



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA, PESCA
Y VETERINARIA
CARRERA DE AGRONOMÍA



TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del examen de carácter Complexivo, presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito previo para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

TEMA:

Fermentación de cacao y su efecto en la concentración de metales pesados.

AUTOR:

Luis Eduardo Ruiz Soliz.

TUTOR:

Ing. Agr. Luis Antonio Alcívar Torres, MSc.

Babahoyo – Los Ríos – Ecuador

2024

RESUMEN

El presente documento detalla la fermentación de cacao y su efecto en la concentración de metales pesados, donde el objetivo general fue establecer la importancia de la fermentación de cacao y su efecto en la concentración de metales pesados. La redacción del documento se realizó con una recopilación de información actualizada, incluyendo artículos científicos, sitios web y bibliotecas virtuales, que proporcionan perspectivas y conceptos de diversos autores, lo que facilitó el análisis del proceso de la investigación actual considerada como una investigación no experimental de naturaleza bibliográfica, empleando técnicas de síntesis, análisis y resumen de la información recopilada. Las conclusiones determinaron que los metales pesados, perturban los procesos fisiológicos, resultando en un crecimiento disminuido de la planta y una reducción en la productividad, lo cual afecta negativamente la fermentación de las semillas; además durante el proceso postcosecha puede presentar concentraciones significativas de cadmio, plomo, níquel y arsénico, lo cual afecta la calidad organoléptica y puede inducir un deterioro en la almendra de cacao. La fermentación favorece la descomposición enzimática de proteínas y carbohidratos presentes en el grano, lo que a su vez propicia el desarrollo de los sabores y aromas característicos del cacao. Existen diversas opciones para la fermentación del cacao, siendo la más significativa la fermentación en montón que implica la disposición de las almendras frescas sobre hojas perforadas de musáceas u otro tipo de material que actúa como un separador entre las almendras y el suelo, facilitando el proceso de desbabe. Este método es empleado por pequeños productores debido a su simplicidad de ejecución y bajo costo.

Palabras claves: cadmio, postcosecha, semillas de cacao, fermentación.

SUMMARY

This document details cocoa fermentation and its effect on the concentration of heavy metals, where the general objective was to establish the importance of cocoa fermentation and its effect on the concentration of heavy metals. The writing of the document was carried out with a compilation of updated information, including scientific articles, websites and virtual libraries, which provide perspectives and concepts from various authors, which facilitated the analysis of the current research process considered as a non-experimental research of bibliographic nature, using techniques of synthesis, analysis and summary of the information collected. The conclusions determined that heavy metals disturb physiological processes, resulting in decreased plant growth and a reduction in productivity, which negatively affects seed fermentation; Furthermore, during the post-harvest process it can present significant concentrations of cadmium, lead, nickel and arsenic, which affects the organoleptic quality and can induce deterioration in the cocoa kernel. Fermentation favors the enzymatic decomposition of proteins and carbohydrates present in the bean, which in turn promotes the development of the characteristic flavors and aromas of cocoa. There are various options for cocoa fermentation, the most significant being heap fermentation, which involves placing fresh almonds on perforated musaceae leaves or another type of material that acts as a separator between the almonds and the soil, facilitating the process. of deburring. This method is used by small producers due to its simplicity of execution and low cost.

Keywords: cadmium, postharvest, cocoa seeds, fermentation.

CONTENIDO

RESUMEN.....	II
SUMMARY	III
1. CONTEXTUALIZACIÓN	1
1.1. Introducción	1
1.2. Planteamiento del problema	3
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5. Líneas de investigación	5
2. DESARROLLO	6
2.1. Marco conceptual	6
2.1.1. Generalidades del cultivo de cacao	6
2.1.2. Efectos que causan los metales pesados en la post cosecha de cacao.	7
2.1.3. Importancia de la fermentación de cacao.....	12
2.1.4. Alternativas para la fermentación de cacao.....	14
2.2. Marco metodológico	20
2.3. Resultados	21
2.4.1. Resultados sobre autores que coinciden en la presencia de Cadmio en almendras de cacao	22
2.4.2. Resultados sobre tipos de fermentadores para cacao que inciden en reducir la presencia de cadmio en cacao.....	23
2.4.3. Métodos de fermentación de cacao más importantes.....	24
2.4. Discusión de resultados.....	25
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	27
3.1. Conclusiones.....	27
3.2. Recomendaciones.....	28
4. REFERENCIAS Y ANEXOS	29
4.1. Referencias	29
4.2. Anexos	36

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1. Introducción

La producción de cacao a nivel mundial ha experimentado una notable variabilidad a lo largo del tiempo, destacándose Costa de Marfil como el principal productor con un 37%. En el contexto de los países latinoamericanos, Ecuador sobresale con un 4%, seguido por Brasil con un 3%. El 70 % de la producción global de la especie *Theobroma cacao* se generó en África, mientras que un 14 % se originó en América Latina. En el año 2019, Ecuador se consolidó como el principal exportador de cacao en grano en América y se posicionó en el cuarto lugar a nivel mundial, lo que refleja un incremento del 168 % en la última década (Borja *et al.* 2021:4).

Ecuador se distingue por la producción de cacao fino y aromático, con una capacidad de oferta que oscila entre 60 000 y 70 000 toneladas anuales. Hace un tiempo, este producto constituía el 80% de la producción a nivel global. Ecuador es responsable del 60% de la producción de cacao fino y de aroma en el mundo, lo que le ha valido el reconocimiento por parte de otros países productores de cacao. Esto se atribuye a la existencia de cacao denominado 'Nacional', que tiene su origen en el Forastero Amazónico (Solórzano *et al.* 2021:11).

Las variedades de cacao Nacional y Trinitario son las que predominan en las plantaciones cacaoteras en Ecuador. La variedad Nacional ha recibido reconocimiento internacional por sus notables características de sabor y aroma, que la hacen altamente valorada en la elaboración de chocolate. En contraste, la variedad Trinitario no presenta las mismas cualidades organolépticas que se encuentran en el cacao Nacional (García *et al.* 2021:7).

La fermentación del cacao representa una fase crucial en el procesamiento del grano, dado que en este proceso se generan cambios bioquímicos que resultan en la formación de precursores del aroma y sabor, los cuales son determinantes en la calidad física y química del producto final. Entre los cambios bioquímicos

observados se encuentra la formación de pigmentación de tonalidad marrón a partir de compuestos fenólicos, lo cual indica la ocurrencia de la fermentación del grano de cacao. Además, la presencia de precursores sensoriales como los alcaloides polifenólicos (Cafeína y Teobromina) y la acidez volátil, particularmente el ácido acético, sirven como indicadores de la calidad organoléptica del cacao (Torres *et al.* 2022:22).

En la actualidad, estamos expuestos a la contaminación por metales pesados, la cual tiene implicaciones significativas para la salud a largo plazo. En particular, esta contaminación impacta negativamente en la función renal y en el proceso de calcificación ósea. En respuesta a esta situación, la Unión Europea ha establecido límites permisibles de cadmio para diversos productos alimenticios. En el contexto de la exportación de chocolate y cacao en grano, se realiza un análisis riguroso que se aplica de manera estricta antes de su recepción, considerando un límite permisible de 0,30 ppm (Alvarado 2021:9).

Los metales sin haber sido añadidos de manera intencionada, se encuentran en el cacao como consecuencia de diversos factores, los cuales representan riesgos potenciales para la salud humana. Estos metales pueden originarse de forma natural en los suelos o ser el resultado de actividades antropogénicas. A medida que son absorbidos por las plantas y se concentran en las semillas, su consumo por parte del ser humano puede implicar un riesgo para la salud cuando sus niveles exceden los límites establecidos, además de que esto puede restringir las posibilidades de exportación (Dávila 2023:8).

Se han identificado investigaciones que indican que plantas de cacao, actúa como una fuente receptora de metales pesados, los cuales son absorbidos a través de las raíces y, en última instancia, alcanzan las almendras. Por esta razón, en la actualidad se llevan a cabo investigaciones que utilizan bioles reductores orgánicos de cadmio en cultivos de cacao, los cuales se gestionan de manera sistemática a través de mecanismos fisiológicos responsables de la absorción de metales pesados (Alvarado 2021:8).

1.2. Planteamiento del problema

La problemática asociada al cultivo de cacao se agrava en situaciones donde no se implementan diluciones de nutrientes orgánicos o enmiendas fortificadas para las plantas, y se recurre en exceso al uso de fertilizantes químicos. Esta práctica puede conllevar a la contaminación del suelo, de las propias plantas y a la salud de los trabajadores involucrados en las labores agrícolas. Es relevante mencionar que la aplicación de enmiendas puede llevarse a cabo mediante el uso de microorganismos, bacterias y hongos que poseen la capacidad biológica de reducir la concentración de metales pesados (Alvarado 2021:8).

Los metales pesados, como el cadmio (Cd) y el plomo (Pb), representan un riesgo significativo para la salud humana. En la actualidad, estos elementos están sujetos a regulaciones por parte de la Unión Europea en diversos productos alimentarios, con el objetivo de proteger la salud pública, especialmente la de poblaciones vulnerables como niños y ancianos. En el año 2019, la Unión Europea (UE) implementó el reglamento 488/2014, el cual establece los límites máximos permitidos de cadmio en los productos derivados del cacao como 0,60 ppm para el cacao en polvo y 0,10 ppm y 0,80 ppm para los chocolates (García 2020:12).

La concentración de cadmio (Cd) en los suelos se relaciona tanto con factores antropogénicos, como el uso de fertilizantes fosfatados, como con factores naturales, incluida la disgregación de rocas. Prácticas de manejo del suelo, caracterizadas por un pH reducido y un bajo contenido de materia orgánica, facilitan la absorción de metales pesados por las plantas de cacao, lo que conlleva a una acumulación gradual de estos contaminantes en sus distintos órganos.

1.3. Justificación

El cacao parece tener una mayor propensión para la absorción de cadmio, ya que investigaciones y muestreos han demostrado de manera consistente que presenta concentraciones más elevadas de este metal en el chocolate final en comparación con otros productos alimenticios y bebidas.

En el contexto de Ecuador, se han implementado múltiples iniciativas destinadas a muestrear los suelos, los frutos y los granos en las áreas productoras de cacao. Estos estudios indican que ciertos factores edáficos, tales como el origen del material parental, podrían haber mostrado una relación con la aparición ocasional de contaminaciones. No obstante, hasta la fecha, no se ha encontrado evidencia científica concluyente que permita prever problemas de contaminación por metales pesados vinculados al entorno.

Por otra parte, la incidencia de cadmio (Cd) puede ser más habitual en contextos laborales ubicados próximos a zonas urbanas, donde se incrementa la probabilidad de contaminación debido a desechos provenientes de combustibles, asfalto y otros agentes contaminantes. La primera estrategia para reducir la contaminación por cadmio consiste en emplear parcelas libres de contaminantes, ubicadas a una distancia considerable de vías vehiculares, vertederos y áreas urbanas.

Por lo tanto, el presente documento tiene como objetivo proporcionar un análisis exhaustivo sobre la relevancia del proceso de fermentación del cacao, lo que facilitará la disminución de los metales pesados presentes en su producción.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Establecer la importancia de la fermentación de cacao y su efecto en la concentración de metales pesados.

1.4.2. Objetivos específicos

- Detallar los efectos que causan los metales pesados en la post cosecha de cacao.
- Describir la importancia de la fermentación de cacao.
- Identificar alternativas para la fermentación de cacao.

1.5. Líneas de investigación

La presente investigación está enfocada dentro de los dominios de la Universidad Técnica de Babahoyo de Recursos agropecuarios, ambiente, biodiversidad y biotecnología. El enfoque principal de este estudio se centra en: “Fermentación de cacao y su efecto en la concentración de metales pesados”. En este contexto, la línea específicamente se aborda el Desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentable y en la Sublíneas de Agricultura sostenible y sustentable.

2. DESARROLLO

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Generalidades del cultivo de cacao

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es clasificado como una especie arbórea de relevancia significativa, dado que su fruto se utiliza comúnmente como insumo en el sector industrial. La 'pepa de oro', también denominada así, es un fruto tropical que se cultiva predominantemente en las regiones costeras y en la Amazonía. Esta actividad agrícola constituye una fuente de sustento para numerosas familias que se dedican principalmente a su cultivo (De La Cruz y Pereira 2019:4).

La calidad final del grano, en términos de su potencial para desarrollar sabores y aromas a chocolate, está determinada por su composición genética, así como por la implementación adecuada de los procesos de fermentación y secado. Por consiguiente, diversas combinaciones de estos factores darán lugar a variaciones en dicha capacidad (Rosales *et al.* 2024:27).

La gestión poscosecha constituye un procedimiento destinado a transformar los productos en mercancías comerciales de calidad superior, facilitando su transporte y almacenamiento. El proceso de secado del cacao implica someter las almendras fermentadas a fuentes de calor, ya sean de origen natural o artificial, para disminuir su contenido de humedad interno a un nivel inferior al 7 %. Este procedimiento facilita la manipulación y conservación de las almendras, así como para prevenir deterioros en la calidad causados por la actividad de hongos (Ortega *et al.* 2023:11).

Esta situación está impactando la cadena agroindustrial a través de la

pérdida de empleos y la disminución de los ingresos, así como la pérdida de prestigio de nuestro producto de alta calidad. El cacao ecuatoriano se caracteriza por ser gourmet debido a su importante demanda en el mercado mundial; además, se utiliza en la producción de algunos de los chocolates más finos reconocidos a nivel mundial (Burbano 2019:15).

El proceso de beneficio se refiere a la metodología empleada en la preparación del cacao como materia prima para su industrialización, la cual comprende una serie de operaciones secuenciales. Este procedimiento inicia con la cosecha de mazorcas maduras, seguido de la extracción de las almendras (desgrane), la fermentación, y finaliza con el secado del grano (Rosales *et al.* 2024:27).

2.1.2. Efectos que causan los metales pesados en la post cosecha de cacao.

Desde una perspectiva química, el término 'metales pesados' se refiere a un conjunto de elementos químicos que presentan una densidad igual o superior a 5 g/cm³ en su estado elemental o que tienen un número atómico superior a 20. Los metales clasificados como pesados, tales como el plomo (Pb), el cadmio (Cd) y el zinc (Zn), presentan propiedades tóxicas para la salud humana cuando son consumidos en concentraciones que superan los límites establecidos (Grande y Flores 2023:14).

Las concentraciones de metales pesados en ciertos cultivos de exportación, como el cacao, se debe a que las almendras son secadas en los márgenes de las carreteras sin las precauciones necesarias. Por lo tanto, se hipotetiza que sus almendras pueden estar contaminadas con plomo (Pb) derivado de la combustión de gasolina de los vehículos que transitan por estas vías (Cusi 2022:7).

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos son clasificados como compuestos con propiedades carcinogénicas y genotóxicas. La

Comisión Reguladora de la Unión Europea establece un límite máximo de 2 mg/kg para la concentración de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) en aceites y grasas. En relación con el cacao, aún no se ha establecido un límite máximo (Reynel y Loor 2018:12).

“Las especies vegetales cultivadas en suelos que contienen elevadas concentraciones de metales pesados solubles tienden a acumular estos elementos en diversos órganos de la planta, los cuales pueden ser transferidos al organismo humano a través de su consumo” (Grande y Flores 2023:14).

El secado del cacao mediante procedimientos artificiales incrementa significativamente el riesgo, ya que frecuentemente las secadoras operan de manera ineficiente y emiten gases de combustión que contaminan las semillas. Los metales pesados, tales como el cadmio, el plomo y el mercurio, representan un grave riesgo para la salud (Reynel y Loor 2018:12).

En la actualidad, se presenta un desafío significativo que incide principalmente en los pequeños y medianos agricultores, el cual se relaciona con la presencia de metales pesados en las semillas. Esta problemática puede originarse de manera natural o como resultado de actividades antropogénicas. En este contexto, los agricultores a menudo implementan prácticas que contribuyen a la reducción de estos metales pesados (Chang *et al.* 2022:14).

“En Ecuador, se han observado concentraciones significativas de cadmio en las provincias de Manabí, Esmeraldas, Guayas y El Oro, ya que estas regiones presentan niveles elevados de este metal” (Abad *et al.* 2020:17).

El árbol de cacao, por su naturaleza, posee la capacidad de asimilar metales pesados tales como cadmio, plomo y arsénico. En última instancia, estos elementos se translocan hacia el fruto, penetrando en la testa y alcanzando el cotiledón. Este fenómeno biológico puede ser

interpretado como una desventaja en términos de productividad, dado que el fruto constituye el elemento fundamental para la producción del chocolate (Vera *et al.* 2023:15).

A largo plazo, la aplicación de *Rhizobium japonicum* durante la postcosecha del cacao en la etapa de fermentación puede optimizar dicho proceso, mejorar la calidad del grano y reducir la concentración de metales pesados a niveles compatibles con los estándares establecidos por la Unión Europea, que permiten hasta 0,80 mg/kg de cadmio. Este efecto se manifiesta de manera rápida, lo que produce una disminución significativa del tiempo de fermentación, constituyendo así un método viable en comparación con el uso de enmiendas (Chang *et al.* 2022:14).

En relación con el manejo agrícola, las técnicas de producción tradicionales empleadas por los pequeños agricultores han conducido a pérdidas significativas en el proceso de explotación. Sin embargo, estas prácticas han mejorado con la introducción de tipos de cacao más productivos y la optimización de las técnicas de postcosecha y almacenamiento (Salazar 2022:14).

La producción de cacao en Ecuador ha incorporado parámetros que han resultado en mejoras en el rendimiento y la calidad sensorial. En los últimos años, la producción nacional enfrenta un riesgo significativo debido a la preocupante presencia de cadmio en el cacao ecuatoriano. Según diversos autores, esta situación podría ser atribuible a la contaminación de los suelos o a fuentes de afluentes, aunque también podría estar relacionada con las prácticas de manejo poscosecha, especialmente en los sistemas tradicionales de secado (Hernández 2019:13).

Dado que el cacao se considera una materia prima de consumo humano de alto valor, los estándares de calidad y seguridad del grano se han vuelto considerablemente más rigurosos. En este contexto, los

niveles de metales pesados (MPs), tales como el cadmio en el cacao, han emergido como una preocupación de salud pública (Álvarez 2021:16).

Según diversas opiniones de expertos y publicaciones especializadas, Ecuador cuenta con uno de los cacaos finos de aroma más destacados a nivel global. La falta de tecnificación en los procesos poscosecha puede comprometer significativamente la calidad del producto. Los metales pesados, como el cadmio, están presentes de forma natural en la corteza terrestre en forma de minerales, de los cuales pueden ser absorbidos por las plantas y posteriormente consumidos por los seres humanos, representando así un riesgo potencial para la salud (Lucio 2022:18).

La distribución del cadmio en el fruto del cacao es heterogénea; investigaciones realizadas en Ecuador han indicado que la mayor concentración de cadmio se encuentra en el jugo y la pulpa (mucílago) del cacao. El Cd tiene la capacidad de trasladarse hacia la parte superior y las semillas del cacao, lo que puede resultar en su eventual presencia en el chocolate. Labores como el lavado de la pulpa del grano previo al proceso de fermentación, reducen de manera significativa la presencia de contaminantes, manteniendo la calidad del grano durante las etapas de fermentación y secado (Gonzales 2022:14).

La aparición de metales pesados en el suelo puede resultar beneficiosa o perjudicial para el entorno ambiental. La biota puede necesitar algunos de estos elementos esenciales (como Fe, Zn, Cu o Mo) en concentraciones traza; sin embargo, a niveles más elevados, estos pueden resultar peligrosos (Molina 2024:21).

Existen trazas preexistentes de cadmio que se encuentran en diversas proporciones en productos alimenticios, incluido el cacao, y se reconoce que la contaminación puede ocurrir en múltiples etapas

del proceso agroalimentario, abarcando el cultivo, la producción y la transformación. Esta contaminación tiene un impacto significativo en la pasta, la masa y la molienda, resultando en la producción de chocolate elaborado a partir de cacao contaminado con concentraciones de este metal pesado (INVIMA 2016:12).

Debido a los desafíos asociados con el monitoreo de la acumulación de metales pesados en el entorno, las entidades encargadas de la vigilancia y el control deben abordar la exposición a compuestos químicos indeseables, particularmente aquellos clasificados como biológicamente no esenciales. El cadmio (Cd) se clasifica dentro de este último grupo (Calero 2023:6).

El efecto de la toxicidad del Cd en plantas, como el cacao, requiere un análisis de la absorción, el transporte y la acumulación de Cd dentro de estos organismos, lo que requiere una comprensión más matizada de los complejos mecanismos que subyacen a la toxicidad del Cd en los tejidos vegetales (Muñoz 2023:7).

El cadmio (Cd) es posiblemente el metal pesado que ha recibido mayor consideración debido a su asociación con diversos trastornos, incluido el cáncer, así como por su excepcionalmente bajo umbral de tolerancia en productos derivados del cacao. Investigaciones realizadas por la Unión Europea han determinado una concentración permisible de este metal que varía entre 0,2 y 0,5 mg/kg en productos de chocolate y cacao en polvo (Álvarez *et al.* 2021:11)

Este fenómeno afecta directamente a la cadena productiva, que incluye la industria alimentaria, la exportación y al consumidor, debido a la manifestación de efectos tóxicos asociados con la bioacumulación de cadmio. Es importante destacar que, en la actualidad, la presencia de metales pesados, como el cadmio y el plomo, en el cacao y sus subproductos se concentra principalmente en las almendras (INVIMA 2016:12).

2.1.3. Importancia de la fermentación de cacao.

Uno de los productos más significativos de Ecuador y clave en su ámbito de exportación es el cacao, que se posiciona entre los mejores del mundo y ocupa el primer lugar en exportaciones. Actualmente, se mantiene en la tercera posición a nivel internacional, destacándose como uno de los principales sectores dentro de la agroindustria ecuatoriana y la industria del chocolate (Acebo 2016:16).

La durabilidad del sistema de fermentación no debe exceder de tres días para los cacaos criollos, caracterizados por un cotiledón lechoso, y de ocho días para los cacaos forasteros, que presentan un cotiledón violáceo o púrpura. Existen múltiples métodos para llevar a cabo el proceso de fermentación, siendo los más comúnmente utilizados la fermentación en montones, en sacos, en cajas y mediante el uso de tendales (Rupert y Sánchez 2021:13).

La producción de cacao ha contribuido a la generación de ingresos y empleos para trabajadores temporales y familias rurales. Sin embargo, en las últimas décadas, se ha observado que una gestión inadecuada de la postcosecha ha impactado negativamente las características organolépticas del producto (Acebo 2016:16).

Durante el proceso de fermentación se presentan dos fenómenos significativos: a) la actividad microbiana en la pulpa mucilaginoso, que da lugar a la producción de alcohol y ácidos, generando un aumento de temperatura; b) reacciones bioquímicas complejas que tienen lugar en el interior de los cotiledones, las cuales son iniciadas por la difusión de productos resultantes del metabolismo de la pulpa (López y Morales 2022:15).

Para las operaciones de recolección, se emplean palas de madera blanda con el propósito de prevenir daños en los granos de cacao. Dada la necesidad inminente de oxígeno durante la segunda

etapa, se realiza la primera extracción a las 48 horas. La temperatura clave o determinante para el cacao se aproxima a los 45°C. Por lo general, este fenómeno se presenta al concluir el segundo día o al comenzar el tercer día, tras la primera manipulación del cacao (Duarte 2020:21).

La fermentación del cacao es el proceso mediante el cual se mejora la calidad de las semillas de cacao para su posterior transformación en chocolate. Este proceso implica la limpieza de las semillas, la muerte del embrión y la disposición adecuada de las almendras. Esto exige espacios que cuenten con adecuada ventilación y climatización (Ruperty y Sánchez 2021:22).

La fermentación del cacao constituye una etapa crucial en el proceso, durante la cual la pulpa que rodea las semillas es sometida a la acción de microorganismos que metabolizan dicha pulpa, generando compuestos como etanol y ácido acético. Estos compuestos son fundamentales para inducir cambios fisicoquímicos significativos en las almendras (Solórzano *et al.* 2021:20).

Cuando las almendras no experimentan un proceso de fermentación adecuado, este procedimiento se lleva a cabo de manera incorrecta o deficiente, resultando en lo que se denomina cacao ordinario. En el transcurso del proceso, las actividades de combinación y regulación equilibrada de temperatura, alcoholes, ácidos, pH y humedad resultan en la inactivación de la semilla, una disminución del sabor amargo debido a la degradación de la teobromina, así como en la generación de las reacciones bioquímicas que dan lugar a la formación del chocolate (Duarte 2020:23).

La calidad del cacao depende en gran medida de la fase de poscosecha, durante la cual las almendras de cacao son sometidas a tratamientos en condiciones óptimas para llevar a cabo una serie de transformaciones bioquímicas que mejoran sus características

organolépticas, tales como el aroma y el sabor (Solórzano *et al.* 2021:20).

Una estrategia para optimizar los sistemas de fermentación consiste en la utilización de prototipos de fermentadores que varían en materiales, geometrías e implementación tecnológica. Esta metodología se enfoca en las propiedades fisicoquímicas que emergen tras el proceso de fermentación, complementándose con un análisis sensorial que respalde los resultados obtenidos (El Salous *et al.* 2019:18).

El proceso de fermentación utilizando el prototipo de fermentador de acero inoxidable, se logra mejoras en las condiciones que impactan directamente en la calidad de los granos. Estas mejoras fueron posibles gracias a la implementación de un sistema de monitoreo basado en sensores, un software sistematizado y un diseño adecuado. Un aspecto clave fue la obtención de una uniformidad en la temperatura lograda mediante una adecuada remoción del material, lo que a su vez permitió una ventilación efectiva de los granos (Mejía 2018:14).

Se registró un alto nivel de fermentación conforme a la evaluación de calidad, alcanzándose más del 80 % de granos fermentados y deshidratados en diversos intervalos durante la extracción de la masa, realizada cada 24 horas a lo largo de los cinco días del proceso de fermentación (Solórzano *et al.* 2021:11).

2.1.4. Alternativas para la fermentación de cacao.

Los diferentes tipos de fermentación, así como la adecuada gestión de los procesos anaeróbicos y aeróbicos, son factores esenciales para la obtención de un producto final de alta calidad. Por otra parte, en ausencia de la aplicación de técnicas adecuadas, tales como la precisión en los procesos de extracción, se producen alteraciones

bioquímicas no deseadas a lo largo del proceso de fermentación (Lo Papa y Marcelino 2024:14).

En relación con la selección del tipo de fermentador idóneo para optimizar la extracción de los precursores organolépticos del cacao, se han analizado diversas configuraciones de fermentadores, incluyendo aquellos de acero inoxidable, de forma cilíndrica, la caja cuadrada tradicional fabricada en madera y los tambores giratorios de madera. Este análisis ha observado variaciones con cada tipo de fermentador, lo que contribuye a garantizar la efectividad en la obtención de características organolépticas beneficiosas del cacao (Hernández *et al.* 2016:15).

La fermentación anaeróbica constituye la etapa inicial del proceso y se activa posterior a la siembra de los residuos de las mazorcas. En este proceso, la glucosa contenida en el mucílago se convierte en alcohol; es decir, el azúcar se transforma en alcohol etílico mediante la acción de levaduras que operan durante las primeras 24 a 48 horas, periodo durante el cual predomina un pH ácido, que varía entre 3 y 4, y la temperatura aumenta rápidamente, alcanzando entre 30 y 40 °C (Jiménez y Palacios 2021:16).

Los mismos autores señalan que con el incremento de la concentración de alcohol a aproximadamente un 12%, resultado de la fermentación completa del azúcar presente en el mucílago, se produce la entrada de oxígeno en la mezcla, lo que provoca un aumento en el pH y culmina en la mortalidad de las levaduras, finalizando así la primera etapa del proceso (Jiménez y Palacios 2021:16).

“En la fase de fermentación aeróbica, la fermentación transcurre en presencia de oxígeno en la masa de cacao. La fermentación anaeróbica se concluye de manera automática, dando paso a la fermentación aeróbica, también conocida como fermentación acética” (Otárola 2018:13).

Este proceso ocurre cuando el alcohol etílico experimenta una oxidación, lo que resulta en la producción constante de ácido acético. Este procedimiento se alinea con la primera extracción del cacao, la cual ocurre 48 horas después de haber depositado el cacao en los contenedores, y se extiende por un periodo adicional de 48 horas, culminando en un total de 96 horas, momento en el cual se lleva a cabo la segunda extracción (Otárola 2018:13).

“En ausencia de una fermentación adecuada de la almendra de cacao, es esencial considerar tanto la temperatura como el tiempo, ya que ambos pueden dar lugar a un subproducto que carece de un valor sensorial significativo, como el aroma característico” (Andrade *et al.* 2019:16).

En este contexto, se desarrollan sabores y se observa un aumento en la tonalidad de la almendra debido a la acción del polifenol oxidasa. La incorporación de levaduras contribuirá al producto final, mejorando su calidad organoléptica y haciéndolo más atractivo para el consumidor, al tiempo que se optimiza la calidad de la almendra de cacao (Andrade *et al.* 2019:16).

“Existen diversos métodos de fermentación del cacao, siendo los más destacados: la fermentación en montones, en cajas de madera y el método Rohan” (Nogales 2020:14).

Fermentación en montón: Este método es empleado por pequeños productores debido a su simplicidad de ejecución y bajo costo. Implica la disposición de las almendras frescas sobre hojas de musáceas u otro tipo de material que actúe como un separador entre las almendras y el suelo. Incrementa su eficacia mediante la perforación e inclinación de las hojas, lo que facilita el proceso de desbabe. Para prevenir la pérdida de calor, se procede a cubrir el montón con hojas de musáceas, sacos, lona u otros materiales inertes (Nogales 2020:12).

El montón debe voltearse reubicándola en un área diferente para

promover una fermentación óptima y debe volver a cubrirse después de cada volteo. La cantidad de días requeridos para llevar a cabo una fermentación adecuada varía según la variedad de cacao; específicamente, los cacaos criollos requieren un período de fermentación de dos a tres días, los cacaos trinitarios precisan de cinco a seis días, mientras que los cacaos forasteros demandan entre seis y ocho días (Mejía 2018:15).

La fermentación en montón se caracteriza por ser una técnica comúnmente empleada por los agricultores, que consiste en agrupar las almendras de cacao sobre una superficie de madera, facilitando así el drenaje de sus exudados. Este proceso se complementa con la cobertura de las almendras con hojas de plátano, lo cual promueve la generación de calor durante la fermentación. Los períodos temporales en los cuales se llevan a cabo las remociones son de 48, 72 y 96 horas (Robinson 2021:22).

La fermentación en recipientes o cajas de madera se considera el método más eficiente cuando se cuenta con abundantes cantidades de cacao. Estas cajas están fabricadas con madera de especies suaves, como el apamate o saqui-saqui (en Venezuela), presentando dimensiones variables que se corresponden con la cantidad de cacao que se puede recolectar y procesar. Una de las ventajas que ofrece el uso de las cajas es su capacidad para ser situadas en diversas orientaciones (Nogales 2020:21).

El fermentador trinitario es un diseño ampliamente reconocido que consiste en cajas organizadas en una disposición en batería, las cuales presentan una inclinación o se encuentran dispuestas en forma de escalera, e incluyen tabiques removibles, con el propósito de facilitar el traslado del cacao de un compartimento a otro (El Salous *et al.* 2019:19).

La fermentación culmina cuando se produce una disminución en la

temperatura de la masa de cacao, lo que provoca que las almendras se expandan y adquieran una coloración que varía entre tonalidades rosadas y claras. En un corte longitudinal de un grano fermentado, se espera observar un tono pálido en la región central, circundado por un anillo de color marrón que indica una fermentación adecuada. El interior del grano debe exhibir fracturas y adquirir un color marrón oscuro tras el proceso de secado (Nogales 2020:21).

Fermentación en cajón: Las almendras de cacao, previamente extraídas de las mazorcas, se disponen en cajas de madera que son cubiertas con hojas de plátano o sacos de yute. Este procedimiento tiene como finalidad aumentar la temperatura de la masa, favoreciendo así el proceso de fermentación. Debido a su funcionalidad, estas deben contar con perforaciones o ranuras que faciliten el drenaje del exudado proveniente de la almendra (Rojas y Rojas 2018:4).

Los mismos autores manifiestan que la instalación del sistema de cajas debe mantener una separación del piso de aproximadamente 15 a 20 cm. Esto posibilita el procesamiento de 800 kg de cacao fresco, aunque está condicionado por las dimensiones del grano y su nivel de contenido de mucílago. Se considera el método más beneficioso cuando se dispone de cantidades significativas de cacao (Rojas y Rojas 2018:4).

El fermentador Rohan se compone de bandejas con dimensiones de 120x80x10 cm, las cuales presentan un fondo constituido por tablillas de un ancho que varía entre 5 y 10 cm, dispuestas con una separación de aproximadamente 0,5 cm para facilitar el drenaje del exceso de líquido. La bandeja, con una altura de 10 cm, facilita la fermentación adecuada de las almendras al proporcionar una mejor circulación de aire (Nogales 2020:22).

Para lograr resultados óptimos, se puede apilar un máximo de cinco

bandejas, utilizando como base una bandeja que contenga aserrín (con un peso que varía entre 5 y 12 kg, dependiendo de sus dimensiones), lo cual facilitará el control de la aireación. Las bandejas superiores son revestidas con sacos de yute o fique con el fin de reducir la pérdida de calor (Solórzano *et al.* 2021:11).

El método Rohan ofrece la ventaja de su facilidad de manejo, la capacidad para organizar múltiples gavetas de bandejas en un espacio reducido, así como la posibilidad de utilizarlas para el secado de almendras. Una gaveta con dimensiones de 50x40x40 cm presenta una capacidad de almacenamiento de 72 kg de cacao en estado húmedo y 28 kg de cacao en estado seco (Nogales 2020:22).

Un contenedor de grandes dimensiones, como el de 100x70x60 cm, posee una capacidad para almacenar 372 kg de cacao húmedo y 144 kg de cacao seco. Las bandejas pueden ser fabricadas en dimensiones aún mayores; no obstante, es recomendable optar por un tamaño que facilite la manipulación de las gavetas de manera cómoda (Toapanta *et al.* 2019:7).

Fermentación en sacos: El proceso de fermentación también se lleva a cabo en sacos de polietileno o yute, en los cuales se disponen las almendras, se sellan y se dejan fermentar en el suelo. Se pueden suspender para mejorar la circulación del aire. Este procedimiento implica el almacenamiento de las almendras de cacao en sacos de polietileno o yute, con el fin de facilitar el adecuado flujo de los líquidos presentes en las almendras recién cosechadas (Teneda 2016:12).

La fuente antes mencionada señala que los sacos se sellan y se colocan en el suelo para su fermentación, con el propósito de permitir la aireación. Varios productores agrícolas coinciden en que este método no es aconsejable, ya que, tras finalizar el periodo de fermentación, las almendras exhiben un bajo porcentaje de granos fermentados. Esta situación dificulta la eliminación del grano y

propicia un alto grado de producto en deterioro (Teneda 2016:12).

En consecuencia, el fermentador tradicional de madera de diseño cuadrado presenta desventajas, tales como la falta de uniformidad en la temperatura durante el proceso de fermentación, la dificultad para mantener la frecuencia adecuada de remoción del grano y la susceptibilidad del sistema a la contaminación, evidenciada por el crecimiento de microorganismos indeseables (Toapanta *et al.* 2019:6).

2.2. Marco metodológico

En la redacción del presente documento se llevó a cabo una recopilación de información actualizada, incluyendo artículos científicos, sitios web y bibliotecas virtuales, que proporcionan perspectivas y conceptos de diversos autores, lo que facilitó el análisis del proceso de la investigación actual. Se delineó la temática pertinente relacionada con la fermentación del cacao y su impacto en la concentración de metales pesados.

Dado que en el diseño de investigación del presente estudio no es posible la manipulación libre de variables y solo se observan eventos del mundo real de acuerdo con al desarrollo de la investigación, este diseño se conoce como no experimental.

La información fue analizada, sintetizada y resumida con el objetivo de establecer información específica pertinente a este trabajo de investigación; además se clasificó en 3 sub capítulos: 1. Resultados sobre autores que coinciden en la presencia de Cadmio en almendras de cacao, 2. Resultados sobre tipos de fermentadores para cacao que inciden en reducir la presencia de cadmio en cacao, y 3. métodos de fermentación de cacao más importantes, destacando su trascendencia y grandes líneas para la aceptación académica y social del lector.

2.3. Resultados

En el ámbito global y local, el aumento de la contaminación por metales pesados, particularmente en la producción de cacao, podría representar una amenaza significativa para la salud pública, la seguridad alimentaria y el medio ambiente (límite es de 0,3 mcg por gramo de chocolate). Esta circunstancia destaca la imperativa de analizar la interrelación entre el cadmio y sus repercusiones en la planta de cacao, así como en los ecosistemas, el suelo y el agua, la salud humana, y ciertos conflictos de carácter socioeconómico y ambiental.

Asimismo, se presentan las concentraciones de metales pesados en varios países productores de cacao, con especial énfasis en Ecuador. Este fenómeno tiene implicaciones significativas, ya que en las áreas vegetativas de las plantas facilita su incorporación a la cadena trófica, donde se produce su bioacumulación. Este proceso puede dar lugar a efectos adversos en la salud humana, afectando primordialmente a los riñones y al hígado, con el potencial de inducir nefropatías y daño hepático irreversible.

La fermentación promueve la descomposición enzimática de las proteínas y carbohidratos presentes en el grano, lo que a su vez favorece el desarrollo del sabor. Los microorganismos desempeñan un papel crucial en este proceso al generar un entorno óptimo a través de la fermentación de la pulpa de cacao que rodea los granos.

La fermentación del cacao propicia la remoción de los residuos de pulpa adheridos al grano, inactiva el germen presente en el interior del mismo y, lo que es aún más relevante, inicia el proceso de formación del aroma, sabor y color de la almendra, lo que resulta en la obtención de un cacao de aroma delicado, idóneo para las más prestigiosas industrias de chocolate. Sin fermentación no se puede producir chocolate de alta calidad.

Entre los métodos utilizados para la fermentación del cacao, destacan principalmente la fermentación en montones, en cajas de madera y el método Rohan. La fermentación en montones implica la acumulación de frutos de cacao

frescos sobre hojas de plantas de musáceas u otro material que los separe del suelo, con el fin de minimizar la pérdida de calor mediante la cobertura del montículo con hojas de musáceas.

La fermentación se lleva a cabo en recipientes de madera que pueden ser dispuestos en diversas orientaciones. Se presentan en forma de cajas organizadas en batería, con una inclinación específica o dispuestas en una configuración escalonada, complementadas con tabiques removibles, con el fin de facilitar el traslado del cacao entre los cajones. Además, se incluye el fermentador Rohan, diseñado para permitir una fermentación adecuada de las almendras, al proporcionar una aireación óptima.

2.4.1. Resultados sobre autores que coinciden en la presencia de Cadmio en almendras de cacao

Tabla 1. Resultados de autores

N°	Autor	Año de Publicación	Lugar de la Investigación	Investigación
1	Abad <i>et al.</i>	2020	Ecuador	El cacao en la Costa ecuatoriana: estudio de su dimensión cultural y económica.
2	Alvarado, K.	2021	Ecuador	Fermentación de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) con adición de levadura (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>) y ENZIMA (PPO´S) en la disminución de metales pesados.
3	Hernández, H.	2019	México	Análisis de la composición química del cacao, extracción y estudio de compuestos antioxidantes en genotipos del banco de germoplasma de México.

4	Gonzales, C.	2022	Perú	Fuentes de silicio en la absorción del cadmio en el cultivo de (cacao) <i>Theobroma cacao</i> L.
5	Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos ([INVIMA].	2016	Colombia	Programa nacional de vigilancia y control de cadmio en productos derivados del cacao (licor de cacao, chocolate de mesa, cocoa en polvo y chocolatina de leche)
6	Vera <i>et al.</i>	2023.	Colombia	Efectos de dos métodos fermentativos en cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) trinitario, inducido con <i>Rhizobium japonicum</i> para disminuir cadmio.

Fuente: Elaboración propia

2.4.2. Resultados sobre tipos de fermentadores para cacao que inciden en reducir la presencia de cadmio en cacao.

Tabla 2. Tipos de Fermentadores

N°	Autor	Año de publicación	Tipos de fermentador/ medidas	Investigación
1	Hernández <i>et al.</i>	2016.	México	Evaluation of different fermentation processes for use by small cocoa growers in Mexico.
2	Nogales, J.	2020	Venezuela	Beneficio del cacao, métodos de fermentación.
3	Robinson Alexis, J. M.	2021	Ecuador	Análisis de los tres tipos de fermentación de cacao en la provincia de Los Ríos.
4	Rojas <i>et al.</i>	2018	Perú	Aprovechamiento del

				mucílago de cacao (<i>Theobroma cacao</i>) en la formulación de una bebida no alcohólica.
5	Teneda Llerena, W.	2016	España	Mejoramiento del Proceso de Fermentación del Cacao. (<i>Theobroma cacao</i> L.) Variedad Nacional y Variedad CCN51.
6	Toapanta <i>et al.</i>	2019	Ecuador	Thermal Analysis of heat sink with Heat Pipes for High Performance Processors.

2.4.3. Métodos de fermentación de cacao más importantes.

N°	Autor	Año de publicación	Método	Descripción
1	Nogales, J.	2020	Montones	Implica la disposición de las almendras frescas sobre hojas de musáceas u otro tipo de material que actúe como un separador entre las almendras y el suelo. Incrementa su eficacia mediante la perforación de las hojas y la inclinación de las mismas, lo que facilita el proceso de desbabe.
2	Nogales, J.	2020	Cajas de madera	Es el método más eficiente cuando se cuenta con abundantes cantidades de cacao. Estas cajas están fabricadas con madera de especies suaves, como el apamate o saqui-saqui (Venezuela), presentando dimensiones variables que se

				corresponden con la cantidad de cacao que se puede recolectar y procesar.
3	Nogales, J.	2020	Rohan.	Posee facilidad de manejo, la capacidad para organizar múltiples pilas de bandejas en un espacio reducido, así como la posibilidad de utilizarlas para el secado de almendras. Las bandejas pueden ser fabricadas en dimensiones mayores; no obstante, es recomendable optar por un tamaño que facilite la manipulación de las gavetas de manera cómoda

2.4. Discusión de resultados

La contaminación por metales pesados especialmente el Cadmio en la zona aérea de los cultivos de cacao puede tener un impacto significativo en la salud pública, la seguridad alimentaria y el medio ambiente. Esta situación genera conflictos socioeconómicos y medioambientales en nuestro país, tal como indican Abad *et al.* (2020), que en Ecuador se observa que existen concentraciones elevadas de cadmio vinculadas a las provincias de Manabí, Esmeraldas, Guayas y El Oro, ya que estas regiones presentan altos niveles de este metal. Esta observación se corrobora además con los hallazgos reportados por Vera *et al.* (2023), que indica que el árbol de cacao presenta una propensión inherente para la absorción de metales pesados, tales como el cadmio, plomo y arsénico.

Uno de los procesos más significativos en la etapa postcosecha del cacao es la fermentación, que es un proceso que permite la remoción de los residuos de pulpa adheridos a los granos, la inactivación del germen presente en su interior y, lo más relevante, la iniciación del desarrollo de las características organolépticas, tales como aroma, sabor y color de las almendras, como lo indican Andrade *et al.* (2019), que un proceso de fermentación óptimo, emergen diversos sabores y la

coloración de los granos se intensifica debido a la acción del polifenol oxidasa. La incorporación de levaduras es beneficiosa para el producto final, mejorando su calidad organoléptica, haciéndolo más atractivo para los consumidores y, al mismo tiempo, mejorando la calidad de los granos de cacao.

Los métodos de fermentación de cacao más prominentes incluyen la fermentación en montones, en cajas de madera y el método Rohan, siendo el más importante la fermentación en montón es una práctica común entre los pequeños productores debido a su sencilla implementación y bajo costo, ya que según Duarte (2020), la fermentación de las almendras, cuando se lleva a cabo de manera inapropiada o deficiente, puede dar lugar a la producción del cacao de calidad inferior conocido como cacao corriente. En el transcurso del proceso, la interacción y regulación equilibrada de la temperatura, los alcoholes, los ácidos, el pH y la humedad resulta en la eliminación de la semilla, lo que conlleva a una disminución del amargor.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Conclusiones

1. La producción de cacao y sus productos derivados durante el proceso postcosecha puede presentar concentraciones significativas de cadmio, plomo, níquel y arsénico, lo cual afecta la calidad organoléptica y puede inducir un deterioro en la almendra de cacao.
2. Los metales pesados, como el cadmio (Cd), en el cultivo de cacao, perturban los procesos fisiológicos, resultando en un crecimiento disminuido y una reducción en la producción, lo cual afecta negativamente la fermentación de las semillas.
3. La fermentación del cacao impacta de manera particular las semillas de cacao presentes en las vainas. Inicialmente, estas semillas presentaban un sabor amargo y astringente, lo cual distaba considerablemente de los aromas típicos asociados con el chocolate de alta calidad.
4. La fermentación favorece la descomposición enzimática de proteínas y carbohidratos presentes en el grano, lo que a su vez propicia el desarrollo de los sabores y aromas característicos del cacao. Los microorganismos desempeñan un papel fundamental en este proceso al establecer un entorno óptimo a través de la fermentación de la pulpa de cacao que rodea los granos.
5. Existen diversas opciones para la fermentación del cacao, siendo las más significativa la fermentación en montón que implica la disposición de las almendras frescas sobre hojas perforadas de musáceas u otro tipo de material que actúa como un separador entre las almendras y el suelo, facilitando el proceso de desbabe. Este método es empleado por pequeños productores debido a su simplicidad de ejecución y bajo costo.

6. Se identifican diversas técnicas de fermentación que están vinculadas a las costumbres, prácticas y tradiciones locales, las cuales varían en función de la economía y las tradiciones de los agricultores.

3.2. Recomendaciones

Desarrollar modelos predictivos para evaluar la posible contaminación por metales pesados en el cultivo del cacao es fundamental para el sector industrial, así como para la implementación de herramientas de mitigación en el ámbito agrícola y de producción.

Proporcionar formación a los agricultores sobre diversas técnicas de fermentación, con el objetivo de actualizar sus conocimientos y facilitar la correcta implementación de las prácticas de postcosecha.

4. REFERENCIAS Y ANEXOS

4.1. Referencias

- Abad, A., Acuña, C., & Naranjo, E. 2020. El cacao en la Costa ecuatoriana: estudio de su dimensión cultural y económica. *Estudios de la Gestión: revista internacional de administración*, (7), 59-83. (en línea). Consultado el 8 may. 2024. Disponible en <https://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/7494>
- Acebo, M. 2016. Estudios industriales y orientación estratégica para la toma de decisiones para la industria de cacao. [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica del Litoral]. (en línea). Consultado el 8 jun. 2024. Obtenido de https://www.academia.edu/37635940/Industria_de_Cacao_ESTUDIOS_INDUSTRIALES_ORIENTACION ESTRATEGICA_PARA_LA_TOMA_DE_DECISIONES
- Alvarado, K. 2021. Fermentación de cacao (*Theobroma cacao* L.) con adición de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) y ENZIMA (PPO´S) en la disminución de metales pesados. (en línea). Consultado el 4 jul. 2024. Disponible en <https://repositorio.uteq.edu.ec/items/e56db538-e935-44fc-9769-52cea5dc25cc>
- Álvarez, G. 2021. Presencia de cadmio (Cd) en el cacao (*Theobroma cacao* L.) de exportación (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2021). (en línea). Consultado el 9 jul. 2024. Disponible en <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/9356>
- Álvarez, L., Guillin, M., Rodríguez, E. 2021. ANÁLISIS DE LOS EFECTOS QUE PRODUCE LA PRESENCIA DEL CADMIO EN EL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao*). *Ingeniería E Innovación*, 9(2). (en línea). Consultado el 8 may. 2024. Disponible en <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/rii/article/view/2723/3639>
- Andrade, J., Rivera, J., Chire, G., y Ureña, M. 2019. Propiedades físicas y químicas de cultivares de cacao *Theobroma cacao* L. de Ecuador y Perú. *Revista Enfoque UTE*, 10(4), 1-12. (en línea). Consultado el 8 jun. 2024. Obtenido de http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422019000400001&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Borja, K., Vite, H., Garzón, V., Carvajal, H. 2021. Análisis de las exportaciones del

- cacao ecuatoriano en grano en el periodo 2008 al 2018. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 4(S1), 147-155. (en línea). Consultado el 6 jul. 2024. Disponible en <http://www.remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/422/442>
- Burbano, M. 2011. Ecuador de exportador del mejor cacao del mundo a exportador del mejor chocolate del mundo. [Tesis de pregrado, FLACSOANDES]. (en línea). Consultado el 4 jul. 2024. Obtenido de <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/6407>
- Calero, A. 2023. Paper review: contaminación de metales pesados en el Ecuador, un análisis químico, ambiental, toxicológico, normativo y analítico (Bachelor's thesis). (en línea). Consultado el 6 jul. 2024. Disponible en <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26409>
- Chang, V., Cortez, V., Solorzano, E., Flor, I. 2022. Induction of rhizobium japonicum in the fermentative mass of two varieties of cacao (*Theobroma Cacao* L.) as a strategy for the decrease of cadmium. *International Journal of Health Sciences*, 6(S3), 11354–11371. (en línea). Consultado el 8 jun. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.53730/ijhs.v6nS3.8672>
- Cusi, B. 2022. Niveles de Cadmio en el cultivo de *Theobroma cacao*, en la cuenca del Río Ene, Río Tambo–Satipo. (en línea). Consultado el 10 may. 2024. Disponible en <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/7973>
- Dávila, E. 2023. Efecto de la fermentación en el contenido de metales pesados del grano de cacao (*Theobroma cacao*) en Tingo María. (en línea). Consultado el 6 jul. 2024. Disponible en <https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/8584>
- De La Cruz, E., Pereira, I. 2019. Historias, Saberes y Sabores en torno al cacao (*Theobroma cacao* L.) en la subregión de Barlovento, Estado Miranda. *SAPIENS*, 10(2), 97-120. (en línea). Recuperado en 18 jun. 2024, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1317-58152009000200005&lng=es&tlng=es.
- Duarte, S. 2020. Manejo agronómico en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) y proceso de certificación de fincas en la Comunidad Sitio Histórico, Matiguas, 2020 (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria). (en línea). Consultado el 8 jun. 2024. Disponible en <https://repositorio.una.edu.ni/4228/>
- El Salous, A., Angulo-González, A., & Flores, L. S. 2019. Acceleration of cocoa

- fermentation through the action of bacteria (*Acetobacter acetii*) and yeast (*Saccharomyces cerevisiae*). *Espirales Revista Multidisciplinaria de Investigación*, 3(28), 1-20. (en línea). Consultado el 4 jul. 2024. Disponible en <https://revistaespirales.com/index.php/es/article/view/572>
- García, A., Pico, B., Jaimez, R. 2021. La cadena de producción del Cacao en Ecuador: Resiliencia en los diferentes actores de la producción. *Revista Digital Novasinerгия*, 4(2), 152-172. (en línea). Consultado el 12 jun. 2024. Disponible en http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S2631-26542021000200152&script=sci_arttext
- García, J. 2020. Evaluación del efecto genotóxico de metales pesados a concentraciones reportadas en el río Tula, Hidalgo. (en línea). Consultado el 6 jul. 2024. Disponible en <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/jspui/handle/231104/4669>
- Gonzales, C. 2022. Fuentes de silicio en la absorción del cadmio en el cultivo de (cacao) *Theobroma cacao* L. (en línea). Consultado el 14 jul. 2024. Disponible en <https://repositorio.unas.edu.pe/items/19f08a60-6c00-488e-ba94-a8f3f7546b86>
- Grande, J., & Flores, V. 2023. Análisis fitoquímico y determinación de metales pesados en material vegetal e infusiones de "Manzanilla"(*Matricaria chamomilla* L.) y "Té verde"(*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) (Doctoral dissertation, Universidad de El Salvador). (en línea). Consultado el 4 jul. 2024. Disponible en <https://oldri.ues.edu.sv/id/eprint/31453/>
- Hernández, H. 2019. Análisis de la composición química del cacao, extracción y estudio de compuestos antioxidantes en genotipos del banco de germoplasma de México (Doctoral dissertation, Universidad de Sevilla). (en línea). Consultado el 15 jul. 2024. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=212620>
- Hernández-Hernández, C., López-Andrade, P. A., Ramírez-Guillermo, M. A., Guerra Ramírez, D., & Caballero Pérez, J. F. 2016. Evaluation of different fermentation processes for use by small cocoa growers in Mexico. *Food science & nutrition*, 4(5), 690-695. (en línea). Consultado el 6 jul. 2024. Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fsn3.333>
- Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos ([INVIMA]). 2016. Programa nacional de vigilancia y control de cadmio en productos derivados

del cacao (licor de cacao, chocolate de mesa, cocoa en polvo y chocolatina de leche). (en línea). Consultado el 12 jun. 2024. Obtenido de <https://www.invima.gov.co/documents/20143/441038/Documento-tecnico-Cadmio-en-cacao.pdf/36200805-c21d-c444-ee08-47a0f6c8c230>

Jiménez, R., & Palacios, Y. 2021. Optimización de la extracción de manteca de cacao (*Theobroma cacao* L.) por lixiviación utilizando la metodología de superficie de respuesta. (en línea). Consultado el 14 jul. 2024. Disponible en <http://168.121.236.53/handle/20.500.14278/3810>

Lo Papa, C., & Marcelino, S. 2024. Estrategias productivas que reduzcan el impacto ambiental de las lagunas de granjas porcinas en confinamiento, en la provincia de Buenos Aires (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata). (en línea). Consultado el 13 jul. 2024. Disponible en <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/165513>

López, P., & Morales, E. 2022. Efecto de la enzima transeliminasa sobre la calidad física y sensorial del grano de cacao (Bachelor's thesis, Calceta: ESPAM MFL). (en línea). Consultado el 12 jun. 2024. Disponible en <https://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1875>

Lucio, R. 2022. Proyecto de factibilidad para la creación de un centro de acopio de comercialización de cacao en el cantón Montalvo. (en línea). Consultado el 17 jul. 2024. Disponible en <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17432>

Mejía Córdoba, C. 2018. Validación de un modelo matemático para predicción de la fermentación y secado del grano de cacao. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(1), 59-69. (en línea). Consultado el 14 jul. 2024. Disponible en <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/2088/2811>

Molina, M. 2024. Aplicación de carbonato de magnesio como enmienda natural para la inmovilización de metales pesados potencialmente tóxicos en suelos mineros. (en línea). Consultado el 12 de jun. del 2024. Disponible en <http://repositorio.udec.cl/handle/11594/11924>

Muñoz, A. 2023. Efecto de dos fuentes y niveles de materia orgánica en la disminución de cadmio en el suelo y plantones de *Theobroma cacao* (cacao) en vivero-Tingo María. (en línea). Consultado el 18 jul. 2024. Disponible en <https://repositorio.unas.edu.pe/items/900378c6-b8e6-44f9-a4fb->

d7c025cccef8

- Nogales, J. 2020. Beneficio del cacao, métodos de fermentación. (en línea). Consultado el 17 jul. 2024. Disponible en <https://poscosechacacao.com/2017/08/beneficio-del-cacao-metodos-de-fermentacion/>
- Ortega, J., Ortega, P., & Melo, O. 2023. Implementación de estrategias BPM y TIC en la cadena de manipulación y distribución de productos agrícolas para la disminución del impacto generado por la pandemia COVID 19 en los municipios de Pasto, Ipiales y Tumaco. *Revista Politécnica*, 19(38), 231-241. (en línea). Consultado el 14 jul. 2024. Disponible en <https://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/view/2155>
- Otárola, A. 2018. Efecto de la enzima pectolítica y levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) en la fermentación y calidad del cacao var. criollo (*Theobroma cacao*). (en línea). Consultado el 18 jul. 2024. Disponible en <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/2412>
- Reynel, H., & Loor, A. 2018. Tipos de secado de *Theobroma Cacao* L. y su efecto en la calidad organoléptica en Esmeraldas, Ecuador. (en línea). Consultado el 21 jul. 2024. Disponible en <http://portal.amelica.org/ameli/journal/540/5404507002/5404507002.pdf>
- Robinson Alexis, J. M. 2021. Análisis de los tres tipos de fermentación de cacao en la provincia de Los Ríos. (en línea). Consultado el 12 jun. 2024. Disponible en <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/9286/E-UTB-FACIAG-ING%20AGROP-000127.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rojas Sosa, J. M., & Rojas Manayay, E. D. 2018. Aprovechamiento del mucílago de cacao (*Theobroma cacao*) en la formulación de una bebida no alcohólica. (en línea). Consultado el 18 jul. 2024. Disponible en <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/2684>
- Romero, J. 2016. Incidencia del método de fermentación en la calidad de las almendras y licor de *Theobroma cacao* L., tipo Nacional. (en línea). Consultado el 18 jun. 2024. Disponible en https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/7639/1/DE00030_TR_ABAJODETITULACION.pdf
- Rosales-, B. S., García, L., Pérez, J. G., Contreras, E., Pérez, E., & García, C. 2024. Influencia de la fermentación del cacao y del uso de cultivos iniciadores

- sobre las características organolépticas del chocolate: un análisis integral. *Pädi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI*, 12(23). (en línea). Consultado el 21 jul. 2024. Recuperado a partir de <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/article/view/12047>
- Ruperty, E., & Sánchez, F. 2021. Estudio del contenido de metales pesados en cacao (*Theobroma cacao* L.) y su incidencia en la calidad de acuerdo a normativas internacionales considerando su procedencia, tipos y transformación. (en línea). Consultado el 14 jul. 2024. Disponible en <https://repositorio.uteq.edu.ec/items/3beb70c2-a0c2-458a-b823-7208d0ec3cb4>
- Salazar, J. 2022. Prácticas agronómicas para mejoras de suelos en cultivos agrícolas en la provincia de Los Ríos (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2022). (en línea). Consultado el 15 jun. 2024. Disponible en <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/11307>
- Solórzano, Y., Franco, J., García, A., Escobar, O., Navarrete, G., Chang, F. 2021. Efecto de la fermentación de cacao (*theobroma cacao* L.), variedad nacional y trinitario, en cajas de maderas no convencionales sobre la calidad física y sensorial del licor de cacao. *Revista de Investigación Talentos*, 8(2), 42-55. (en línea). Consultado el 15 jun. 2024. Disponible en <https://talentos.ueb.edu.ec/index.php/talentos/article/view/280>
- Teneda Llerena, William Fabián. 2016. Mejoramiento del Proceso de Fermentación del Cacao. (*Theobroma cacao* L.) Variedad Nacional y Variedad CCN51. (en línea). Consultado el 14 jul. 2024. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=664426>
- Toapanta, F., Andrade, C., Dávalos Álvarez, E., Landázuri Zaldumbide, S., Quitiaquez, W. 2019. Thermal Analysis of heat sink with Heat Pipes for High Performance Processors. *Enfoque Ute*, 10(2), 39-51. (en línea). Consultado el 14 jul. 2024. Disponible en <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/enfoqueute/v10n2/1390-6542-enfoqueute-10-02-00039.pdf>
- Torres, K., Moncayo, Y. 2022. Evaluación y Determinación de las Condiciones de Proceso de Beneficio de Cacao de la Región de Viotá. *William Fernando Sánchez Corredor*, 41. (en línea). Consultado el 15 jun. 2024. Disponible en <https://teinco.edu.co/investigaci%C3%B3n/wp-content/uploads/2023/05/La->

Creatividad-el-Conocimiento-y-la-Tecnologia.pdf#page=41

Vera-Chang, J. F., Benavides-Vera, J. I., Vásquez-Cortez, L. H., Alvarado-Vásquez, K. E., Reyes-Pérez, J. J., Intriago-Flor, F. G., Naga-Raju, M. y Castro-Triana, V. L. 2023. Efectos de dos métodos fermentativos en cacao (*Theobroma cacao* L.) trinitario, inducido con *Rhizobium japonicum* para disminuir cadmio. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 10 (1), 95-106. (en línea). Consultado el 14 jul. 2024. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Luis-Humberto-Cortez/publication/372825146_Effects_of_two_fermentative_methods_on_cacao_Theobroma_cacao_L_Trinitario_induced_with_Rhizobium_japonicum_to_reduce_cadmium/links/64c991d93c071b7e6a0846c3/Effects-of-two-fermentative-methods-on-cacao-Theobroma-cacao-L-Trinitario-induced-with-Rhizobium-japonicum-to-reduce-cadmium.pdf

4.2. Anexos



Figura 1. Fermentación en cajas de madera (Rupert 2021).



Figura 2. Fermentación en montón (Romero 2016).



Figura 3. Fermentación en sacos (Ruperty 2021).



Figura 4. Fermentación en cajones (Ruperty 2021).