mayor contenido de este mineral (Tabla 4). Estos valores se encuentran dentro de los datos obtenidos por (Cuenca-Cuenca *et al.*, 2019) con una media general de 830 mg/100g. En la investigación realizada por Perea *et al.* (2011), sobre cacao fino de aroma en Colombia, obtuvieron un rango de 750.20 a 823.11 mg/100g, con ello podemos ver que la mayoría de nuestras muestras están dentro del rango especificado por los autores, a excepción de las muestras CVH9, CVH13, CVH14, CVH17 y CVH19 las cuales no están dentro de los rangos obtenidos por los autores. Las muestras con menor cantidad de potasio fueron CVH9, CVH13 y CVH14, las cuales estuvieron muy por debajo a los resultados obtenidos por los autores antes mencionados; esto puede darse a que el suelo de donde se sacaron dichas muestras no posee la cantidad de nutriente necesario para que la planta de cacao lo absorba.

Hierro (mg/100g). Se pudo encontrar diferencias significativas ($p < 0.05$), en donde las muestras obtuvieron un rango de entre 2.17 a 3.43 mg/100g (Tabla 4), datos que en su mayor parte se acercaron a lo mencionado por (Perea *et al.*, 2011). Las muestras con mayor contenido de este mineral fueron las muestras CVH8 (3.43 mg/100g) y CVH5 (3.40 mg/100g). La muestra CVH10 presentó la menor concentración de hierro con 2.17 mg/100g. En el estudio de Cuenca-Cuenca *et al.* (2019), determinaron una concentración media de 3.6 mg/100g con lo que se puede ver que las muestras analizadas

se encontraron en el rango de dicho estudio.

Zinc (mg/100g). Se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en cuestión al contenido del Zinc, se pudo observar que las muestras que presentaron mayor concentración son CVH9 (5.84 mg/100g), CVH15 (5.90 mg/100g), CVH19 (5.87 mg/100g) y CVH 20 (5.77 mg/100g) (Tabla 4), lo cual está dentro de la concentración (5.90 mg/100g) indicada por Mora *et al.* (2022). La muestra que presentó una menor concentración de Zinc fue CVH5 con 3.20 mg/100g, dicho resultado está por debajo de lo reportado por el autor mencionado anteriormente. Las demás muestras obtienen un rango de entre 3.53 a 5.57 mg/100g los cuales están dentro de los datos obtenidos por los autores mencionados.

Fósforo (mg/100g). Con respecto al fósforo, se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$), y las muestras que destacan por su mayor concentración son CVH2 (537.44 mg/100g) y CVH1 (53.40 mg/100g) (Tabla 4). Sin embargo, aunque sean las de mayor concentración detectadas en el análisis se alejan de los valores obtenidos por Cuenca-Cuenca *et al.* (2019) y Perea *et al.* (2011). Las muestras analizadas muestran similitudes con los resultados obtenidos por Cuenca-Cuenca *et al.*, (2019), quienes reportaron un promedio de 527.81 mg/100g, este valor se aproxima con los datos obtenidos en las muestras CVH3, CVH6, CVH13, CVH18, CVH19, CVH20 y CVH21. En este contexto, los niveles de potasio de todas las muestras, con excepción de CVH1 y CVH2, se encuentran en concordancia con los valores proporcionados por dicho autor, que estableció un contenido de 537 mg/100g de fósforo como referencia. Los datos obtenidos en esta investigación no coinciden con los mencionados por Perea *et al.* (2011) en su

investigación con materiales regionales de cacao colombiano obteniendo un rango de entre 322.20 mg/100g a 450.30 mg/100g.

Calcio (mg/100g). En cuestión al contenido de calcio, se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$), las muestras que obtuvieron los valores de concentración más altos son CVH6 (108.80 mg/100g), CVH15 (108.63 mg/100g) y CVH12 (108.57 mg/100g) (Tabla 4). Las muestras no cumplen con las concentraciones obtenidas por Moreiras *et al.* (2019) de 106 mg/100g. Dichas muestras se aproximan a lo referenciado por Perea *et al.* (2011) quienes en su investigación con muestras de cacao en Colombia observaron un rango entre 100.20 y 113,43 mg/100g. La muestra con la menor concentración de calcio dentro de esta investigación es la CVH3 con 85.67 mg/100g la cual está por debajo de lo recomendado por los autores mencionados.

Magnesio (mg/100g). Se evidenciaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la concentración de magnesio. La muestra que registró la concentración más elevada fue la CVH18, alcanzando 228.50 mg/100g (Tabla 4). Este valor se asemeja a la concentración de 228.3 mg/100g señalada por Moreiras *et al.* (2019) y concuerda con la información proporcionada por Perea *et al.* (2011), quienes reportaron un rango entre 173.50 y 277.50 mg/100g. Por otro lado, la muestra CVH5 exhibió la concentración más baja, con

213.03 mg/100g, aunque este valor aún se encuentra dentro de los resultados obtenidos por los autores mencionados. En promedio, las muestras analizadas presentaron una concentración de 221.69 mg/100g.

Rangos obtenidos de la composición química del cacao fino de aroma de distintos recintos de la parroquia Valle Hermoso

Después de obtener los resultados de las variables analizadas en las muestras de cacao fino de aroma de los recintos de la parroquia Valle Hermoso, se lograron establecer rangos de composición química (Tabla 5) debido a las diferencias significativas observadas ($p < 0.05$). Este análisis brinda a los productores un conocimiento detallado sobre la composición química del cacao que están produciendo, permitiéndoles destacar las características específicas en comparación con otros productos en el mercado.

La identificación de estas diferencias significativas ofrece a los productores la oportunidad de comprender más a fondo la naturaleza única de su cacao. Este nivel de comprensión puede conferirles una ventaja competitiva, ya que les permite ajustar sus prácticas de cultivo y procesamiento para optimizar la calidad del producto final. Al satisfacer las preferencias del mercado a través de la producción de cacao de alta calidad, los productores pueden diferenciarse de la competencia y consolidar su posición en el mercado internacional.

Tabla 5. Rangos de composición química de los granos de cacao tipo Nacional de la Parroquia de Valle Hermoso

Variables	Rango de concentración obtenido
Humedad	6.04 – 6.99%
Ph	4.72 – 6.08
Grasa	36.15 – 44.89%
Proteína cruda	11.78 – 13.74%
Ceniza	2.84 – 3.48%
Fibra cruda	3.19 – 3.35%
Teobromina	1.04 – 1.76%
Minerales	
Calcio	85.67 – 108.80
Magnesio	213.03 – 228.50
Potasio	460.63 – 824.00
Hierro	2.17 – 3.43
Zinc	3.20 – 5.90
Fósforo	486.86 – 537.44

Tabla 4. Composición de macro y micro minerales (mg/100g) de los granos de cacao tipo Nacional de la Parroquia de Valle Hermoso

Muestra	Fósforo mg/100 g	Hierro mg/100g	Zinc mg/100g	Potasio mg/100g	Calcio mg/100g	Magnesio mg/100g
CVH1	537.40 ± 0.69 j	2.87 ± 0.02 c d e	5.07 ± 0.12 e f	790.60 ± 0.31 i	95.57 ± 0.10 d e	227.20 ± 0.35 i j k l
CVH2	537.44 ± 1.07 j	3.25 ± 0.05 h i j k	4.03 ± 0.07 b	806.53 ± 0.51 k	98.50 ± 0.63 f	225.80 ± 0.60 g h
CVH3	532.85 ± 0.75 i	2.83 ± 0.06 c d	4.33 ± 0.01 b c	811.07 ± 0.31 k	85.67 ± 0.83 a	222.90 ± 0.10 f
CVH4	491.69 ± 0.91 c d	2.90 ± 0.01 d e f	4.30 ± 0.02 b c	771.77 ± 0.38 e	92.37 ± 0.99 b c	215.63 ± 0.09 c d
CVH5	494.88 ± 0.25 e f	3.40 ± 0.01 k l	3.20 ± 0.02 a	774.17 ± 0.19 e f	96.67 ± 0.44 d e f	213.03 ± 0.05 a
CVH6	530.07 ± 0.75 i	3.17 ± 0.04 g h i	3.53 ± 0.03 a	776.43 ± 0.07 e f	108.80 ± 0.31 i	214.23 ± 0.03 a b
CVH7	487.75 ± 0.18 a b	2.90 ± 0.02 d e f	5.40 ± 0.03 f g h i	819.77 ± 0.99 l	91.13 ± 0.70 b	216.60 ± 0.59 d e
CVH8	495.84 ± 0.50 e f	3.43 ± 0.06 l	5.37 ± 0.04 f g h	797.27 ± 1.44 j	105.97 ± 0.94 h	215.63 ± 0.27 c d
CVH9	489.12 ± 0.24 a b c	3.03 ± 0.05 e f g	5.84 ± 0.12 h i j	460.63 ± 1.01 a	102.90 ± 0.63 g	217.60 ± 0.45 e
CVH10	488.35 ± 0.37 a b	2.17 ± 0.04 a	5.30 ± 0.02 f g h	788.50 ± 3.52 h i	98.77 ± 1.07 f	216.97 ± 0.15 d e
CVH11	486.86 ± 0.18 a	3.20 ± 0.11 g h i j	5.57 ± 0.06 g h i j	783.57 ± 3.25 g h	97.87 ± 0.56 e f	228.00 ± 0.71 k l
CVH12	497.74 ± 0.61 f g	3.37 ± 0.06 j k l	4.30 ± 0.04 b c	779.03 ± 1.84 f g	108.57 ± 0.69 i	224.60 ± 0.53 g
CVH13	521.69 ± 3.01 h	2.70 ± 0.01 b c	5.13 ± 0.01 e f	485.33 ± 3.40 b	101.80 ± 0.85 g	214.73 ± 0.07 b c
CVH14	495.84 ± 0.54 e f	3.10 ± 0.03 g h	5.30 ± 0.01 f g h	486.07 ± 3.32 b	97.57 ± 0.94 e f	216.77 ± 0.47 d e
CVH15	493.87 ± 0.42 d e	2.90 ± 0.04 d e f	5.90 ± 0.03 j	822.60 ± 1.55 l	108.63 ± 0.57 i	227.40 ± 0.10 j k l
CVH16	499.79 ± 2.13 g	3.33 ± 0.03 i j k l	4.83 ± 0.02 d e	824.00 ± 3.60 l	94.53 ± 1.09 c d	227.67 ± 0.74 j k l
CVH17	490.45 ± 0.24 b c	3.10 ± 0.03 g h	5.20 ± 0.02 e f g	732.23 ± 0.81 d	103.37 ± 1.66 g	226.03 ± 0.03 h i
CVH18	531.72 ± 0.42 i	3.07 ± 0.07 f g h	4.43 ± 0.07 c	784.60 ± 0.19 g h	90.87 ± 0.44 b	228.50 ± 0.02 l
CVH19	523.31 ± 0.36 h	2.33 ± 0.05 a	5.87 ± 0.03 j	715.04 ± 1.13 c	105.87 ± 0.75 h	226.63 ± 0.11 h i j
CVH20	532.16 ± 1.03 i	2.23 ± 0.03 a	5.77 ± 0.06 i j	820.35 ± 0.52 l	102.80 ± 0.38 g	227.13 ± 0.10 h i j k
CVH 21	522.89 ± 1.03 h	2.53 ± 0.03 b	4.67 ± 0.06 c d	790.91 ± 0.52 i	92.79 ± 0.38 b c	222.45 ± 0.10 f

*Los resultados se expresan como el promedio ± la desviación estándar de tres repeticiones. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (p<0.05) según Tukey.

Conclusiones

Al examinar los componentes químicos de las muestras obtenidas de los productores en diferentes recintos de la Parroquia Valle Hermoso, se ha determinado la presencia de diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los parámetros evaluados, que incluyen humedad, pH, cenizas, grasa, proteína, fibra y teobromina. Estos hallazgos sugieren que estos parámetros pueden servir como indicadores de calidad, permitiendo la diferenciación entre las diversas muestras.

En cuanto a los valores de grasa, proteína y teobromina, se observó que estos difieren de los estándares convencionales de calidad del cacao en Ecuador. Estas variaciones se atribuyen a factores como las condiciones climáticas en las que se cultiva el cacao, las prácticas poscosecha y el tipo específico de cacao (genética) producido en la Parroquia de Valle Hermoso.

El análisis jerárquico de Ward reveló la formación de cuatro grupos con base en las variables analizadas (pH, proteína, grasa y fibra). Cada grupo agrupa fincas con similitudes en estas variables, proporcionando una estructura organizada para entender las relaciones entre las muestras de cacao examinadas.

Destacando el caso específico de la finca La Bocana (CVH11), se observaron características destacadas de calidad del cacao, presentando un contenido más elevado de grasa y una concentración menor de cenizas y teobromina.

Asimismo, se observó un contenido más elevado de minerales como potasio, fósforo, calcio y magnesio en las muestras de los productores de los recintos de la Parroquia Valle Hermoso, con diferencias significativas entre fincas.

El establecimiento de los rangos de concentraciones que conforman el perfil de calidad química del cacao fino de aroma de la Parroquia Valle Hermoso proporciona una comprensión integral de las características químicas de este cacao. Este conocimiento no solo es valioso en términos científicos, sino que también sirve como incentivo para fomentar la producción de cacao de alta calidad en esta región, impulsando así el desarrollo de prácticas agrícolas más eficientes y sostenibles.

Referencias bibliográficas

- Afoakwa, E. O., Quao, J., Takrama, J., Budu, A. S. y Saalia, F. K. (2013). Chemical composition and physical quality characteristics of Ghanaian cocoa beans as affected by pulp pre-conditioning and fermentation. *Journal of Food Science and Technology*, 50(6), 1097–1105. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0446-5>
- Aldas-Morejon, J., Otero-Tuarez, V., Revilla-Escobar, K., Laura-Carrillo, M. y Sánchez-Aguilera, D. (2023). Incidencia del tostado sobre las características fisicoquímicas y alcaloides de la cascarilla de cacao (*Theobroma cacao*) y su efecto en las propiedades organolépticas de una infusión. *Agroindustrial Science*, 15–21. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2023.01.02>
- Álvarez, C., Pérez, E. y Lares, M. C. (2007). Caracterización física y química de almendras de cacao fermentadas, secas y tostadas cultivadas en la región de Cuyagua, estado Aragua. *Agronomía Tropical*, 57(4), 249–256. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2007000400001&lng=es&tlng=es.
- Amaiz, M. L., Gutiérrez, R., Pérez, E. y Álvarez, C. (2012). Efecto del tostado sobre las propiedades físicas, fisicoquímicas, composición proximal y perfil de ácidos grasos de la manteca de granos de cacao del estado Miranda, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(2), 439–446. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4688626>
- Andrade Almeida, J., Rivera García, J., Chire Fajardo, G. C. y Ureña Peralta, M. O. (2019). Propiedades físicas y químicas de cultivares de cacao *Theobroma cacao L.* de Ecuador y Perú. *Enfoque UTE*, 10(4), 1–12. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422019000400001&lng=es&tlng=es.
- Anzules, V., Borjas-Ventura, R., Castro-Cepero, V. y Julca-Otiniano, A. (2018). Caracterización de fincas productoras de cacao (*Theobroma cacao L.*) en Santo Domingo de Los Tsáchilas, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 8(2). <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/493/388>
- AOAC. (2011). *Official methods of analysis of AOAC 18th edition*. AOAC Int. Gaithersburg, MD.
- Ávila, E. M. C. y Cedeño, Z. F. P. (2021). Análisis del plan estratégico del cacao fino y de aroma ecuatoriano, periodo 2013-2017. *ECA Sinergia*, 12(3), 135–147. https://doi.org/10.33936/eca_sinergia.v12i3.3207
- Braudeau, J. (1970). El cacao, técnicas agrícolas y producciones tropicales (*Theobroma cacao, L.*). *La Habana. Cuba, Editorial Pueblo y Educación*, 279.
- Camino Castillo, C. E., Espín, S., Samaniego, I. y Carpio, C. (2014). Comparación de los niveles de grasa, alcaloides y polifenoles totales en almendras de cacao nacional fino de aroma de diferentes zonas del Litoral ecuatoriano. *Ciencia e Ingeniería*, 34–40. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3280>
- Chang, J. F. V., Torres, C. V., Morán, D. E. P., Véliz, J. M., Remache, R. R. y Rodríguez, W. M. (2014). Atributos físicos-químicos y sensoriales de las almendras de quince clones de cacao nacional (*Theobroma cacao L.*) en el Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 7(2), 21–34. <https://doi.org/10.18779/cyt.v7i2.139>
- Chapa Gonza, S. R. (2022). *Caracterización física y química de almendras secas del cacao fino de aroma (Theobroma cacao L.) provenientes de la región Amazonas*. <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/2704>

- Cuenca-Cuenca, E. W., Puentes-Páramo, Y. J. y Menjivar-Flores, J. C. (2019). Uso eficiente de nutrientes en cacao fino de aroma en la provincia de Los Ríos-Ecuador/Efficient use of nutrients in fine aroma cacao in the Province of Los Ríos-Ecuador. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 72(3), 8963. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v72n3.74862>
- del Valle González-Canache, A., Orlando-Alvarez, C. C., Durand-Cos, M. S. J. I. y Utria-Borges, C. E. (2014). Evaluación de diferentes tipos de fermentadores y frecuencia de remoción en la calidad del grano de *Theobroma cacao* L. *Hombre, Ciencia y Tecnología*, 18(4), 36–45.
- El Misionero. El periódico de la Universidad Agraria del Ecuador. (2023). Perspectivas Del Mercado Para El 2023. *El Misionero*, 12. http://archivo.uagraria.edu.ec/web/el_misionero/2023/El-Misionero-945.pdf
- Elaje Solis, N. L. (2022). *Análisis de las características de calidad del grano de cacao fino de aroma ecuatoriano demandadas por el comercio nacional e internacional*. BABAHOYO: UTB, 2021. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/11361>
- FEDECACAO. (2004). *El beneficio y Características Físico-químicas del cacao (Theobroma Cacao L.)*. Programa de comercialización. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/18060/42772_46877.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- FEDECACAO. (2005). *El Beneficio y Características Físico Químicas del Cacao, (Theobroma Cacao L) en Colombia*. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/2272/45134_61195.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Fernández, C. O. Á., Salgado, N. D. L., Silva, E. E. P., Del, M., Amaíz, L. y González, J. G. P. (2022). Revisión sobre los atributos físicos, químicos y sensoriales como indicadores de la calidad comercial del cacao A review of the physical, chemical and sensory attributes as indicators of the commercial quality of cocoa. *FUNDACIÓN GRUPO PARA LA INVESTIGACIÓN, FORMACIÓN Y EDICIÓN TRANSDISCIPLINAR (GIFET)-DIRECTIVA*, 12–25. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6548316>
- GAD VALLE HERMOSO. (2015). *Caracterización de la Parroquia rural de Valle Hermoso*. https://issuu.com/gadparroquialvallehermoso/docs/pdyot_valle_hermoso
- García Vidal, G., Guzmán Vilar, L. y Pérez Campesúñer, R. (2017). Research Trends in Cocoa : Opportunities for Research in Santo Domingo. *SATHIRI, Sembrador*, 12(2), 22. <https://pdfs.semanticscholar.org/1a0d/95bc7e6fa1bcf5f2b54a304b1f1d0a85ba35.pdf>
- INEN. (2018). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0176:2018. Cacao en grano. Requisitos*. https://corpalmesa.com/wp-content/uploads/2021/07/CORPALMESAnte_inen_.pdf
- Kakaw Sana, R. (2012). *Componentes del cacao. Ciencia del Cacao*.
- Leiva-Rojas, E. I., Gutiérrez-Brito, E. E., Pardo-Macea, C. J. y Ramírez-Pisco, R. (2019). Comportamiento vegetativo y reproductivo del cacao (*Theobroma cacao* L.) por efecto de la poda. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(2), 137–146. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v42n2/0187-7380-rfm-42-02-137.pdf>
- Loureiro, G. A. H. de A., Araujo, Q. R. de, Valle, R. R., Sodré, G. A. y Souza, S. M. M. de. (2017). Influencia de factores agroambientales sobre la calidad del clon de cacao (*Theobroma cacao* L.) PH-16 en la región cacaotera de Bahia, Brasil. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(12), 579–587. <https://doi.org/10.19136/era.a4n12.1274>
- Martínez-Aguilar, F. B., Guevara-Hernández, F., Aguilar-Jiménez, C. E., Rodríguez-Larramendi, L. A. y Reyes-Sosa, M. B. (2020). Caracterización físico-química y biológica del suelo cultivado con maíz en sistemas convencional, agroecológico y mixto en la Frailesca, Chiapas. *Terra Latinoamericana*, 38(4), 871–881. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.793>
- Mora, F. C., Torres, L. A. A., Barzallo, A. A. y Quintanilla, M. O. (2022). Índices de calidad en la comercialización del cacao (*Theobroma cacao* l.) en Ecuador. *Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación*, 7(1), 42. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7724766>
- Moreiras, O., Cuadrado, C., Cabrera, L. y Carvajal, Á. (2019). *Tablas de composición de alimentos* (Pirámide M). Biblioteca Hernán Malo González. <https://biblioteca.uazuay.edu.ec/buscar/item/83081>
- Naranjo González, J. A. (2011). *Caracterización de productos tradicionales y no tradicionales derivados de cacao (Theobroma cacao L) en el estado de Tabasco, México*. <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/489>
- Nogales, J., Graziani de Fariñas, L. y Ortiz de Bertorelli, L. (2006). Cambios físicos y químicos durante el secado al sol del grano de cacao fermentado en dos diseños de cajones de madera¹. *Agronomía Tropical*, 56(1), 5–20. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2006000100001&lng=es&tln g=es.
- Perea, J. A., Ramirez, O. L. y Villamizar, A. R. (2011). Caracterización fisicoquímica de materiales regionales de cacao colombiano. *Biología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 9(1), 35–42. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612011000100005&lng=en&tln g=es.
- Ramírez, J. C. P., Mamani, H. O., Mucha, G. U. T. y Quispe, R. A. T. (2020). Efecto de la enzima proteasa y polifenoloxidasas en la calidad del cacao (*Theobroma cacao* L.) fino de aroma en el proceso de fermentación. *Investigación*, 28(1), 257–263. <https://doi.org/10.51440/unsch.revistainvestigacion.28.1.2020.379>

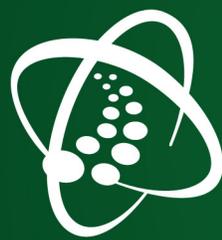
- Vázquez-Ovando, A., Ovando-Medina, I., Adriano-Anaya, L., Betancur-Ancona, D. y Salvador-Figueroa, M. (2016). Alcaloides y polifenoles del cacao, mecanismos que regulan su biosíntesis y sus implicaciones en el sabor y aroma. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 66(3), 239–254. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222016000300010&lng=es&tlng=es.
- Verdesoto, P. S. (2009). *Caracterización química preliminar de cacao (Theobroma cacao) de los municipios de Omoa y La Masica, Honduras*. Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2012. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/316>

Copyright (2024) © Wiston Morales-Rodríguez,

José Carlosama - Martínez, Carmen Sinchi Rivas, Abelardo Alderete Rendon, Christian Vallejo Torres y Wiston Morales Cedeño.

Este texto está protegido bajo una licencia internacional [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/). Usted es libre para compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato. También podrá adaptar: remezclar, transformar y construir sobre el material. [Ver resumen de la licencia](#).





CIENCIA Y TECNOLOGÍA

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



cienciaytecnologia@uteq.edu.ec



+593 997507331

