

# **FACULTAD DE INGENIERÍA**

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS NIVELES DE  
CADMIO EN CULTIVOS DE THEOBROMA  
CACAO L. EN DIFERENTES ETAPAS  
FENOLÓGICAS EN NAUTA-LORETO 2020”**

Tesis para optar al título profesional de:

**Ingeniera Ambiental**

**Autor:**

Sandra Elizabeth Huaman Alejandro

**Asesor:**

Mg. Bernabé Salomón Luis Alaya

<https://orcid.org/0000-0003-0520-8751>

Lima - Perú

**JURADO EVALUADOR**

Jurado 1 Presidente(a)	<b>ELIFIO GUSTAVO CASTILLO GOMERO</b>	<b>07594283</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	<b>HANIEL TORRES JOAQUIN</b>	<b>45772010</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	<b>CARLOS ALBERTO ALVA HUAPAYA</b>	<b>06672420</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo a Dios por llenarme de bendiciones, cuidarme en cada momento y darme la oportunidad de demostrar mis fortalezas; también se lo dedico a mi madre por ser mi mayor ejemplo a seguir, por su gran amor y apoyo incondicional, por último, a mi hermanita por brindarme su cariño.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme llegar hasta aquí y ayudarme a cumplir una meta más en mi vida, también a mi madre por sus consejos, dedicación y motivación en todo mi proceso estudiantil y personal; y al M. Sc. Bernabé Salomón Luis Ayala por compartir sus conocimientos y experiencias que aportaron mucho en mi trabajo de investigación y en mi formación en el ámbito profesional.

**TABLA DE CONTENIDO**

<b>JURADO EVALUADOR</b>	<b>2</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>3</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>9</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b>	<b>12</b>
1.1. Realidad problemática	12
1.2. Bases Teóricas	22
1.2.1. Cadmio	22
1.2.2. Cacao:	23
1.3. Formulación del problema	25
1.3.1. Problema general	25
1.3.2. Problemas específicos	25
1.4. Justificación	26
1.5. Objetivos	27
1.5.1. Objetivo general	27
1.5.2. Objetivos específicos	28
1.6. Hipótesis	28
1.6.1. Hipótesis general	28
<b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA</b>	<b>29</b>
2.1. Tipo de investigación	29

2.2. Población y muestra	29
2.2.1. Población	29
2.2.2. Muestra	29
2.3. Materiales, Instrumentos y Métodos	30
2.3.1. Materiales	30
2.3.2. Instrumentos	31
2.3.3. Métodos	32
2.4. Procedimiento	33
2.4.1. Identificación de las etapas fenológicas	33
2.4.2. Identificación de los puntos de muestreo de suelos	33
2.4.3. Obtención de las sub - muestras de suelos	35
2.4.4. Obtención de las muestras de suelos compuestas	35
2.4.5. Obtención de la muestra foliar	36
2.4.6. Determinación del cadmio en las muestras obtenidas	36
2.4.7. Análisis estadístico de los niveles de cadmio en las muestras	36
2.5. Aspectos éticos	37
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS</b>	<b>38</b>
3.1. Identificación de las etapas fenológicas	38
3.2. Determinación del cadmio en suelos con cultivos de cacao	40
3.3. Determinación del cadmio en hojas de cultivos de cacao	41
3.4. Comparación de los niveles de cadmio con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelos	41
3.5. Análisis estadístico de los niveles de cadmio en las muestras	42
<b>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b>	<b>44</b>
4.1. Discusión	44
4.2. Conclusiones	47
4.3. Recomendaciones	48

<b>REFERENCIAS</b>	<b>50</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>57</b>
ANEXO N° 1. Informe del Laboratorio en Análisis de Suelos	57
ANEXO N° 2. Informe del Laboratorio en Análisis Foliare	59
ANEXO N° 3. Análisis estadístico de los niveles de cadmio en suelos con cultivos de cacao	61
ANEXO N° 4. Análisis estadístico de los niveles de cadmio en hojas con cultivos de cacao	62
ANEXO N° 5. Registro Fotográfico en Campo	63
ANEXO N° 6. Registro Fotográfico - Encuestas	67
ANEXO N° 7. Matriz de Consistencia	73
ANEXO N° 8. Matriz de Operacionalización	76

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Descripción de las cuatro etapas fenológicas .....	25
<b>Tabla 2</b> Coordenadas geográficas por cada punto de muestreo.....	34
<b>Tabla 3</b> Características de las etapas fenológicas identificados .....	38
<b>Tabla 4</b> Pruebas de normalidad.....	43
<b>Tabla 5</b> Correlación de Pearson: Coeficientes/ Probabilidades .....	43



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de la parcela con las 4 áreas delimitadas .....	34
<b>Figura 2.</b> Diagrama del procedimiento .....	37
<b>Figura 3.</b> Identificación de las cuatro etapas fenológicas de cultivos de cacao .....	39
<b>Figura 4.</b> Niveles de cadmio en suelos con cultivos de cacao .....	40
<b>Figura 5.</b> Niveles de cadmio en hojas de cultivos de cacao .....	41
<b>Figura 6.</b> Comparación de los niveles de cadmio en suelos con el ECA para suelos .....	42

## RESUMEN

La presencia del cadmio en suelos con cultivos de cacao afecta el estado de la planta, al ser un cultivo hiperacumulador de metales pesados, que en consecuencia perjudica la calidad y exportación del cacao. Por esa razón, el propósito del estudio es comparar los niveles de cadmio en cultivos de *Theobroma cacao* L. en diferentes etapas fenológicas en Nauta-Loreto. Para ello, la parcela seleccionada fue delimitada en cuatro áreas, donde cada área corresponde a una etapa fenológica, después se eligió tres puntos de muestreo por cada etapa y se realizó 20 submuestras por el patrón de zigzag en cada punto para obtener muestras compuestas. También, se eligió 10 árboles y se cortó cuatro hojas a cada una para conseguir muestras foliares de 40 hojas por área. Luego de analizar las muestras se determinó que el mayor valor de cadmio en suelos fue en la etapa de botón floral con 0.77 ppm, esto significa que las otras etapas no sobrepasaron el límite de cadmio establecido en el ECA para suelos, y puede deberse a la falta de uso de fertilizantes en el área de estudio, que explique estos bajos valores de cadmio; sin embargo, en las muestras foliares, la mayor concentración de cadmio fue en la etapa de fructificación con 1.04 ppm, además presentan diferencias significativas, y todo esto debido a múltiples factores que influyen en la absorción y transporte del metal por la planta. Por lo tanto, se concluye, mediante la correlación de Pearson, que no existe una correlación significativa entre cadmio en suelos y cadmio en hojas de cacao.

**PALABRAS CLAVES:** Cadmio, suelos, hojas, cultivos de cacao, etapas fenológicas.

**ABSTRACT**

The presence of cadmium in soils with cocoa crops affects the state of the plant, as it is a crop that hyperaccumulates heavy metals, which consequently harms the quality and export of cocoa. For this reason, the purpose of the study is to compare cadmium levels in *Theobroma cacao* L. crops at different phenological stages in Nauta-Loreto. For this, the selected plot was delimited into four areas, where each area corresponds to a phenological stage, then three sampling points were chosen for each stage and 20 subsamples were made by the zigzag pattern at each point to obtain composite samples. Also, 10 trees were chosen and four leaves were cut from each one to obtain leaf samples of 40 leaves per area. After analyzing the samples, it was determined that the highest value of cadmium in soils was in the flower bud stage with 0.77 ppm, this means that the other stages did not exceed the cadmium limit established in the ECA for soils, and may be due to the lack of fertilizer use in the study area, which explains these low cadmium values; however, in the foliar samples, the highest concentration of cadmium was in the fruiting stage with 1.04 ppm, they also present significant differences, and all this due to multiple factors that influence the absorption and transport of the metal by the plant. Therefore, it is concluded, through Pearson's correlation, that there is no significant correlation between cadmium in soils and cadmium in cocoa leaves.

**KEYWORDS:** Cadmium, soils, leaves, cocoa crops, phenological stages.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Los metales pesados causan la contaminación en los elementos de la naturaleza, como el suelo, que es una parte básica y principal del medio ambiente (Chang *et al.*, 2018). Su degradación por metales puede originarse de forma natural o por actividades antropogénicas, como el uso de fertilizantes en los cultivos, transformándolo en un medio crítico. (Llatance, Gonza, Guzmán y Pariente, 2018). Esto afecta directamente al sector agroindustrial, ya que los metales pesados dificultan el desarrollo de las plantas; y al registrarse este problema de forma frecuente en tierras de cultivo ocasiona grandes pérdidas de producción y de esa forma origina un impacto negativo a la economía. (Chang *et al.*, 2018).

Los metales pesados son elementos que poseen distintas características fisicoquímicas y biológicas, y son considerados como desechos tóxicos que provienen de diferentes actividades; sus fuentes más principales son los procesos de manufactura, aguas residuales industriales y municipales, y uso de fertilizantes fosforados. (Beltrán y Gómez, 2016). Uno de los metales más representativos es el cadmio, por ser un componente principal de los fertilizantes que utilizan en la producción agrícola; por tal motivo genera una reducción en la fotosíntesis, en la absorción de nutrientes y en la absorción del agua en la planta. (Jiménez, 2015). Dicho componente genera efectos nocivos a la salud mediante la ingesta de productos animales y vegetales contaminados, debido a que el cadmio se fija rápidamente en las plantas. (Nieves, Parra, Villanueva y Henríquez, 2019; Reyes, Vergara, Torres, Díaz y González, 2016).

La planta de *Theobroma cacao* L. presenta una gran afinidad por el cadmio; dicha situación provoca dificultades en su exportación y en su consumo, ya que al tratarse de un

producto necesario para las industrias del chocolate se ha convertido en el motor principal del desarrollo económico. (Nieves *et al.*, 2019). Su aporte como materia prima se demuestra en la inversión de países bajos con US\$ 18.8 millones por obtener el cacao, también Indonesia invierte US\$ 15.6 millones, Estados Unidos con US\$ 9.2 millones entre otros; todo ello demuestra su importancia en la industria alimentaria. (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego - MIDAGRI, 2021). Además, los países de Latinoamérica tienen un buen desarrollo de estos productos, no solo como materia prima sino como una oportunidad de exportación en los grandes mercados (López, Cunias y Carrasco, 2020); sobre todo los países como México, Venezuela, Perú, entre otras; los cuales generan productos de mayor calidad con un fino aroma y gran sabor (Nieves *et al.*, 2019).

Asimismo, Perú es un país reconocido por ser el segundo productor del mejor cacao orgánico en todo el mundo, además sus productos son exportados en diversos lugares por su calidad (Barrientos, 2015), y su crecimiento se demuestra en los años 2009 y 2015, por presentar un incremento de 36,8 mil toneladas a 87,3 mil toneladas de producción. (Florida, Claudio y Gómez, 2018a). En los primeros meses del año 2021, se refleja su importancia económica, al exportar cacao y derivados por US\$ 59,7 millones, donde la región de San Martín destacó como el primer productor regional con 14,1 mil toneladas de cacao, le prosigue Junín con 4,1 mil toneladas, Huánuco con 3,7 mil toneladas, Cusco con 3,6 mil toneladas y Ucayali con 2,2 mil toneladas; el cual simbolizan el 88% de la producción nacional. (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2021).

La problemática del cadmio en la industria alimentaria, entre ellas el sector cacaotero, ocasionó que la Unión Europea apruebe la modificación de un reglamento, que entró en vigencia a inicios del año 2019, que señala el rango de 0.1 a 0.8 mg/Kg como concentraciones máximas permisibles del cadmio en el cacao (Jiménez, 2015; Nieves *et al.*,

2019). Esta situación genera limitaciones en su producción y exportación, ya que grandes volúmenes de cacao han sobrepasado los niveles del cadmio (Florida *et al.*, 2018a); se puede reflejar este problema al comparar la exportación del año 2018 con 61, 759 toneladas y el año 2019 con 59, 655 toneladas, donde muestra un ligero descenso; además en el año 2020 se exportó 53, 735 toneladas, el cual demuestra una disminución mayor; según los últimos registros señala que los primeros meses del año 2021 se exportó 10, 044 toneladas de cacao. (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2021). Por ello, se necesita plantear mecanismos sostenibles que ayuden a la reducción de los niveles del cadmio en el suelo de cultivo y no sea una de las causas que disminuya o limite la exportación. (Florida *et al.*, 2018a).

*El estudio se basa en otras investigaciones similares, que indica la presencia del cadmio y otros metales pesados en suelos agrícolas con cultivos de cacao en diferentes etapas de producción, además algunas de estas investigaciones demuestran la absorción de estos metales por las plantas de cacao, que pueden degradar los suelos de acuerdo a su fertilidad y características físico-químicas.*

Según Mahecha, Trujillo y Torres (2015) enfocaron su investigación en la evaluación de metales pesados en suelos húmedos agrícolas denominado oxisol. La técnica utilizada fue muestreo aleatorio simple, cuyo total de muestras de suelo fueron 10; además los métodos principales consistieron en la espectrometría atómica y digestión de ácido nítrico para determinar cobre, níquel, zinc, plomo, cromo y cadmio en las muestras. Mediante ello, se obtuvo 58.6 mg/Kg de concentración de zinc y 3.73 mg/Kg de cadmio, asimismo todos los metales pesados mencionados no sobrepasaron los límites máximos permisibles. Por lo tanto, el estudio indicó que a pesar del uso de fertilizantes químicos y las cosechas excesivas, los metales pesados presentan una baja toxicidad en los terrenos y puede depender por buenas condiciones físicas químicas del suelo agrícola.

León, Rojas y Castilla (2019) realizaron un estudio de evaluación de la fertilidad de suelos con cacao, en 13 departamentos, en un rango de años del 2011 al 2013. Para ello se aplicó el método potenciométrico y de acidez intercambiable en 635 muestras de suelo obtenidas en los años mencionados, para establecer la regresión lineal del pH como variable dependiente y las variables independientes que corresponden a los parámetros físicos químicos del suelo. De acuerdo con los análisis se evidenció 75 % como mejor correlación entre los parámetros de pH y aluminio, sin embargo, las parcelas pertenecientes a pequeños productores de cacao, presentan 3.43% aproximado de correlación del fósforo (P) y potasio (K). Por ello, la investigación propone realizar buenas prácticas de fertilización agronómica y un buen control sanitario en los cultivos, para tener alta producción y corregir los niveles bajos de P y K.

De acuerdo con la investigación de Jaramillo *et al.* (2015), tuvo como finalidad determinar las profundidades adecuadas para muestrear suelos con cultivos de cacao y evaluar los niveles de cadmio y nutrientes presentes en ellos. El diseño fue descriptivo estadístico y la técnica de muestreo fue en zig – zag con distintas profundidades, para obtener 897 muestras compactas de suelos agrícolas, mediante la mezcla de submuestras recolectadas en seis organizaciones. El promedio de los niveles de cadmio en las muestras resultó menor de 0.40 ppm, solo las muestras de dos organizaciones sobrepasaron esa cantidad; además la materia orgánica disminuye cuando la profundidad es menor. La investigación demostró que la profundidad óptima para analizar cadmio fue de 0 a 40 cm, ya que el nivel de cadmio era mayor y que está relacionado con la materia orgánica.

Lanza, Churión, Liendo y López (2016), proponen evaluar los niveles de metales tóxicos en dos tipos de granos de cacao, denominadas porcelana e híbrido. Se aplicó la espectrometría con plasma mediante emisión óptica en 500 gramos de cacaos secos y

fermentados; el muestreo fue aleatorio en dos años diferentes, luego realizaron el análisis de varianza para diferenciar los tratamientos. Los metales analizados fueron cobre, níquel, cromo, hierro y cadmio; donde los valores significativos fue 0.95 y 2.09 mg/kg en cadmio, mientras 5.13 y 34.26 mg/kg de hierro. La investigación evidenció que en el año 2012 los niveles de metales pesados fueron mayores que el 2013, y que la fermentación de muestras en madera puede alterar los contaminantes mencionados.

Otra investigación tuvo el propósito de evaluar medidas de remediación de suelos cacaoteros con niveles altos de cadmio, como la fitoextracción con cultivo de hierba mora. El diseño fue aleatorio experimental y se aplicaron tres tratamientos a las plantas, expuestas a concentraciones altas de cadmio, como 0.5 y 10 mg/kg en suelos cacaoteros, para ello sembraron las plantas en macetas y utilizaron ácido giberélico para su germinación. Las correlaciones lineales más relevantes entre el contaminante y su acumulación en las hierbas de mora fueron de 63% en el área foliar, 74% en las raíces, 47 % en el tallo y 68% en las hojas. Se demostró que la fitoextracción con plantas de mora es más eficiente en los suelos agrícolas por su buena capacidad de absorber contaminantes, además evita efectos negativos en los cultivos de cacao (Ramírez, Giraldo y Barrera, 2018).

Echeverry y Reyes (2016) establecieron una investigación con la finalidad de comparar las cantidades de cadmio en un chocolate con 96% de cacao colombiano y en chocolates europeos con diferentes porcentajes. La investigación fue experimental cuantitativa y cualitativa; para ello se procesó 63 muestras en una molienda para homogenizarlas, luego aplicaron la absorción atómica fotoespectrométrico de llama y determinaron el límite de detección. Se determinó 4.05 mg/kg de promedio de cadmio en el chocolate colombiano, que sobrepasa los límites que establece la norma Europea, también se obtuvo 0.031 mg/L como límite de detección y 0.067 mg/L de cuantificación. El estudio



evidenció que las cantidades de cadmio presente en los chocolates superaron los límites de cuantificación y detección, a su vez los valores no cumplen con las normativas de la Unión Europea.

En referencia con Aikpokpodion, Atewolara, Osobamiro, Oduwole y Ademola (2013) elaboraron un estudio comparativo para evaluar los metales pesados en granos de cacao en tres estados productores diferentes. El estudio fue comparativo correlacional, cuyas técnicas consisten en la absorción atómica por espectrofotometría y el proceso de fermentación de muestras; los granos de cacao fueron obtenidas de 10 árboles elegidos al azar, tres granos por cada árbol, para determinar las cantidades de plomo, zinc, cadmio y cobre. Determinaron que el 50% del total de muestras tenían 0.04 a 0.08 mg/kg de cadmio, el cual sus niveles resultaron menores en sus límites máximos permisibles, a diferencia del 50% de muestras que obtuvieron niveles mayores a 1.0 mg/kg de plomo. Por ello, el plomo fue considerado como el metal pesado más alto en las muestras de las tres regiones y al cadmio como el contaminante de menor concentración.

Respecto a otro estudio, se realizó con la finalidad de comparar las concentraciones del cadmio, plomo, cobre, mercurio y arsénico en los granos de tres clones diferentes de cacao. La evaluación fue hecha después de cinco días de fermentación y consiste en utilizar espectrofotometría por absorción atómica, además los tres tipos de clones de cacao se denominan PB 123, BR 25 y MCC 02. Se obtuvo en los tres clones 19.3, 10.4 y 18.6 mg / kg de cobre; mientras que en los parámetros de cadmio, plomo, mercurio y arsénico los niveles de límites de detección fueron 0.1, 0.05, 0.01 y 0.005 mg / kg. Todo esto indica que los valores de los metales pesados en los granos de cacao fueron menores a los niveles señalados en la norma europea, quiere decir que los cultivos evaluados no presentan contaminación. (Assa, Noor, Yunus, Misnawi y Djide, 2018).

Sandoval, Pérez, Rodríguez y Torres (2020), tuvieron el objetivo de caracterizar la estructura de los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) en la rizosfera de cultivos de cacao en suelos con alto y bajo cantidad de cadmio. Para ello, se obtuvieron cuatro muestras de suelo rizosférico con 15 cm de profundidad en dos zonas diferentes de cultivos de cacao, luego se aplicó un análisis físico-químico mediante el método de Bouyoucus y espectrofotometría por absorción atómica; aparte se utilizó la técnica de cultivo trampa para multiplicar las esporas de HFMA. Se determinó que los suelos con alta cantidad de cadmio, de 20,9 mg kg<sup>-1</sup>, poseen una menor abundancia, riqueza y diversidad de HFMA, lo opuesto a los suelos con baja cantidad de cadmio de 0,1 mg kg<sup>-1</sup>. Todo ello demuestra que los suelos con altos niveles de cadmio generan un ambiente de estrés constante que afecta a algunas especies, sin embargo, los HMFA son más adaptables y pueden considerarse como estrategia ante la mitigación de cultivos expuestos al estrés, pero antes se debe investigar más sobre el impacto que el estrés ocasiona a los cultivos de cacao.

Según Sánchez y Rengifo (2017) basaron su estudio en determinar la presencia de cadmio y plomo en cultivos de cacao en edades y etapas fenológicas distintas. Utilizaron la técnica del zig-zag para muestreo de suelos, la recolección de dos hojas por planta para muestreo de follaje y el método vía seca en el análisis de los granos de cacao. Estas técnicas fueron aplicadas en cultivos de cacao CCN 51, donde el 18% al 50% representan cadmio total en las muestras y el 3% corresponde al plomo; asimismo los cultivos de 5 y 10 años, en etapa fenológica de fructificación, obtuvieron concentraciones altas de cadmio, mientras las plantaciones de 15 y 20 años, en la misma etapa, resultaron con mayor cantidad de plomo. Por lo tanto, demostraron en la investigación que los niveles de estos contaminantes en los granos de cacao dependen de la concentración de cadmio y plomo en las hojas de cultivo

mediante la correlación, además evidenció que los suelos son aptos para el cultivo y cumplen con los límites máximos permisibles de la normativa europea.

Huamaní, Huauya, Mansilla, Florida y Neira (2012) tuvieron la finalidad de evaluar los niveles de cadmio y plomo en las hojas y granos de cultivos de cacao, en su investigación. El procedimiento para los análisis físicos químicos en los suelos fue obtener 20 submuestras de cada parcela y homogenizarlas a una muestra, mientras la técnica para el muestreo foliar era recolectar dos hojas por plantación elegidas al azar en 22 parcelas en total. Los estudios señalaron 0.53 ppm de cadmio y 3.02 ppm de plomo en los suelos, mientras que en las hojas fue de 0.21 ppm de cadmio y 0.58 ppm de plomo. Se determinó, con los valores del cadmio, una correlación positiva en muestras de suelo y hojas, además los suelos con cultivos de cacao presentaron condiciones físico químicas aceptables.

De acuerdo con el estudio de Llatance *et al.* (2018) evaluaron siete plantas de especies diferentes en un terreno, entre ellos el *Theobroma cacao* L., por presentar la característica de acumular cadmio en sus estructuras. El procedimiento consistió en reconocer de forma visual el terreno y las especies silvestres, luego analizar cadmio mediante la espectrofotometría de absorción atómica en las raíces, tallos y hojas. Se obtuvo 0.054 mg/kg de cadmio en el suelo y la especie silvestre con mayor concentración fue el *Theobroma cacao* L., sobre todo en las hojas con 0.0509 mg/kg. Se determinó que el cultivo de cacao es la especie con mayor capacidad de absorber y acumular cadmio, seguido por *Carludovica palmata*, sin embargo, los cultivos de cacao no pueden ser utilizada como especie fitorremediadora por contener frutos utilizados para la exportación y consumo.

Florida *et al.* (2018a) plantearon determinar la influencia del pH del suelo en el proceso de acumulación del cadmio en los granos de cacao CCN-51. Para ello analizaron 20 muestras de suelo y granos de cacao, mediante el muestreo aleatorio para submuestras en

suelos, la técnica potenciométrica y la absorción atómica espectrofotométrica. De ahí obtuvieron 0.98 ug/g de cadmio en granos de cacao, 0.32 ug/g en los suelos y 5.68 de pH promedio, asimismo la correlación del pH en suelos y los valores de cadmio en granos de cacao es de 5.22 %. Por lo tanto, demuestran que la correlación no es significativa y no hay dependencia entre ellas, también que los valores de cadmio en los granos de cacao sobrepasan lo indicado en la norma europea y la calidad del suelo es ligeramente ácida con niveles bajos de cadmio.

Como expresa Tantalean y Huauya (2017) en su estudio, tuvieron como objetivo hallar los niveles de cadmio en los cultivos de cacao CCN – 51 en suelos residuales y aluviales. Las muestras para analizar, mediante la absorción atómica, fueron raíces, ramas, hojas, granos y cáscaras de las plantaciones en dos parcelas; en el análisis de muestras de suelo se aplicó la granulometría, entre otros procedimientos para el resto de sus evaluaciones. Se obtuvo 1.71 ppm en suelos residuales, como mayor concentración de cadmio y 3.68 ppm en suelos aluviales, en las plantaciones de cacao, la parte estructural de la planta con mayor cantidad de cadmio fueron las ramas con 2.29 ppm y 2.97 ppm. La investigación define que los suelos aluviales y las ramas, en ambos tipos de suelos, tienen mayor concentración del contaminante.

García (2019) refirió en su estudio comparar los niveles de cadmio en cultivos de cacao de dos diferentes distritos y analizarlos. El diseño fue descriptivo correlacional transaccional con una muestra aleatoria de 500 gramos de suelos y 250 gramos de semillas de cacao por cada muestra obtenida en los distritos, en el muestreo de las hojas se recolectaron cuatro por árbol con un total de 10 árboles seleccionadas al azar. Al analizar las muestras se obtuvo 2.12 ppm y 2.09 ppm de cadmio en las hojas, 0.123 ppm y 0.812 ppm en las semillas de cacao, en el muestreo de suelo la cantidad mayor fue de 1.426 ppm. Por lo

tanto, la investigación señaló que el lugar con gran cantidad de cadmio en suelos, hojas y semillas fue el distrito de Huicungo, además los niveles de cadmio en suelos no sobrepasan los estándares de calidad, sin embargo, las concentraciones en las hojas de cultivos de cacao sobrepasan los valores de la norma europea.

Florida, Jacobo y Gonzales (2018b) elaboraron un estudio sobre el compost, nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo cacaotero con cadmio, con la finalidad de conocer sus efectos y relacionar la plantación de cacao con otros indicadores. El diseño fue aleatorio con cuatro repeticiones y aplicaron compost, con tratamientos diferentes, en cuatro áreas de cultivos de cacao por tres meses, luego obtuvieron 16 muestras de suelos y granos de cacao para analizar a través de la emisión atómica con plasma. Los valores favorables de cadmio en suelos con compost fueron 0.17 y 0.25 ug/g, y las concentraciones que cumplen con la norma europea en granos de cacao fue 0.31 y 0.43 ug/g en cadmio. El estudio concluye que la aplicación del compost y el NPK presentan correlación significativa positiva en suelos y granos de cacao, sobre todo el segundo tratamiento con una proporción de 3000 kg de compost por hectárea.

Arévalo *et al.* (2016) realizaron una investigación para determinar metales pesados en suelos de diferentes zonas productoras de cacao. Se aplicó la técnica de muestreo aleatorio de suelos a distintas profundidades, en 70 plantaciones de 10 y 15 años de edad para los análisis físicos- químicos. De acuerdo a los metales pesados analizados en las muestras, el cadmio resultó con valores de 0.00 ug/ g en la zona Sur y 0.20 ug/ g en la zona Norte en una profundidad de 20 cm, además se obtuvo una correlación positiva entre el cadmio y la materia orgánica, pH y fósforo. Se determinó que los parámetros fisicoquímicos en el suelo son las adecuadas para la producción del cacao y en forma general los niveles de metales pesados tuvieron una alta correlación con el pH y magnesio.

## 1.2. Bases Teóricas

### 1.2.1. Cadmio

De acuerdo con Clemens, Aarts, Thomine y Verbruggen (2013), el cadmio es una sustancia tóxica y/o química liberada al medio ambiente y representa una amenaza a la salud de las personas. Por otro lado, Reyes *et al.* (2016) indican que el cadmio puede ocasionar cáncer y afecta algunos órganos, entre ellos el riñón y el hígado por medio de la sangre.

#### A. Suelos Agrícolas

Es un sustrato o medio que contienen nutrientes, agua y características fisicoquímicas adecuadas para el desarrollo de plantas y cultivos variados (Llanes, Cabrera, Otero y Domínguez, 2012). Para lograr un suelo eficiente se debe realizar un análisis de su calidad y estudios, con la finalidad de identificar los limitantes para su desarrollo productivo (Bernal *et al.*, 2015).

#### B. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelos

Es considerado como una herramienta de legislación ambiental que regula el nivel de concentración de sustancias o parámetros presentes en un cuerpo receptor, que no afecte de forma significativa al ambiente y a la salud de las personas. (Ministerio del Ambiente - MINAM, 2012). En este caso, regula la concentración de sustancias situados en el suelo como cuerpo receptor, derivado en usos diferentes como en suelos agrícolas; además aporta en la gestión ambiental (Sánchez y Quinteros, 2017).

### C. Monitoreo ambiental de suelos

Consiste en medir el nivel de contaminación mediante la recolección, análisis y evaluación de muestras ambientales en un tiempo y espacio específico (MINAM, 2012); el cual se aplica en el recurso natural del suelo con la finalidad de conocer su estado y hacer un seguimiento. (INDUANALISIS, 2019).

### D. Muestra compuesta de suelos

Está conformado por un grupo de submuestras de suelos mezcladas entre sí para su posterior análisis en el laboratorio, donde las propiedades o sustancias a analizar en el campo de estudio, influyen en la cantidad de submuestras a realizar. (Ministerio del Ambiente - MINAM, 2014).

## 1.2.2. Cacao:

El *Theobroma cacao* L. son conocidos como árboles neotropicales, donde su producto es un componente principal en la elaboración del chocolate, sin embargo, en tierras de cultivo tiene una gran facilidad de almacenar metales pesados, como el cadmio, a través de sus raíces. (Ramtahal, Umaharan, Hanuman, Davis y Ali, 2019). Por otro lado, Jiménez (2015) indica que es un producto de exportación que beneficia en la economía de diversos países, sobre todo en países de Latinoamérica.

### A. Fertilizantes en los cultivos de cacao

Los fertilizantes orgánicos e inorgánicos afectan a las plantaciones de forma positiva o negativa en su desarrollo, debido a la dosis que se aplique y a los insumos que contiene; por ello se debe analizar los parámetros físico

químicos en los suelos y cultivos, para determinar cantidades óptimas (Tuesta *et al.*, 2017).

#### B. Hiperacumulación de metales

Es la acción de acumular metales en las plantas, ya que presentan una tolerancia de toxicidad y acumulan los contaminantes en su estructura, por ello se consideran a las plantas con estas características en los procesos de fitorremediación; aunque en los cultivos de cacao ocasiona desventajas al ser un producto comercial (Ramírez *et al.*, 2018).

#### C. Lineamientos de muestreo para la determinación de niveles de cadmio en suelos, hojas, granos y productos derivados de cacao

Establece técnicas y métodos sobre el muestreo en zonas cacaoteras, en base a los protocolos nacionales e internacionales, con el objetivo de establecer medidas de mitigación y control del cadmio en los cultivos de cacao. (Ministerio de Agricultura y Riego - MINAGRI, 2018).

#### D. Etapa Fenológica del cultivo del Cacao

Son las fases de evolución biológica del cultivo del cacao que depende del tiempo y de las características climatológicas; además si la plantación se encuentra en estado de producción sus etapas pertenecen a un ciclo vegetativo y reproductivo (ADAPTA, 2017). En la Tabla 1 se define las cuatro etapas fenológicas.



**Tabla 1** Descripción de las cuatro etapas fenológicas

<b>Etapas Fenológicas</b>	<b>Descripción</b>
Botón Floral	Es la etapa donde la flor presenta la forma de un botón que indica un desarrollo incompleto en las ramas del cultivo de cacao, su etapa termina cuando el botón tenga un tamaño de 2 cm.
Floración	Una vez terminado el desarrollo de la flor, el botón floral se abre y las flores quedan expuestas y agrupadas en los troncos y/o ramas del cultivo de cacao.
Fructificación	Indica la relación entre la floración y fructificación, ya que incluye el proceso de crecimiento del fruto desde sus inicios.
Maduración	En esta etapa se considera a los frutos de cacao que alcanzaron un tamaño máximo y un color adecuado.

*Nota.* Adaptado de *Uso de manual y libros de datos en puestos de observación fenológicas en cacao*, de ADAPTA, 2017.

### 1.3. Formulación del problema

#### 1.3.1. Problema general

¿Cómo comparar los niveles de cadmio en cultivos de *Theobroma cacao* L. en diferentes etapas fenológicas en Nauta-Loreto en el año 2020?

#### 1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las diferentes etapas fenológicas de los cultivos de *Theobroma cacao* L. en Nauta-Loreto en el año 2020?

- ¿Cuáles son los niveles de concentración del cadmio en los suelos con cultivos de *Theobroma cacao* L. en diferentes etapas fenológicas en Nauta-Loreto en el año 2020?
- ¿Cuáles son los niveles de concentración del cadmio en las hojas de cultivos de *Theobroma cacao* L. en diferentes etapas fenológicas en Nauta-Loreto en el año 2020?
- ¿Cuáles son las comparaciones entre los estándares de calidad ambiental (ECA) del suelo y los valores del cadmio en cultivos de *Theobroma cacao* L. en diferentes etapas fenológicas en Nauta-Loreto en el año 2020?
- ¿Cuál es la correlación entre los niveles de cadmio en suelos y hojas de cultivos de *Theobroma cacao* L. en diferentes etapas fenológicas en Nauta-Loreto en el año 2020?

#### 1.4. Justificación

Uno de los efectos negativos de la presencia de cadmio en *Theobroma cacao* L., es que al movilizarse con facilidad en el suelo hay un riesgo de ser absorbido por el cultivo, ya que es considerado una especie hiperacumuladora de metales pesados; una vez de absorber del suelo cadmio junto con los nutrientes, por las raíces de la planta, pasa por un proceso de translocación del contaminante por toda la estructura que corresponde a tronco o tallo, ramas, hojas y frutos. Esto genera un problema ambiental ya que amenaza la calidad de suelos agrícolas y la conservación de la especie nativa *Theobroma cacao* L. que a futuro puede perjudicar su fotosíntesis, provocar clorosis en las hojas y limitar su crecimiento.

También el cadmio puede perjudicar la salud de las personas ya que producen afecciones cancerígenas, y perjudica órganos vitales como el hígado y el riñón, al ser transportados por la sangre mediante la ingesta de sus frutos por su contenido tóxico; a su

vez la presencia del contaminante en el cacao puede limitar su exportación debido a la posibilidad que los niveles de cadmio sobrepasen los estándares establecidos en la norma europea. Asimismo, por ser un producto comercial, hay la posibilidad de una baja productividad de estos cultivos que genere un problema social con respecto a los ingresos económicos de los agricultores y por ello puedan invadir otras áreas naturales para establecer sus cultivos.

Por lo tanto, comparar los niveles de cadmio en los cultivos de cacao en diferentes etapas fenológicas, permitirá analizar la relación del cadmio en suelos y hojas de cacao, también ayudará a entender la transferencia del cadmio desde el suelo hacia la planta y conocer que etapa se requiere un mayor cuidado por la presencia del metal, y más adelante se pueda establecer medidas preventivas y/o correctivas para evitar elevados niveles de cadmio en los frutos de cacao, como la aplicación de fertilizantes en cantidades adecuadas de acuerdo a la etapa del cultivo para la mejora del manejo de suelos agrícolas. También el estudio busca informar a los agricultores de la asociación "Los Vencedores", el estado de los suelos y cultivos de cacao debido a la falta de investigaciones similares en el lugar, y con ello conocer los efectos negativos que el metal genera en la producción y las normativas relacionadas a su comercialización. Asimismo, el estudio puede complementar futuras investigaciones sobre técnicas de biorremediación y buenas prácticas ambientales en la zona.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo general**

Comparar los niveles de cadmio en cultivos de *Theobroma cacao* L. en diferentes etapas fenológicas en Nauta-Loreto en el año 2020.

### 1.5.2. Objetivos específicos

- Identificar las diferentes etapas fenológicas de los cultivos de *Theobroma cacao* L. en Nauta-Loreto en el año 2020.
- Determinar los niveles de concentración del cadmio en los suelos con cultivos de *Theobroma cacao* L. en diferentes etapas fenológicas en Nauta-Loreto en el año 2020.
- Determinar los niveles de concentración del cadmio en las hojas de los cultivos de *Theobroma cacao* L. en diferentes etapas fenológicas en Nauta-Loreto en el año 2020.
- Comparar los estándares de calidad ambiental (ECA) del suelo con los valores del cadmio en cultivos de *Theobroma cacao* L. en diferentes etapas fenológicas en Nauta-Loreto en el año 2020.
- Determinar la correlación entre los niveles de cadmio en suelos y hojas de cultivos de *Theobroma cacao* L. en diferentes etapas fenológicas en Nauta-Loreto en el año 2020.

## 1.6. Hipótesis

### 1.6.1. Hipótesis general

- Existe una correlación significativa entre los niveles de cadmio en suelos y hojas de cultivos de *Theobroma cacao* L. en diferentes etapas fenológicas en Nauta-Loreto en el año 2020.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

Es un tipo de investigación descriptiva-correlacional, porque analiza la comparación y relación entre variables a través del coeficiente de correlación, también tiene un enfoque cuantitativo, ya que evalúa de forma estadística los datos numéricos de cadmio obtenidas en las muestras de cultivos de cacao en diferentes etapas fenológicas; asimismo, el diseño de estudio es no experimental de categoría transversal, debido a que no realiza cambios o alteraciones en los cultivos para su evaluación, y las muestras se analiza en un tiempo y lugar específico (Miler, 2011).

### 2.2. Población y muestra

#### 2.2.1. Población

Se trabajó con la asociación "Los Vencedores" que está conformado por parcelas distribuidas en distintos lugares, que suman un total aproximado de 24 hectáreas en producción y 100 hectáreas con cultivos en crecimiento, todas ellas ubicadas en el distrito de Nauta, departamento de Loreto. Cada parcela tiene una extensión no mayor a 5 hectáreas y posee áreas con cultivos de cacao en diferentes etapas fenológicas.

#### 2.2.2. Muestra

Se seleccionó una parcela con una extensión de una hectárea, el cual posee cultivos de cacao que corresponden a cuatro diferentes etapas fenológicas. Además, la guía técnica para muestreo de suelos recomienda que el número de muestras para realizar una investigación son tres como mínimo (Mendoza y Espinoza, 2017), por ello se consideró un total de 4 áreas para la toma de estas cantidades de muestras de suelo,

donde cada área corresponde a una etapa fenológica del cacao. En los lineamientos de muestreo para determinar cadmio en suelos, hojas, granos y productos derivados al cacao indica que se debe realizar 20 submuestras y mediante la mezcla obtener una muestra compuesta de 1 kg de suelo (MINAGRI, 2018).

En el caso de las muestras foliares, según los lineamientos de muestreo indica que se debe elegir 10 árboles al azar y recolectar 4 hojas por árbol (MINAGRI, 2018), por esa razón la muestra foliar fue de 40 hojas por área seleccionada.

## **2.3. Materiales, Instrumentos y Métodos**

### **2.3.1. Materiales**

#### **A. Materiales de campo:**

- Lampa
- Pico
- Bolsas Ziploc
- Bolsas de papel
- Tijera
- Cooler
- Guantes quirúrgicos
- Equipo GPS
- Cámara digital
- Cadena de custodia

#### **B. Materiales de oficina:**

- Laptop
- Cuaderno de apuntes
- Lapicero

### 2.3.2. Instrumentos

#### A. Instrumentos de recolección de datos:

Se utilizó la técnica de observación para identificar a las cuatro etapas fenológicas del cultivo del cacao y conocer sus diferencias visuales, también se realizó el muestreo de suelos y hojas de cacao por cada etapa fenológica para el análisis de cadmio en las muestras y obtener una base de datos cuantitativos, las muestras fueron extraídas el 11 de octubre del 2020 en la asociación Los Vencedores, en el distrito de Nauta del departamento de Loreto; donde la calidad de suelos fue interpretado y comparado con los estándares de calidad ambiental (ECA) del suelo; para ello se empleó información del Ministerio del Ambiente - MINAM. Además, el estudio descriptivo es complementado por una recopilación bibliográfica de información específica de artículos científicos, guías y lineamientos de muestreo.

Estos artículos incluidos, son publicados entre el año 2010 al 2022 por revistas científicas virtuales como Scielo, Redalyc, NCBI, Dialnet, Redib y ResearchGate, en idioma inglés y español. La estrategia utilizada para asegurar su validez en el estudio, es que los artículos presenten el DOI o el ISSN, y que la información aporte en el análisis de resultados y cumplimiento de objetivos.

#### B. Instrumentos de análisis de datos:

Se utilizó el software InfoStat, para analizar los datos numéricos de las concentraciones de cadmio obtenidos del muestreo de suelos y el muestreo foliar, mediante la estadística de análisis de varianza y la prueba de Duncan;

también se desarrolló la estadística paramétrica de correlación de Pearson, la cual permite corroborar la hipótesis general planteada en el documento, que consta en confirmar si existe una correlación significativa entre los niveles de cadmio en suelos y hojas de cultivos de cacao. Asimismo se utilizó unas matrices de comparación y gráficos estadísticos para ordenar y comparar datos a través del software MS Excel 2013.

### 2.3.3. Métodos

- A. Método para identificar etapas fenológicas: Se utilizó la técnica de observación para identificar y reconocer las etapas en los cultivos de cacao, ya que es aceptable y utilizada en el manual de observaciones fenológicas de cacao (ADAPTA, 2017); también Sánchez y Rengifo (2017) aplicaron la misma técnica en su investigación.
- B. Método para identificar puntos de muestreo: El tipo de muestreo fue aleatorio, por lo tanto, los puntos fueron elegidos al azar debido a que el estudio compara cuatro etapas fenológicas y se relaciona con la guía para el muestreo de suelos (MINAM, 2014).
- C. Método para el recorrido de puntos de sub - muestras: De acuerdo a la guía para el muestreo de suelos, se aplicó el patrón de zig - zag debido a que la extensión del área no es mayor a 5 hectáreas (MINAM, 2014), además Sánchez y Rengifo (2017) utilizó el mismo patrón al realizar submuestras en su estudio.
- D. Técnica para la sub-muestras de suelo: Se aplicó la técnica de muestras superficiales, debido a que el suelo es de uso agrícola y el contaminante que



se analizó puede afectar a los cultivos de cacao, además menciona que la profundidad se considera entre 0 a 30 cm; todo ello es recomendado por la guía para muestra de suelos (MINAM, 2014).

- E. Técnica para muestras de suelos compuestas: Se utilizó la técnica de cuarteo o partición con la finalidad de reducir muestras compuestas que contienen grandes volúmenes hasta obtener una cantidad de 1kg de muestra de suelo. (MINAM, 2014).

## **2.4. Procedimiento**

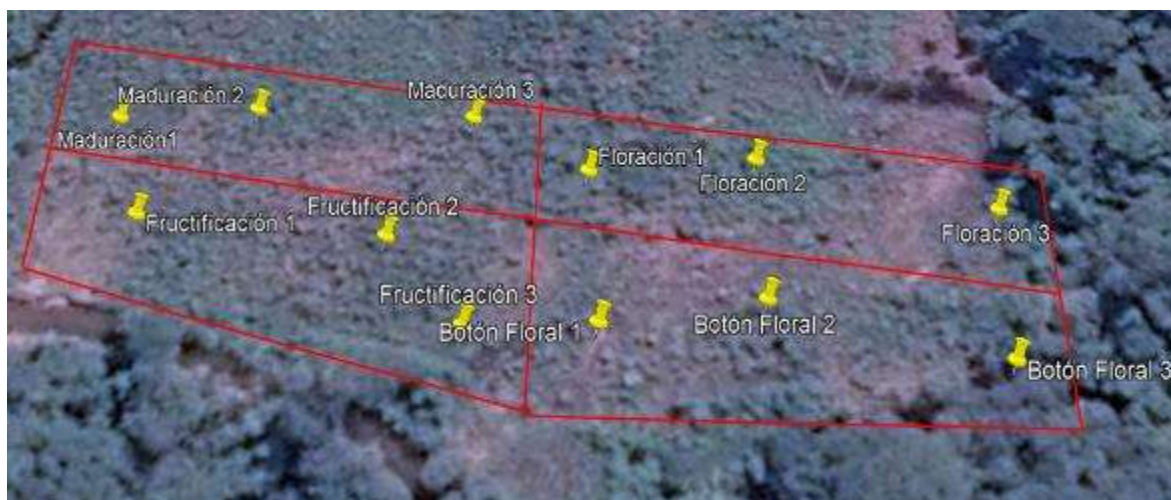
### **2.4.1. Identificación de las etapas fenológicas**

Se realizó un recorrido por toda la parcela y se observó grupos de cultivos con edades y características similares, después se identificó las cuatro etapas mediante la información del manual de observaciones fenológicas en cacao de ADAPTA (2017), el cual indica las características físicas e imágenes de cada etapa en los cultivos de cacao; luego se delimitó toda la parcela en cuatro áreas de estudio, el cual cada área corresponde a una etapa fenológica diferente para realizar el estudio comparativo entre ellos.

### **2.4.2. Identificación de los puntos de muestreo de suelos**

Se aplicó un tipo de muestreo de suelos aleatorio, donde la cantidad de puntos fueron elegidas al azar, además en la guía técnica de suelos de Mendoza y Espinoza (2017) indica que se puede considerar tres muestras como mínimo para una investigación; por lo tanto, como se puede ver en a Figura 1 y la Tabla 2, se eligió tres puntos de muestreo por cada área de estudio delimitado en la parcela.

Según MINAGRI (2018) señala en los lineamientos de muestreo para determinar cadmio, que se debe tomar 20 submuestras y mezclarlas para conseguir una muestra compuesta; para ello se realizó un recorrido de puntos en zig-zag como patrón de muestreo, que fue utilizada por Sánchez y Rengifo (2017), en un estudio similar.



**Figura 1.** Mapa de la parcela con las 4 áreas delimitadas

*Nota.* Se observa que cada área de muestreo corresponde a una etapa fenológica diferente y en cada punto de muestreo se realizó las 20 submuestras por el patrón de zigzag.

**Tabla 2**

*Coordenadas geográficas por cada punto de muestreo*

<b>Punto de muestreo</b>	<b>Este (UTM)</b>	<b>Norte (UTM)</b>
Botón Floral 1	652652	9500045
Botón Floral 2	652683	9500054
Botón Floral 3	652729	9500048
Floración 1	652646	9500076

Floración 2	652679	9500083
Floración 3	652727	9500078
Fructificación 1	652560	9500055
Fructificación 2	652609	9500057
Fructificación 3	652627	9500041
Maduración 1	652550	9500075
Maduración 2	652577	9500081
Maduración 3	652621	9500085

#### 2.4.3. Obtención de las sub - muestras de suelos

Se aplicó la técnica de muestreo de suelo superficial establecido por el MINAM (2014) en la guía para el muestreo de suelos, por ser un suelo agrícola. Primero se limpió la superficie del terreno con una lampa, luego mediante el uso de una pala se cavó un hoyo a una profundidad aproximada de 10 a 20 cm, que fue recomendada por el MINAGRI (2018) en los lineamientos de muestreo de cadmio, después se limpió las paredes del hoyo con una espátula esterilizada con agua ionizada y se retiró una cantidad de muestra de suelo.

#### 2.4.4. Obtención de las muestras de suelos compuestas

Al extraer las 20 submuestras de suelos en cada punto, se mezcló hasta obtener una muestra compuesta. Luego se realizó la técnica de cuarteo que fue indicado por el MINAM (2014) para muestras mezcladas, hasta obtener una cantidad aproximada de 1 kg de suelo, después la muestra fue colocada en una bolsa ziploc y se procedió al

etiquetado. Por último, se hizo el llenado de cadena de custodia, además las muestras fueron colocadas en un cooler para su conservación y transportadas a un laboratorio.

#### **2.4.5. Obtención de la muestra foliar**

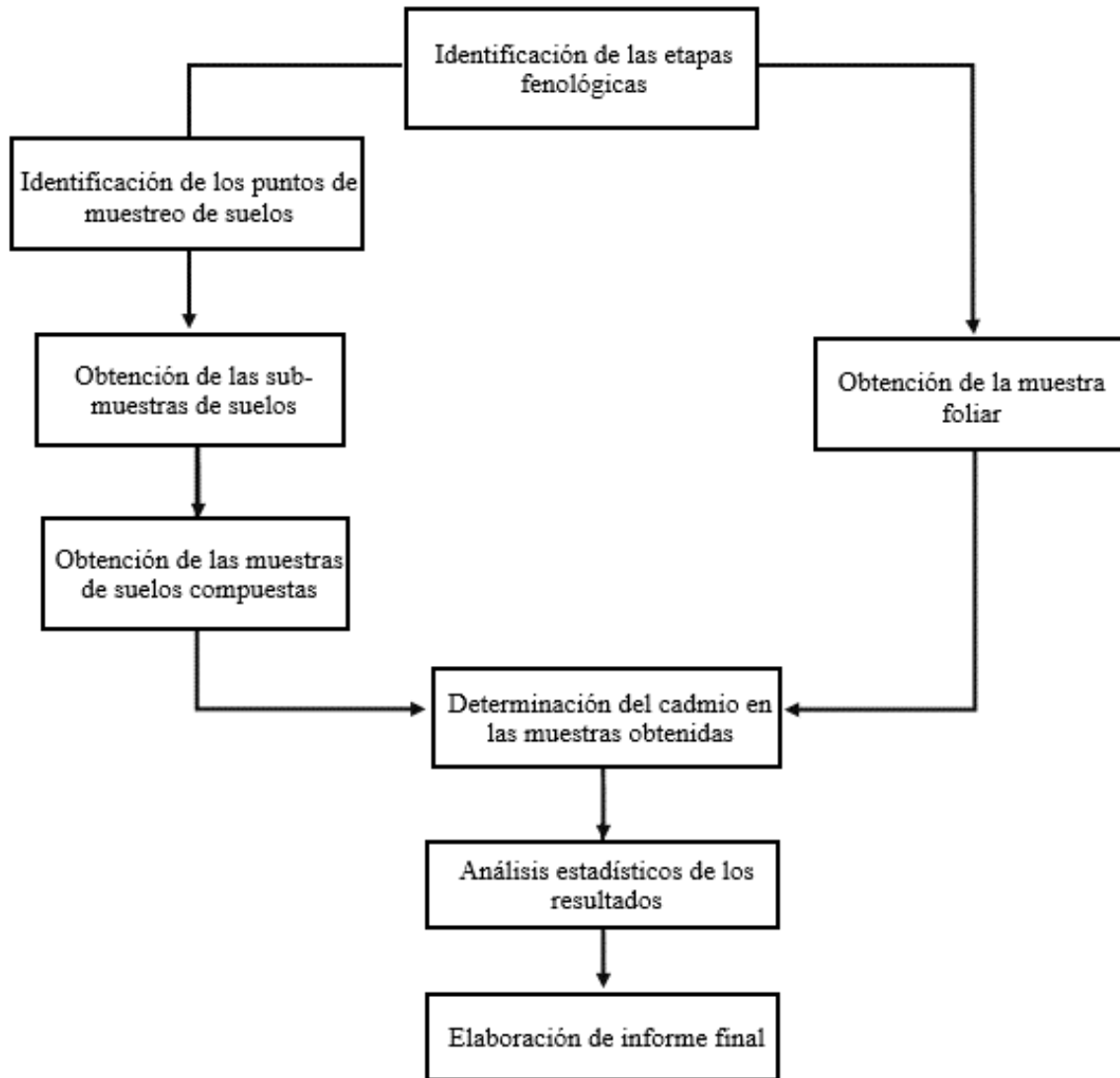
De acuerdo con el MINAGRI (2018) en los lineamientos de muestreo para la determinación de niveles de cadmio y un estudio similar de Sánchez y Rengifo (2017), se eligió 10 árboles o plantaciones al azar que presentan las mismas características, luego con la tijera se cortó 4 hojas en el lado central de la plantación, después se obtuvo un total de 40 hojas que equivale a una muestra en un área seleccionada. Cada muestra fue colocada y conservada en una bolsa de papel, se etiquetaron y fueron trasladadas a un laboratorio para un análisis triplicado de cadmio por muestra.

#### **2.4.6. Determinación del cadmio en las muestras obtenidas**

El análisis se realizó en el laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina. De acuerdo al procedimiento del laboratorio se aplicó la técnica de espectrofotometría de absorción atómica en el análisis de cadmio en las muestras de suelos y hojas de cacao.

#### **2.4.7. Análisis estadístico de los niveles de cadmio en las muestras**

Los datos de las concentraciones del cadmio obtenidos del análisis de las muestras de suelos y hojas de cacao, fueron procesadas por el programa estadístico InfoStat y se aplicó las pruebas de normalidad, para comprobar si los valores del cadmio provienen de una población con distribución normal; luego se efectuó la estadística paramétrica como el análisis de varianza, la prueba de Duncan y la correlación de Pearson.



*Figura 2.* Diagrama del procedimiento

## 2.5. Aspectos éticos

La data numérica del cadmio en el suelo y hojas de cultivos de cacao fue obtenida por un laboratorio eficiente; además se utilizó artículos científicos, guías y lineamientos de fuentes confiables, por lo tanto, se respetarán los derechos de los autores y las entidades de donde se recolectó información, mediante las citas y referencias bibliográficas.

### CAPÍTULO III: RESULTADOS

Los resultados se obtuvieron mediante el análisis de muestras de suelos y muestras foliares de cultivos de cacao; asimismo, se realizó unas encuestas a los agricultores (ANEXO N° 6) para complementar información al momento de interpretar los valores brindados por el laboratorio.

#### 3.1. Identificación de las etapas fenológicas

Al realizar la visita técnica se identificó las cuatro etapas fenológicas en áreas separadas, las cuales son: botón floral, floración, fructificación y maduración (Figura 3), mediante las características observadas en los cultivos y datos obtenidos en el lugar. (Tabla 3).

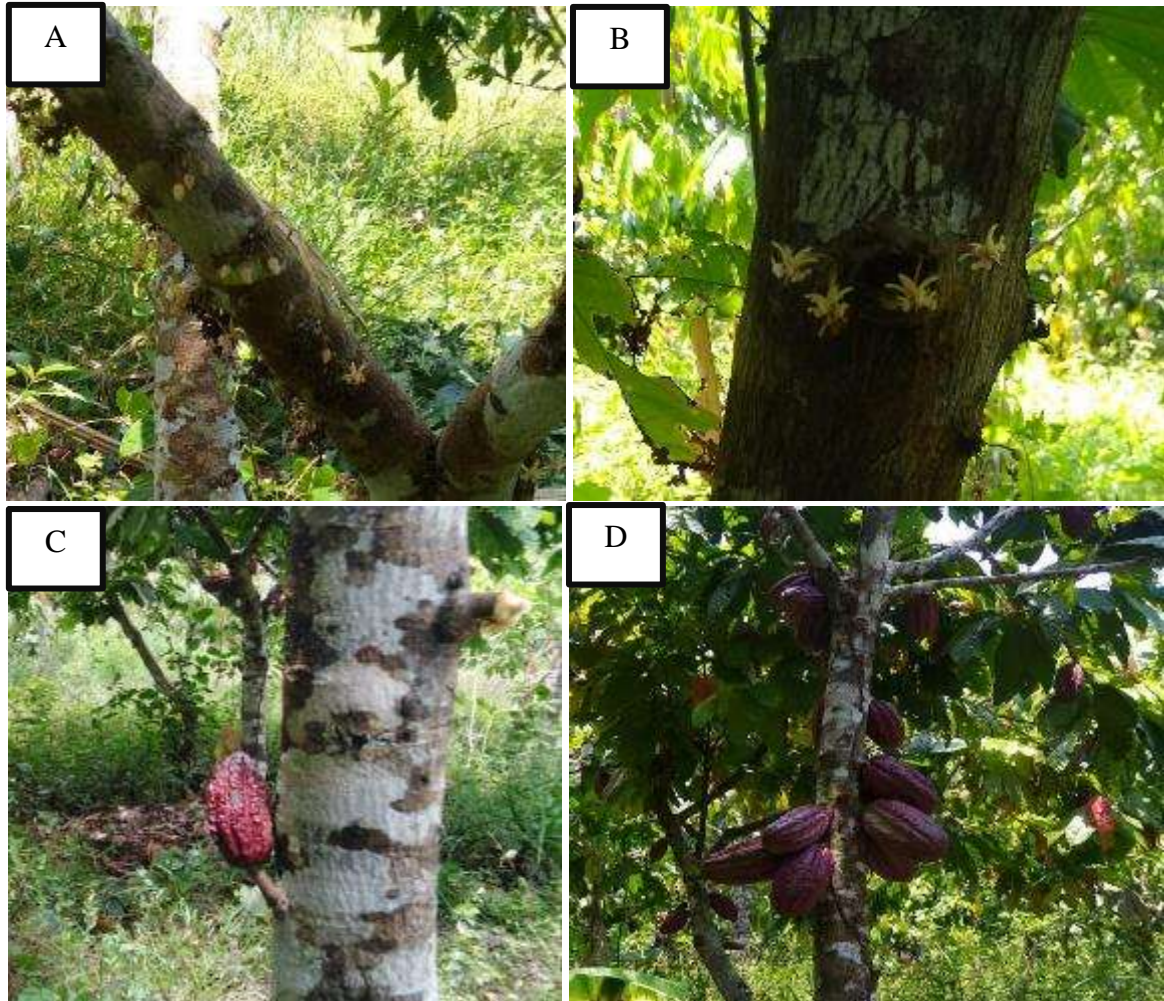
**Tabla 3**

*Características de las etapas fenológicas identificados*

<b>Etapas Fenológica</b>	<b>Descripción</b>
Botón Floral	Se observó grupos florales de color amarillo y rojizo pálido, su tamaño es pequeño, se encuentran sin abrirse y gran parte de ellos se caen de las plantaciones de cacao.
Floración	La mayoría de plantaciones posee un grupo de flores abiertas dispersadas en todo el tronco. Su color es amarillo pálido, de tamaño pequeño y algunas de ellas se caen de las plantaciones.
Fructificación	Los frutos son de forma alargada y redonda, su tamaño es mediano y/o pequeño, son de color rojizo y otras amarillas y crecen en troncos firmes de los cultivos. Además, algunas hojas de la plantación son de color amarillo (clorosis), presentan algunas flores abiertas y hay pocas cantidades de frutos.

Maduración

Presentan dos tipos de cacao, como el CCN51, de color rojizo y el cacao silvestre, de color amarillo. Además, son de gran tamaño, están dispersas en los troncos y ramas de la plantación. También presentan hojas amarillas (clorosis) y hongos de color blanco en las ramas que está cerca al fruto.

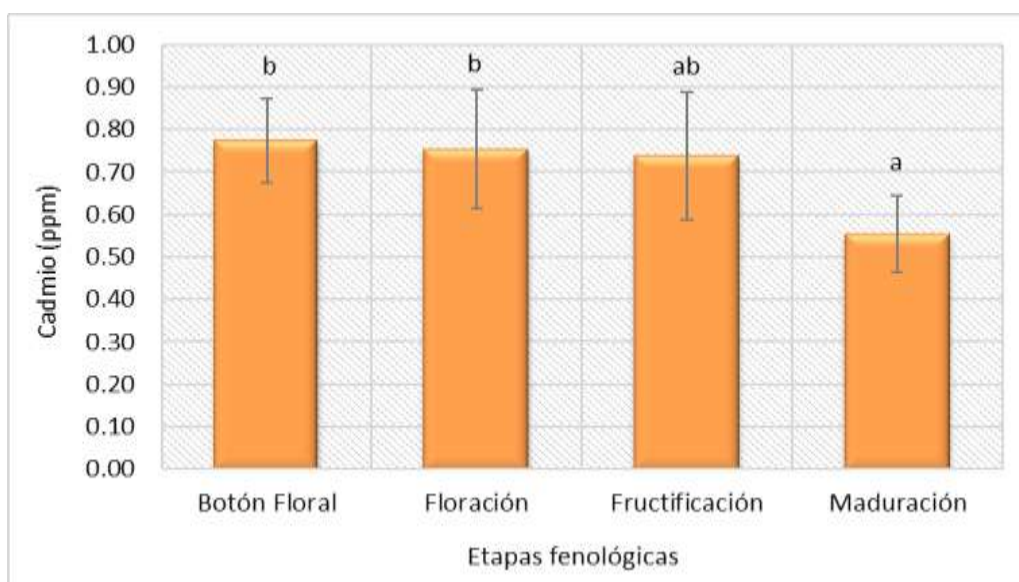


**Figura 3.** Identificación de las cuatro etapas fenológicas de cultivos de cacao

*Nota.* A) Etapa de botón floral, B) Etapa de floración, C) Etapa de fructificación y D) Etapa de maduración.

### 3.2. Determinación del cadmio en suelos con cultivos de cacao

Los resultados muestran el promedio de las concentraciones de cadmio en suelos con cultivos de cacao en cada etapa fenológica. Luego de su análisis con un nivel de significancia de 10%, se observa que no hay diferencias significativas en las etapas fenológicas de botón floral y floración; sin embargo, en la etapa de maduración existe diferencia significativa, y en la etapa de fructificación comparten características de dos diferentes grupos. Asimismo, la etapa de botón floral tuvo mayor cantidad de cadmio con 0.77ppm, a diferencia de la etapa de maduración que obtuvo menor cantidad con 0.55 ppm (Figura 4, ANEXO N° 3).



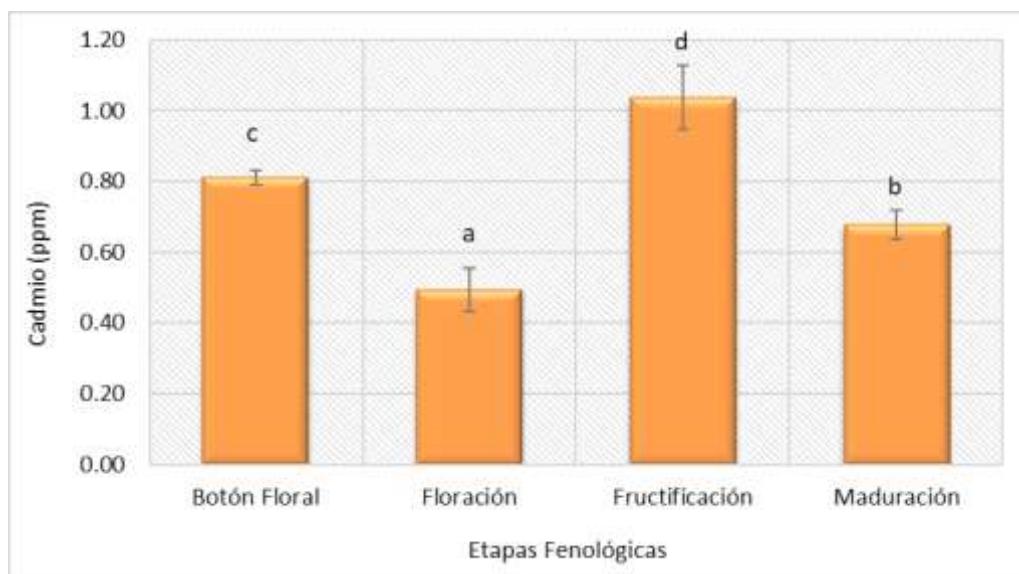
**Figura 4.** Niveles de cadmio en suelos con cultivos de cacao

*Nota.* Contenido de cadmio promedio (n=3) en suelos con cultivos de cacao en diferentes etapas fenológicas. Las letras diferentes indican diferencias significativas de los niveles del cadmio entre sus etapas, que se determinaron mediante el análisis de varianza y la prueba de Duncan ( $p < 0.1$ ); las barras verticales indican el error estándar.



### 3.3. Determinación del cadmio en hojas de cultivos de cacao

Los resultados muestran el promedio de las concentraciones de cadmio en hojas de cultivos de cacao en cada etapa fenológica. Luego de su análisis con un nivel de significancia de 10%, se observa que hay diferencias significativas entre las diferentes etapas fenológicas. Asimismo, la etapa de fructificación tuvo mayor concentración de cadmio con 1.04 ppm y la etapa de floración presentó menor cantidad con 0.49 ppm (Figura 5, ANEXO N° 4).



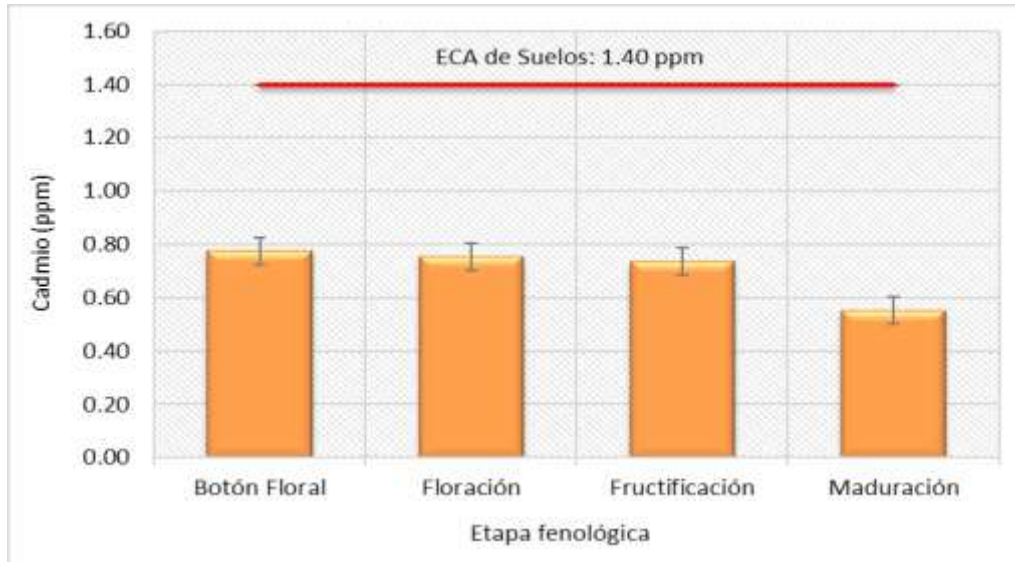
**Figura 5.** Niveles de cadmio en hojas de cultivos de cacao

*Nota.* Contenido de cadmio promedio (n=3) en las hojas de cultivos de cacao en diferentes etapas fenológicas. Las letras diferentes indican diferencias significativas de los niveles del cadmio entre sus etapas, que se determinaron mediante el análisis de varianza y la prueba de Duncan ( $p < 0.1$ ); las barras verticales indican el error estándar.

### 3.4. Comparación de los niveles de cadmio con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelos

Los resultados muestran la comparación del promedio de las concentraciones de cadmio en suelos con cultivos de cacao en cada etapa fenológica y el valor límite de cadmio

establecido en el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM – ECA para suelos, que es 1.4 mg/kg de cadmio. Se observa que los promedios del cadmio en suelos no sobrepasan el valor indicado en la normativa (Figura 6).



**Figura 6.** Comparación de los niveles de cadmio en suelos con el ECA para suelos

*Nota:* El valor de 1.4 mg/kg de cadmio equivale a 1.40 ppm, además la comparación de estos valores con el ECA para suelos corresponde a la categoría del uso agrícola.

### 3.5. Análisis estadístico de los niveles de cadmio en las muestras

#### 3.5.1. Pruebas de normalidad del cadmio en suelos y hojas de cacao

Los resultados muestran que las variables de cadmio en suelos y hojas de cultivos de cacao provienen de una distribución normal y sus datos deben ser procesados por la estadística paramétrica, ya que sus niveles de significancia son mayores a 0.10. Asimismo, se consideró la prueba de Shapiro-Wilk, debido a que el total de datos es menor a 30, donde los valores de significancia en cadmio en suelos fueron de 0.4115 y en las hojas de cacao de 0.9193 (Tabla 4).

**Tabla 4**

*Pruebas de normalidad*

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
Cadmio en Suelos	12	0.00	0.10	0.92	0.4115
Cadmio en hojas de cacao	12	0.00	0.05	0.97	0.9193

**3.5.2. Correlación de Pearson**

Los resultados muestran que el valor de la probabilidad (p) es de 0.72 y es mayor al valor de significancia de 0.1 ( $\alpha$ ), quiere decir que no existe una diferencia significativa. Asimismo, el coeficiente de Pearson (R), que es de 0.11, está alejado de la unidad, por lo tanto, no existe una correlación significativa entre cadmio en suelos y cadmio en hojas (Tabla 5).

**Tabla 5**

*Correlación de Pearson: Coeficientes/ Probabilidades*

	Cadmio en suelos	Cadmio en hojas de cacao
Cadmio en suelos	1.00	0.72
Cadmio en hojas de cacao	0.11	1.00

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

Se utilizó la técnica de observación para identificar las cuatro etapas fenológicas del cacao en la parcela y describir sus características. De acuerdo al estudio de Sánchez y Rengifo (2017) aplicaron la misma técnica para el reconocimiento de campo, que incluye identificar las etapas fenológicas y edades del cacao, en el cual lograron buenos resultados. La técnica de observación es validada por el manual de observaciones fenológicas, pero considera importante complementarlo con el registro de conteo de cultivos por etapa, en una frecuencia de tiempo establecido por el agricultor, con la finalidad de un control más preciso (ADAPTA, 2017). Entonces es posible que la identificación de etapas fenológicas del cacao se realizó de forma correcta, mediante la técnica aceptada de observación.

Respecto a las concentraciones del cadmio en suelos con cultivos de cacao, muestran resultados bajos y con poca variación entre las etapas de botón floral, floración y fructificación, donde el mayor valor fue de 0.77 ppm en botón floral, pero el menor valor fue de 0.55 ppm en maduración (Figura 4). Estos bajos valores de cadmio en suelos pueden deberse a los cultivos de cacao, por absorber metales pesados a través de sus raíces y mantenerse en el interior de la planta (Arévalo *et al.*, 2016); además el bajo valor en la etapa de maduración puede relacionarse a las características físico químicas del suelo en esa zona, así como lo explica una investigación sobre los valores del cadmio en suelos menores a 0.40 ppm por un pH neutro y una conductividad baja, no mayor a 0.61 dS/m, el cual demuestra que estas características influyen en la variación del cadmio (Jaramillo *et al.*, 2015). Meter, Atkinson y Laliberte (2019) indican que en su estudio las muestras obtenidas de un suelo a poca profundidad (10 a 30 cm) resultan con menores cantidades de cadmio por la presencia de alta materia orgánica, también mencionan que hay una alta probabilidad que los suelos

de la selva tropical tengan una baja conductividad eléctrica y eso provoque bajos valores de cadmio, además hay otros factores que influyen como la lluvia, temperatura, balance hídrico y cantidad de nutrientes. Entonces todo lo mencionado explica que el valor bajo de cadmio, sobre todo en la etapa de maduración del cultivo, puede deberse a un pH óptimo y una conductividad baja en suelos; además las muestras fueron obtenidas de la selva tropical y a poca profundidad (10 a 20 cm), lo cual puede asegurar que la conductividad sea baja y la materia orgánica sea mayor, y coincida con los promedios bajos del cadmio en cada etapa fenológica.

En la Figura 5 muestran los niveles de cadmio en hojas de cacao, que fueron mayores en la etapa de fructificación con 1.04 ppm y menores en la etapa de floración con 0.49 ppm; además presenta mucha variación entre los datos, ya que hay diferencias significativas. En el estudio de Sánchez y Rengifo (2017), obtienen un alto valor de cadmio en muestras foliares, de 2.71 ppm, y en muestras de almendras de cacao, de 2.30 ppm; ambos valores se dieron en la etapa de fructificación, el cual se debe a que los suelos de esta etapa tienen una baja capacidad de intercambio catiónico en los suelos, es decir, una mayor biodisponibilidad del cadmio que provoca una rápida absorción por los cultivos y queden retenidas en las hojas. También, los valores obtenidos en el presente estudio se puede relacionar con la edad de los cultivos; en el estudio de Llatance *et al.* (2018) señalaron que las hojas en cultivos de cacao de 5 años de edad, acumulan mayor cantidad de cadmio por la presencia de péptidos, a diferencia de las hojas más jóvenes. Asimismo, otros factores son la presencia del calcio que influye en la absorción y transporte del metal por la planta, la alta biomasa de árboles que disminuye el cadmio, la relación con el diámetro del tronco y por último los factores climatológicos (Meter *et al.*, 2019). Por lo tanto, todo lo mencionado son múltiples factores que posiblemente influyeron en los resultados del estudio y explican las diferencias

significativas al intervenir en el comportamiento del cadmio; sin embargo, es posible que la baja capacidad de intercambio catiónico en los suelos provoque un alto nivel de cadmio en los cultivos de cacao en la etapa fenológica de fructificación por mayor biodisponibilidad del metal.

Asimismo, en Figura 6 se observa que los promedios de cadmio en suelos con cultivos de cacao, no sobrepasan el 1.40 ppm, que es el valor máximo de cadmio establecido por el ECA de suelos. Es obligatorio cumplir con los valores de parámetros físico químicos del suelo establecidos en normativas para la actividad agrícola en diferentes países, Jaramillo *et al.* (2015) indica en su investigación que el valor máximo de cadmio dictado por la ley ambiental de Ecuador es 0.5 ppm y sus resultados cumplen al obtener valores menores a 0.04 ppm. Según Mahecha *et al.* (2015) demostraron que las concentraciones del cadmio en 10 muestras fueron muy bajas y no sobrepasaron los 3,73 mg/Kg, valor planteado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), a pesar que realizan cosechas excesivas y usan fertilizantes químicos. En relación a lo mencionado, los agricultores no utilizan ningún tipo de fertilizantes en la parcela donde se realizó el estudio, por estas razones los valores en el suelo son muy bajos en cada etapa fenológica del cacao. (ANEXO N°6).

La Tabla 5 muestra que no existe una correlación significativa entre cadmio en suelos y cadmio en hojas de cultivos de cacao. Esto es corroborado por una investigación realizada por Santander y Mendieta (2019), que demuestran una baja correlación no significativa de cadmio en suelos y en diferentes partes de la planta de cacao, incluida las hojas. De acuerdo a Sandoval *et al.* (2020) indica que, a mayor disponibilidad de cadmio en suelos, mayor probabilidad de cadmio en los granos de cacao, es decir, existe una relación alta de cadmio entre ellos, ya que los cultivos de cacao poseen una alta capacidad de absorber cadmio por las raíces, transportarlo por toda la planta, pero acumularlo en los frutos. Sin embargo,

resultados de otro estudio indica que existe una correlación significativa positiva entre las variables mencionadas, pero señala la falta de mecanismos de absorción específicos de cadmio, ya que es un elemento no esencial para la planta (Huamaní *et al.*,2012). En este caso, el presente estudio demuestra que la hipótesis es nula al no haber correlación significativa.

#### 4.2. Conclusiones

- La conclusión general de este trabajo de investigación de tesis, es que se realizó la comparación de los niveles de cadmio en cultivos de cacao en diferentes etapas fenológicas, mediante su evaluación en muestras de suelos y hojas de cacao, y el análisis de correlación entre ellas; para ello, se utilizó herramientas estadísticas, como el coeficiente de correlación de Pearson, además este estudio se desarrolló en las cuatro etapas fenológicas del cultivo de cacao, como botón floral, floración, fructificación y maduración, en la asociación Los Vencedores en el distrito de Nauta del departamento de Loreto.
- Se identificó las cuatro etapas fenológicas de los cultivos de cacao, que fueron botón floral, floración, fructificación y maduración, mediante la técnica aceptada de observación, el cual permitió conocer las diferencias visuales que tiene cada etapa, en la asociación Los Vencedores en el distrito de Nauta del departamento de Loreto.
- Se determinó los niveles de concentración de cadmio en los suelos con cultivos de cacao en diferentes etapas fenológicas, donde el mayor nivel se dió en la etapa de botón floral con 0.77 ppm, a diferencia de la etapa de maduración que obtuvo menor concentración con 0.55 ppm, además se interpretó que no existió diferencias significativas entre los resultados, a excepción de la etapa de maduración.

- Se determinó los niveles de concentración de cadmio en las hojas de cultivos de cacao en diferentes etapas fenológicas, donde el nivel más alto fue en la etapa de fructificación con un valor de 1.04 ppm, mientras que en la etapa de floración presentó menor concentración con 0.49 ppm, también se interpretó que existe diferencias significativas entre los resultados.
  - Se comparó el valor límite de cadmio planteada por los estándares de calidad ambiental (ECA) del suelo, que es de 1.4 ppm, y los valores del cadmio en suelos con cultivos de cacao en diferentes etapas fenológicas, el cual ninguno de los valores sobrepasan el límite establecido, ya que las concentraciones fueron menores de 0.77 ppm.
  - Se demostró que la correlación entre los niveles de cadmio en suelos y cadmio en hojas de cultivos de cacao en diferentes etapas fenológicas es de 0.11, mediante el coeficiente de correlación de Pearson, quiere decir que al estar alejado de la unidad, no existe una correlación significativa entre las variables mencionadas, por lo tanto, la hipótesis es nula.

#### 4.3. Recomendaciones

- Para una investigación más detallada, se recomienda ampliar el número de muestras de suelos y hojas de cacao.
- Se recomienda utilizar el presente estudio para desarrollar más trabajos de investigación sobre el tema con parámetros más estrictos, con la finalidad de aportar conocimientos y buenas prácticas al sector cacaotero.
- Se recomienda investigar y ampliar conocimientos sobre el tema, ya que en la presente investigación señala que no existe una elevada concentración de cadmio en las muestras, sin embargo, se debe tener en cuenta que el cacao y sus productos



derivados no quedan libres de cadmio, y esto no solo depende del estado del suelo, también hay factores externos que pueden influir como uso de herramientas contaminadas en los cultivos, uso de fertilizantes, el agua de riego o inundaciones, entre otros.

**REFERENCIAS**

- ADAPTA. (2017). *Uso de manual y libros de datos en puestos de observación fenológicos en cacao*. <https://docplayer.es/45125100-Uso-de-manual-y-libros-de-datos-en-puestos-de-observacion-fenologicos-en-cacao-matagalpa-enero-24-2017-lac-1.html>
- Aikpokpodion, P., Atewolara, O., Osobamiro, T., Oduwole, O., y Ademola, S. (2013). Estudio de residuos de cobre, plomo, cadmio y zinc en granos de cacao obtenidos de plantaciones seleccionadas en Nigeria. *Revista de investigación química y farmacéutica*, 5(6), 88-98. <https://www.researchgate.net/publication/285965612>
- Arévalo, E., Obando, M., Zuñiga, L., Arévalo, C., Baligar, V., y He, Z. (2016). Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres regiones del Perú. *Ecología Aplicada*, 15(2), 81-89. <https://doi.org/10.21704/rea.v15i2.747>
- Assa, A., Noor, A., Yunus, M., Misnawi, M., y Djide, M. (2018). Concentraciones de metales pesados en granos de cacao (*Theobroma cacao* L.) originarios de East Luwu, South Sulawesi, Indonesia. *Revista de Física: Serie de Conferencias*. 979 012011, 1-8. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/979/1/012011>
- Barrientos, P. (2015). La cadena de valor del cacao en Perú y su oportunidad en el mercado mundial. *Semestre Económico*, 18(37), 129-155. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=165043113006>
- Beltrán, M., y Gómez, A. (2016). Biorremediación de metales pesados cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg) mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: una revisión. *Facultad de Ciencias Básicas*, 12 (2), 172-197. <https://doi.org/10.18359/rfcb.2027>
- Bernal, A., Hernández, A., Mesa, M., Rodríguez, O., González, P., y Reyes, R. (2015). Características de los suelos y sus factores limitantes de la región de murgas,

provincia La Habana. *Cultivos Tropicales*, 36(2), 30-40.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193239249005>

Chang, Q., Diao, F., Wang, Q., Pan, L., Dang, Z., & Guo, W. (2018). Efectos de la simbiosis de micorrizas arbusculares sobre el crecimiento, la absorción de nutrientes y metales en plántulas de maíz (*Zea mays* L.) cultivadas en suelos enriquecidos con lantano y cadmio. *Contaminación Ambiental*, 241, 607-615.

<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.06.003>

Clemens, S., Aarts, M., Thomine, S., & Verbruggen, N. (2013). La ciencia de las plantas: la clave para prevenir el envenenamiento lento por cadmio. *Tendencias en la ciencia de las plantas*, 18(2), 92-99. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.08.003>

Echeverry, A., y Reyes, H. (2016). Determinación de la concentración de cadmio en un chocolate colombiano con 65% de cacao y chocolates extranjeros con diferentes porcentajes de cacao. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 10(19), 22-32.  
<https://revistas.ucp.edu.co/index.php/entrecienciaeingenieria/article/view/452>

Florida, N., Claudio, S., y Gómez, R. (2018a). El pH y la absorción de cadmio en almendras de cacao orgánico (*Theobroma cacao* L.) en Leoncio Prado, Huánuco, Perú. *Folia Amazónica*, 27(1), 1-8. <https://doi.org/10.24841/fa.v27i1.438>

Florida, N., Jacobo, S., y Gonzales, T. (2018b). Comportamiento del cadmio y otros indicadores en suelo y almendra de cacao (*Theobroma cacao* L.), bajo aplicación de compost y NPK. *Folia Amazónica*, 27(2), 193-202.  
<https://doi.org/10.24841/fa.v27i2.461>

García, J. (2019). *Comparación de la concentración de Cadmio en Plantaciones de Cacao en los distritos de Huicungo y San Martín de Alao - 2018*. [Tesis de título,

- Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional de la Universidad César Vallejo. <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/39344>
- Huamaní, H., Huauya, M., Mansilla, L., Florida, N., y Neira, G. (2012). Presencia de metales pesados en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) orgánico. *Acta Agronómica*, 61(4), 339-344. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169926831006>
- INDUANALISIS (2019). *Monitoreo de Suelos*. Laboratorio Ambiental. [https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/monitoreo\\_de\\_suelos\\_30](https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/monitoreo_de_suelos_30)
- Jaramillo, R., Medina, K., Recalde, A., Pastás, K., Bedoya, D., y Ramírez, V. (2015). Evaluación del contenido de cadmio en suelos destinados al cultivo de cacao en la provincia de Guayas (Ecuador). *Revista Científica Ecuatoriana*, 1(1), 30-34. <https://doi.org/10.36331/revista.v1i1.73>
- Jiménez, C. (2015). Estado legal mundial del cadmio en cacao (*Theobroma cacao*): fantasía o realidad. *Producción + Limpia*, 10(1), 89-104. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5746910>
- Lanza, J., Churión, P., Liendo, N., y López, V. (2016). Evaluación del contenido de metales pesados en cacao (*Theobroma cacao* L.) de Santa Bárbara del Zulia, Venezuela. *Saber*, 28(1), 106-115. <https://www.researchgate.net/publication/304749915>
- León, C., Rojas, J., y Castilla, C. (2019). Características fisicoquímicas de los suelos con cacao (*Theobroma cacao* L.) en Colombia: ¿Están adecuados para mejorar la productividad? *Agronomía Colombiana*, 37(1), 28-38. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v37n1.70545>
- López, Y., Cunias, M., y Carrasco, Y. (2020). El cacao peruano y su impacto en la economía nacional. *Universidad y Sociedad*, 12(3), 344-352. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2218-36202020000300344](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202020000300344)

- Llanes, J., Cabrera, E., Otero, A., y Domínguez, D. (2012). Manejo integrado del suelo para la producción sostenible de tabaco en San Luís. *Avances*, 14(3), 251-258.  
<https://docplayer.es/14432945-Manejo-integrado-del-suelo-para-la-produccion-sostenible-de-tabaco-en-san-luis.html>
- Llatance, W., Gonza, C., Guzmán, W., y Pariente, E. (2018). Bioacumulación de cadmio en el cacao (*Theobroma cacao*) en la Comunidad Nativa de Pakun, Perú. *Revista Forestal del Perú*, 33(1), 63-75. <https://doi.org/10.21704/rfp.v33i1.1156>
- Mahecha, J., Trujillo, J., y Torres, M. (2015). Contenido de metales pesados en suelos agrícolas de la región del Ariari, Departamento del Meta. *Orinoquia*, 19(1), 118-122.  
<https://www.researchgate.net/publication/281444430>
- Mendoza, R., y Espinoza, A. (2017). *Guía Técnica para Muestreo de Suelos*. Universidad Nacional Agraria y Catholic Relief Services.  
<https://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf>
- Meter, A., Atkinson, R., y Laliberte, B. (2019). *Cadmio en el cacao de América Latina y el Caribe: Análisis de la investigación y soluciones potenciales para la mitigación*. Biodiversidad Internacional. <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/102354>
- Miler, S. (2011). Tipos de investigación científica. *Revista de Actualización Clínica*, 9, 621-624. <https://www.coursehero.com/file/54699401/Tipos-de-investigaciones-Ti1pdf/>
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2018). *Lineamientos de muestreo para la determinación de niveles de cadmio en suelos, hojas, granos y productos derivados de cacao (R.M 0451-2018-MINAGRI)*.  
<https://www.gob.pe/institucion/midagri/normas-legales/221785-451-2018-minagri>

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2012). *Glosario de términos para la gestión ambiental peruana*.

<http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/504.pdf>

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2014). *Guía para el muestreo de suelos: En el marco del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo*. (1ª Edición) <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2702-guia-para-muestreo-de-suelos>

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI). (2021). *Observatorio de Commodities: Cacao Enero - Marzo 2021*. (Informe Trimestral N° 01 – 2021). <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2009611/Commodities%20Cacao%203A%20ene-mar%202021.pdf>

Nieves, Y., Parra, N., Villanueva, S., y Henríquez, M. (2019). Nota técnica: biorremediación, enemigo del cadmio. *Revista INGENIERÍA UC*, 26(1), 96-104. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70758484010>

Ramírez, R., Giraldo, D., & Barrera, D. (2018). Fitoextracción de cadmio con hierba mora (*Solanum nigrum* L.) en suelos cultivados con cacao (*Theobroma cacao* L.). *Acta Agronómica*, 67(3), 420-424. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n3.68536>

Ramtahal, G., Umaharan, P., Hanuman, A., Davis, C., y Ali, L. (2019). La eficacia de las enmiendas del suelo, biochar y cal, para mitigar la bioacumulación de cadmio en *Theobroma cacao* L. *Ciencia del Medio Ambiente Total*, 693, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.369>

Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., y González, E. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista*

Ingeniería, Investigación y Desarrollo, 16(2), 66-77.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096110>

Sánchez, E., y Quinteros, Z. (2017). Pertinencia del concepto de Estándar de Calidad Ambiental (Eca) en la gestión de sistemas ambientales con varios estados alternativos. Estudio de caso de una experiencia peruana. *Ecología Aplicada*, 16(2), 151-164. <https://doi.org/10.21704/rea.v16i2.1019>

Sánchez, M., y Rengifo, J. (2017). Evaluación del contenido de metales pesados (Cd y Pb) en diferentes edades y etapas fenológicas del cultivo de cacao en dos zonas del Alto Huallaga, Huánuco (Perú). *Agroproducción sustentable*, 1(1), 87-94. <https://doi.org/10.25127/aps.20171.356>

Sandoval, J., Pérez, U., Rodríguez, A., y Torres, E. (2020). Alta presencia de cadmio resulta en baja diversidad de hongos formadores de micorrizas arbusculares asociados a cacao (*Theobroma cacao* L.). *Acta Biológica Colombiana*, 25(3), 333-344. <https://doi.org/10.15446/abc.v25n3.78746>

Santander, W., y Mendieta, O. (2019). *Cuantificación de los límites máximos permisibles de cadmio en suelos, frutos (cáscara, almendra fresca), granos fermentados, licor de cacao y chocolate, para garantizar una exportación de calidad en zonas productoras de las provincias de Huallaga y Bellavista en la región San Martín*. [Trabajo de investigación, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de San Martín <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3596>

Tantalean, E., y Huauya, M. (2017). Distribución del contenido de cadmio en los diferentes órganos del cacao CCN-51 en suelo aluvial y residual en las localidades de Jacintillo

y Ramal de Aspuzana. *Agroproducción sustentable*, 1(2), 69-78.

<https://doi.org/10.25127/aps.20172.365>

Tuesta, A., Trigozo, E., Cayoto, J., Arévalo, E., Arévalo, C., Zúñiga, L., y Leon, B. (2017).

Optimización de la fertilización orgánica e inorgánica del cacao (*Theobroma Cacao*

L.) con la inclusión de *Trichoderma* endófito y Micorrizas arbusculares. *Tecnología*

*en Marcha*, 30(1), 67-78. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i1.3086>



## ANEXOS

### ANEXO N° 1. Informe del Laboratorio en Análisis de Suelos



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : SANDRA ELIZABETH HUAMÁN ALEJANDRO  
 PROCEDENCIA : LORETO/ LORETO/ NAUTA  
 REFERENCIA : H.R. 72820  
 BOLETA : 4256  
 FECHA : 02/11/2020

Lab	Número Muestra		Cd ppm
	Claves		
2423	S1-Fructificación		0.58
2424	S2-Maduración		0.46
2425	S3-Botón floral		0.70
2426	S4-Floración		0.65



*B. La Torre*  
**Braulio La Torre Martínez**  
 Jefe del Laboratorio



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : SANDRA ELIZABETH HUAMÁN ALEJANDRO  
 PROCEDENCIA : LORETO/ LORETO/ NAUTA  
 REFERENCIA : H.R. 72969  
 BOLETA : 4284  
 FECHA : 09/11/2020

Lab	Número Muestra	Cd ppm
	Claves	
2610	S1-Fructificación 2	0.76
2611	S1-Fructificación 3	0.87
2612	S2-Maduración 2	0.57
2613	S2-Maduración 3	0.63
2614	S3-Botón floral 2	0.89
2615	S3-Botón floral 3	0.73
2616	S4-Floración 2	0.70
2617	S4-Floración 3	0.91



*B. La Torre*  
**Ing. Braulio La Torre Martínez**  
 Jefe del Laboratorio

## ANEXO N° 2. Informe del Laboratorio en Análisis Foliar



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



### INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : SANDRA ELIZABETH HUAMÁN ALEJANDRO  
 PROCEDENCIA : LORETO/ LORETO/ NAUTA  
 MUESTRA : HOJAS DE CACAO  
 REFERENCIA : H.R. 72821  
 BOLETA : 4256  
 FECHA : 29/10/2020

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	N %	P %	K %	Cd ppm
1554	F1-FRUCTIFICACION	2.55	0.16	1.04	0.95
1555	F2-MADURACION	2.72	0.20	1.00	0.70
1556	F3-BOTON FLORAL	2.58	0.19	1.04	0.80
1557	F4-FLORACION	2.60	0.20	1.17	0.55



*B. La Torre*  
Ing. Braulio La Torre Martínez  
Jefe de Laboratorio



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES




## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : SANDRA ELIZABETH HUAMÁN ALEJANDRO  
PROCEDENCIA : LORETO/ LORETO/ NAUTA  
MUESTRA : HOJAS DE CACAO  
REFERENCIA : H.R. 72971  
BOLETA : 4284  
FECHA : 10/11/2020

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
1640	FRUCTIFICACION 2	1.13
1641	MADURACION 2	0.63
1642	BOTON FLORAL 2	0.83
1643	FLORACION 2	0.50
1644	FRUCTIFICACION 3	1.03
1645	MADURACION 3	0.70
1646	BOTON FLORAL 3	0.80
1647	FLORACION 3	0.43



  
Ing. Braulio La Torre Martínez  
Jefe de Laboratorio

### ANEXO N° 3. Análisis estadístico de los niveles de cadmio en suelos con cultivos de cacao

#### Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.09	3	0.03	2.13	0.1751
Etapas Fenológica	0.09	3	0.03	2.13	0.1751
Error	0.12	8	0.01		
Total	0.21	11			

#### Test: Duncan Alfa=0.10

Error: 0.0146

Etapas Fenológica	Medias	n	E.E.		
Maduración	0.55	3	0.07	A	
Fructificación	0.74	3	0.07	A	B
Floración	0.75	3	0.07		B
Botón Floral	0.77	3	0.07		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.10$ )

## ANEXO N° 4. Análisis estadístico de los niveles de cadmio en hojas con cultivos de cacao

### Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.47	3	0.16	45.83	<0.0001
Etapas Fenológica	0.47	3	0.16	45.83	<0.0001
Error	0.03	8	3.4E-03		
Total	0.50	11			

### Test: Duncan Alfa=0.10

Error: 0.0034

Etapas Fenológica	Medias	n	E.E.	
Floración	0.49	3	0.03	A
Maduración	0.68	3	0.03	B
Botón Floral	0.81	3	0.03	C
Fructificación	1.04	3	0.03	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.10$ )

## ANEXO N° 5. Registro Fotográfico en Campo



*Fotografía 1:* Etapa fenológica de Botón Floral



*Fotografía 2:* Etapa fenológica de Floración



*Fotografía 3:* Etapa fenológica de Fructificación



*Fotografía 4:* Etapa fenológica de Maduración





**Fotografía 5:** Variedades del cacao en la parcela



**Fotografía 6:** Delimitación de áreas en la parcela



*Fotografía 7:* Muestras de suelos con cultivos de cacao



*Fotografía 8:* Muestras foliares de cultivos de cacao

**ANEXO N° 6. Registro Fotográfico - Encuestas**

**ENCUESTA AL PRODUCTOR DEL CACAO**

El presente cuestionario nos permitirá conocer la situación actual de los cultivos de cacao y detectar mejoras ambientales que se pueden aplicar.

Nombre completo: JOAQUIN YALCATE MANIQUARI

DNI: 05703581

Edad: 72

1. ¿Qué variedades de cacao cultiva en los terrenos agrícolas?

FS, Silvestre (color Anorillo)

FS (color Rojo)

2. ¿Qué utilizan en la fertilización de cultivos de cacao? Coloque una "X" en los que considere. Si su respuesta son otros, especifique líneas abajo.

Fertilizante	Marcar "X"
Compost	
Úrea	
Roca fosfórica	
Sulfato de potasio	
Sulfato de zinc	
Sulfato de cobre	
Sulfato de manganeso	
Ulexita	
Magnocal	

Otros: Recien utilizarai Roca Fosforica.

**Fotografía 9:** Primera Encuesta – parte 1

**ENCUESTA AL PRODUCTOR DEL CACAO**

3. Respecto a su parcela en la que trabaja ¿Cómo considera el crecimiento de los cultivos de cacao? Si su respuesta es "Demasiado lento" o "Lento" especifique la edad y/o etapas fenológicas del cultivo.

Marcar:

Demasiado lento       Lento       Normal

En los primeros años florecen pero no paga para producción solo con la flor.

4. ¿Ha detectado un color amarillento o cambio drástico de color en las hojas del cultivo de cacao? Si su respuesta es "SI" especifique la edad y/o etapas fenológicas del cultivo.

Marcar:

SI       NO

Apres color amarillento y tipo hongos en los ramos y los frutos. A los 4 años en etapa floral.

5. ¿Tiene conocimiento sobre la presencia del cadmio en los suelos agrícolas y en los cultivos de cacao?

Marcar:

SI       NO

6. ¿Han realizado algún estudio sobre el estado de contaminación en los suelos y/o cultivos de cacao? Explique.

No tiene conocimiento con respecto a contaminación de suelo y/o estudios sobre contaminación.

7. ¿Conoce sobre la normativa Europea que establece los niveles de cadmio en los productos del cacao para su exportación que se encuentra vigente desde el año 2019?

No tiene conocimiento de la normativa europea y no llevo cosas solo frutas para comer.

Fotografía 10: Primera Encuesta – parte 2

**ENCUESTA AL PRODUCTOR DEL CACAO**

8. ¿Aplican algún tipo de plaguicida? Explique.

*No aplica ningún tipo de plaguicida.  
recien compré solo Fertilizante.*

9. ¿Cuál de los siguientes temas, usted ha recibido charlas? Marque las que estén relacionadas.

Biorremediación de suelos	
Presencia de metales en cultivos de cacao	
Uso de fertilizantes naturales	
Buenas prácticas de agricultura	
Otros	
No ha recibido charlas	<input checked="" type="checkbox"/>

Si su respuesta es otros, mencione los temas.

*No recibio ningun tipo de charla o  
capacitación en temas como de antenas nuevas*

Muchas gracias por su colaboración

Fotografía 11: Primera Encuesta – parte 3

**ENCUESTA AL PRODUCTOR DEL CACAO**

El presente cuestionario nos permitirá conocer la situación actual de los cultivos de cacao y detectar mejoras ambientales que se pueden aplicar.

Nombre completo: Gil Sangama Onasnumate

DNI: 05948580

Edad: 61

1. ¿Qué variedades de cacao cultiva en los terrenos agrícolas?  
Silvestre, Fs

2. ¿Qué utilizan en la fertilización de cultivos de cacao? Coloque una "X" en los que considere. Si su respuesta son otros, especifique líneas abajo.

Fertilizante	Marcar "X"
Compost	
Úrea	
Roca fosfórica	
Sulfato de potasio	
Sulfato de zinc	
Sulfato de cobre	
Sulfato de manganeso	
Ulexita	
Magnocal	

Otros: Ninguna

**Fotografía 12:** Segunda Encuesta – parte 1

**ENCUESTA AL PRODUCTOR DEL CACAO**

3. Respecto a su parcela en la que trabaja ¿Cómo considera el crecimiento de los cultivos de cacao? Si su respuesta es "Demasiado lento" o "Lento" especifique la edad y/o etapas fenológicas del cultivo.

Marcar:

Demasiado lento       Lento       Normal

---



---

4. ¿Ha detectado un color amarillento o cambio drástico de color en las hojas del cultivo de cacao? Si su respuesta es "SI" especifique la edad y/o etapas fenológicas del cultivo.

Marcar:

SI       NO

*si he detectado hongos en todas las etapas.*

---



---

5. ¿Tiene conocimiento sobre la presencia del cadmio en los suelos agrícolas y en los cultivos de cacao?

Marcar:

SI       NO

6. ¿Han realizado algún estudio sobre el estado de contaminación en los suelos y/o cultivos de cacao?  
Explique.

*Ningun estudio*

---



---



---

7. ¿Conoce sobre la normativa Europea que establece los niveles de cadmio en los productos del cacao para su exportación que se encuentra vigente desde el año 2019?

*No tengo conocimiento de esa normativa*

---



---

Fotografía 13: Segunda Encuesta – parte 2

**ENCUESTA AL PRODUCTOR DEL CACAO**

8. ¿Aplican algún tipo de plaguicida? Explique.

Ninguno

---

9. ¿Cuál de los siguientes temas, usted ha recibido charlas? Marque las que estén relacionadas.

Biorremediación de suelos	
Presencia de metales en cultivos de cacao	
Uso de fertilizantes naturales	
Buenas prácticas de agricultura	
Otros	
No ha recibido charlas	<input checked="" type="checkbox"/>

Si su respuesta es otros, mencione los temas.

---



---

Muchas gracias por su colaboración

**Fotografía 14:** Segunda Encuesta – parte 3



### ANEXO N° 7. Matriz de Consistencia

Título: “Comparación de los niveles de cadmio en cultivos de <i>Theobroma cacao</i> L. en diferentes etapas fenológicas en Nauta-Loreto 2020”					
PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
<p><b>General</b></p> <p>¿Cómo comparar los niveles de cadmio en cultivos de <i>Theobroma cacao</i> L. en diferentes etapas fenológicas en Nauta-Loreto en el año 2020?</p>	<p><b>General</b></p> <p>Existe una correlación significativa entre los niveles de cadmio en suelos y hojas de cultivos de <i>Theobroma cacao</i> L. en diferentes etapas fenológicas en Nauta-Loreto en el año 2020.</p>	<p><b>General</b></p> <p>Comparar los niveles de cadmio en cultivos de <i>Theobroma cacao</i> L. en diferentes etapas fenológicas en Nauta-Loreto en el año 2020.</p>	<p>Cadmio</p>	<p><b>Tipo de investigación:</b> Descriptiva correlacional cuantitativa.</p> <p><b>Diseño:</b> No experimental transversal.</p> <p><b>Instrumento:</b> Muestreo de suelos, muestreo foliar y revisión de artículos.</p>	<p><b>Población:</b></p> <p>La asociación “Los Vencedores” está conformada por parcelas no mayores a 5 hectáreas y posee áreas con cultivos de cacao en etapas fenológicas diferentes, con un total</p>

<p><b>Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿ Cuáles son las diferentes etapas fenológicas de los cultivos de <i>Theobroma cacao</i> L. en Nauta-Loreto en el año 2020?</li> <li>• ¿Cuáles son los niveles de concentración del cadmio en los suelos con cultivos de <i>Theobroma cacao</i> L. en diferentes etapas fenológicas en Nauta-Loreto en el año 2020?</li> <li>• ¿Cuáles son los niveles de concentración del cadmio en las hojas de cultivos de <i>Theobroma cacao</i> L. en diferentes etapas fenológicas en</li> </ul>		<p><b>Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar las diferentes etapas fenológicas de los cultivos de <i>Theobroma cacao</i> L. en Nauta-Loreto en el año 2020.</li> <li>• Determinar los niveles de concentración del cadmio en los suelos con cultivos de <i>Theobroma cacao</i> L. en diferentes etapas fenológicas en Nauta-Loreto en el año 2020.</li> <li>• Determinar los niveles de concentración del cadmio en las hojas de los cultivos de <i>Theobroma cacao</i> L. en diferentes etapas fenológicas en Nauta-Loreto en el año 2020.</li> </ul>	<p>Cultivos de <i>Theobroma cacao</i> L.</p>	<p><b>Método de análisis de datos:</b> Análisis de varianza, prueba de Duncan y correlación de Pearson, a través del software InfoStat y matrices de comparación mediante el MS Excel 2013.</p>	<p>de 24 hectáreas de producción y 100 hectáreas con cultivos en crecimiento.</p> <p><b>Muestra:</b> Se consideró 4 áreas de una parcela, el cual tiene una extensión de una hectárea, donde cada área corresponde a una etapa fenológica de cultivo. Se obtuvo 3 muestras de suelos, de 1kg, por cada área y 4 muestras foliares de 40 hojas cada uno.</p>
--	--	--	--	---	---

<p>Nauta-Loreto en el año 2020?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuáles son las comparaciones entre los estándares de calidad ambiental (ECA) del suelo y los valores del cadmio en cultivos de <i>Theobroma cacao</i> L. en diferentes etapas fenológicas en Nauta-Loreto en el año 2020?</li> <li>• ¿Cuál es la correlación entre los niveles de cadmio en suelos y hojas de cultivos de <i>Theobroma cacao</i> L. en diferentes etapas fenológicas en Nauta-Loreto en el año 2020?</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparar los estándares de calidad ambiental (ECA) del suelo con los valores del cadmio en cultivos de <i>Theobroma cacao</i> L. en diferentes etapas fenológicas en Nauta-Loreto en el año 2020.</li> <li>• Determinar la correlación entre los niveles de cadmio en suelos y hojas de cultivos de <i>Theobroma cacao</i> L. en diferentes etapas fenológicas en Nauta-Loreto en el año 2020.</li> </ul>			
---	--	--	--	--	--

### ANEXO N° 8. Matriz de Operacionalización

Título: “Comparación de los niveles de cadmio en cultivos de <i>Theobroma cacao</i> L. en diferentes etapas fenológicas en Nauta-Loreto 2020”			
VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable Dependiente: Cadmio	De acuerdo con Clemens et al. (2013), el cadmio es una <b>sustancia tóxica y/o química</b> liberada al medio ambiente y representa una amenaza a la salud de las personas.	Sustancia química	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concentración de cadmio</li> <li>- ECA para suelos</li> </ul>
Variable Independiente: Cultivos de <i>Theobroma cacao</i> L.	El <i>Theobroma cacao</i> L. son conocidos como <b>árboles neotropicales</b> , donde su producto es un componente principal en la elaboración del chocolate, sin embargo, en <b>tierras de cultivo</b> tiene una gran facilidad de almacenar metales pesados, como el cadmio, a través de sus raíces. (Ramtahal <i>et al.</i> , 2019).	Tierras de cultivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concentración del cadmio en suelos</li> <li>- ECA para suelos</li> </ul>
		Árboles neotropicales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Etapas fenológicas del cacao</li> <li>- Concentración del cadmio en hojas</li> </ul>