



Esta obra está bajo una [Licencia  
Creative Commons Atribución-  
NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú.](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/)

Vea una copia de esta licencia en  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO**  
**CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN PARA TESIS**  
**A NIVEL DE PREGRADO 2015**



**Determinación del contenido de cadmio en almendras frescas de tres variedades de cacao (*Theobroma cacao* L.) y del suelo y su relación con el pH y la conductividad eléctrica en las zonas de Juanjuí y Pucacaca**

**Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial**

**AUTOR:**

**Genovith Korin Venturo Minauro**

**ASESOR:**

**Ing. M. Sc. Wilson Ernesto Santander Ruiz**

**CO-ASESOR:**

**Ing. M. Sc. Roxana Trujillo Valderrama**

**Tarapoto – Perú**

**2017**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO**  
**CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN PARA TESIS**  
**A NIVEL DE PREGRADO 2015**



**Determinación del contenido de cadmio en almendras frescas de tres variedades de cacao (*Theobroma cacao* L.) y del suelo y su relación con el pH y la conductividad eléctrica en las zonas de Juanjuí y Pucacaca**

**AUTOR:**

**Genovith Korin Venturo Minauro**

**Sustentada y aprobada el 06 de abril del 2017, por los siguientes jurados:**

.....  
**Ing. M. Sc. Enrique Ferreira García**  
**Presidente**

.....  
**Ing. Nelson García Garay**  
**Secretario**

.....  
**Ing. M. Sc. Karen Gabriela Documet Petrlik**  
**Miembro**

.....  
**Ing. M. Sc. Wilson Ernesto Santander Ruíz**  
**Asesor**

## Declaratoria de autenticidad

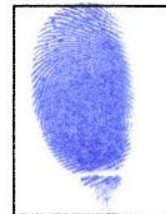
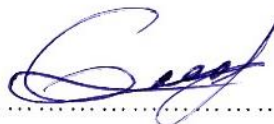
**Genovith Korin Venturo Minauro**, con DNI N° 47825468, egresado de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada: **Determinación del contenido de cadmio en almendras frescas de tres variedades de cacao (*Theobroma cacao* L.) y del suelo y su relación con el ph y la conductividad eléctrica en las zonas de Juanjuí y Pucacaca.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 06 de abril del 2017.



.....  
**Genovith Korin Venturo Miauro**  
DNI. 47825468



**Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.**

**1. Datos del autor:**

Apellidos y nombres: <i>Venturo Minauro Benouith Konn</i>	
Código de alumno : <i>102531</i>	Teléfono: <i>9616924859</i>
Correo electrónico : <i>minaur093@hotmail.com</i>	DNI: <i>47825468</i>

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

**2. Datos Académicos**

Facultad de: <i>Ingeniería Agroindustrial.</i>
Escuela Profesional de: <i>Ingeniería Agroindustrial</i>

**3. Tipo de trabajo de investigación**

Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Trabajo de investigación	<input type="checkbox"/>
Trabajo de suficiencia profesional	<input type="checkbox"/>		

**4. Datos del Trabajo de investigación**

Título: <i>Determinación del contenido de cadmio en almendras frescas de tres variedades de cacao (Theobroma cacao L.) y del suelo y su relación con el pH y la conductividad eléctrica en las zonas de Juanjui y Puracaca.</i>
Año de publicación: <i>2017</i>

**5. Tipo de Acceso al documento**

Acceso público *	<input checked="" type="checkbox"/>	Embargo	<input type="checkbox"/>
Acceso restringido **	<input type="checkbox"/>		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:


**6. Originalidad del archivo digital.**

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

## 7. Otorgamiento de una licencia **CREATIVE COMMONS**

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI **“Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA”**.

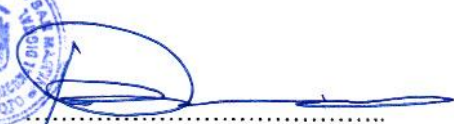
  
Firma del Autor

## 8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

Fecha de recepción del documento:

27 / 12 / 2019



  
Firma del Responsable de Repositorio  
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso  
Abierto de la UNSM – T.

\* **Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

\*\* **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

## **Dedicatoria**

A mis queridos padres, Constantino Corin Venturo Gonzalo y Nelly Minauro Domínguez por su motivación y por ser el pilar más fundamental en cada meta que me propongo durante mi vida e incondicional apoyo para la elaboración de esta investigación.

## **Agradecimiento**

Un agradecimiento muy especial a todas las personas involucradas que de una forma directa e indirecta han permitido que este trabajo de investigación se haga posible.

Al Ing. M. Sc. Wilson E. Santander Ruíz, por su asesoramiento durante el desarrollo de mi trabajo de investigación.

A la Ing. Roxana Trujillo Valderrama, a quien le debo la idea original de mi investigación, asesoramiento y a sus valiosas orientaciones brindadas.

Al Ing. Darwin Rhandy Jara Aguilar, por las orientaciones, asesoramiento brindado durante el desarrollo de la investigación.

A los docentes de la Universidad Nacional de San Martín - Sede Juanjuí y Tarapoto, Facultad de Ingeniería Agroindustrial, por sus orientaciones y apoyo desinteresado que me permitieron desarrollar mi investigación.

A los señores Vicente Rivera Oxolon, Cesar Salas García y Julio López Dávila, propietarios de las parcelas de donde tomé las muestras para mi investigación, un agradecimiento especial por el tiempo o brindado y apoyo desinteresado.

A la Oficina de Investigación (OINV) de la Universidad Nacional de San Martín, por el financiamiento de mi investigación.



## Índice general

Introducción.....	1
OBJETIVOS.....	2
CAPÍTULO I.....	3
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
1.1. El cacao .....	3
1.1.1. Origen.....	3
1.1.2. Identificación taxonómica .....	3
1.1.3. Descripción botánica .....	3
1.1.4. Morfología del cacao.....	3
1.1.5. Estructura del grano de cacao.....	6
1.1.6. Variedades de cacao. ....	7
1.1.7. Características de las variedades en estudio.....	8
1.1.8. Exportaciones del Cacao Peruano .....	8
1.2. Metales pesados en alimentos .....	10
1.3. Fuentes de contaminación de cadmio.....	11
1.4. Absorción y translocación de metales pesados en las plantas.....	12
1.4.1. Ingreso, transporte y acumulación de cadmio .....	13
1.4.2. Contaminación de cacao con cadmio .....	15
1.5. Técnicas analíticas disponibles para la determinación de cadmio en alimentos... ..	16
1.5.1. Espectrometría atómica .....	16
1.5.2. Espectrometría atómica .....	18
1.5.3. Espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo.....	19
1.6. pH y conductividad eléctrica.....	20
1.6.1. pH.....	20
1.6.2. Conductividad eléctrica .....	20
1.7. Reglamento de las cantidades máximas de cadmio en productos alimenticios ....	20
1.8. Regulaciones internacionales que establecen los límites máximos para el cadmio en cacao. ....	22
CAPÍTULO II.....	24
MATERIAL Y MÉTODOS .....	24
2.1. Lugar de ejecución. ....	24
2.2. Equipos y materiales .....	25

2.2.1. Equipos.....	25
2.2.2. Materiales de campo.....	25
2.2.3. Materiales de laboratorio.....	25
2.2.4. Reactivos para la determinación de cadmio.....	25
2.3. Metodología experimental.....	26
2.3.1. Recolección y tratamientos de las muestras.....	26
2.3.2. Descripción de la metodología.....	27
2.4. Métodos analíticos.....	28
2.4.1. Análisis físico-químico de la almendra frescas de cacao y suelo.....	28
2.5. Análisis estadístico.....	31
2.5.1. Análisis de las variables del grano fresco de cacao.....	31
2.5.2. Análisis de las variables del suelo.....	31
2.5.3. Análisis de correlación.....	31
CAPÍTULO III.....	32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
3.1. Análisis físico-químico de la almendra fresca de cacao.....	32
3.1.1. Cadmio en el fruto.....	33
3.1.2. Potencial hidrogenión (pH) en el fruto.....	35
3.1.3. Conductividad eléctrica en el fruto.....	37
3.2. Análisis físico-químico en el suelo.....	39
3.2.1. Cadmio en suelo.....	39
3.2.2. Potencial hidrogenión (pH) en el suelo.....	42
3.2.3. Conductividad eléctrica en el suelo.....	44
3.3. Correlación de las variables de la investigación.....	46
CONCLUSIONES.....	52
RECOMENDACIONES.....	53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
ANEXOS.....	59

## Índice de tablas

Tabla 1. Composición de las semillas de cacao seco .....	6
Tabla 2. Exportaciones de cacao y derivados en valor FOB U\$ .....	9
Tabla 3. Evolución de empresas exportadoras de cacao en grano (Valor FOB U\$). .....	10
Tabla 4. Resumen de algunos métodos analíticos para determinar metales pesados. ....	17
Tabla 5. Reglamento al contenido máximo de cadmio en productos alimenticios .....	22
Tabla 6. Ubicación geográfica de las variedades de cacao de la investigación.....	24
Tabla 7. Numero de Muestras recolectadas en la investigación.....	28
Tabla 8. Variables analizadas en el fruto del cacao.....	32
Tabla 9. Valores del contenido de cadmio (ppm) en la testa y cotiledón en el grano de cacao fresco. ....	33
Tabla 10. Valores de pH en la testa y cotiledón del grano fresco. ....	35
Tabla 11. Valores de conductividad eléctrica en la testa y cotiledón del grano fresco. ....	37
Tabla 12. Variables analizadas en las muestras de suelo. ....	39
Tabla 13. Valores del contenido de cadmio en el suelo por zonas.....	40
Tabla 14. Valores de pH del suelo por zonas. ....	42
Tabla 15. Valores de conductividad eléctrica en el suelo por zonas. ....	44
Tabla 16. Matriz de Correlación de Pearson de las variables del grano fresco y del suelo.	47

## Índice de figuras

Figura 1. Constituyentes del grano de cacao. ....	7
Figura 2. Representación esquemática de los mecanismos de ingreso, secuestro y translocación del Cd en raíces (adaptado de Clemens, 2006). ....	14
Figura 3. Zonas de la investigación .....	24
Figura 4. Metodología de estudio .....	26
Figura 5. Zona de muestreo de suelo de la planta de cacao.....	27
Figura 6. Contenido de cadmio en testa y cotiledón de grano fresco de cacao. ....	34
Figura 7. Valores de pH en testa y cotiledón por factores.....	36
Figura 8. Conductividad eléctrica en la testa y cotiledón por factores.....	38
Figura 9. Contenido de cadmio en el suelo de las variedades por cada zona en estudio.....	40
Figura 10. Valores de pH en el suelo por tratamientos. ....	43
Figura 11. Conductividad eléctrica en el suelo de las variedades por cada zona de estudio.....	44
Figura 12. Correlación lineal del cadmio en el suelo sobre la conductividad eléctrica de la testa .....	49
Figura 13. Correlación del cadmio en el suelo sobre la conductividad eléctrica del cotiledón .....	50
Figura 14. Correlación lineal del pH en el suelo y cadmio en el suelo .....	50

## Lista de anexos

Anexo 1. Ubicación geográfica de las muestras recolectadas. ....	60
Anexo 2. Tratamientos, factores y combinaciones en estudio de investigación. ....	61
Anexo 3. Anova para análisis de cadmio en las partes del grano.....	62
Anexo 4. Anova para análisis de pH en las partes del grano.....	64
Anexo 5. Anova para conductividad eléctrica en las partes del grano. ....	66
Anexo 6. Anova para análisis de cadmio en el suelo. ....	68
Anexo 7. Anova para análisis de pH en el suelo. ....	69
Anexo 8. Anova para conductividad eléctrica en el suelo.....	70
Anexo 9. Informe del análisis de cadmio y conductividad eléctrica en las partes del grano .....	71
Anexo 10. Informe del análisis de contenido de cadmio y conductividad eléctrica en el suelo.....	72
Anexo 11. Diagrama de recolección de muestras de fruto de cacao .....	73
Anexo 12. Diagrama de recolección de muestras de suelo .....	74
Anexo 13. Diagrama del análisis de pH y conductividad eléctrica de las muestras.....	75
Anexo 14. Diagrama del análisis de cadmio en las partes del grano fresco de cacao .....	76



## Lista de abreviaturas

Cd	Cadmio
C.E.	Conductividad eléctrica
Kg	Kilogramo
m	metro
pH	Potencial de hidrogeniones
ppm	Partes por millón
$\mu$ s	Microsiemens

## Resumen

La presencia de metales pesados en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) es actualmente un grave problema para agricultores y cooperativas en la región San Martín. En el reciente trabajo se analizaron los contenidos de cadmio en las partes de grano fresco y suelos en las zonas de Juanjuí y Pucacaca. Los resultados de las variables de: cd, pH y C.E; tomadas de muestras de tres variedades (CCN-51, ICS-95 e Híbrido) se analizaron en el laboratorio de Suelos y Agua de UNSM. Los valores promedio de cadmio en testa y cotiledón fueron 0,0403 y 0,0496 ppm respectivamente. El contenido de cadmio en Juanjuí obtuvo un promedio de 0.046 ppm (testa: 0,039 ppm y cotiledón: 0,052 ppm) mientras que en Pucacaca 0,044 ppm (testa: 0,042 ppm y cotiledón: 0,047 ppm). El Híbrido obtuvo el valor de cadmio más alto con 0,054 ppm (testa: 0,048 ppm y cotiledón: 0.060 ppm), seguido de ICS-95 con 0,050 ppm (testa: 0,046 ppm y cotiledón: 0,054 ppm) y CCN-51 con 0,031 ppm (testa: 0,027 ppm y cotiledón: 0,035 ppm). Se realizó la correlación de Pearson entre los contenidos de cadmio, pH y C.E de las partes del grano fresco con variables físico-químicas del suelo; encontrando que el cadmio en el suelo tiene mucha correlación negativa con la conductividad eléctrica en la testa y cotiledón. El pH y cadmio en el suelo demostró la correlación positiva más alto de la investigación.

Palabras clave: Cadmio, *Theobroma cacao*, variedades, suelo, pH, conductividad eléctrica.

## Abstract

The presence of heavy metals in cocoa cultivation (*Theobroma cacao* L.) is currently a serious problem for farmers and cooperatives in the San Martín region. In the recent work the cadmium contents were analyzed in the fresh grain and soil parts in the areas of Juanjuí and Pucacaca. The results of the variables of: cd, pH and C.E; Samples of three varieties (CCN-51, ICS-95 and Híbrido) were analyzed in the soil and water laboratory of UNSM. The mean values of cadmium in testa and cotyledon were 0,0403 and 0,0496 ppm respectively. The content of cadmium in Juanjuí obtained an average of 0,046 ppm (testa: 0,039 ppm and cotyledon: 0,052 ppm) while in Pucacaca 0,044 ppm (testa: 0,042 ppm and cotyledon: 0,047 ppm). Hybrid obtained the highest cadmium value at 0,054 ppm (testa: 0,048 ppm and cotyledon: 0,060 ppm), followed by ICS-95 at 0,050 ppm (testa: 0,046 ppm and cotyledon: 0,054 ppm) and CCN-51 at 0,031 ppm (Test: 0,027 ppm and cotyledon: 0,035 ppm). The Pearson correlation was performed between the contents of cadmium, pH and C.E of the parts of the fresh grain with physical-chemical variables of the soil; Finding that the cadmium in the soil has much negative correlation with the electrical conductivity in the testa and cotyledon. The pH and cadmium in the soil showed the highest positive correlation of the investigation.

**Keywords:** Cadmium, *Theobroma cacao*, soil, pH, electrical conductivity.



## Introducción

Las exportaciones de cacao orgánico han ido evolucionando aumentando la demanda en países como: Holanda, Suiza, Bélgica Francia, Italia, Alemania, Estados Unidos y Japón, entre otros; siendo exigentes en calidad de la almendra, en cuanto a los atributos tecnológicos y medioambientales. Los estándares de calidad toman en consideración el contenido de elementos tóxicos como los metales pesados (plomo, níquel, cobre, cadmio, manganeso, entre otros) en las almendras.

El cacao es un cultivo de mucha importancia económica en el Perú, ya que en la actualidad existen 144,232 hectáreas cultivadas de cacao, gran parte de las cuales se han instalado gracias a los programas de Desarrollo Alternativo, que promueven la siembra del cacao en la selva peruana (MINCETUR, 2007).

Los metales pesados en un pequeño grado se pueden incorporar a organismos vivos (plantas y animales) por vía del alimento y lo pueden hacer a través del agua y el aire como medios de translocación y dependiendo de su movilidad en dichos medios (Lucho et al., 2005).

La presencia de cadmio en el cacao y sus derivados, ha generado gran preocupación tanto en los países productores como en los países importadores, así como también en los organismos de Regulación Internacional como la OMS y la FAO.

El objeto del presente trabajo es evaluar el contenido de cadmio en almendras frescas de tres variedades de cacao (*Theobroma cacao* L.) y también del suelo, vinculado con el pH y la conductividad eléctrica, en las zonas de Juanjuí y Pucacaca. Para lo cual, se evaluará el pH de la testa y del cotiledón de las almendras frescas de cacao y de muestras de suelo. La conductividad eléctrica de la testa y el cotiledón de las almendras de cacao y de las muestras de suelo. El contenido de cadmio en la testa y cotiledón de las almendras frescas de cacao y de muestras de suelo y el análisis de la correlación de Pearson entre los contenidos de cadmio, pH y conductividad eléctrica de las partes del grano fresco y del suelo.

El desarrollo de la presente investigación permitirá conocer que variedad asimila en menor cantidad el cadmio y si la asimilación varía en relación a las zonas, contribuyendo de esta manera al desarrollo de futuras investigaciones sobre el cadmio en el cacao. Fortaleciendo la competitividad en calidad del producto bandera de la región San Martín en los mercados internacionales de mayor exigencia.

Las limitaciones para el desarrollo de la investigación fue el periodo vegetativo de las plantas y de la poca existencia de plantaciones de cacao con más de 2 variedades.

En tal sentido, se plantea la siguiente estructura: Capítulo I: Revisión Bibliográfica, Capítulo II: Materiales y Métodos, Capítulo III: Resultados y Discusiones; Conclusiones, Recomendaciones, Referencias Bibliográficas, Anexos.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Evaluar el contenido de cadmio en almendras frescas de tres variedades de cacao (*Theobroma cacao* L.) y del suelo, y su relación con el pH y conductividad eléctrica en las zonas de Juanjuí y Pucacaca.

### **Objetivos específicos**

- Determinar el contenido de cadmio en la testa y cotiledón de las almendras frescas de cacao y de muestras de suelo.
- Determinar el pH de la testa y el cotiledón de las almendras frescas de cacao y de muestras de suelo.
- Determinar la conductividad eléctrica de la testa y el cotiledón de las almendras de cacao y de las muestras de suelo.
- Determinar la correlación de Pearson entre los contenidos de cadmio, pH y conductividad eléctrica de las partes del grano fresco y del suelo.



# CAPÍTULO I

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1. El cacao

#### 1.1.1. Origen

El género *Theobroma* es nativo del nuevo mundo y desde México hasta Perú se afirma que el centro de origen del cacao se sitúa en la cuenca del Amazonas y además propone la presencia de dos subespecies que corresponden a los Criollos y los Forasteros, siendo la primera originaria de América central, y a la segunda subespecie del bajo Amazonas, evolucionando cada una independientemente (Quiroz, 2002).

#### 1.1.2. Identificación taxonómica

El cacao como especie ha sido ubicado según la siguiente clasificación taxonómica (Dostert, et al., 2011).

<b>División</b>	: Fanerógamas.
<b>Clase</b>	: Angiospermas.
<b>Subclase</b>	: Dicotiledónea.
<b>Orden</b>	: Malvales.
<b>Familia</b>	: Sterculioideae.
<b>Género</b>	: <i>Theobroma</i> .
<b>Especie</b>	: <i>Theobroma cacao</i> L.

#### 1.1.3. Descripción botánica

El Cacao (*Theobroma cacao* L.) es una especie diploide ( $2n = 20$  cromosomas), de porte alto (8 – 20 m de altura) y de ciclo vegetativo perenne. Crece y se desarrolla usualmente bajo sombra en los bosques tropicales húmedos de América Sur.

#### 1.1.4. Morfología del cacao

##### A. Raíces.

Donde se inicia el crecimiento del tronco y se forma o desarrolla el sistema radicular, existe una zona de transición bien definida conocida como cuello de la raíz. En plantas reproducidas por semillas el sistema radicular está compuesto por una raíz principal denominada raíz pivotante o raíz primaria, la cual crece hacia abajo de forma recta. La raíz principal es pivotante y puede alcanzar de 1.5 - 2.0 m. de profundidad. Las raíces

laterales en su mayoría se encuentran en los primeros 30 cm del suelo alrededor del árbol, pudiendo alcanzar los 5 – 6 m de longitud horizontal. Las raíces secundarias que se encuentran en la parte inferior de la raíz pivotante, tienen un crecimiento hacia abajo en dirección a la roca madre o hacia la capa freática (Batista, 2009).

### **B. Tallo.**

Las ramas del árbol de cacao, al igual que las de otras especies del género *Theobroma*, son dimórficas:

- a) Algunas son de crecimiento vertical hacia arriba, denominadas ramas de crecimiento ortotrópico, y constituyen el tallo y/o los chupones;
- b) Otras son de crecimiento oblícuo hacia fuera, denominadas ramas de crecimiento plagiotrópico.

Las plantas de cacao, reproducidas por semillas, desarrollan un tallo principal de crecimiento vertical que puede alcanzar 1 a 2 metros de altura a la edad de 12 a 18 meses. A partir de ese momento la yema apical detiene su crecimiento y del mismo nivel emergen de 3 a 5 ramas laterales. A este conjunto de ramas se le llama comúnmente verticilio u horqueta.

El cacao tipo Criollo normalmente desarrolla un verticilio de 3 a 5 ramas laterales, las cuales presentan un espacio bien marcado entre sus puntos de origen. En el cacao Forastero las ramas laterales del verticilio salen de un mismo punto. En ambos casos, cuando el árbol llega a adulto, las bases de las ramas laterales forman un solo anillo. Las ramas laterales se desarrollan formando un ángulo de 45° (Batista, 2009).

### **C. Hojas.**

Las hojas son enteras, de 15 – 50 cm de longitud y de 5 – 20 cm de ancho, con ápice acuminado o romo; simétricas en el brote ortotrópico y/o asimétricas en las ramas plagiotrópicas. La forma del limbo puede ser: elíptica, ovada o abovada, con peciolo que presentan dos engrosamientos, denominados “pulvínulos”, uno en la inserción con el tallo, y otro en la inserción con el limbo foliar. En las ramas plagiotrópicas, los dos pulvínulos están casi unidos. Los brotes tiernos generalmente presentan pigmentación antociánica, con excepción de árboles mutantes, que son completamente despigmentados.

### **D. Flores.**

Las flores, son hermafroditas, pentámeras (5 sépalos, 5 pétalos, 5 estaminodios, 5 estambres, y 5 lóculos por ovario), completas (todos sus verticilios florales) y perfectas (con androceo y gineceo). Estas aparecen en el tronco en forma solitaria o en grupos

(cojines florales). Su diámetro oscila entre 1 – 1.5 cm. Los sépalos son de prefloración valvar con o sin pigmentación antocianica. Los pétalos son de prefloración imbricada y presentan dos partes distintas, una basal cóncava y otra apical con el extremo inferior unguiculado, y el superior amplio y con el ápice redondeado. Los 5 estambres están bifurcados en el ápice y cada bifurcación posee una antera biteca. Los 5 estaminodios son 16 infértiles y actúan como órganos de atracción de insectos y/o protección del gineceo. El ovario es súpero, pentacarpelar y pentalocular. Cada lóculo contiene dos series de óvulos anátropos de placentación axial, pudiéndose encontrar en promedio de 30 – 60 óvulos por ovario.

La polinización del cacao es estrictamente entomófila, para lo cual la flor inicia su proceso de apertura con el agrietamiento del botón floral en horas de la tarde. El día siguiente, en horas de la mañana, la flor está completamente abierta. Las anteras cargadas de polen abren y están viables (disponibles; funcionales) casi inmediatamente por un período aproximado de 48 horas. Esta es la única etapa disponible para la polinización (Batista, 2009).

#### **E. Frutos**

Los frutos son bayas, con tamaños que oscilan de 10 – 42 cm, de forma variable (oblonga, elíptica, ovada, abovada, esférica y oblata); de superficie lisa o rugosa, y de color rojo o verde al estado inmaduro, que depende de los genotipos. El ápice puede ser agudo, obtuso, atenuado, redondeado, apezonado o dentado; la cáscara gruesa, delgada o intermedia; de surcos superficiales, intermedios o profundos. El epicarpio y el endocarpio son carnosos estando separados por un mesocarpio fino y leñoso. El color también varía con muchas tonalidades, pero en realidad existen dos colores básicos, el verde y el color rojo. El color verde es específico del cacao Forastero, mientras que los colores rojo y verde están presentes en el Criollo y Trinitario (Batista, 2009).

#### **F. Semillas**

El fruto del cacao puede contener entre 20 a 60 semillas o almendras, cuyo tamaño y forma varían según el tipo genético. La semilla del cacao es más bien un óvulo del interior del ovario de la flor fecundado y desarrollado, que luego de su desarrollo y maduración constituye la mazorca.

En el cacao tipo Criollo las semillas tienen de 3 a 4 cm de largo, casi ovaladas, alargadas, de color blanco o rosado más bien violeta pálido. En el cacao Forastero, las semillas tienen de 2 a 3 cm de largo con formas aplanadas, redondeadas y de color

violeta púrpura. La semilla del cacao está constituida por dos cotiledones y un embrión que está protegido por ambos cotiledones. El endosperma es sumamente reducido y toma la forma de una membrana conocida como testa, la cual es delgada y coriácea cubiertas con un mucílago o pulpa de color blanco cremoso, de distintos sabores y aromas (floral, frutal) y grados de acidez, dulzura y astringencia. Al interior de la almendra están los cotiledones, que pueden ser de color morado, violeta, rosado o blanco, según el genotipo (Batista, 2009).

### 1.1.5. Estructura del grano de cacao

Constituido por cuatro elementos que a continuación se describen.

**Tabla 1**

*Composición de las semillas de cacao seco.*

ELEMENTO	% EN UN GRANO
Cotiledón	87,10
Cáscara o testa	12,00
Germen	0,90
Tegumento	-

Fuente: (Gaviláñez & Sarmiento)(2001).

#### 1.1.5.1. Cáscara o testa

La cáscara recubre los cotiledones, tiene forma plana y es quebradiza de apariencia rojo pardo. La cáscara tiene un espesor comprendido entre 200 y 250  $\mu\text{m}$ .

#### 1.1.5.2. Cotiledón

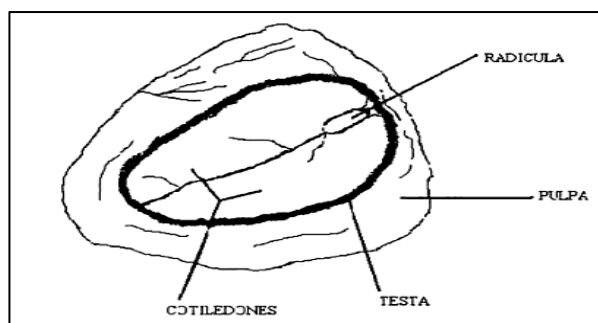
Los cotiledones llenan por completo la cáscara son de aspecto brillante graso, gris, castaño oscuro y violeta. Se encuentran dos cotiledones en cada grano.

#### 1.1.5.3. Germen

Parte de una semilla a partir de la cual se forma una nueva planta.

#### 1.1.5.4. Tegumento o radícula

Es una membrana transparente incolora que se encuentra entre los pliegues del cotiledón y que en porcentaje en peso sería muy insignificante.



**Figura 1.** Constituyentes del grano de cacao. (Fuente: Gaviláñez & Sarmiento (2001).

### 1.1.6. Variedades de cacao.

#### 1.1.6.1. Criollos

Son de mazorcas cilíndricas, con diez surcos profundos simples o en cinco pares, cascara (pericarpio) verrugosa, delgada o gruesa, con una ligera capa lignificada en el centro del pericarpio, con o sin depresión en el cuello, puntas agudas en cinco ángulos, rectas o recurvadas. El color de la mazorca puede variar del verde al rojo. Semillas blancas o ligeramente pigmentadas, cilíndricas u ovals.

Los árboles son relativamente más bajos y menos robustos que de otras variedades, copa redonda, hojas pequeñas ovaladas, de colores verde claro y gruesos, muy susceptibles a la mayoría de las enfermedades. Las flores tienen pedicelos cortos, estaminoides y líneas guías de los pétalos rosados claro. Las espátulas de los pétalos son de forma y color muy variables (Enríquez, 1985).

#### 1.1.6.2. Forasteros

Se han caracterizado los forasteros por tener mazorcas ovoides, amelonadas, con diez surcos superficiales o profundos, cáscaras lisas o ligeramente verrugosas, delgadas o gruesas con una capa lignificada en el centro del pericarpio, y las mazorcas son generalmente verdes, con tonos blanquecinos o rosados tenues en algunas poblaciones. Las semillas son moradas, triangulares en corte transversal, aplanadas y pequeñas. Los árboles son más vigorosos, de follaje más grande e intenso y más tolerante a enfermedades que los criollos. Las flores tienen estaminoides y líneas guía de los pétalos morados (Enríquez, 1985).

#### 1.1.6.3. Trinitarios

Los cultivares de cacao Trinitario ocupan del 10 al 15% de la producción mundial. Botánicamente son un grupo complejo, constituido por una población híbrida que se



originó en la isla de Trinidad, cuando la variedad original (criollo de Trinidad), se cruzó con una variedad introducido de la cuenca del río Orinoco, de allí las características morfológicas, genéticas y de calidad son intermedias entre criollos y forasteros. Dentro de este grupo se ubica la mayor parte del cacao cultivado en América (Soria, 1966).

### **1.1.7. Características de las variedades en estudio**

#### **1.1.7.1. Clon ICS-95**

Alto rendimiento y muy vigorosa en Trinidad; rindiendo bien en la mayoría de los suelos; resistente a la monilla en América Latina. ICS-95 fue identificado como uno de los "más valiosos" ICS clones debido a sus altos rendimientos y fiable resistencia a las enfermedades. Señalan que ICS-95 se encuentra entre el pequeño número de clones ICS que se ha introducido a varios países para su uso como matriz de valores en los programas de mejoramiento (Barona, 2009).

#### **1.1.7.2. Clon CCN-51**

Es una variedad obtenida en el Ecuador, se caracteriza por su resistencia a las enfermedades y por la gran productividad de los árboles obtenidos que superan en cuatro veces el rendimiento de las variedades clásicas, los frutos contienen una proporción muy elevada de grasa y muy poca cáscara. A partir de él se obtienen chocolates muy finos (Asociación Nacional de Exportadores de Cacao - ANECACAO, 2013).

#### **1.1.7.3. Híbrido**

Esta variedad representa los cacaos originales, cuyas plantaciones más antiguas se remontan al siglo XVII. Cultivada al principio en Venezuela, en América central y en México. Famoso por su finura y sus aromas poderosos. Actualmente están sustituyendo a las plantaciones antiguas de Forasteros. Una planta produce en promedio 10 kilos de cacao al año. Se caracterizan por sus frutos de cáscara suave y semillas redondas, de color blanco a violeta, dulces y de sabor agradable (Barona, 2009).

### **1.1.8. Exportaciones del Cacao Peruano**

La exportación de cacao y sus derivados creció en un 92% en el 2013 a comparación de los 5 años anteriores, tras situarse en 135 millones de dólares, gracias a una mayor demanda de Europa, específicamente de Holanda y Bélgica, informó la Asociación de Exportadores.

Las cifras del 2013 fueron sin duda las mejores de los últimos años, pues en el 2009, 2010, 2011, 2012 se exportó 70,4; 78,75; 104,6 y 108,8 millones de dólares, respectivamente.

La exportación del grano de cacao en el 2013 alcanzó los U\$ 81,4 millones a un precio promedio de U\$ 2,69 el kilo. Países Bajos, Bélgica, Alemania y Italia, son nuestros principales destinos: países bajos con U\$ 19,3 millones (23,78%), le siguen Bélgica U\$ 13,2 millones (16,3%), Alemania con U\$ 12,5 millones (15,4%) y Italia U\$ 11,7 millones (14,5%), entre 32 países compradores.

En la tabla 2 se muéstralos valores de exportación de cacao y derivados del periodo de 2009 – 2013 en valor FOB – U\$, además del porcentaje de variación generado a lo largo de los años.

**Tabla 2**

*Exportaciones de cacao y derivados en valor FOB U\$.*

Exportaciones de cacao y derivados en valor FOB - U\$								
Producto	2009	2010	2011	2012	2013	Var. %	Part. %	Acum. %
Cacao en grano	22.332.453	34 979,175	62 804,133	64.720.190	81.369.999	26	60,3	60,3
Manteca de cacao	35.231.134	25.926.639	21.166.537	21.414.758	32.460.996	52	24,0	84,3
Cacao en polvo	4.464.217	10.026.419	13.657.792	12.635.493	11.114.983	-12	8,2	92,5
Pasta de cacao desgrasada total	6.919.129	4.536.118	1.658.502	1.636.579	2.070.514	27	1,5	94,0
Pasta de cacao sin desgrasar	1.324.979	2.059.718	4.747.068	1.584.045	1.316.612	-17	1,0	95,0
Cascarilla de cacao	47.511	285.160	573.636	391.097	140.949	-64	0,1	95,1
Resto	84.999	942.405	-	6.442.969	6.545.124	2	4,8	100,0
<b>Total, General</b>	<b>70.404.422</b>	<b>78.755.634</b>	<b>104.607.668</b>	<b>108.825.131</b>	<b>135.019.177</b>	<b>24</b>	<b>100</b>	

Fuente: PROMPERU (2013).

En el 2013 las principales empresas exportadoras de cacao en grano fueron: Amazonas Trading que lideró las ventas con U\$ 12,98 millones (15,9% del total), seguida de la cooperativa ACOPAGRO con U\$ 12,0 millones (13,8%), SUMAQUAU con U\$ 8,5 millones (10,5 %) y la EXPORTADORA ROMEX con U\$ 8,3 millones (10,2%), entre

otras 47 Empresas exportadoras, la mayoría ubicadas en zonas conflictivas del VRAEN (PROMPERU, 2013).

**Tabla 3**

*Evolución de empresas exportadoras de cacao en grano (Valor FOB U\$).*

Empresa	2011	2012	2013	Var. %	Part. %	Acum. %
AMAZONAS TRADING PERU						
S.A.C.	7.664.181,0	10.099.018,0	12.987.959,0	0,3	15,96%	15,96%
ACOPAGRO	9.600.053,0	8.489.768,0	12.036.667,0	0,4	14,79%	30,75%
SUMAQAO S.A.C.	9.477.292,0	6 851998	8.530.086,0	0,2	10,48%	41,23%
EXPORTADORA ROMEX S.A.	2.215.353,0	3.893.575,0	8.336.250,0	1,1	10,24%	51,47%
ARMAJARO PERU S.A.C.	-	-	5.280.705,0	-	6,49%	57,96%
COOP AGRARIA INDUSTRIAL						
NARANJILLO	6.576.297,0	8.407.028,0	4.696.677,0	-0,4	5,77%	63,73%
CAFETALERA AMAZONIA						
S.A.C.		2.226.975,0	4.122.775,0	0,9	5,07%	68,80%
RESTO	27.270.958,0	24.751.827,0	25.378.880,0	0,0	31,19%	100,0%
<b>Total, general</b>	<b>62.804.134,0</b>	<b>64.720.189,0</b>	<b>81.369.999,0</b>	<b>0,3</b>	<b>100,00%</b>	

Fuente: PROMPERU (2013).

## 1.2. Metales pesados en alimentos

Los metales pesados que están en los alimentos provienen de diversas fuentes, las más importantes son: la composición mineralógica del suelo en el que se producen los alimentos para el hombre y los animales; los lodos residuales, los fertilizantes químicos y plaguicidas empleados en agricultura. La presencia de metales pesados en alimentos y particularmente en productos lácteos, constituye un tema de actualidad por los daños que ocasionan a la salud pública. Es necesario enfatizar que los riesgos a la salud de la población infantil necesitan ser evaluados de una manera integral, considerando la exposición crónica de metales pesados en alimentos que por lo regular se presenta de forma asintomática durante un tiempo prolongado de vida (Alimentación sana, 2013) citado por (Barrueta, 2013).

Los metales pesados son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad relativamente alta y toxicidad para el ser humano, aunque algunos son elementos esenciales en el ser humano, independientemente de que a determinadas concentraciones puedan ser tóxicos en alguna de sus formas.

Sin embargo, hay una serie de elementos que en alguna de sus formas pueden representar un serio problema medioambiental y es común referirse a ellos con el término genérico de

"metales pesados". La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Una vez emitidos, principalmente debido a la actividad industrial y minera, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años, contaminando el suelo y acumulándose en las plantas y los tejidos orgánicos. Además, su concentración en los seres vivos aumenta a lo largo de la cadena alimentaria. Los metales pesados tóxicos más conocidos son el mercurio, el plomo y el cadmio (Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición -AESAN, 2013) citado por (Barrueta, 2013).

El reglamento de la Unión Europea N°1881/2006 fija los contenidos máximos para este metal en ciertos productos alimenticios, en particular en carne, vísceras, productos de la pesca, cereales, frutas y hortalizas. La absorción del cadmio en el aparato digestivo es baja (5-10%), sin embargo, el cadmio se acumula en el organismo, principalmente en el hígado y riñón, estando su vida media estimada en unos 20-30 años en humanos donde podrá ejercer sus efectos toxicológicos (Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición - AESAN, 2013) citado por (Barrueta, 2013).

El JECFA calcula la exposición dietética con base a los datos reportados por los países al Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente SIMUVIMA, la estimación resultante de la exposición alimentaria puede compararse entonces con el valor de la Ingesta Diaria Admisible IDA o valor de referencia toxicológico asignado al contaminante que, en el caso del Cadmio, fue establecida una ingesta de forma semanal en 5,8  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de peso corporal/semana (Comité mixto FAO/OMS de expertos en aditivos para los alimentos - JECFA, 2013).

### **1.3. Fuentes de contaminación de cadmio**

El cadmio es un elemento no esencial y poco abundante en la corteza terrestre y a bajas concentraciones puede ser tóxico para todos los organismos vivos. La contaminación ambiental por cadmio ha aumentado como consecuencia del incremento de la actividad industrial que ha tenido lugar a finales del siglo XX y principios del siglo XXI, afectando de forma progresiva a los diferentes ecosistemas. Entre los factores antropogénicos de contaminación de cadmio (Cd), caben destacar los siguientes:

- a) **Emisiones atmosféricas.** Se originan a partir de las minas metalúrgicas, ya que el cadmio se extrae como subproducto del Pb, Zn, Cu y otros metales, las incineradoras municipales, y emisiones industriales procedentes de la producción de pigmentos para

cristales, anticorrosivos, baterías de Ni/Cd, e insecticidas (Mclaughlin & Singh, 1999) citado por (Mejia, 2011).

- b) **Depósitos directos.** El uso de fertilizantes fosfatados es la principal fuente de contaminación de Cd en suelos agrícolas. Otra fuente de Cd la constituyen los fangos procedentes de aguas residuales que se utilizan en agricultura (Alloway & Steinnes, 1999) citado por (Mejia, 2011)
- c) **Contaminación accidental.** Ocurre eventualmente debido a la contaminación de tierras por procesos industriales, residuos de la minería y corrosión de estructuras galvanizadas. Un ejemplo son los vertidos de Aznalcóllar que tuvieron lugar en 1998, en la provincia de Sevilla, como consecuencia de la rotura de una balsa que contenía concentraciones elevadas de metales pesados procedentes de una mina de esta localidad (Aguilar, et al., 2003) citado por (Mejia, 2011).

#### 1.4. Absorción y translocación de metales pesados en las plantas

Las plantas han desarrollado mecanismos altamente específicos para absorber, traslocar y acumular nutrientes (Lasat, 2000) citado por (Mejia, 2011), sin embargo, algunos metales y metaloides no esenciales para los vegetales son absorbidos, traslocados y acumulados en la planta debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos requeridos.

La absorción de metales pesados por las plantas es generalmente el primer paso de su entrada en la cadena alimentaria. La absorción y posterior acumulación dependen de:

- a. El movimiento de los metales desde la solución suelo a la raíz de la planta.
- b. El paso de los metales por las membranas de las células corticales de la raíz.
- c. El transporte de los metales desde las células corticales al xilema, desde donde la solución con metales se transporta de la raíz a los tallos.
- d. La posible movilización de los metales desde las hojas hacia tejidos de almacenamiento, usados como alimento (semillas, tubérculos y frutos) por el floema.

Después de la absorción por los vegetales los metales están disponibles para los herbívoros y humanos directamente o a través de la cadena alimentaria.

Otro mecanismo de ingreso de sustancias potencialmente tóxicas a las plantas, como los metales pesados, es mediante la absorción foliar. La disponibilidad a través de las hojas de algunos elementos traza provenientes de fuentes aéreas puede tener un impacto significativo



en la contaminación de las plantas y también es de particular importancia en la aplicación de fertilizantes foliares (Kabata & Pendias, 2000).

La absorción foliar es mediada por una fase de penetración cuticular y un mecanismo de carácter metabólico que considera la acumulación de los elementos contra un gradiente de concentración.

Las especies vegetales, incluidos algunos cultivos, tienen la capacidad de acumular metales en sus tejidos. Las plantas capaces de absorber y acumular metales por sobre lo establecido como normal para otras especies en los mismos suelos se llaman hiperacumuladoras y se encuentran principalmente en suelos que son ricos en metales por condiciones geoquímicas naturales o contaminación antropogénica.

Las plantas hiperacumuladoras generalmente tienen poca biomasa debido a que ellas utilizan más energía en los mecanismos necesarios para adaptarse a las altas concentraciones de metal en sus tejidos (Kabata & Pendias, 2000). La capacidad de las plantas para bioacumular metales y otros posibles contaminantes varía según la especie vegetal y la naturaleza de los contaminantes. Los tallos de arveja (*Pisum sativum*) acumulan más cadmio que plomo en suelos tratados con dosis crecientes de metales. Estas diferencias en la absorción de metales pueden ser atribuida a la capacidad de retención del metal por el suelo y a la interacción planta-raíz-metal. El comportamiento de la planta frente a los metales pesados depende de cada metal (Mejia, 2011).

#### **1.4.1. Ingreso, transporte y acumulación de cadmio**

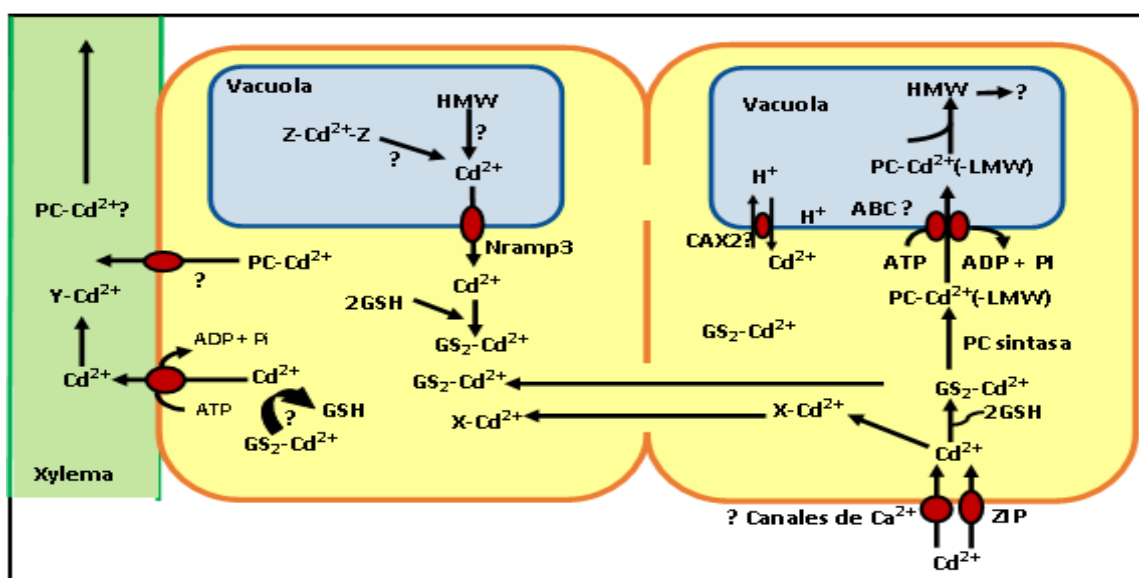
Por ser un metal no esencial se asume que no existen mecanismos de entrada específicos para el cadmio. Entre las proteínas responsables de la entrada de cadmio a la célula cabe destacar el transportador específico de calcio LCT1 (Clemens, Antosiewicz, Ward, Schachtman, & Schroeder, 1998) citado por (Mejia, 2011), y la proteína IRT1, perteneciente a la familia de transportadores de Zn y Fe (ZIP) (Guerinot, 2000) citado por (Mejia, 2011). Otra familia de transportadores implicados es la Nramp, localizada en la membrana de la vacuola, por lo que probablemente tenga una función en la movilización del metal y no en el ingreso del mismo a la raíz (Thomine, Wang, Ward, Crawford, & Schroeder, 2000) citado por (Mejia, 2011).

Una vez dentro de la célula el cadmio puede coordinarse con ligandos de S como glutatión (GSH) o fitoquelatinas (PCs) y ácidos orgánicos como el citrato. Otras posibles moléculas responsables de la quelación del cadmio son pequeñas proteínas ricas en cisteína denominadas metalotioneínas (MTs). De esta forma, los complejos Cd-ligando pueden ser transportados al interior de la vacuola o a otras células.

En la planta, el cadmio se acumula preferentemente en la raíz secuestrada en la vacuola de las células, y solo una pequeña parte es transportada a la parte aérea de la planta concentrándose en orden decreciente en tallos, hojas, frutos y semillas. En células de levadura se ha demostrado que el cadmio ingresa en la vacuola unido a fitoquelatinas (PCs) a través de un transportador de tipo ABC. Otro posible mecanismo de entrada del cadmio en la vacuola es mediante un cotransportador de  $\text{Cd}^{2+}/\text{H}^+$  ubicado en la membrana de la misma. Los transportadores de cationes CAX, implicados en el transporte de calcio a la vacuola, también transportan otros metales como el cadmio. Una vez en la raíz, el cadmio puede pasar al xilema a través del apoplasto y/o a través del simplasto formando complejos (Mejia, 2011).

En la Figura 2 se muestra un esquema del ingreso del cadmio a través de las células de la raíz, hasta llegar al xilema.

Aparecen representadas dos células, la de la derecha en contacto con la rizosfera, y la adyacente en contacto con el xilema. La capacidad de secuestro del metal en las células de la raíz juega un papel clave en la translocación del mismo a la parte aérea. Otro factor importante es la accesibilidad y movilización del metal secuestrado, la eficiencia del paso radial por el simplasto y a través de la endodermis, y por último el flujo al xilema. Abreviaturas: GSH; glutation, posible ligando del Cd, con el que formaría el complejo bisglutatonato-Cd ( $\text{GS}_2\text{-Cd}^{2+}$ ). PC, fitoquelatina; CAX2, posible proteína de Arabidopsis, responsable del transporte de  $\text{H}^+/\text{Cd}^{2+}$ ; ABC, transportador de tipo ABC; HMA4, posible bomba de Cd de Arabiopsis; ZIP, transportadores ZIP; Nramp3, transportador de la familia Nramp; HMW y LMW, complejo Cd-PC de elevado y bajo peso molecular, respectivamente (Mejia, 2011).



**Figura 2.** Representación esquemática de los mecanismos de ingreso, secuestro y translocación del Cd en raíces (adaptado de Clemens, 2006).

#### **1.4.2. Contaminación de cacao con cadmio**

El cadmio es un componente de la corteza terrestre que se encuentra en pequeñas cantidades asociado a minerales de cinc, cobre o plomo. Su contenido medio en el suelo es minoritario y está estimado en torno a 0,10 - 0,15 ppm. Su presencia en el medio ambiente es, por tanto, de origen natural, a través de la erosión, pero su nivel puede verse incrementado por la acción del hombre, debido principalmente a actividades como la minería o también derivado de su uso en distintas aplicaciones (pinturas, baterías, etc.).

Los metales pesados en los alimentos tienen múltiples orígenes. En el caso del cacao es posible que la contaminación del producto se de en las etapas de cultivo, producción y transformación. Conocer el origen de la contaminación en alimentos es fundamental para determinar las acciones a seguir y para establecer la calidad del producto. A nivel experimental, el análisis de metales pesados en alimentos y suelos involucra recolección, preparación de muestras, extracción de los metales, eliminación de interferencias y finalmente detección y cuantificación mediante técnicas analíticas instrumentales (Martínez & Palacio, 2010).

La planta de cacao absorbe ligeramente los metales pesados que existen por naturaleza en los suelos y los concentra en las semillas grasosas. Según las regiones, el grado de concentración de metales pesados es diferente (Centro de Innovación Tecnológica del Cacao & USAID PDA/TechnoServe, 2011) citado por (Barrueta, 2013)

La principal fuente de contaminación de cadmio son los fertilizantes provenientes de roca fosfórica. Por estas razones se hace necesario determinar cuál es la condición actual de los suelos y de algunos productos agrícolas que por su alto consumo podrían representar un peligro para la salud humana. Esta información también permitirá establecer una línea base que servirá de referencia para el monitoreo de estos metales en el futuro. Estudios realizados en Estados Unidos muestran que el factor que más contribuye a la concentración de cadmio en cultivos es el pH del suelo.

En suelos ácidos la absorción de cadmio es mayor, pues los suelos donde se cultiva cacao son de tendencia ácida, típico de la región húmeda tropical. Experimentos realizados en Estados Unidos muestran que la aplicación de cal para la corrección del pH reduce la acidez, disminuye significativamente la absorción de cadmio (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola -FHIA, 2011) citado por (Barrueta, 2013).

## **1.5. Técnicas analíticas disponibles para la determinación de cadmio en alimentos.**

Desde hace más de treinta años, los métodos de análisis instrumental han tenido un desarrollo importante y son ampliamente utilizados de forma rutinaria en laboratorios de control y de investigación. Existen diversas tecnologías para la determinación de metales en alimentos, en su mayoría basadas en técnicas electroquímicas y espectroscópicas.

La Espectrometría es una técnica instrumental que permite determinar el mayor número de elementos en una gran variedad de matrices, basada en la identificación de analitos mediante el espectro emitido o absorbido por los mismos, pudiéndose diferenciar entre atómica o de masas (Laboratorio Nacional de Referencia para la Determinación de Residuos Químicos, 2012) citado por (Barrueta, 2013)

Dentro de las técnicas espectrométricas tenemos a la Espectrometría Atómica y la Espectrometría de masas. Tales técnicas de detección incluyen la espectrometría de absorción atómica de llama (FAAS), electrotérmico (horno de grafito y el horno de Zeeman), espectrometría de absorción atómica (ETAAS), espectrometría de fluorescencia atómica con generación de hidruros (HG -AFS), espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP- OES) y Espectrofotometría de emisión de plasma con acoplamiento inductivo (ICP- MS) (Barrueta, 2013).

Existen también varias opciones para la separación de la muestra que en muchos casos depende la matriz y la técnica de medición empleada. Sin embargo, para análisis de metales en alimentos son comunes los procesos de digestión húmeda y seca, en algunos casos acelerados por radiación de microondas (Cabrera, et al., 1994) citado por (Martínez & Palacio, 2010).

La digestión de la muestra a menudo es un procedimiento lento que tiene problemas asociados de disolución incompleta, precipitación de analitos insolubles, contaminación, y pérdidas de elementos volátiles.

En la Tabla 4 se muestra las ventajas y limitaciones de algunos métodos analíticos para determinar metales pesados.

### **1.5.1. Espectrometría atómica**

La espectrometría atómica, en términos generales, está basada en la absorción, emisión o fluorescencia por átomos o iones elementales. Hay dos regiones del espectro que dan información atómica: la ultravioleta/visible y la de rayos X. Los espectros atómicos

ultravioleta y visible se obtienen mediante un adecuado tratamiento térmico que convierte los componentes de una muestra en átomos o iones elementales gaseosos.

**Tabla 4**

*Resumen de algunos métodos analíticos para determinar metales pesados.*

METODOS	VENTAJAS	LIMITACIONES
Espectrometría de absorción atómica por llama	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere solo conocimientos básicos de laboratorio</li> <li>• Prueba rápida</li> <li>• Tamaño reducido de la muestra con la copa de Delves (50–100 <math>\mu</math>l)</li> <li>• Bajo precio y bajos costos de funcionamiento</li> <li>• Relativamente pocas interferencias</li> <li>• Interfaz robusta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Límite de detección relativamente alto (~10 <math>\mu</math>g/dl)</li> <li>• Tiempo necesario para la pre concentración o digestión de la muestra si no se utiliza la cubeta de Delves.</li> <li>• Se necesitan muestras de gran tamaño para los métodos de nebulización.</li> <li>• No se puede dejar el equipo funcionando sin atención</li> </ul>
Espectrometría de absorción atómica por horno de grafito	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buen límite de detección (&lt;1–2 <math>\mu</math>g/dl)</li> <li>• Tamaño reducido de la muestra</li> <li>• Precio y costos de funcionamiento moderados</li> <li>• Moderada capacidad para analizar múltiples elementos</li> <li>• Relativamente pocas interferencias (aunque más que con la espectrometría de absorción atómica por llama)</li> <li>• Ampliamente utilizada, existen múltiples proveedores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La prueba lleva más tiempo</li> <li>• Requiere algo de experiencia de laboratorio (más que con la espectrometría de absorción atómica por llama)</li> <li>• Mayor potencial de interferencia espectral que con la espectrometría de absorción atómica por llama.</li> </ul>
Espectrometría de masa con fuente de plasma de acoplamiento inductivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Límite de detección excelente (~0,1 <math>\mu</math>g/dl)</li> <li>• Rapidez</li> <li>• Tamaño reducido de la muestra (50–100 <math>\mu</math>l)</li> <li>• Relativamente pocas interferencias espectrales, bien conocidas.</li> <li>• Permite mediciones isotópicas.</li> <li>• Método económico si se procesan grandes cantidades de muestras</li> <li>• Capacidad para investigar más de un elemento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precio y costos de funcionamiento elevados</li> <li>• Requiere operadores altamente especializados</li> </ul>

Fuente: Organización Mundial de la Salud (2013).

### **1.5.2. Espectrometría atómica**

La espectrometría atómica, en términos generales, está basada en la absorción, emisión o fluorescencia por átomos o iones elementales. Hay dos regiones del espectro que dan información atómica: la ultravioleta/visible y la de rayos X. Los espectros atómicos ultravioleta y visible se obtienen mediante un adecuado tratamiento térmico que convierte los componentes de una muestra en átomos o iones elementales gaseosos.

La emisión, absorción o fluorescencia de la mezcla gaseosa resultante sirve a continuación para la determinación cualitativa y cuantitativa de uno o varios de los elementos presentes en la muestra (UMA, 2013) citado por (Barrueta, 2013).

En la espectrometría atómica podemos medir un átomo al pasar del estado fundamental al estado excitado o viceversa. Así tenemos espectrometría de absorción atómica y espectrometría de emisión atómica.

#### **1.5.2.1. Espectrometría de absorción atómica**

En general la espectrometría de Absorción Atómica, mide la luz absorbida por un átomo en estado fundamental al pasar al estado excitado, así tenemos: Espectrometría de Absorción Atómica de Llama (F-AAS), de Atomización Electro-térmico (ETAAS), de Generación de Hidruros (HG- AAS), de Vapor frío (CVAAS), de Análisis elemental/directo (AMA / DMA), (Laboratorio Nacional de Referencia para la Determinación de Residuos Químicos, 2012) citado por (Barrueta, 2013).

La técnica hace uso de la espectrometría de absorción para evaluar la concentración de un analito en una muestra. Se basa en gran medida en la ley de Beer-Lambert. En resumen, los electrones de los átomos en el atomizador pueden ser promovidos a orbitales más altos por un instante mediante la absorción de una cantidad de energía (es decir, luz de una determinada longitud de onda). Esta cantidad de energía (o longitud de onda) se refiere específicamente a una transición de electrones en un elemento particular, y en general, cada longitud de onda corresponde a un solo elemento. Como la cantidad de energía que se pone en la llama es conocida, y la cantidad restante en el otro lado (el detector) se puede medir, es posible, a partir de la ley de Beer-Lambert, calcular cuántas de estas transiciones tiene lugar, y así obtener una señal que es proporcional a la concentración del elemento que se mide (Barrueta, 2013).

#### **a) Espectrometría de Absorción Atómica con Llama (F-AAS)**

El espectrómetro de absorción atómica de llama (FAAS) permite la detección y determinación de metales en cualquier tipo de muestra industrial siempre y cuando

pueda ser solubilizada. Los límites de detección en este caso son del orden de la ppm (*partes por millón*). Esta técnica analítica está especialmente indicada para determinar elementos alcalinos, alcalinotérreos y metales pesados presentes en cualquier tipo de muestra susceptible de ser disuelta. Los niveles de concentración que se pueden analizar van desde % hasta ppb (partes por billón ó 1 mg/Tm) (UMA, 2013) citado por (Barrueta, 2013).

#### **b) Espectrometría de Absorción Atómica con Cámara de Grafito (GFAAS)**

La espectrometría de absorción atómica por horno de grafito utiliza un tubo de grafito calentado mediante electricidad para vaporizar y atomizar el analito a temperaturas de hasta 3000 °C, antes de su detección. Se pueden analizar muestras de volúmenes de 10–50 µl. Como la totalidad de la muestra se atomiza en un volumen pequeño, se obtiene una alta densidad de átomos. Esto hace que este tipo de espectrometría sea sumamente sensible. Se han desarrollado métodos que permiten medir concentraciones por debajo de 0,1 µg/dl, sin embargo, en la práctica habitual el límite de detección es de alrededor de 1–2 µg/dl. (Organización Mundial de la Salud, 2013).

#### **1.5.2.2. Espectrometría de emisión atómica.**

La espectrometría de emisión es una técnica espectroscópica que analiza las longitudes de onda de los fotones emitidos por los átomos o moléculas durante su transición desde un estado excitado a un estado de inferior energía. Cada elemento emite un conjunto característico de longitudes de onda discretas en función de su estructura electrónica. Mediante la observación de estas longitudes de onda puede determinarse la composición elemental de la muestra.

El método más simple es calentar la muestra a una temperatura alta, produciéndose las excitaciones debido a las colisiones entre átomos de la muestra (Laboratorio Nacional de Referencia para la Determinación de Residuos Químicos, 2012) citado por (Barrueta, 2013).

#### **1.5.3. Espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo**

La espectrometría de masas con plasma inductivamente acoplado (del inglés *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*) es conocida como *ICP-MS*. Esta técnica de análisis elemental e isotópico se ha venido imponiendo para las más diversas aplicaciones en las últimas dos décadas. Esto se debe principalmente a su capacidad de discriminar isótopos y a sus bajos límites de detección, que pueden llegar a ser inferiores a los 10<sup>-6</sup> mg L<sup>-1</sup>. Dichos límites son mucho más

bajos que los de otras técnicas analíticas más convencionales como fluorescencia de rayos x, espectrometría de emisión o absorción atómica, etc. (Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, 2009) citado por (Barrueta, 2013).

## **1.6. pH y conductividad eléctrica**

### **1.6.1. pH**

En los suelos el pH es una propiedad química de mucha importancia porque indica que tan ácida o alcalina es la solución del suelo, que es de donde las raíces y los microorganismos del suelo toman sus nutrientes. El pH usa una escala de medición cuyo rango de fluctuación es de 0 a 14 (Osorio, 2012).

El pH se mide en una escala logarítmica y representa el logaritmo negativo de la concentración de los iones hidrógeno en la solución suelo, expresado en moles/L ( $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ ). La escala del pH se presenta entre un rango que va de 0 a 14, en la cual valores menores a 7 se consideran ácidos, mientras que valores mayores a 7 son básicos y aquellos alrededor de 7 serán neutros (Duicela & Corral, 2004).

### **1.6.2. Conductividad eléctrica**

El desarrollo de los cultivos está condicionado por muchos factores, tanto bióticos como abióticos, dentro de estos últimos se encuentran las propiedades fisicoquímicas de los suelos. Sin duda, algo que determina la calidad y fertilidad de un suelo agrícola es el contenido de sales presentes. La unidad de medición utilizada comúnmente es el Siemens/cm (S/cm), con una magnitud de 10 elevado a -6, es decir micro Siemens/cm ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), o en 10 elevado a -3, es decir, mili Siemens (mS/cm) (Domínguez, 1984).

Entre los métodos indirectos se tiene el uso de conductímetros para estimar el contenido de sales, aprovechando la relación directa que existe entre la conductividad eléctrica (CE) y la cantidad de sales disueltas en la solución del suelo. Cuanto mayor es la cantidad de iones disueltos en el agua la conductividad de la solución es mayor (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2010).

## **1.7. Reglamento de las cantidades máximas de cadmio en productos alimenticios**

El 30 de enero de 2009, la Comisión Técnica de Contaminantes de la Cadena Alimentaria (CONTAM), sobre el cadmio en los alimentos, los grupos de alimentos que contribuyen en mayor grado a la exposición alimentaria al cadmio, principalmente a causa de su elevado consumo, son los cereales y los productos a base de cereales, las hortalizas, los frutos secos



y las legumbres, las raíces feculentas o las patatas y la carne y los productos cárnicos. Las concentraciones más elevadas de cadmio se detectaron en productos alimenticios como las algas marinas, los peces y mariscos, el chocolate y los alimentos destinados a una alimentación especial, así como en los hongos, las semillas oleaginosas y los despojos comestibles (Diario Oficial de la Unión Europea, 2014).

El chocolate y el cacao en polvo que se venden al consumidor final pueden contener niveles elevados de cadmio y constituyen una importante fuente de exposición humana. A menudo son consumidos por niños, por ejemplo, como chocolate o como cacao en polvo edulcorado utilizado en las bebidas a base de cacao. Al establecer el contenido máximo de cadmio, es preciso tener en cuenta los datos sobre presencia para los distintos tipos de chocolate y para el cacao en polvo que se venden al consumidor final. De este modo se garantizará que los chocolates con un porcentaje superior de cacao también cumplen los niveles máximos (Diario Oficial de la Unión Europea, 2014).

En la siguiente tabla se puede apreciar los valores de niveles máximos de cadmio para diversos productos que proteja la salud de sus consumidores y asegure prácticas equitativas en el comercio de los alimentos en el mercado europeo.

**Tabla 5**  
*Reglamento al contenido máximo de cadmio en productos alimenticios*

PRODUCTOS	Niveles Máximos (ppm)
Hortalizas y frutas, excluidas las hortalizas de raíz y tubérculo, las hortalizas de hoja, las hierbas frescas, las hortalizas de hoja del género Brassica, los tallos jóvenes las setas y las algas marinas	0,050
Hortalizas de raíz y tubérculo (excluidos los apio, nabos, las chirivías, los salsifíes y los rábanos rusticanos), tallos jóvenes (excluido el apio). En el caso de las patatas, el contenido máximo se aplica a las patatas peladas.	0,10
Hortalizas de hoja, hierbas frescas, hortalizas de hoja del género Brassica, apio, apionabos, chirivías, salsifíes, rábanos rusticanos y las siguientes setas: Agaricus bisporus (champiñón), Pleurotus ostreatus (seta de ostra) y Lentinula edodes (seta shiitake)	0,20
Setas, excluidas las enumeradas en el punto 3.2.3	1,0
Cereales, excluidos el trigo y el arroz	0,10
– Granos de trigo, granos de arroz	
– Salvado de trigo y germen de trigo para el consumo directo	0,20
– Habas de soja	
<b>Productos específicos de cacao y chocolate enumerados a continuación:</b>	
– Chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao < 30 %	<b>0,10 a partir del 1 de enero de 2019</b>
– Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao < 50 %; chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao ≥ 30 %	<b>0,30 a partir del 1 de enero de 2019</b>
– Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao ≥ 50 %	<b>0,80 a partir del 1 de enero de 2019</b>
– Cacao en polvo vendido al consumidor final o como ingrediente en cacao en polvo edulcorado vendido al consumidor final (chocolate para beber)	<b>0,60 a partir del 1 de enero de 2019</b>
Carne (excluidos los despojos) de bovinos, ovinos, cerdos y aves de corral	0,050
Carne de caballo, excluidos los despojos	0,20
Hígado de bovinos, ovinos, cerdos, aves de corral y caballos	0,50
Riñones de bovinos, ovinos, cerdos, aves de corral y caballos	1,0
Carne de pescado, excluidas las especies enumeradas en los puntos 3.2.13, 3.2.14 y 3.2.15	0,050
Carne de los siguientes pescados: caballa ( <i>Scomber species</i> ), atún ( <i>Thunnus species</i> , <i>Euthynnus species</i> , <i>Katsuwonus pelamis</i> ) y bichique ( <i>Sicyopterus lagocephalus</i> )	0,10
Carne de los siguientes pescados: melva ( <i>Auxis species</i> )	0,15
Carne de los siguientes pescados: – Anchoa ( <i>Engraulis species</i> ), pez espada ( <i>Xiphias gladius</i> ) y sardina ( <i>Sardina pilchardus</i> )	0,25
Crustáceos: carne de los apéndices y del abdomen. En el caso de los cangrejos y crustáceos similares ( <i>Brachyura</i> y <i>Anomura</i> ), la carne de los apéndices	0,50
Cefalópodos (sin vísceras)	1,0
Preparados para lactantes y preparados de continuación:	
– Preparados en polvo para lactantes elaborados a partir de las proteínas obtenidas de la leche de vaca o de hidrolizados de proteínas	0,010 a partir del 1 de enero de 2015
– Preparados líquidos para lactantes elaborados a partir de las proteínas obtenidas de la leche de vaca o de hidrolizados de proteínas	0,005 a partir del 1 de enero de 2015
– Preparados en polvo para lactantes elaborados a partir de aislados de proteína de soja solos o mezclados con las proteínas de la leche de vaca	0,020 a partir del 1 de enero de 2015
– Preparados líquidos para lactantes elaborados a partir de aislados de proteína de soja solos o mezclados con las proteínas de la leche de vaca	0,010 a partir del 1 de enero de 2015
Alimentos elaborados a base de cereales y alimentos infantiles para lactantes y niños de corta edad	0,040 a partir del 1 de enero de 2015
Complementos alimenticios excluidos los complementos alimenticios enumerados en el punto 3.2.21	1,0
Complementos alimenticios compuestos exclusiva o principalmente de algas marinas desecadas, de productos a base de algas marinas o de moluscos bivalvos desecados	3,0»

Fuente: Diario Oficial de la Unión Europea (2014).

## 1.8. Regulaciones internacionales que establecen los límites máximos para el cadmio en cacao.

A continuación, se detalla la evolución de las regulaciones con respecto al cadmio en cacao en la OMC y el CODEX.

**a) Comunidades europeas y su límite máximo (LM) para cadmio**

El 19 de diciembre de 2006, la Unión Europea (UE) expidió el reglamento (CE) N°1881/2006, que señala los niveles de cadmio tolerables para los distintos productos. En esta reglamentación no se encuentran definidos los límites tolerables para el cacao y sus derivados, pues no se consideraba al cacao y chocolates como una fuente significativa de consumo de cadmio.

En el 2007, por una publicación en la revista “Der Spiegel” de Alemania sobre la presencia de cadmio en el chocolate y la posibilidad de que este metal sea un agente cancerígeno, el tema se convirtió en una preocupación sanitaria que llevó a la discusión internacional sobre esta reglamentación.

En mayo del 2011, se presenta la propuesta de modificación del reglamento N°1881/2006 EC, por la Dirección General de Salud y Protección al Consumidor (DG-SANCO). En la cual se sugiere el nivel cadmio en cacao y chocolates sea de 0.30 -0.50 ppm. La Unión Europea analiza la posibilidad de enmendar el reglamento (CE) No. 1881 /2006, para incluir en la lista los límites máximos (LM) de cadmio para el cacao y productos de chocolate, a través de la regulación (CE) N° 420/2011 y de acuerdo a la definición de la directiva 2000/36/EC. Entre diciembre 2011 y enero 2012, se establecieron de manera definitiva los límites de cadmio en Chocolate y cacao en polvo, en un rango de 0,30 a 0,50 ppm.

Los argumentos científicos del proyecto de enmienda se basan en las opiniones científicas de la EFSA (“European Food Safety Authority”) sobre la ingesta de cadmio en la dieta humana (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura - IICA, 2013).

El 16 de septiembre de 2013, la Unión Europea notificó al Comité de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias de la Organización Mundial del Comercio (OMC) la enmienda al Reglamento Europeo No. 1881/2006, en la cual se establecen niveles máximos (NM) de cadmio para el chocolate y productos derivados del cacao, que entrarán en vigor a partir del 1 de enero del 2019 (Ministerio de Comercio Exterior de Ecuador, 2013).

**b) Otras Regulaciones internacionales**

Según Legislación Australiana y Neozelandesa de Metales Pesados (Australian New Zealand Food Code), el contenido máximo de cadmio para chocolates y productos de cacao es de 0,50 ppm (Alonzo, 2011) citado por (Barrueta, 2013).

## CAPÍTULO II

### MATERIAL Y MÉTODOS

#### 2.1. Lugar de ejecución.

El presente trabajo de investigación se desarrolló en la Provincia de Mariscal Cáceres (Juanjuí) y en la Provincia de Picota (Pucacaca) como se muestra en la figura 3. Las muestras de suelo y fruto fueron recolectadas de productores socios de la Cooperativa ACOPAGRO, donde se recolectaron datos de georreferencia de cada punto de muestreo como se puede ver en la tabla 6, el tratamiento de las muestras se realizó en el laboratorio de control de calidad de la Cooperativa ACOPAGRO y el análisis fisicoquímico de las muestras se realizó en el laboratorio de agua y suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Martín.



Figura 3. Zonas de la investigación. (Fuente: Elaboración propia).

Tabla 6

*Ubicación geográfica de las variedades de cacao de la investigación.*

Zona	Agricultor	Variedad	Geolocalización		Altitud (msnm)
			SUR	OESTE	
Juanjuí	Vicente Rivera	CCN-51	S 07.19860°	W 076.76743°	532
		ICS-95	S 07.19841°	W 076.76740°	526
	Oxolon	Híbrido	S 07.19874°	W 076.76754°	477
Pucacaca	Cesar Salas García	CCN-51	S 06.81 220°	W 076.33747°	223
		ICS-95	S 06.86047°	W 076.33475°	216
		Híbrido	S 06.85234°	W 076.33707°	225

Fuente: Elaboración propia.

En el anexo 1 se muestra la ubicación geográfica de los puntos de georreferenciación tomadas de las zonas de muestreo por cada variedad.

## **2.2. Equipos y materiales**

### **2.2.1. Equipos**

Los equipos que se utilizaron para el desarrollo de la investigación fueron: del laboratorio de Suelos y Aguas de la Facultad de Ciencias Agrarias. La manipulación y mantenimiento de los equipos fueron estrictamente realizados por el ingeniero encargado; a continuación, los equipos utilizados fueron:

- a) Espectrofotómetro de absorción atómica de llama.
- b) Balanza de precisión, modelo SP5, marca Sunbeam Digital Electronic.
- c) pH – metro, modelo Lab 950 analitic.
- d) Conducto-metro eléctrico.
- e) Congeladora
- f) Selladora de bolsas plásticas

### **2.2.2. Materiales de campo**

Cuaderno de apuntes, mochila, balanza de precisión, machete, palana, tijeras de podar, marcador, lapicero, cámara fotográfica, bolsas de polietileno de alta densidad, bolsa ziploc, palana.

### **2.2.3. Materiales de laboratorio**

- a) Estilete desinfectado
- b) Guantes quirúrgicos
- c) Pinzas desinfectadas
- d) Envases de plástico
- e) Bolsas de polietileno de alta densidad.

### **2.2.4. Reactivos para la determinación de cadmio.**

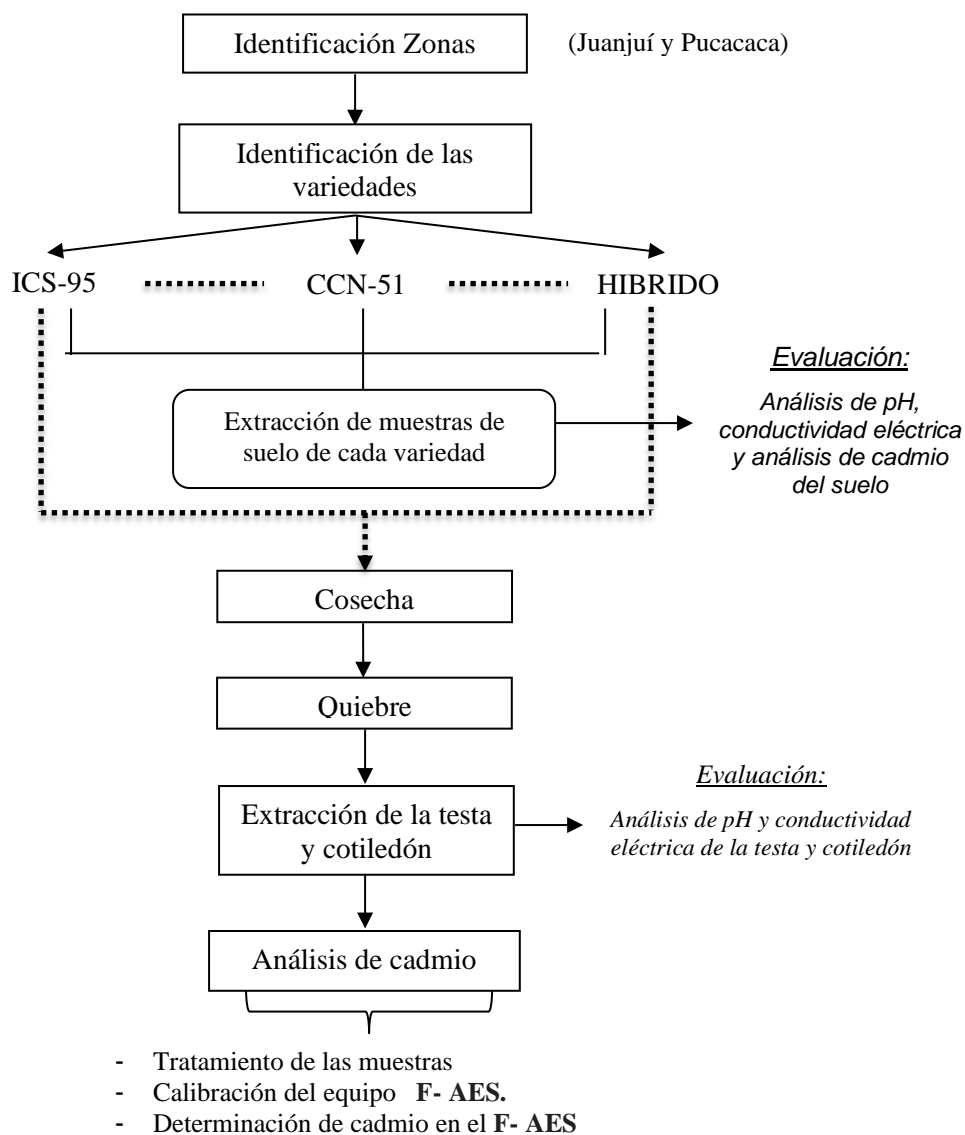
- a) Agua: Redestilada o des-ionizada, resistividad  $\geq 18 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$
- b) Solución de ácido Nítrico y ácido perclórico de 4: 1.
- c) Solución estándar de cadmio: 1 mg/ml. Disolver 1,000 mg cadmio en 14 ml de agua + 7 ml de  $\text{HNO}_3$  al 65%, en un matraz aforado de 1 L y diluir a volumen con agua.
- d) Solución estándar de trabajo: Diluir la solución estándar de cadmio con  $\text{HNO}_3$  al 0.1 M, a un rango de estándares que cubran el rango lineal del elemento a determinar.

## 2.3. Metodología experimental

### 2.3.1. Recolección y tratamientos de las muestras

Las áreas de muestreo fueron seleccionadas con el apoyo del Gerente de acopio de ACOPAGRO, teniendo en cuenta criterios como productividad (Juanjuí) y calidad organoléptica (Pucacaca), en el anexo 2 se puede ver la interpretación que se tomó a cada interacción de los factores de la investigación en relación a la codificación aplicada a cada muestra.

En la figura 4, se muestra el diagrama de la metodología aplicada a la investigación durante su desarrollo. El presente estudio se realizó de la siguiente manera:



**Figura 4** Metodología de estudio. (Fuente: Elaboración propia).

## 2.3.2. Descripción de la metodología

### 2.3.2.1. Identificación de zonas:

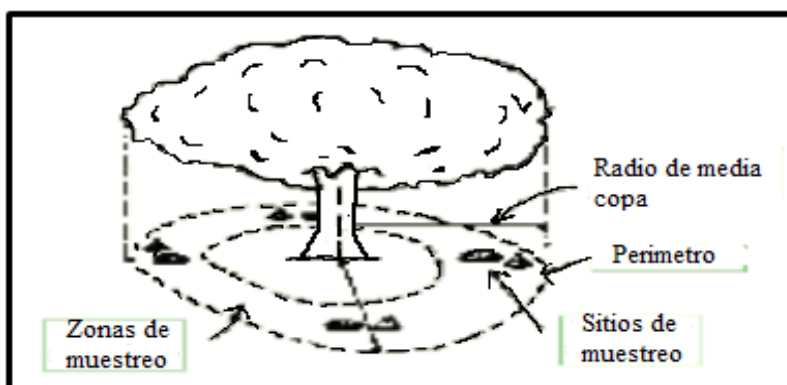
Se identificó las zonas de estudio en los distritos de Juanjuí y Pucacaca. Los criterios evaluados fueron: productividad, variabilidad genética (que en la misma parcela existieran las tres variedades en estudio), calidad organoléptica.

### 2.3.2.2. Identificación de las variedades:

Se identificaron las variedades ICS-95, CCN-51 e Híbrido por parcela de acuerdo a las características morfológicas de cada una de ellas, para la identificación se recurrió al uso de un descriptor morfológico realizado por el Ministerio de Agricultura en el año 2013.

### 2.3.2.3. Extracción de muestra de suelo:

Se realizó cuatro hoyos alrededor de la planta de 50 x 50 x 20 cm de profundidad con el apoyo de una palana, a una distancia tomada en relación a la altura de la copa (ICT/GTZ, 2008) como se puede ver en la figura 5, se extrajeron aproximadamente 650 – 1000 g de muestra de suelo que fueron empacadas y rotuladas en una bolsa de auto sellado (ziploc), tal como se puede observar en el anexo 12.



*Figura 5.* Zona de muestreo de suelo de la planta de cacao. (Fuente: Barrueta (2013)).

### 2.3.2.4. Cosecha:

Se realizó la cosecha de frutos maduros de las variedades en estudio, de cada parcela identificada para el muestreo; se cosechó en total 20 mazorcas por cada variedad como se muestra en la tabla 7; se utilizaron tijeras de podar (afilada y desinfectada), el corte se realiza en la parte media del pedúnculo para evitar la destrucción del cojín floral (Braudeau, 1970).

Las mazorcas cosechadas eran trasladadas a las instalaciones del laboratorio de Control de Calidad de ACOPAGRO para su posterior operación.

En la tabla 7, se muestra el número total de mazorcas cosechadas y el total de muestras de suelo recolectadas para el desarrollo de la investigación.

**Tabla 7**

*Numero de Muestras recolectadas en la investigación.*

ZONA	JUANJUÍ			PUCACACA			TOTAL
	ICS-95	CCN-51	Hibrido	ICS-95	CCN-51	Hibrido	
<b>N° de mazorcas de cacao</b>	20	20	20	20	20	20	<b>120</b>
<b>Muestras de suelo</b>	1	1	1	1	1	1	<b>6</b>

Fuente: Elaboración propia

### **2.3.2.5. Quiebre:**

Para el quiebre de las mazorcas se utilizó machetes cortos sin filo, cuidando de no cortar las almendras, tal como lo refiere (Braudeau, 1970). La extracción de las semillas se realizó pasando los dedos de la mano a lo largo de la placenta o vena central de la mazorca, evitando extraerla para no mezclarla con los granos de cacao.

### **2.3.2.6. Extracción de testa y cotiledón:**

Se realizó la extracción y separación de la testa y cotiledón con un estilete debidamente desinfectado, se pesó 300 g de muestra de testa y cotiledón, se rotuló en bolsas de polietileno de alta densidad para su almacenamiento -4 °C y transporte, tal como se muestra en el anexo 11. Las muestras fueron transportadas al laboratorio de Ciencias Agrarias de UNSM-Tarapoto con la finalidad de comenzar los análisis correspondientes.

## **2.4. Métodos analíticos**

### **2.4.1. Análisis físico-químico de la almendra frescas de cacao y suelo.**

#### **2.4.1.1. pH**

##### **a) Testa y cotiledón:**

Se pesó 10 g de testa y cotiledón, se colocó un vaso de precipitado de 100 ml debidamente rotulado, luego se enrasó con agua hervida hasta los 100 ml, se puso en el molinillo eléctrico para tritarlo hasta obtener una muestra pulverizada y homogénea. La muestra homogénea se colocó en un vaso de precipitado de 100 ml y se dejó enfriar por un periodo de 5-7 minutos. Luego se filtró en un embudo con papel filtro; la muestra filtrada se agitó con un agitador magnético durante 1 minuto, en la muestra agitada se sumergió el electrodo del pH metro para la lectura



(Cooperativa Agraria Cacaotera ACOPAGRO, 2015). En el anexo 13 se puede observar el diagrama del análisis de pH.

**b) Suelo:**

Se usó un potenciómetro previamente calibrado, el desarrollo del análisis del pH se realizó mediante los siguientes pasos:

Se pesó 10 gramos de muestra de suelo y se colocó en un vaso de precipitado de 100 ml debidamente rotulado con el código de muestra. Se enrasó con agua hervida hasta llegar los 100 ml y luego se procedió a dejar enfriar por un tiempo de 5 - 7 minutos. Una vez frío se filtró en un embudo con papel filtro en un vaso de precipitado. La muestra se agitó con un agitador magnético durante 1 minuto. En la muestra agitada se sumergió el electrodo del Ph-metro y se realizaba la lectura ( adaptado del Manual de la Cooperativa Agraria Cacaotera ACOPAGRO, 2015).

**2.4.1.2. Conductividad eléctrica.**

Para la determinación de la conductividad eléctrica de las muestras de testa y cotiledón, así como también las muestras de suelo, se usó un potenciómetro ya calibrado con las soluciones buffer respectivas; la preparación de las muestras para la lectura de conductividad eléctrica es el mismo procedimiento que para el análisis de pH, por lo que, se efectuó una vez culminado la lectura de pH. Las lecturas de conductividad eléctrica se realizaron al igual que el de pH sumergiendo el electrodo en la muestra previamente agitada, tal como se puede observar en el anexo 13 (imagen H).

**2.4.1.3. Análisis de cadmio**

Se realizó en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNSM-Tarapoto, con el uso de un Espectrofotómetro de Absorción Atómico de Llama (FAAS), el resultado de los análisis de cadmio en las muestras de testa y cotiledón se muestra en el anexo 9 y las muestras de suelo se muestra en el anexo 10. Previo a la determinación de cadmio las muestras son pre-tratadas para la detección del analito y evitar la contaminación de las muestras; después de esta operación las muestras son analizadas por el equipo espectrofotométrico. En el anexo 14 se muestran las imágenes del tratamiento de las muestras y el análisis cuantitativo con el espectrofotómetro de absorción atómica de llama.

**a) Preparación de las muestras de testa y cotiledón**

Las muestras fueron secadas en una estufa a 75 °C durante 24 horas, luego se molió manualmente con un mortero cerámico, de la muestra seca se pesó 0.5 g y se sometió

a una solución ácida nítrico perclórico, en una relación de extracción 1:4. La testa y cotiledón molidos fueron mezclados con  $\text{HNO}_3$  (8 ml) y  $\text{HClO}_4$  (2 ml) durante una hora, luego se calentó a  $180^\circ\text{C}$  por 90 minutos hasta la digestión total; una vez lista la digestión se filtró el extracto en un balón de 50 ml y se llevó a volumen con agua des-ionizada. El extracto obtenido fue llevado al equipo de espectrometría para realizar su respectiva lectura (Mite, et al., 2010).

#### **b) Preparación de las muestras de suelo**

Las muestras de suelo son regadas en bandejas para ser secadas al ambiente bajo sombra, las muestras secas fueron molidas en una porcelana con mortero y luego pasadas por tamiz de 150  $\mu\text{g}$ .

##### **ISO 11466**

Se peso 3 g de muestra de suelo en el balón de reacción de 250 ml, se humedeció con 1 ml de agua des-ionizada y se añadió agitando 21 ml de ácido clorhídrico seguido de 7 ml de ácido nítrico, gota a gota para evitar la producción de espuma. Luego se añadió 15 ml de ácido nítrico al balón de reacción y se dejó en reposo durante 16 horas y se cubrió con una luna de reloj, transcurrido el tiempo de reposo se comenzó a aumentar lentamente la temperatura de la mezcla de reacción hasta condiciones de reflujo y mantuvo durante 2 horas.

Una vez transcurridas las 2 h, se dejó enfriar la muestra, luego se decantó el extracto sobrenadante sobre papel de filtro whatman 40, se recogió el filtrado en un matraz aforado de 100 ml, lo filtrado se hizo pasar a través del papel de filtro la totalidad del extracto y se lavó el residuo insoluble con el mínimo volumen de ácido nítrico. El extracto preparado fue llevado al equipo de espectrometría para la determinación de cadmio (Barrueta, 2013).

#### **c) Determinación de cadmio por espectrofotometría de absorción atómica de llama (FAAS):**

La determinación de cadmio se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica. Como gas de combustión se utilizó una mezcla de aire-acetileno a una presión de entrada de 2,5 Pa y un flujo de 1,0 L/minuto. La absorbancia de las muestras se leyó directamente a una longitud de onda de 228,8 nm, tal como se muestra en las imágenes del anexo 14. A partir del patrón certificado de 1000 mg/L de cadmio, se realizaron las curvas de calibración de 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,3; 1,5; 1,8 mg/L para cadmio (Barrueta, 2013).

## **2.5. Análisis estadístico**

### **2.5.1. Análisis de las variables del grano fresco de cacao**

La metodología en la presente investigación responde al diseño completo al azar con arreglo factorial  $2 \times 3 \times 2$ , donde el primer factor son las zonas de estudio (Juanjuí y Pucacaca), el segundo factor las variedades de cacao (ICS-95, CCN-51 e híbrido) y tercer factor las partes del grano (testa y cotiledón).

Para el análisis del contenido de cadmio, pH y conductividad eléctrica se utilizó la prueba de Tuckey con un nivel de confiabilidad del 95%. El análisis estadístico de los datos se realizó mediante el programa INFOSTAT versión 11.

En los anexos 3, 4 y 5 se muestra el ANOVA de cada variable en estudio de las partes del grano fresco de cacao y el resultado estadístico de sus interacciones.

### **2.5.2. Análisis de las variables del suelo**

Para el análisis de las variables evaluadas en el suelo se utilizó un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial de  $2 \times 3$ , donde el primer factor son las zonas (Juanjuí y Pucacaca), el segundo las variedades de cacao (ICS-95, CCN-51 e híbrido).

Las variables analizadas en el suelo fueron el contenido de cadmio, el pH y la conductividad eléctrica, Para determinar si existen diferencias significativas de las variables del suelo en relación a los factores, se utilizó la prueba de Tuckey con un nivel de confiabilidad del 95%.

En los anexos 6, 7 y 8 se muestra el ANOVA de cada variable en estudio de las muestras de suelo y el resultado estadístico de sus interacciones.

### **2.5.3. Análisis de correlación**

Se realizó esta prueba para analizar la relación entre las variables del fruto y el suelo; mediante la correlación de Pearson en el programa estadístico IBM SPSS Statistics v. 24, se determinó la dirección positiva o negativa de las variables y que tan significativo es la correlación entre ellas.

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Análisis físico-químico de la almendra fresca de cacao

Los análisis físico-químicos en las partes del grano de cacao fresco se realizaron con la finalidad de conocer el contenido de cadmio, el pH y su conductividad eléctrica de tres variedades de cacao (ICS-95, CCN-51, híbrido), de dos zonas productoras ubicadas dentro de la región San Martín, el análisis permitirá evaluar su relación con el contenido de cadmio asimilado en el cacao.

**Tabla 8**

*Variables analizadas en el fruto del cacao.*

Factores			Promedio			
Zonas	Variedades	Partes del grano	Contenido de cadmio (ppm)	pH	C.E (µs/cm)	
Juanjuí	ICS-95	Testa	0,036	3,67	768,0	
		Cotiledón	0,051	6,59	1660,3	
	CCN51	Testa	0,027	3,63	714,3	
		Cotiledón	0,037	6,42	1745,7	
	HIBRIDO	Testa	0,054	3,87	778,0	
		Cotiledón	0,067	6,64	1650,0	
Pucacaca	ICS-95	Testa	0,055	3,88	703,3	
		Cotiledón	0,056	6,45	1805,7	
	CCN51	Testa	0,028	3,59	652,3	
		Cotiledón	0,032	6,51	1738,3	
	HIBRIDO	Testa	0,042	4,01	682,0	
		Cotiledón	0,053	6,52	1739,0	
	Promedio			0,045	5,15	1219,8
	Mínimo			0,027	3,593	652,3
Máximo			0,067	6,638	1805,7	
Desviación estándar			0,0198	1,41	516,2	
Tuckey 95 % p<0,05			0,1964	<0,0001	<0,0001	

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 8, se observa diferencias significativas entre los tratamientos en el análisis de pH y conductividad eléctrica, el promedio general del contenido de Cadmio en el grano es de 0,045 ppm; el cual no supera los límites permisibles (0,5 ppm) de acuerdo a las normas establecidas por el Comité mixto FAO/OMS de expertos en aditivos para los alimentos - JECFA (2013), dicha comisión evaluadora estableció que los productos alimenticios que

no cumplan con los niveles máximos de cadmio en productos del cacao y derivados después del 01 de enero del 2019 no podrán ser comercializados. Por otro lado, el pH promedio es de 5,15 representando una acidez moderada, además tiene una conductividad eléctrica promedio de 1219,8  $\mu\text{s}/\text{cm}$  el cual representa una conductividad baja.

### 3.1.1. Cadmio en el fruto.

En la tabla 9, se muestra los valores promedios de cadmio de la testa y cotiledón en relación a su variedad y origen, además, los valores máximos y mínimos, siendo el cotiledón la parte del grano con mayor contenido de cadmio con respecto a la testa. Resultados que difieren con lo encontrado por Mite, Carrillo & Durango (2010) quienes encontraron en promedio valores mas altos de cadmio en la testa de cacao de 1,51 ppm en muestras de plantaciones de cacao de Ecuador. Por otro lado, el coeficiente de variación promedio fue de 29,24 %, manifestando una baja varianza entre los datos.

**Tabla 9**

*Valores del contenido de cadmio (ppm) en la testa y cotiledón en el grano de cacao fresco.*

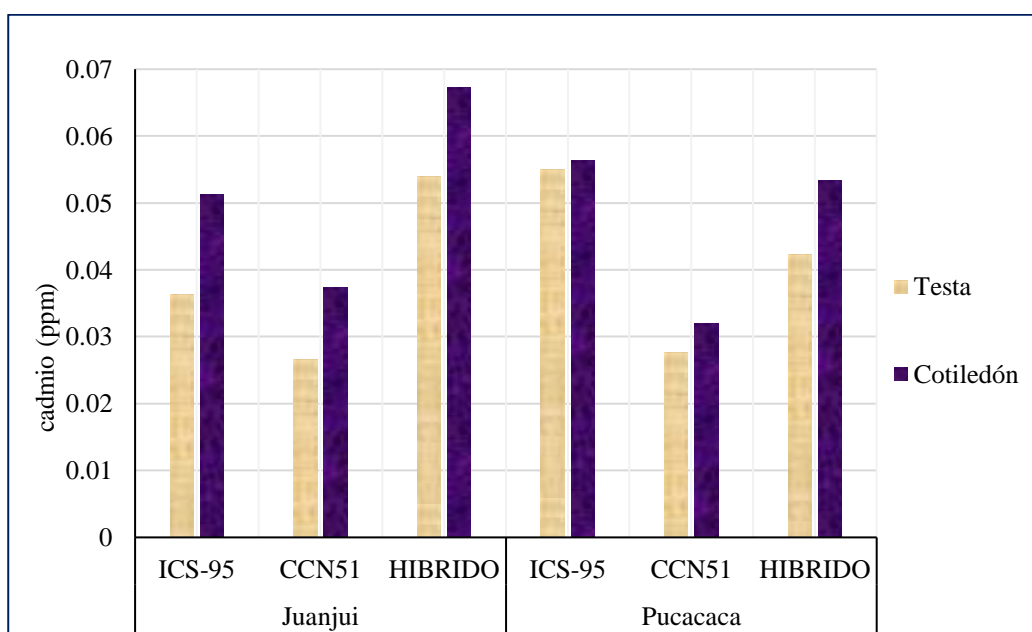
Zonas / Variedades	Contenido de cadmio en el fruto			
	Partes del grano		Media	
	Testa (ppm)	Cotiledón (ppm)		
Juanjuí / ICS-95	0,036 ± 0,015	0,051 ± 0,007	0,044	
Juanjuí / CCN51	0,027 ± 0,020	0,037 ± 0,005	0,032	
Juanjuí / HIBRIDO	0,054 ± 0,021	0,067 ± 0,004	0,061	
Pucacaca / ICS-95	0,055 ± 0,037	0,056 ± 0,027	0,056	
Pucacaca / CCN51	0,023 ± 0,016	0,032 ± 0,008	0,027	
Pucacaca / HIBRIDO	0,042 ± 0,012	0,053 ± 0,006	0,048	
Mínimo	0,023	0,032	0,027	
Máximo	0,055	0,067	0,061	
Media	0,040	0,050	0,045	
Desviación estándar	0,014	0,013	0,013	
Coficiente de variación	34,28%	26,08%	29,24%	
ANOVA Test Tuckey (p<0,05)	0,5286	0,0391*	0,2016	

\* La correlación es significativo al nivel de 0,05.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 6, se observa que el cadmio se concentra en mayor proporción en el cotiledón, sin embargo, no representa diferencias significativas, tal como se muestra en el anexo 3. Resultados que coinciden con lo mencionado por Chan & Hale (2004) citado por Mejía (2011) en la planta, el cadmio se acumula preferentemente en la raíz secuestrado en la vacuola de las células, y solo una pequeña parte es transportada a la parte aérea de la

planta concentrándose en orden decreciente en tallos, hojas, frutos y semillas. Pero que se contradice con lo que concluye; Mite, Carrillo & Durango (2010) en su investigación de monitoreo de cadmio en cacao y suelos en Ecuador, donde menciona que la mayor cantidad de cadmio se acumula en el jugo y la pulpa (mucilago o testa) del cacao e incluso recomienda que lavar la pulpa puede favorecer a reducir la concentración de la misma. Además, entre las muestras de testa, la variedad del ICS-95 de la zona de Pucacaca tiene el mayor contenido de cadmio con 0,055 ppm y la variedad del CCN-51 de la misma zona tiene el menor contenido de cadmio con 0,023 ppm.



**Figura 6.** Contenido de cadmio en testa y cotiledón de grano fresco de cacao. (Fuente: Elaboración propia).

Por otro lado, entre las muestras de cotiledón, la variedad del Híbrido de la zona de Juanjuí tiene el mayor contenido cadmio con 0,067 ppm y la variedad CCN-51 de la zona de Pucacaca tuvo el menor valor con 0,032 ppm.

La variabilidad de los resultados entre las zonas puede encontrarse determinado por la edad de la plantación de cacao, tal como afirma Martínez & Palacio (2010) al determinar el cadmio a nivel de fincas refieren que, en uno de las fincas con cultivos de cacao con más de 20 años de edad, presentan concentraciones altas de cadmio en cacao fresco y fermentado; por lo que considera que árboles viejos poseen características fitorremediadoras, ya que acumulan el metal al pasar los años.

Sin embargo, resultados obtenidos de cadmio difieren con lo encontrado por el ICT/GTZ (2008), donde mencionan que las provincias de mayor concentración de cadmio en grano fresco, resalta la provincia de Tocache con tenores medios de 1,04 ppm; Dorado con 0,93

ppm y Mariscal Cáceres con 0,73 ppm; siendo la zona de Juanjui un distrito ubicado dentro de la Provincia de Mariscal Cáceres.

La contaminación de cacao con cadmio tiene múltiples orígenes y en diversas etapas como: en el cultivo, producción y transformación. Pero también en las zonas, en las variedades y particularmente en las partes del grano fresco (testa y cotiledón) se tienden a acumular y contaminar en mayor o menor cantidad.

Si bien es cierto los contenidos de cadmio en esta investigación no sobrepasaron los límites permisibles dado por las organizaciones reguladoras; esto no asegura que las concentraciones de cadmio del cotiledón de las variedades se mantengan cuando ocurra su beneficio. Martínez & Palacio (2010) argumenta que la concentración de este metal puede estar directamente relacionada con el proceso de fermentación y secado.

### 3.1.2. Potencial hidrogenión (pH) en el fruto.

En la tabla 10, se muestra lo valores promedio de pH de la testa y cotiledón del grano de cacao fresco, además los valores máximos y mínimos encontrados, donde se observa que la testa presenta menor pH que el cotiledón, esto se debe, a que la mayor concentración de ácidos orgánicos se encuentra en la parte externa del grano. La característica acida de la testa es más diferenciable en la degustación, siendo la variedad del híbrido de menor acidez con respecto a las otras dos variedades. Los datos presentaron una baja varianza, por lo que, no representan diferencias significativas entre las variedades, en relación a cada parte del grano.

**Tabla 10**

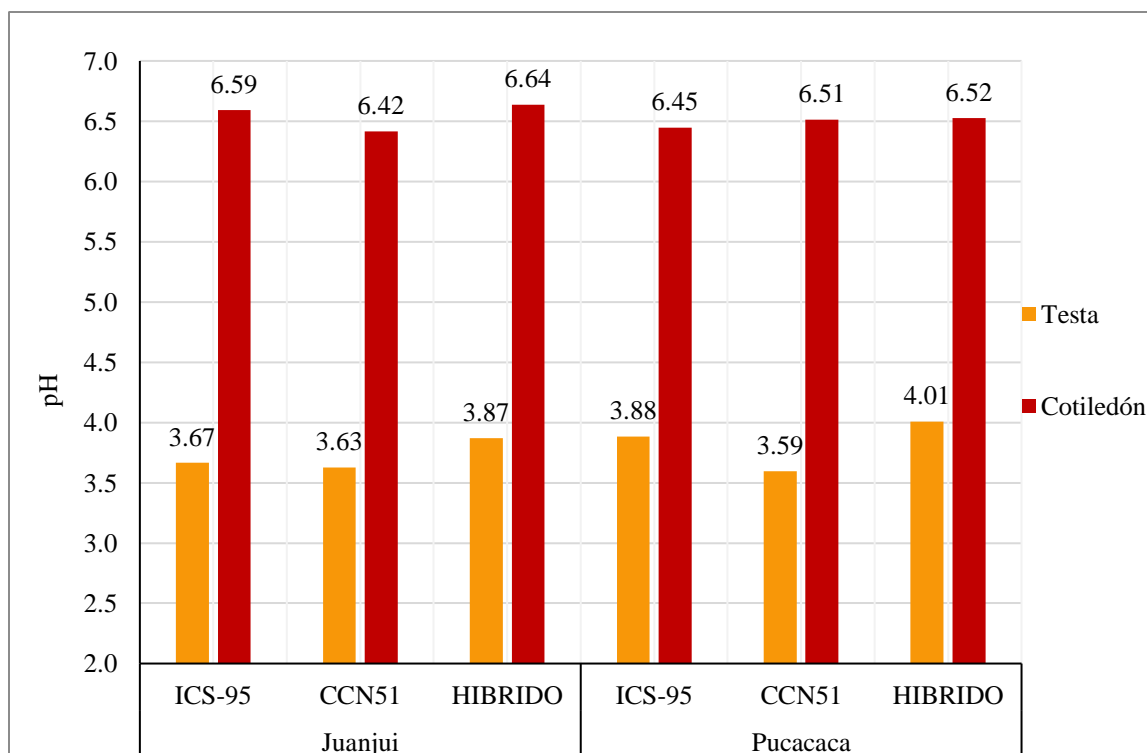
*Valores de pH en la testa y cotiledón del grano fresco.*

Contenido de pH en el fruto						
Zonas	Variedades	Partes del grano		Media		
		Testa	Cotiledón			
Juanjui	ICS-95	3,67	± 0,12	6,59	± 0,13	5,13
	CCN51	3,63	± 0,18	6,42	± 0,23	5,02
	HIBRIDO	3,87	± 0,13	6,64	± 0,13	5,25
Pucacaca	ICS-95	3,88	± 0,21	6,45	± 0,32	5,16
	CCN51	3,59	± 0,20	6,51	± 0,28	5,05
	HIBRIDO	4,01	± 0,11	6,52	± 0,30	5,27
	Mínimo		3,59		6,42	5,02
	Máximo		4,01		6,64	5,27
	Media		3,77		6,52	5,15
	Desviación estándar		0,168		0,084	0,10
	Coefficiente de variación		4,46%		1,29%	1,96%
	ANOVA Test Tuckey (p<0.05)		0,0495*		0,8595	0,5603

\* La correlación es significativo al nivel de 0,05

Fuente: Elaboración propia.

En promedio general el pH de la testa es ácido que fluctúa entre 3,59 a 4,01; por otro lado, el pH del cotiledón es casi neutro que fluctúa entre 6,42 a 6,64; resultados similares encontró Hernández (1991) citado por Sanchez V. (2007), donde indica que la pulpa fresca tiene un pH de 3,4 a 4,6. En la misma etapa el pH de los cotiledones es de 6,6; debido a que la testa es permeable al ácido acético, este pasa al interior del cotiledón y al tercer día mata el embrión y baja el pH a 4,8 durante el resto de la fermentación y secado el pH sube y por lo general es de 5,5 en los granos secos.



**Figura 7.** Valores de pH en testa y cotiledón por factores. (Fuente: Elaboración propia).

En la figura 7, se observa que en la testa el valor máximo lo tuvo la variedad del híbrido de Pucacaca con pH de 4,01 y el valor mínimo el CCN-51 de Pucacaca con pH de 3,59; por otro lado, en el cotiledón el valor máximo lo tuvo el híbrido de Juanjuí con pH de 6,64 y el valor mínimo el CCN-51 de Juanjuí con pH de 6,42.

Entre las variedades se encontraron mínimas diferencias, donde el CCN-51 presentó el menor valor de pH tanto en su testa como en el cotiledón, teniendo la característica de ser la variedad más ácida entre las muestras, y el híbrido la variedad menos ácida.

Por otro lado, los resultados obtenidos en promedio muestran que, los valores de pH alcanzados son superiores a 5,0. Al respecto Rohan (1964), señaló que cuando el pH es menor de 5,0; es indicativo de una fermentación defectuosa. Por su parte Meyer et al. (1989), revelan que valores de pH en los cotiledones (pH 4,5) disminuyen el potencial



aromático en el cacao, y por el contrario cuando ese valor es de 5,0 - 5,5 éste se incrementa.

Los valores de pH entre las variedades de cada zona no presentaron similitud, por lo que, dicha variabilidad puede encontrarse relacionada, con la topografía de la zona, factores edafoclimáticos, textura del suelo, que influyen en la acidez de los frutos y su desarrollo fisiológico.

El análisis de varianza muestra que los valores de pH presentan diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre las partes del grano, pero no existen diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre las interacciones de: zonas por variedades, zonas por partes del grano, variedades por partes del grano, zonas por variedades y partes del grano, tal como se muestra en el anexo 4.

### 3.1.3. Conductividad eléctrica en el fruto.

En la tabla 11, se muestra los valores de conductividad eléctrica en la testa y cotiledón del grano de cacao, además la media, desviación estándar y los valores máximos y mínimos. Donde se observa que en promedio la testa tiene menor conductividad eléctrica que el cotiledón, los datos en promedio presentan un coeficiente de variación bajo de 1,66%.

**Tabla 11**

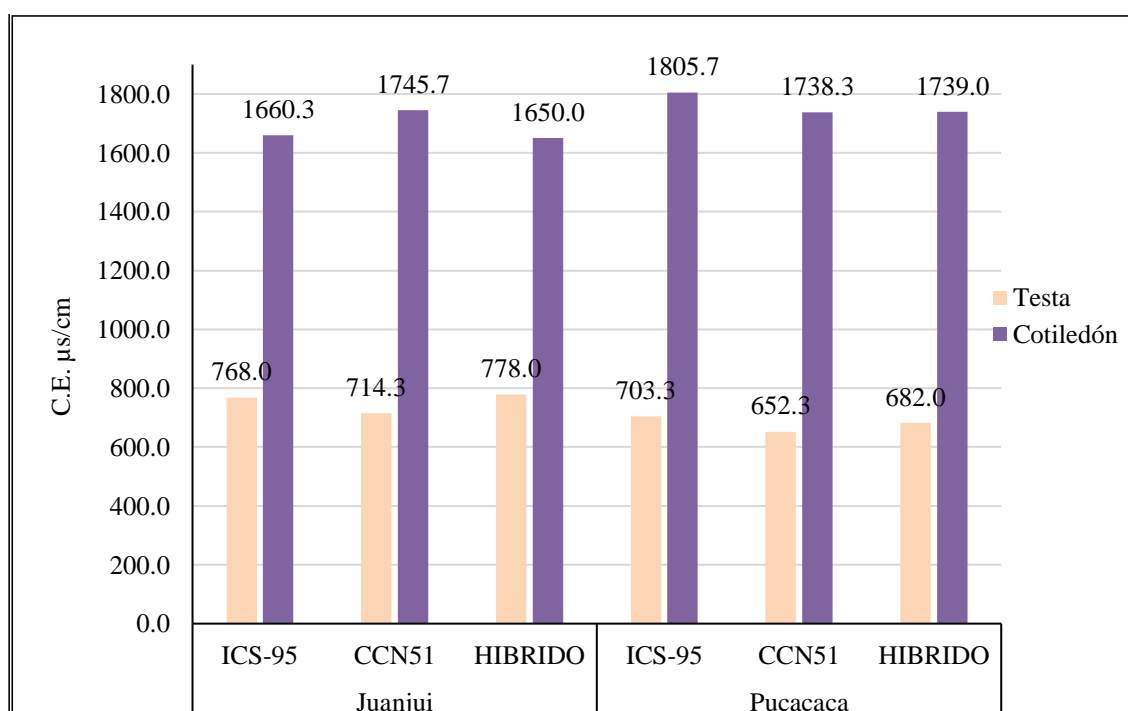
*Valores de conductividad eléctrica en la testa y cotiledón del grano fresco.*

Conductividad eléctrica del fruto						
Zonas	Variedades	Partes del grano				Media ( $\mu\text{s/cm}$ )
		Testa ( $\mu\text{s/cm}$ )		Cotiledón ( $\mu\text{s/cm}$ )		
Juanjuí	ICS-95	768,0	$\pm 41,0$	1660,3	$\pm 157,5$	1214,167
	CCN51	714,3	$\pm 13,7$	1745,7	$\pm 67,0$	1230,000
	HIBRIDO	778,0	$\pm 54,0$	1650,0	$\pm 133,6$	1214,000
Pucacaca	ICS-95	703,3	$\pm 23,5$	1805,7	$\pm 14,5$	1254,500
	CCN51	652,3	$\pm 16,0$	1738,3	$\pm 16,4$	1195,333
	HIBRIDO	682,0	$\pm 19,3$	1739,0	$\pm 65,2$	1210,500
	Mínimo	652,3		1650,0		1195,3
	Máximo	778,0		1805,7		1254,5
	Media	716,3		1723,2		1219,8
	Desviación estándar	48,826		58,472		20,291
	Coefficiente de variación	6,82%		3,39%		1,66%
	ANOVA Test Tuckey ( $p < 0,05$ )	0,0025**		0,3717		0,7717

\*\* La correlación es significativo al nivel de 0,01

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 8, se puede observar que el cotiledón es la parte del grano que más conductividad eléctrica presenta con respecto a la testa. En la testa, el valor máximo lo tuvo el híbrido de Juanjuí con 778,0  $\mu\text{s}/\text{cm}$  y el valor mínimo el CCN-51 de Pucacaca con 652,3  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ; mientras que, en el cotiledón el valor máximo lo tuvo el ICS-95 de Pucacaca con 1805,7  $\mu\text{s}/\text{cm}$  y el valor mínimo el híbrido de Juanjuí con 1650,0  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . La mayor conductividad eléctrica del cotiledón contrasta con el mayor contenido de cadmio que se encontró, demostrando una posible relación entre ellas, por lo que se puede asociar como un indicador de la concentración del cadmio. Díaz & Fernández (1998), afirma que la conductividad eléctrica se encuentra directamente relacionada con el contenido en sustancias capaces de conducirla, como los ácidos orgánicos, las proteínas y especialmente los iones disociados de las sales minerales.



**Figura 8.** Conductividad eléctrica en la testa y cotiledón por factores. (Fuente: Elaboración propia).

Los niveles de conductividad eléctrica en los cotiledones de las variedades de la zona de Pucacaca resultaron ser superior a lo encontrado en la zona Juanjuí, caso contrario se encontró, en los niveles de conductividad eléctrica en la testa, siendo la testa de las variedades de la zona de Juanjuí superiores a los resultados de la zona de Pucacaca.

De acuerdo al análisis de varianza, si existe diferencia significativa al  $p\text{-valor} < 0,05$  entre las partes del grano, pero no en las interacciones de las partes del grano por variedades, partes del grano por zonas, partes del grano por variedades y zonas, tal como se muestra en el anexo 5.

### 3.2. Análisis físico-químico en el suelo

Los análisis físico-químicos en el suelo se muestran la tabla 12, análisis que permitieron conocer el contenido de cadmio, el pH y su conductividad eléctrica de los suelos en donde se encuentran desarrollando las variedades de cacao en estudio, los resultados permitieron evaluar si las características de los suelos se encuentran relacionadas con la concentración de cadmio en la planta de cacao, así como su acumulación en las partes del grano, estudios similares realizaron el ICT/GTZ (2008), en parcelas de la Región San Martín y Amazonas donde evaluaron muestras de suelos extraídos a distinta profundidad, para la determinación de los contenidos de cadmio disponible y total, adicionalmente se realizaron análisis caracterización de las muestras de suelos, determinando pH, conductividad eléctrica, entre otros.

**Tabla 12**

*Variables analizadas en las muestras de suelo.*

Factores			Promedio		
Zonas	Variedades	Código	Contenido de cadmio (ppm)	pH	C.E ( $\mu\text{s/cm}$ )
Juanjuí	ICS-95	S/J/ICS	0,452	6,37	262,2
	CCN51	S/J/CCN	0,385	5,09	287,6
	HIBRIDO	S/J/HB	0,325	5,10	188,6
Pucacaca	ICS-95	S/P/ICS	0,687	7,25	252,7
	CCN51	S/P/CCN	0,635	7,26	260,5
	HIBRIDO	S/P/HB	0,569	7,16	346,5
Promedio			0,509	6,37	266,4
Mínimo			0,325	5,090	188,6
Máximo			0,687	7,260	346,5
Desviación estándar			0,1395	0,99	50,99
Tuckey 95 % $p < 0,05$			$< 0,0001^{**}$	$< 0,0001^{**}$	$< 0,0001^{**}$

**\*\* La correlación es significativo al nivel de 0,01**

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.2.1. Cadmio en suelo.

Los valores de cadmio en el suelo de cada zona se muestran en la tabla 13, siendo en promedio, la zona de Pucacaca de mayor contenido de cadmio con 0,63 ppm; por otro lado, la prueba de significación de medias con el estadístico Duncan concluye que los suelos de las variedades del ICS-95 y CCN-51 presentan mayores valores de cadmio que

el Híbrido, tal como se puede observar en el anexo 6. Los resultados mostraron un coeficiente de varianza bajo de 13,36 %.

**Tabla 13**

*Valores del contenido de cadmio en el suelo por zonas.*

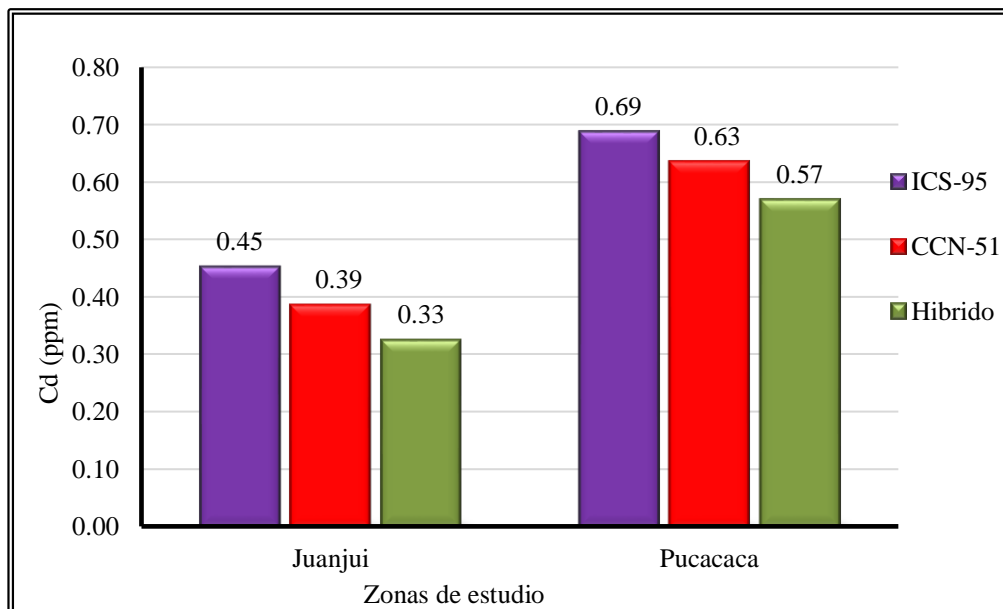
Variedades	Factores				Media
	Zonas				
	Juanjuí (ppm)		Pucacaca (ppm)		
ICS-95	0,45 <sup>b</sup>	± 0,01	0,69 <sup>b</sup>	± 0,04	0,57 <sup>b</sup>
CCN-51	0,39 <sup>ab</sup>	± 0,03	0,63 <sup>ab</sup>	± 0,04	0,51 <sup>ab</sup>
Híbrido	0,33 <sup>a</sup>	± 0,06	0,57 <sup>a</sup>	± 0,05	0,45 <sup>a</sup>
Media	0,39		0,63		0,51
Desviación estándar	0,064		0,064		0,06
Coefficiente de variación	16,61%		10,10%		13,36%
ANOVA Test Tuckey (p<0.05)	0,0188**		0,0428*		0,0308

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, Duncan (p<= 0,05).

\* La correlación es significativo al nivel de 0,05

\*\* La correlación es significativo al nivel de 0,01

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 9.** Contenido de cadmio en el suelo de las variedades por cada zona en estudio. (Fuente: Elaboración propia).

Como se observa en la figura 9, el contenido de cadmio en el suelo mostró un patrón de descendencia repetitivo en las dos zonas, siendo el ICS-95 con mayor valor en el contenido de cadmio, seguido del CCN-51 y finalmente el Híbrido.

Los resultados encontrados son de muestras tomadas de 0 - 20 cm de profundidad, siendo los rangos de cadmio de 0,33 ppm a 0,69 ppm. Resultados que difieren con lo encontrado por Martínez & Palacio (2010) donde encontró rangos promedios de 0,33 a 1,24 ppm de cadmio en suelos estudiados con excepción de una finca que promedió los 6,0 ppm; siendo el análisis en dos profundidades, de las cuales de 0 a 20 cm se encontraron más cantidad de cadmio que en las muestras de 20 a 40 cm.

Los suelos de la zona de Juanjuí tienen en promedio cadmio de 0,39 ppm, y la zona de Pucacaca 0,63 ppm, resultados que difieren con lo encontrado por el ICT/GTZ (2008), en el análisis de cadmio en suelos realizado en las provincias de San Martín, reportando que en las provincia de Mariscal Cáceres y Picota no existe diferencia significativa, teniendo un promedio de 0,17 ppm.

Los valores de cadmio encontrados en los puntos de muestreo de cada variedad no presento niveles superiores a lo permitido para los suelos agrícolas, de acuerdo a la USEPA, que establecio para cadmio en suelo de 1,0ppm, (Gonzales, 2009). Sin embargo, los resultados obtenidos en la zona de Pucacaca si presentaron concentraciones altas del metal, en comparación a los límites de la norma Danesa 0,5 ppm (Hansen, 2000).

Si bien se considera que las concentraciones fitotóxicas de cadmio están entre los 5 y 10 ppm, las plantas pueden absorber metales aun en bajas concentraciones, introduciéndolo en la cadena alimenticia; aunque a mayores concentraciones en el suelo aumenta su capacidad de absorción y acumulación (Liang *et al.*, 2009; Ghosh y Singh, 2005).

Por otro lado, internacionalmente se considera que las principales fuentes de contaminación por cadmio sobre suelos agrícolas son la deposición atmosférica, la adición continua de fertilizantes, cal, estiércol y lodos de depuradora, por lo que en algunos países existen leyes regulatorias para la adición de dichos elementos sobre el suelo, con especial atención en los fertilizantes porque la roca fosfórica de donde se obtienen algunos, contiene naturalmente este tipo de metales pesados (Hansen, 2000; EPA, 2008).

De acuerdo a los resultados obtenidos, en la zona de pucacaca se presenta mayor fitotoxicidad de cadmio en los suelos, por lo que se requerirían de estudios para definir las causas particulares de la alta contaminación, evaluando si se debe a la acumulación del metal en el suelo a lo largo del tiempo o a prácticas inapropiadas del lugar.

El análisis de varianza muestra que, si existe diferencia significativa al  $p$ -valor $<0,05$  entre las zonas y entre las variedades, pero no existe diferencia significativa al  $p$ -valor $<0,05$  en la interacción de las zonas por las variedades, tal como se muestra en el anexo 6.

### 3.2.2. Potencial hidrogenión (pH) en el suelo.

En la tabla 14, se muestran los valores de pH de los suelos de cada variedad en estudio, donde se puede observar que los suelos de Juanjuí tienen la característica de ser moderadamente ácido, con un pH promedio de 5,52; por otro lado, las muestras de la zona de Pucacaca son un poco alcalina, con un pH promedio de 7,22; valores que indicarían un deficiente desarrollo fisiológico en las plantaciones de la zona de Pucacaca. Chavez, Mansilla, & Gutierrez (2004) menciona que el cacao se desarrolla eficientemente cuando el pH del suelo se encuentra en el rango de 6,0 a 6,5; altos contenidos de materia orgánica favorecen el desarrollo del cultivo porque garantizan la presencia de microelementos primordiales en la formación y desarrollo de la planta. Resultados similares encontraron Arevalo G., et al. (2016), en su investigación de evaluación de metales pesados en los suelos cacaoteros a tres regiones del Perú, observaron que el pH en los suelos fluctuaban entre fuertemente ácidos (pH= 5,38) a moderadamente alcalinos (pH= 8,29), encontrando valores de pH<7 en las regiones de Tumbes, Piura, Cajamarca y San Martín, y valores de pH>7 en las regiones de Piura, Amazonas, San Martín, Huanuco, Junin y Cusco.

Siendo el pH una variable importante en el desarrollo fisiológico de las plantas, por encontrarse relacionado directamente con la capacidad de absorción y solubilidad de numerosos elementos nutritivos para las plantas además de tener influencia considerable en la estructura y descomposición de sustancias orgánicas, así como en la actividad microbiana de los suelos.

**Tabla 14**

*Valores de pH del suelo por zonas.*

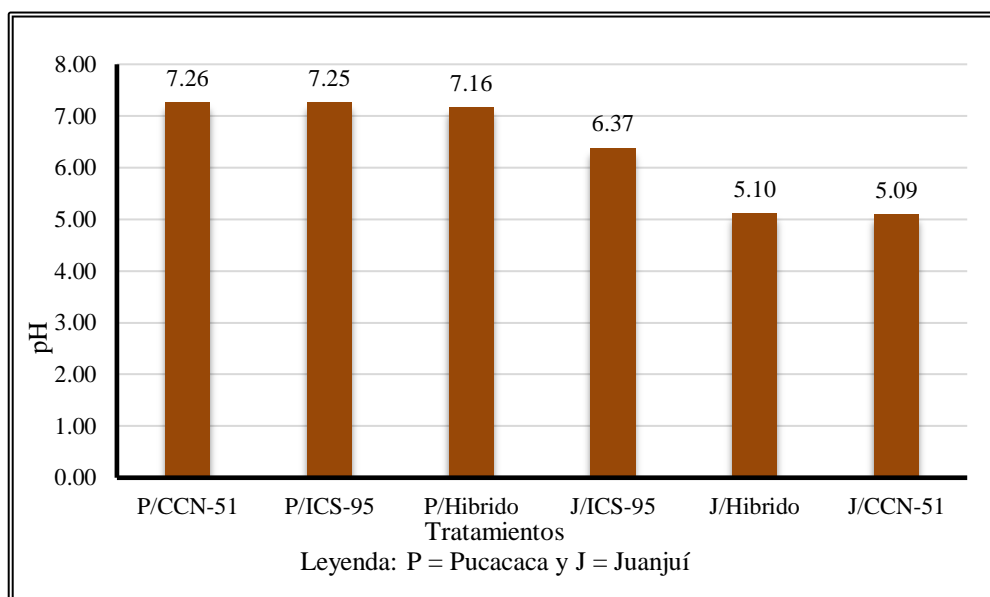
Variedades	Zonas	
	Juanjuí	Pucacaca
ICS-95	6,37 <sup>b</sup> ± 0,22	7,25 <sup>a</sup> ± 0,15
CCN-51	5,09 <sup>a</sup> ± 0,19	7,26 <sup>a</sup> ± 0,09
Hibrido	5,10 <sup>a</sup> ± 0,20	7,16 <sup>a</sup> ± 0,19
Media	5,52	7,22
Desviación estándar	0,66	0,14
Coefficiente de variación	11,97%	1,88%
ANOVA Test Tuckey (p<0,05)	0,0004**	0,6656

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, Duncan (p<= 0,05).

\*\* La correlación es significativo al nivel de 0,01

Fuente: Elaboración propia.

El pH controla muchas de las actividades químicas y biológicas que ocurren en el suelo y tiene una influencia indirecta en el desarrollo de las plantas. Según el pH del suelo, la disponibilidad de ciertos elementos nutritivos puede favorecerse. Es bueno tener presente que incluso algunos materiales orgánicos pueden estar altamente contaminado con cadmio. INPOFOS (1993), señala que en general la condición ácida del suelo reduce la disponibilidad del Ca, Mg, Mo y P; mientras que incrementa la disponibilidad del Fe, Mn, B, Cu y Zn, el Nitrógeno es más disponible con un pH entre 6,0 y 7,0.



**Figura 10.** Valores de pH en el suelo por tratamientos. (Fuente: Elaboración propia).

En la figura 10, se observa que los suelos de las variedades más ácidas es el CCN-51 y el híbrido de Juanjuí con 5,09 y 5,10 respectivamente, lo contrario del CCN-51 y ICS-95 de Pucacaca que manifestaron ser moderadamente alcalinos con 7,26 y 7,25 respectivamente.

Los valores de pH encontrados, muestran tener características aceptables para el desarrollo productivo de la planta de cacao, siendo el árbol de cacao adaptable a diferentes tipos de suelo. Gómez & Azocar (2002) afirman que un suelo pobre en nutrientes con pH fuera de 5,0 y 7,5 (ácidos-4,00 o alcalinos-8,00) disminuye la productividad esperada en condiciones óptimas. Braudeau (1970) indica que a pesar de que el cacao aparece como una de las plantas tolerante a suelos ácidos, se considera que un pH comprendido entre 6 y 7 brinda las mejores condiciones para el suelo.

Diversas investigaciones consideran que el pH típico en suelos ácidos no contaminados con metales pesados fluctúa entre 6 y 7; de ligera contaminación se da entre 5 - 6 y conforme el pH disminuye la contaminación se incrementa, por tanto, los resultados de

pH encontrados en la zona de Juanjuí, son rangos considerados dentro de ligera contaminación por metales pesados, mientras que los resultados en la zona de Pucacaca muestran un pH de suelo de no ser contaminado con metales pesados.

El análisis de varianza muestra que, si existe diferencia significativa al  $p$ -valor  $< 0,05$  entre las zonas, variedades y en la interacción de las zonas por variedades, tal como se muestra en el anexo 7.

### 3.2.3. Conductividad eléctrica en el suelo.

En la tabla 15, se muestra los valores de conductividad eléctrica de las muestras de suelo por cada zona de estudio, siendo en promedio las muestras de la zona de Pucacaca de mayor conductividad con  $286,6 \mu\text{s/cm}$  y las muestras de la zona de Juanjuí de menor conductividad con  $246,2 \mu\text{s/cm}$ .

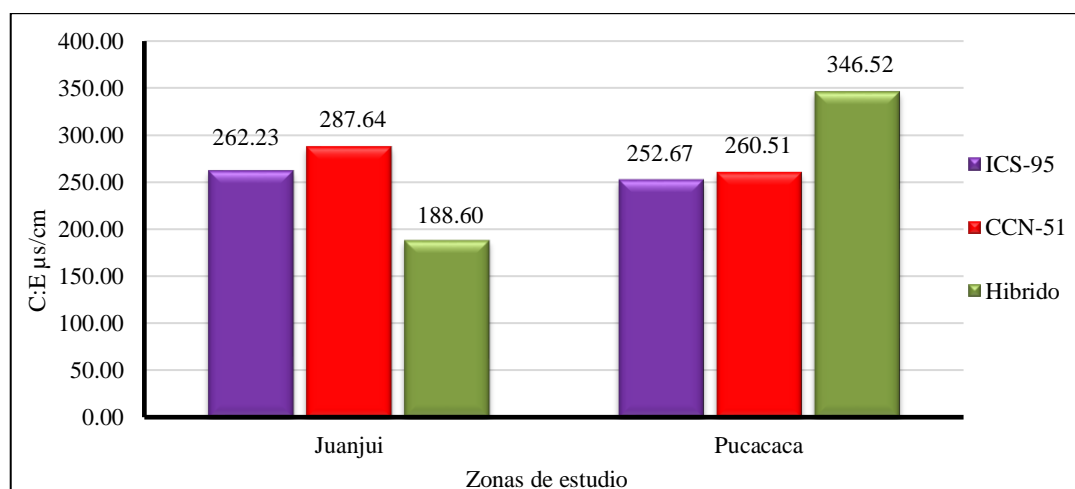
**Tabla 15**

*Valores de conductividad eléctrica en el suelo por zonas.*

Variedades	Factores				Media
	Zonas				
	Juanjuí		Pucacaca		
ICS-95	262,2	$\pm 19,6$	252,7	$\pm 18,2$	257,45
CCN-51	287,6	$\pm 12,3$	260,5	$\pm 24,6$	274,08
Hibrido	188,6	$\pm 11,3$	346,5	$\pm 27,4$	267,56
Media	246,2		286,6		266,36
Desviación estándar	46,4		49,6		47,96
Coefficiente de variación	18,84%		17,29%		18,06%
ANOVA Test Tuckey ( $p < 0.05$ )	0,0005**		0,0051**		0,0028**

\*\* La correlación es significativo al nivel de 0,01

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 11.** Conductividad eléctrica en el suelo de las variedades por cada zona de estudio. (Fuente: Elaboración propia).



En la figura 11, se observa que los mayores valores de conductividad eléctrica en el suelo se registró en la zona de Pucacaca y los menores valores en la zona de Juanjuí, siendo el suelo de la variedad del Híbrido de Pucacaca con 346,52  $\mu\text{s}/\text{cm}$  la muestra de mayor conductividad y la muestra de suelo de la variedad del Híbrido de la zona de Juanjuí de menor conductividad con 188,6  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , sin embargo, los resultados obtenidos no mostraron exceso de salinidad, que pueda ser perjudicial para la planta de cacao. Esto concuerda con lo indicado por Domínguez (1984), quien considera como suelos salinos aquellos que superan los 2000  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .

Rueda et al. (2011), menciona que la salinidad del suelo en exceso afecta la productividad agrícola, además de causar la degradación del suelo. Esto, sumado a los graves problemas de contaminación originados por prácticas agrícolas inadecuadas, provocan una disminución en el desarrollo y la producción de diferentes cultivos.

Diversos estudios concuerdan que la conductividad eléctrica es una de las características del suelo, que cumple un rol importante en la productividad y desarrollo de las plantas, su exceso en el suelo puede generar problemas, por lo que el cultivo del cacao no es ajeno a estas problemáticas como la acumulación de sales solubles en el suelo que se atribuye principalmente a problemas de drenaje, seguidos de evaporación y sequía. Parr et al. (1992), menciona que diferentes atributos químicos, físicos y biológicos interactúan de manera compleja y su entendimiento es esencial para favorecer la sostenibilidad y mejorar la capacidad productiva del suelo.

La evaluación de la conductividad se realizó con el propósito de evaluar si se encuentra relacionado en la bioacumulación del cadmio en las plantaciones de cacao, debido a que puede encontrarse interviniendo en el mecanismo de translocación de nutrientes del suelo hacia las plantas. Chan & Hale (2004) citado por Mejía (2011) menciona que el cadmio se acumula preferentemente en la raíz secuestrado en la vacuola de las células, y solo una pequeña parte es transportada a la parte aérea de la planta concentrándose en orden decreciente en tallos, hojas, frutos y semilla. Por otro lado, Cortés D., Camacho Tamayo, & Pérez B. (2013), menciona que encontró correlación entre la conductividad eléctrica y la concentración de sodio, junto con los cationes de Ca, Mg y Na.

El análisis de varianza muestra que, si existe diferencia significativa al  $p\text{-valor} < 0,05$  entre los tratamientos y zonas, además, en la interacción de las zonas por variedades, tal como se muestra en el anexo 8.

### 3.3. Correlación de las variables de la investigación

En la tabla 16, se muestra los valores de correlación de Pearson positiva y negativa de las variables analizadas en el fruto y las variables del suelo, donde se encontró doce correlaciones significativas, de las cuales tres correlaciones son negativas y nueve fueron positivas, por otro lado, la mayoría de las correlaciones fueron entre las mismas variables del fruto, además, se encontraron correlaciones en la interacción de las variables del suelo y del fruto de las que se realizaron gráficos de dispersión.

Se encontró varias correlaciones existentes entre las variables de la testa y las variables del cotiledón, encontrando que el contenido de cadmio en la testa con el pH de la testa y del cotiledón presentaron una correlación positiva de 0,0551 y 0,0561 respectivamente, por lo que, se puede inferir que el pH de la testa y del cotiledón se podría encontrar interviniendo en la fijación del cadmio y su movilidad, Choi (2006), menciona que el Cd es más móvil en medios ácidos y un aumento en el valor del pH, produce un aumento en la adsorción de Cd al mismo tiempo que disminuye su solubilidad.

Sin embargo, el cadmio en la testa tuvo una de las más altas correlaciones con el cadmio en el cotiledón, teniendo un índice muy fuerte de ( $r=0,746$ ), demostrando que el cadmio en la testa es muy proporcional al aumento del cadmio en el cotiledón.

Por otro lado, el pH de la testa guarda estrecha correlación significativa y positiva con el cadmio en el cotiledón y el pH del cotiledón, por lo que, se afirma que, a menor pH de la testa, menor será la concentración de cadmio en el cotiledón y además menor será su pH. La conductividad eléctrica de la testa también presentó correlación positiva con la concentración de cadmio en el cotiledón de 0,513; encontrando que la conductividad de la testa podría inferir en la concentración de cadmio en el cotiledón mediante su solubilidad, como lo afirma Kabata-Pendias y Pendias (1985), siendo la salinidad encargado de formar complejos que contribuyen para controlar su solubilidad de un metal.

En lo que respecta a las variables del suelo se registró que el cadmio, el pH y conductividad eléctrica del suelo están correlacionadas con la conductividad eléctrica de la testa de un sentido negativo, siendo el cadmio del suelo y conductividad eléctrica de la testa con más alta correlación, por lo que, a mayor cadmio en el suelo reflejara menor conductividad eléctrica en la testa, como se muestra en la figura 12. Covelo et al., (2004), menciona que el Cd es un metal más móvil que otros metales debido a la debilidad de las uniones que establece con los componentes del suelo.

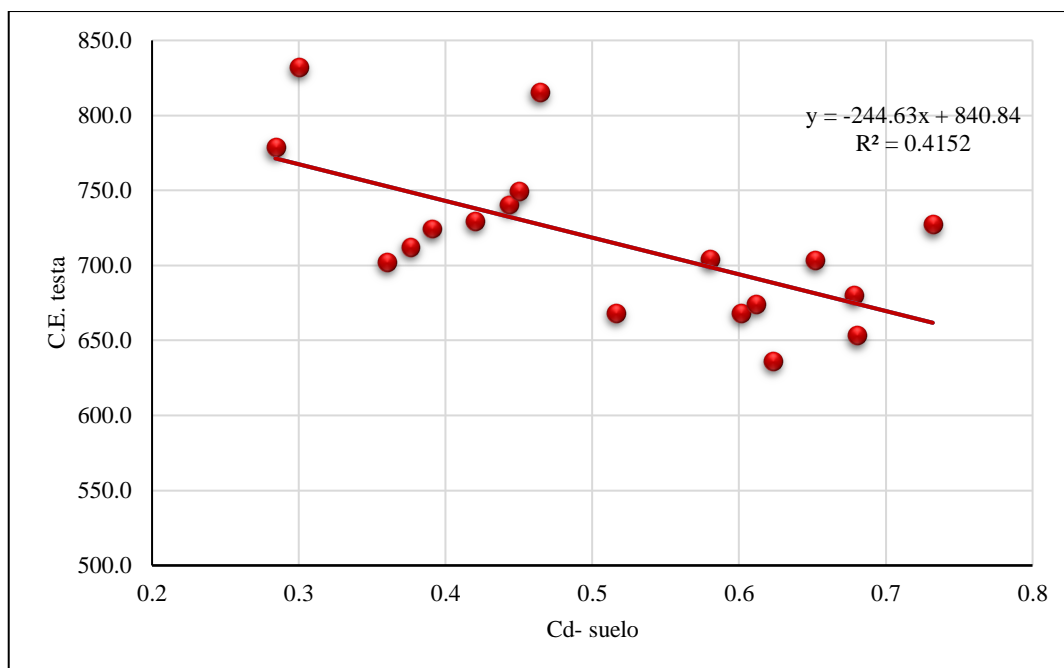


Cadmio en el suelo	Correlación de Pearson	<b>0,042</b>	<b>0,132</b>	<b>-0,644*</b>	<b>-0,161</b>	<b>-0,078</b>	<b>0,498*</b>	<b>1</b>	0,904**	0,277
	Sig. (bilateral)	0,867	0,603	0,004	0,523	0,759	0,035		0,000	0,266
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
pH en el suelo	Correlación de Pearson	<b>0,043</b>	<b>0,159</b>	<b>-0,544*</b>	<b>-0,140</b>	<b>-0,070</b>	<b>0,320</b>	<b>0,904**</b>	<b>1</b>	0,415
	Sig. (bilateral)	0,866	0,528	0,020	0,580	0,782	0,195	0,000		0,087
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Conductividad eléctrica en el suelo	Correlación de Pearson	<b>-0,210</b>	<b>0,066</b>	<b>-0,513*</b>	<b>-0,305</b>	<b>-0,284</b>	<b>0,135</b>	<b>0,277</b>	<b>0,415</b>	<b>1</b>
	Sig. (bilateral)	0,403	0,794	0,029	0,218	0,254	0,594	0,266	0,087	
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18

\*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

\*\*.. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Elaboración propia: Cuadro elaborado con IBM SPSS Statistics v. 24



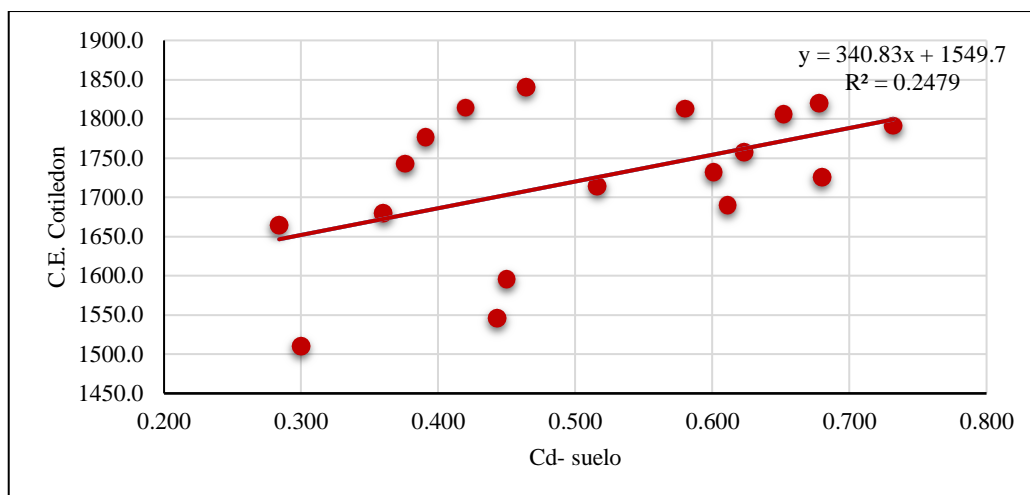
**Figura 12.** Correlación lineal del cadmio en el suelo sobre la conductividad eléctrica de la testa. (Fuente: Elaboración propia).

En la figura 12, se puede observar el efecto del contenido de cadmio en el suelo sobre la conductividad eléctrica de la testa, siendo una regresión negativa con una correlación significativa de  $-0,644$  al  $p\text{-valor} < 0,01$ ; con un coeficiente de determinación de  $0,4152$ ; mostrando que, a mayor concentración de cadmio en el suelo menor conductividad eléctrica presenta la testa (menor concentración de sales).

García & Méndez (2003) menciona que el Cd queda definido por la fracción aniónica en el complejo de cambio de la matriz del suelo, siendo en particular los cloruros y sulfatos como sales dominantes que pueden formar una serie de complejos, así, con el ión Cl, se pueden formar dependiendo de su concentración.

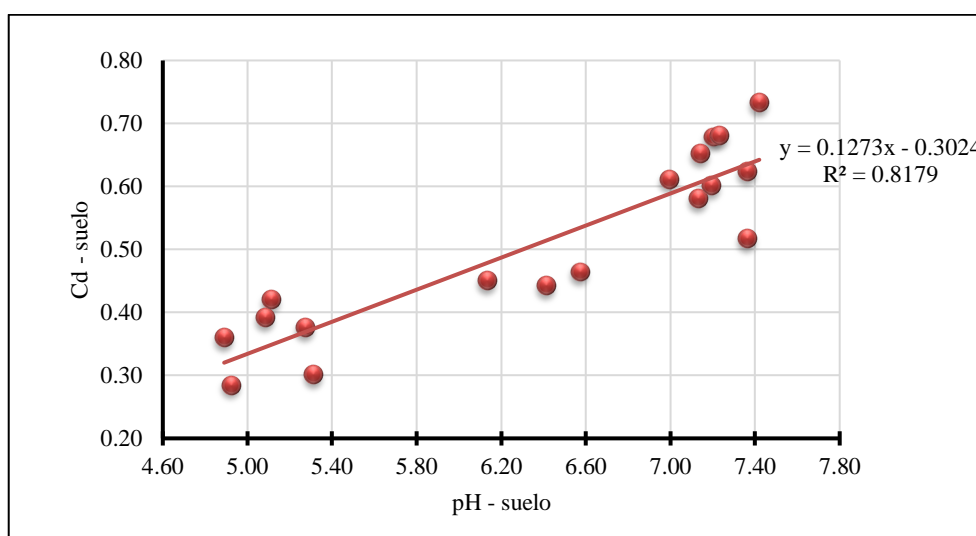
La conductividad eléctrica del cotiledón y el cadmio en el suelo presentan una correlación positiva de  $0,498$ ; en la figura 13 se muestra la dispersión positiva de los datos y la ecuación lineal que ajusta a los datos.

En la figura 13, se puede observar que el efecto del contenido de cadmio en suelo sobre la conductividad eléctrica en el cotiledón, se obtuvo una regresión positiva con una correlación de  $0,498$  y  $p\text{-valor} < 0,01$ ; con un coeficiente de determinación de  $0,2479$ ; mostrando que, la conductividad eléctrica en el cotiledón aumenta un  $24,79\%$  cuando el contenido de cadmio en el suelo se incrementa.



**Figura 13.** Correlación del cadmio en el suelo sobre la conductividad eléctrica del cotiledón. (Fuente: Elaboración propia).

Por otro lado, el pH del suelo y el cadmio del suelo presentaron la más alta correlación positiva de la investigación, por lo que se pudo inferir que el pH es la característica edáfica que interviene en la fijación de este metal en la tierra. Datos similares encontró Isaura Rábago (2011), al encontrar altas correlaciones positivas entre pH y el contenido de cadmio en el suelo, afirmó que el incremento de pH puede influir a cualquier nivel de contaminación. Mientras que Appel & Ma (2002), menciona que el comportamiento de los metales pesados frente a los cambios de pH depende también de la naturaleza de los propios metales. Según Chaney & Hornick (1978); Singh et al. (1995), es una de las más importantes propiedades del suelo que definen su movilización y translocación a los cultivos.



**Figura 14.** Correlación lineal del pH en el suelo y cadmio en el suelo. (Fuente: Elaboración propia).

En la figura 14, se muestra el efecto del pH en el suelo sobre el contenido de cadmio en el suelo, siendo la regresión positiva más alta de la investigación con una correlación de  $r = 0,904$  y  $p\text{-valor} < 0,01$ , con un coeficiente de determinación de  $0,8179$ ; donde se puede afirmar que el aumento del pH del suelo puede aumentar un  $81,79\%$  en la concentración del cadmio en el suelo. Siendo corroborado por afirmaciones de Cardenas (2012), donde menciona que los metales generalmente quedan retenidos en el suelo a pH básicos, mientras que a pH ácidos los metales están más solubles siendo, por lo tanto, mayor su disponibilidad para las plantas.

Mientras que, efectos de correlación similares obtuvo Garcia & Mendez (2003), donde infiere que la concentración total media de Cd se correlaciona significativamente con el pH del suelo, ya que es una de las propiedades más importantes del suelo que definen su movilización y translocación a los cultivos.

## CONCLUSIONES

1. Los valores de cadmio encontrados en el fruto no sobrepasaron los límites permisibles dado por las organizaciones reguladoras OMS (0,5 ppm), mientras que, los valores de cadmio encontrados en las muestras de suelo no superaron los límites máximos permitidos por la USEPA (1,0 ppm). Por otra parte, se encontró varias correlaciones entre las variables de la testa y del cotiledón y algunas variables del suelo, siendo las correlaciones más resaltantes el Cd de la testa y Cd del cotiledón, Cd del suelo y C.E. de la testa, Cd del suelo y C.E. del cotiledón y pH del suelo y Cd del suelo.
2. En promedio la testa concentra menor contenido de cadmio que el cotiledón, siendo el contenido cadmio en la testa de 0,04 ppm y en el cotiledón de 0,05 ppm, por otro lado, en las muestras de suelo se obtuvo, que la zona de Pucacaca presenta mayor contenido de cadmio que la zona de Juanjuí, con 0,63 ppm y 0,39 ppm respectivamente.
3. Se determinó que la testa presenta un pH ácido de 3,77, mientras que, el cotiledón presenta un pH de neutro de 6,52, debido a que en estado fresco la parte externa del grano se concentra los ácidos orgánicos; por otro lado, las muestras de suelo de la zona suelos de la zona de Juanjuí tienen la característica de ser moderadamente ácido, con un pH promedio de 5,52; mientras que, las muestras de la zona de Pucacaca son un poco alcalina, con un pH promedio de 7,22.
4. Se encontró mayores valores de conductividad eléctrica en el cotiledón (1650,0  $\mu\text{s/cm}$ ) que en la testa (652,3  $\mu\text{s/cm}$ ) del grano fresco de cacao. Además, en las muestras de suelo se pudo determinar que la zona de Pucacaca presenta mayor conductividad eléctrica con 286,6  $\mu\text{s/cm}$ , mientras que, la zona de Juanjuí la menor conductividad con 246,2  $\mu\text{s/cm}$ .
5. Se observó correlación positiva entre las variables de la testa (Cd, pH y C.E) con las variables del cotiledón (Cd, pH y C.E), siendo la correlación más alta entre Cd de la testa y Cd del cotiledón con  $r=0,746$ ; por otro lado, entre las variables del suelo, se encontró correlación positiva entre pH del suelo y Cd del suelo con  $r=0,904$ , C.E del cotiledón y Cd del suelo y una correlación negativa de C.E de la testa y Cd del suelo.



## **RECOMENDACIONES**

1. Realizar un diagnóstico de los centros de acopio de cada provincia para definir las zonas con mayores concentraciones de cadmio en grano seco.
2. Enfatizar investigaciones de determinación de cadmio en grano fermentado y seco de las variedades en estudio; debido a que esta investigación se centra en grano fresco no se puede recomendar que variedad es la mejor para su exportación.
3. Determinar si existe diferencias en la acumulación de cadmio en la planta y fruto del cacao con la aplicación de fertilizantes orgánicos y químicos.
4. Evaluar si la aplicación de la roca fosfórica como fuente de fosforo para la fertilización orgánica se encontraría interviniendo en la disponibilidad del cadmio en los suelos agrícolas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Appel, C., & Ma, L. (2002). *Concentration, pH, surface charge effects on Cadmium and Lead sorption in three tropical soils*. J. Environ. Qual. 31: 581-589.
- Arevalo G., E., Obando C., M. E., Zuñiga Cernades, L. B., Arevalo Hernández, C. O., Baligar, V., & He, Z. (2016). Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao L.*) en tres regiones del Perú. *SciELOPerú*, 187 pag.
- Asociación Nacional de Exportadores de Cacao - ANECACAO. (2013). *Cacao CCN-51*. Recuperado el 19 de mayo del 2015, disponible en <http://www.anecacao.com/es/cacao-ccn-51/actualizaciones/metalesalimentos.htm>.
- Barona, V. (2009). *Caracterización de clones universales y regionales*. Departamento técnico, Colombia, pp 44.
- Barrueta, R. S. (2013). *Guía de metodos de detección y analisis de cadmio en cacao (Theobroma Cacao L.)*. Lima - Perú.
- Batista, L. (2009). *Guía Técnica el Cultivo de Cacao en la República Dominicana*. Santo Domingo, República Dominicana. CEDAF. pp 250.
- Braudeau, J. (1970). *El cacao*. Traducido por A. Hernández C. Barcelona, España: Editorial Blumé.
- Cardenas, A. (2012). *Presencia de cadmio en algunas parcelas de cacao organico de la Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo*. Tesis Ingeniero Agronomo. Uniersidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María. Perú. 96 p.
- Chaney, R. L. (1978). Accumulation and effects of cadmium on crops. *In: Edited Proc. First International Cadmium Conference. Metals Bulletin Ltd.*, pp.125-140.
- Chavez, A., Mansilla, C., & Gutierrez, R. (2004). *Programa para el desarrollo de la Amazonia*. Ministerio de la Agricultura. Lima-Perú.
- Choi, J. (2006). Geochemical modeling of cadmium sorption to soil as a function of soil properties. *Chemosphere* 63, pp. 1824-1834.
- Comité mixto FAO/OMS de expertos en aditivos para los alimentos - JECFA. (2013). *Guía para la generación de datos requeridos para la realización de la "evaluación de la exposición al cadmio en el cacao y los productos del cacao"*. Quito, Ecuador.

- Cooperativa Agraria Cacaotera ACOPAGRO. (2015). Cosecha, Poscosecha y control de calidad de cacao. *MANUAL BPM*, 20-21.
- Cortés D., D. L., Camacho Tamayo, J. H., & Pérez B., J. H. (2013). Relación espacial entre la Conductividad Eléctrica y algunas propiedades químicas del suelo. *Artículo científico*, 8 pag.
- Covelo, E., Andrade, M., & Vega, F. (2004). Heavy metal adsorption by humic umbrisol:selectivity sequences and competitive sorption kinetics. *Journal of Colloid and Interface Science* 280:, pp. 1-8.
- Diario Oficial de la Unión Europea. (2014). *Reglamento (UE) N° 488/2014 de la comisión que modifica el Reglamento (CE) no 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de cadmio en los productos alimenticios*. p.1-2.
- Días, J., & Avila., M. (1993). *Influência do período de póscolheita do fruto, sistema de revolvimento da massa e tempo de fermentação sobre a acidez do cacau*. Brasil: Agrotropica, Ilheus, V.5 p. 30.
- Diaz, R., & Fernández, D. (1998). *Determinación de algunos parámetros de calidad de la miel en la provincia de Huesca*. Huesca, España. pp 115.
- Domínguez, A. (1984). *Tratado de fertilización*. Madrid-España.: Ediciones Mundi Prensa. p. 94 – 96.
- Dostert, N., Roque, J., Cano, A., La Torre, M., & Weigend, M. (2011). *Hoja botánica: Cacao*. Primera edición. pp 20.
- Duicela, L. A., & Corral, R. (2004). *Caficultura orgánica. Consejo Cafetalero Nacional (Cofenac) – Programa de Modernización de los servicios Agropecuarios (PROMSA)*. Ecuador: Primera Edición. Octubre del 2004. Reservados todos los derechos. Diseño y Diagramación Santiago Torres “STS”. p. 35-55.
- Enríquez, G. A. (1985). *Curso sobre el cultivo del cacao*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba. pp 242.
- Environmental Protection Agency (EPA). (2008). *State of the Environment Report*. EPA, Wexford, Irlanda.
- Garcia, J., & Mendez, F. (2003). Aplicación del análisis multivariante al estudio del comportamiento de suelos de cultivo regados con aguas residuales urbanas no depuradas. *Universidad Politecnica de Valencia. Valencia-España*, 13 pp.

- Gavilánez, L., & Sarmiento, S. (2001). *Diseño y Construcción de un Prototipo de Molino de Rodillos para Cacao*. Tesis Ingeniero Mecánico, Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. pp 22.
- Ghosh, M. & S.P., Singh. (2005). *A comparative study of cadmium phytoextraction by accumulator and weed species*. Environ. Pollut. 133(2), 365-371.
- Gómez, A., & Azocar, A. (2002.). *Áreas potenciales para el desarrollo del cultivo cacao en el Estado Mérida*. Agronomía Tropa.. Vol.52, no.4. p. 403-425.
- Gonzales, A. (2009). *Determinacion y validacion de cadmio total e intercambiable en algunos suelos cacaoteros del departamento de Santander*. Tesis de grado (Quimica) UIS. Escuela de Quimica. Santander-Colombia.
- Hansen, O. (2000). *Cadmium in fertilizers*. Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen.
- INPOFOS. (1993). *Diagnóstico del estado nutricional de los cultivos. Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS)*. Quito – Ecuador. pag 55.
- Instituto de Cultivos Tropicales & Programa Desarrollo Rural Sostenible - ICT/GTZ. (2008). *Monitoreo de la Presencia de Cadmio en Almendras de Cacao, Suelos y Aguas en San Martín y Amazonas*. San Martín. pp 65.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura - IICA. (2013). *Evolución del tema de cadmio en cacao en la OMC y el CODEX*. Bolaños Ledezma, Erick. Programa SAIA-IICA-Sede Central.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2010). *Salinidad del suelo. Aporte de sales con el riego*, 18-19.
- Isaura Rábago, J. (2011). *Capacidad de amortiguación de la contaminación por plomo y por cadmio en suelos de la comunidad de Madrid*. Madrid-España.: Tesis para optar el grado de Doctor. Universidad Complutense de Madrid.
- Kabata, & Pendias, A. (2000). *Trace elements in soils and plants*. Third Edition. CRC Press, Boca Raton, USA. pp 413.
- Kabata-Pendias, A., & Pendias, H. (1985). *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC. Press, Inc. Boca Ratón, Florida.

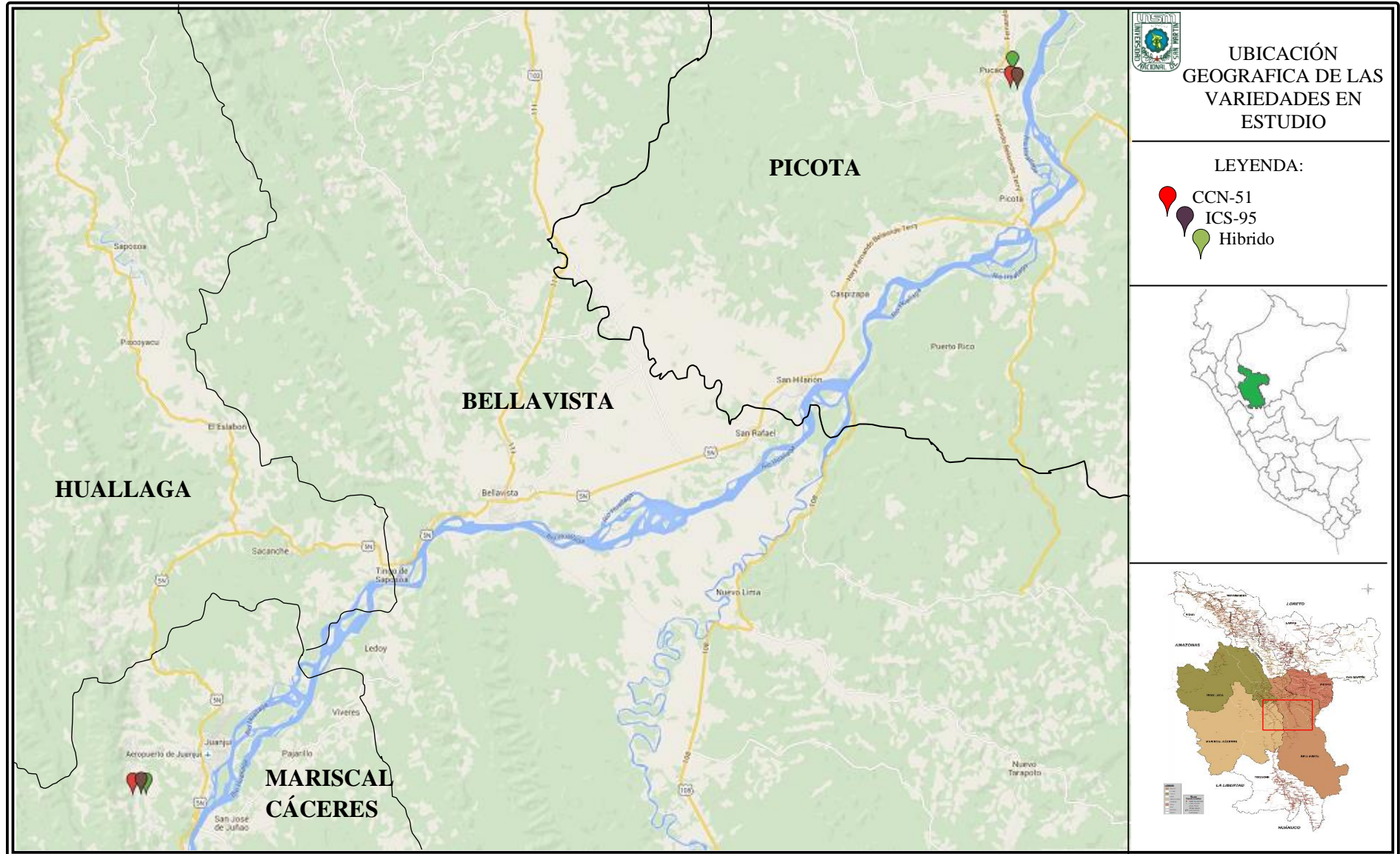
- Liang, H.M.; Lin, T.H.; J.M., Chiou y K.C., Yeh. (2009). *Model evaluation of the phytoextraction potential of heavy metal hyperaccumulators and non-hyperaccumulators*. Environ. Pollut. 157, 1945-1952.
- Lucho, C. A., Álvarez, M., Beltrán, R. I., & Prieto, F. A. (2005). *A multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major and trace elements in agricultural soils in Hidalgo State, Mexico irrigated with raw wastewater*. . Environmental International, Mexico.
- Martínez, G., & Palacio, C. (2010). *Determinación de metales pesados cadmio y plomo en suelos y granos de cacao frescos y fermentados mediante espectroscopia de absorción atómica de llama*. Tesis. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. pp 98.
- Mejia, C. M. (2011). *Metales pesados en suelos y plantas: contaminación y fitotoxicidad*. Departamento Académico de Bromatología y Nutrición. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Huacho, Perú.
- Meyer, B.; B., Biehl; M., Bin Said y R., Samarakoddy. (1989). *Post-harvest pod storage: A method for pulp preconditioning to impair strong nib acidification during cocoa fermentation in Malaysia*. Malasia.
- Ministerio de Comercio Exterior de Ecuador. (2013). *La Unión Europea aprueba niveles máximos de Residuos para el Cadmio en productos elaborados con cacao*. Recuperado el 20 de mayo de 2015, de <http://comercioexterior.gob.ec/la-union-europea-aprueba-ni>.
- Ministerio de Comercio Exterior y Turismo - MINCETUR. (2007). *Diagnóstico y propuesta de parámetros para la estandarización y homogenización del tratamiento post cosecha de cacao*. Perú: Corporación Andina de Fomento Proyecto Competitividad – Programa de Apoyo a la Competitividad, Gobernabilidad e Inversión Social. pp 329.
- Mite, F., Carrillo, M., & Durango, W. (2010). *Monitoreo de la presencia de cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas en Ecuador*. Estación Experimental Tropical Pichilingue- INIAP. Ecuador.
- Organización Mundial de la Salud. (2013). (OMS). *Guía breve de métodos analíticos para determinar las concentraciones de plomo en la sangre*. Ginebra, Suiza.

- Osorio, N. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal*, 4.
- Parr, J., Hornick, S., & Papendick, R. (1992). *Soil quality: attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture*. Amer. J. Altern. Agric. 7(1-2):5-11.
- PROMPERU. (2013). *Informe anual del desenvolvimiento del comercio exterior agroexportador en el Perú*. Departamento de agronegocios. Perú. pp 100.
- Quiroz, J. (2002). *Caracterización molecular y morfológica de variedades superiores con características de Cacao Nacional (Theobroma cacao L.) de Ecuador*. Tesis Mag. Sci. CATTIE. Turrialba, Costa Rica. pp 111.
- Rodríguez, Y., & Rojas, A. (2000). *Efecto del secado solar sobre algunas características físicas y químicas de almendras sin fermentar y fermentadas de cacao (Theobroma cacao L.) criollo y forastero*. Universidad Central de Venezuela, Trabajo de Grado, Maracaibo, Venezuela.
- Rohan, T. (1964). *El beneficio del cacao bruto destinado al mercado*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.
- Rueda Saa, G., Rodríguez Victoria, J., & Madrinan Molina, R. (2011). *Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: perspectivas para Colombia*. Colombia. Acta Agron. 60(3):203-217.
- Sanchez, V. A. (2007). *Caracterización organoléptica del cacao (Theobroma cacao L.) para la selección de árboles con perfiles de sabor de interés comercial*. Quevedos-Las Rios-Ecuador. Tesis Ing. Agr. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. pp 20 y 46.
- Singh, B. R., R. Narval, P., A. Jeng, S., & Almas, A. (1995). Crop uptake of cadmium in soils naturally high in metals at different pH levels. *Commun. Soil Sci. Plan Anal.* 26, pp. 2123-2142.
- Soria, V. J. (1966). *Principales variedades de cacao cultivadas en América Tropical*. Turrialba, Costa Rica 16(3): 261 – 266.

## **ANEXOS**

**Anexo 1**

*Ubicación geográfica de las muestras recolectadas.*





## Anexo 2

*Tratamientos, factores y combinaciones en estudio de investigación.*

Tratamiento	Factor A	Factor B	Factor C	Combinaciones	Codificación
T1	A1	B1	C1	A1xB1xC1	J/ICS/T
T2	A1	B1	C2	A1xB1xC2	J/ICS/C
T3	A1	B2	C1	A1xB2xC1	J/CCN/T
T4	A1	B2	C2	A1xB2xC2	J/CCN/C
T5	A1	B3	C1	A1xB2xC1	J/HB/T
T6	A1	B3	C2	A1xB2xC2	J/HB/C
T7	A2	B1	C1	A2xB1xC1	P/ICS/T
T8	A2	B1	C2	A2xB1xC2	P/ICS/C
T9	A2	B2	C1	A2xB2xC1	P/CCN/T
T10	A2	B2	C2	A2xB2xC2	P/CCN/C
T11	A2	B3	C1	A2xB3xC1	P/HB/T
T12	A2	B3	C2	A2xB3xC2	P/HB/C

Fuente: Elaboración propia

### Leyenda:

#### Factor A: Zonas de estudio

A1: Juanjuí

A2: Pucacaca

#### Factor B: Variedades de cacao

B1: ICS-95

B2: CCN-51

B3: Híbrido

#### Factor C: Partes del grano

C1: Testa

C2: Cotiledón

### Codificación

J/ICS/T: Juanjuí / ICS-95 / Testa

J/ICS/C: Juanjuí / ICS-95 / Cotiledón

J/CCN/T: Juanjuí / CCN-51 / Testa

J/CCN/C: Juanjuí / CCN-51 / Cotiledón

J/HB/T: Juanjuí / Híbrido / Testa

J/HB/C: Juanjuí / Híbrido / Cotiledón

P/ICS/T: Pucacaca / ICS-95 / Testa

P/ICS/C: Pucacaca / ICS-95 / Cotiledón

P/CCN/T: Pucacaca / CCN-51 / Testa

P/CCN/C: Pucacaca / CCN-51 / Cotiledón

P/HB/T: Pucacaca / Híbrido / Testa

P/HB/C: Pucacaca / Híbrido / Cotiledón

**Anexo 3**

Anova para análisis de cadmio en las partes del grano.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Contenido de cadmio	36	0,41	0,14	40,97

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamiento	0,01	11	0,00051	1,5	0,1964
Zonas	0,00001	1	0,00001	0,03	0,865
Variedades	0,0037	2	0,0018	5,42	0,0114
Partes del grano	0,00077	1	0,00077	2,28	0,1439
Zonas*Variedades	0,00092	2	0,00046	1,35	0,2776
Zonas*Partes del grano	0,00012	1	0,00012	0,37	0,5501
Variedades*Partes del grano	0,000038	2	0,000019	0,06	0,9454
Zonas*Variedades*Partes del grano	0,00005	2	0,000025	0,07	0,9298
Error	0,01	24	0,00034		
Total	0,01	35			

Test: Tuckey Alfa=0,05 DMS=0,01268

Error: 0,0003 gl: 24

Zonas	Medias	n	
Juanjuí	0,05	18	A
Pucacaca	0,04	18	A

Test: Tuckey Alfa=0.05 DMS=0.01878

Error: 0.0003 gl: 24

Variedades	Medias	n	
HIBRIDO	0,05	12	A
ICS-95	0,05	12	A
CCN51	0,03	12	B

Test: Tuckey Alfa=0.05 DMS=0.01268

Error: 0.0003 gl: 24

Partes del grano	Medias	n	
Cotiledón	0,05	18	A
Testa	0,04	18	A

Test: Tuckey Alfa=0,05 DMS=0,03289

Error: 0,0003 gl: 24

Zonas	Variedades	Medias	n	
Juanjuí	HIBRIDO	0,06	6	A
Pucacaca	ICS-95	0,06	6	A
Pucacaca	HIBRIDO	0,05	6	A
Juanjuí	ICS-95	0,04	6	A
Juanjuí	CCN51	0,03	6	A
Pucacaca	CCN51	0,03	6	A

Test: Tuckey Alfa=0,05 DMS=0,02396  
 Error: 0,0003 gl: 24

Zonas	Partes del grano	Medias	n	
Juanjuí	Cotiledón	0,05	9	A
Pucacaca	Cotiledón	0,05	9	A
Pucacaca	Testa	0,04	9	A
Juanjuí	Testa	0,04	9	A

Test: Tuckey Alfa=0,05 DMS=0,03289  
 Error: 0,0003 gl: 24

Variedades	Partes del grano	Medias	n		
HIBRIDO	Cotiledón	0,06	6	A	
ICS-95	Cotiledón	0,05	6	A	B
HIBRIDO	Testa	0,05	6	A	B
ICS-95	Testa	0,05	6	A	B
CCN51	Cotiledón	0,03	6	A	B
CCN51	Testa	0,03	6		B

Test: Tuckey Alfa=0,05 DMS=0,05424  
 Error: 0,0003 gl: 24

Zonas	Variedades	Partes del grano	Medias	n	
Juanjuí	HIBRIDO	Cotiledón	0,07	3	A
Pucacaca	ICS-95	Cotiledón	0,06	3	A
Pucacaca	ICS-95	Testa	0,06	3	A
Juanjuí	HIBRIDO	Testa	0,05	3	A
Pucacaca	HIBRIDO	Cotiledón	0,05	3	A
Juanjuí	ICS-95	Cotiledón	0,05	3	A
Pucacaca	HIBRIDO	Testa	0,04	3	A
Juanjuí	CCN51	Cotiledón	0,04	3	A
Juanjuí	ICS-95	Testa	0,04	3	A
Pucacaca	CCN51	Cotiledón	0,03	3	A
Pucacaca	CCN51	Testa	0,03	3	A
Juanjuí	CCN51	Testa	0,03	3	A

#### Anexo 4

Anova para análisis de pH en las partes del grano.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
pH	36	0,99	0,98	4,02

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamiento	68,38	11	6,22	144,89	<0,0001
Zonas	0,01	1	0,01	0,15	0,7027
Variedades	0,3	2	0,15	3,49	0,0468
Partes del grano	67,84	1	67,84	1581,31	<0,0001
Zonas*Variedades	0,001	2	0,00052	0,01	0,9878
Zonas*Partes del grano	0,06	1	0,06	1,34	0,258
Variedades*Partes del grano	0,07	2	0,03	0,77	0,4736
Zonas*Variedades*Partes del grano	0,1	2	0,05	1,2	0,3185
Error	1,03	24	0,04		
Total	69,41	35			

Test: Tuckey Alfa=0,05 DMS=0,14251

Error: 0,0429 gl: 24

Zonas	Medias	n	
Pucacaca	5,16	18	A
Juanjuí	5,14	18	A

Test: Tuckey Alfa=0,05 DMS=0,21119

Error: 0,0429 gl: 24

Variedades	Medias	n		
HIBRIDO	5,26	12	A	
ICS-95	5,15	12	A	B
CCN51	5,04	12		B

Test: Tuckey Alfa=0,05 DMS=0,14251

Error: 0,0429 gl: 24

Partes del grano	Medias	n		
Cotiledón	6,52	18	A	
Testa	3,78	18		B

Test: Tuckey Alfa=0,05 DMS=0,36978

Error: 0,0429 gl: 24

Zonas	Variedades	Medias	n	
Pucacaca	HIBRIDO	5,27	6	A
Juanjuí	HIBRIDO	5,26	6	A
Pucacaca	ICS-95	5,17	6	A
Juanjuí	ICS-95	5,13	6	A
Pucacaca	CCN51	5,05	6	A
Juanjuí	CCN51	5,02	6	A

Test: Tuckey Alfa=0,05 DMS=0,26934  
 Error: 0,0429 gl: 24

<b>Zonas</b>	<b>Partes del grano</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	
<b>Juanjuí</b>	<b>Cotiledón</b>	6,55	9	A
<b>Pucacaca</b>	<b>Cotiledón</b>	6,49	9	A
<b>Pucacaca</b>	<b>Testa</b>	3,83	9	B
<b>Juanjuí</b>	<b>Testa</b>	3,72	9	B

Test: Tuckey Alfa=0,05 DMS=0,36978  
 Error: 0,0429 gl: 24

<b>Variedades</b>	<b>Partes del grano</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	
<b>HIBRIDO</b>	<b>Cotiledón</b>	6,58	6	A
<b>ICS-95</b>	<b>Cotiledón</b>	6,52	6	A
<b>CCN51</b>	<b>Cotiledón</b>	6,46	6	A
<b>HIBRIDO</b>	<b>Testa</b>	3,94	6	B
<b>ICS-95</b>	<b>Testa</b>	3,78	6	B
<b>CCN51</b>	<b>Testa</b>	3,61	6	B

Test: Tuckey Alfa=0,05 DMS=0,60977  
 Error: 0,0429 gl: 24

<b>Zonas</b>	<b>Variedades</b>	<b>Partes del grano</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	
<b>Juanjuí</b>	<b>HIBRIDO</b>	<b>Cotiledón</b>	6,64	3	A
<b>Juanjuí</b>	<b>ICS-95</b>	<b>Cotiledón</b>	6,59	3	A
<b>Pucacaca</b>	<b>HIBRIDO</b>	<b>Cotiledón</b>	6,52	3	A
<b>Pucacaca</b>	<b>CCN51</b>	<b>Cotiledón</b>	6,51	3	A
<b>Pucacaca</b>	<b>ICS-95</b>	<b>Cotiledón</b>	6,45	3	A
<b>Juanjuí</b>	<b>CCN51</b>	<b>Cotiledón</b>	6,41	3	A
<b>Pucacaca</b>	<b>HIBRIDO</b>	<b>Testa</b>	4,01	3	B
<b>Pucacaca</b>	<b>ICS-95</b>	<b>Testa</b>	3,88	3	B
<b>Juanjuí</b>	<b>HIBRIDO</b>	<b>Testa</b>	3,87	3	B
<b>Juanjuí</b>	<b>ICS-95</b>	<b>Testa</b>	3,67	3	B
<b>Juanjuí</b>	<b>CCN51</b>	<b>Testa</b>	3,63	3	B
<b>Pucacaca</b>	<b>CCN51</b>	<b>Testa</b>	3,59	3	B

## Anexo 5

Anova para conductividad eléctrica en las partes del grano.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C.E	36	0,99	0,98	5,69

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
<b>Tratamiento</b>	9210464,08	11	837314,92	173,74	<0,0001
<b>Zonas</b>	4,69	1	4,69	0,00097	0,9754
<b>Variedades</b>	3829,17	2	1914,58	0,4	0,6765
<b>Partes del grano</b>	9123420,25	1	9123420,25	1893,08	<0,0001
<b>Zonas*Variedades</b>	8517,72	2	4258,86	0,88	0,4263
<b>Zonas*Partes del gran...</b>	50550,03	1	50550,03	10,49	0,0035
<b>Variedades*Partes del...</b>	13707,17	2	6853,58	1,42	0,2608
<b>Zonas*Variedades*Parte...</b>	10435,06	2	5217,53	1,08	0,3547
<b>Error</b>	115664,67	24	4819,36		
<b>Total</b>	9326128,75	35			

Test: Tuckey Alfa=0,05 DMS=47,76311

Error: 4819,3611 gl: 24

Zonas	Medias	n	
<b>Pucacaca</b>	1220,11	18	A
<b>Juanjuí</b>	1219,39	18	A

Test: Tuckey Alfa=0,05 DMS=70,78232

Error: 4819,3611 gl: 24

Variedades	Medias	n	
<b>ICS-95</b>	1234,33	12	A
<b>CCN51</b>	1212,67	12	A
<b>HIBRIDO</b>	1212,25	12	A

Test: Tuckey Alfa=0,05 DMS=47,76311

Error: 4819,3611 gl: 24

Partes del grano	Medias	n	
<b>Cotiledón</b>	1723,17	18	A
<b>Testa</b>	716,33	18	B

Test: Tuckey Alfa=0.05 DMS=123.93632

Error: 4819,3611 gl: 24

Zonas	Variedades	Medias	n	
<b>Pucacaca</b>	<b>ICS-95</b>	1254,50	6	A
<b>Juanjuí</b>	<b>CCN51</b>	1230,00	6	A
<b>Juanjuí</b>	<b>ICS-95</b>	1214,17	6	A
<b>Juanjuí</b>	<b>HIBRIDO</b>	1214,00	6	A
<b>Pucacaca</b>	<b>HIBRIDO</b>	1210,50	6	A
<b>Pucacaca</b>	<b>CCN51</b>	1195,33	6	A

Test: Tuckey Alfa=0,05 DMS=90,27124  
 Error: 4819,3611 gl: 24

Zonas	Partes del grano	Medias	n		
Pucacaca	Cotiledón	1761,00	9	A	
Juanjuí	Cotiledón	1685,33	9	A	
Juanjuí	Testa	753,44	9		B
Pucacaca	Testa	679,22	9		B

Test: Tuckey Alfa=0,05 DMS=123,93632  
 Error: 4819,3611 gl: 24

Variedades	Partes del grano	Medias	n		
CCN51	Cotiledón	1742,00	6	A	
ICS-95	Cotiledón	1733,00	6	A	
HIBRIDO	Cotiledón	169450	6	A	
ICS-95	Testa	735,67	6		B
HIBRIDO	Testa	730,00	6		B
CCN51	Testa	683,33	6		B

Test: Tuckey Alfa=0,05 DMS=204,37093  
 Error: 4819,3611 gl: 24

Zonas	Variedades	Partes del grano	Medias	n		
Pucacaca	ICS-95	Cotiledón	1805,67	3	A	
Juanjuí	CCN51	Cotiledón	1745,67	3	A	
Pucacaca	HIBRIDO	Cotiledón	1739,00	3	A	
Pucacaca	CCN51	Cotiledón	1738,33	3	A	
Juanjuí	ICS-95	Cotiledón	1660,33	3	A	
Juanjuí	HIBRIDO	Cotiledón	1650,00	3	A	
Juanjuí	HIBRIDO	Testa	778,00	3		B
Juanjuí	ICS-95	Testa	768,00	3		B
Juanjuí	CCN51	Testa	714,33	3		B
Pucacaca	ICS-95	Testa	703,33	3		B
Pucacaca	HIBRIDO	Testa	682,00	3		B
Pucacaca	CCN51	Testa	652,33	3		B

**Anexo 6***Anova para análisis de cadmio en el suelo.*

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
<b>Cd</b>	18	0,94	0,91	8,06

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
<b>Tratamiento</b>	0,31	5	0,06	36,96	<0,0001
<b>Zonas</b>	0,27	1	0,27	157,79	<0,0001
<b>Variedades</b>	0,05	2	0,02	13,47	0,0009
<b>Zonas*Variedades</b>	0,00016	2	0,000079	0,05	0,9544
<b>Error</b>	0,02	12	0,0017		
<b>Total</b>	0,33	17			

Test: Tuckey Alfa=0,05 DMS=0,04212

Error: 0,0017 gl: 12

Zonas	Medias	n		
<b>Pucacaca</b>	0,63	9	A	
<b>Juanjuí</b>	0,39	9		B

Test: Tuckey Alfa=0,05 DMS=0,06315

Error: 0,0017 gl: 12

Variedades	Medias	n		
<b>ICS-95</b>	0,57	6	A	
<b>CCN-51</b>	0,51	6	A	B
<b>Hibrido</b>	0,45	6		B

Test: Tuckey Alfa=0,05 DMS=0,11246

Error: 0,0017 gl: 12

Zonas	Variedades	Medias	n			
<b>Pucacaca</b>	<b>ICS-95</b>	0,69	3	A		
<b>Pucacaca</b>	<b>CCN-51</b>	0,63	3	A	B	
<b>Pucacaca</b>	<b>Hibrido</b>	0,57	3		B	
<b>Juanjuí</b>	<b>ICS-95</b>	0,45	3			C
<b>Juanjuí</b>	<b>CCN-51</b>	0,39	3			C
<b>Juanjuí</b>	<b>Hibrido</b>	0,33	3			D



**Anexo 7***Anova para análisis de pH en el suelo.*

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
<b>pH</b>	18	0,98	0,97	2,78

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
<b>Tratamiento</b>	16,32	5	3,26	103,62	<0,0001
<b>Zonas</b>	13,06	1	13,06	414,55	<0,0001
<b>Variedades</b>	1,74	2	0,87	27,61	<0,0001
<b>Zonas*Variedades</b>	1,52	2	0,76	24,,17	0,0001
<b>Error</b>	0,38	12	0,03		
<b>Total</b>	16,7	17			

Test: Tuckey Alfa=0,05 DMS=0,18232

Error: 0,0315 gl: 12

Zonas	Medias	n		
<b>Pucacaca</b>	7,22	9	A	
<b>Juanjuí</b>	5,52	9		B

Test: Tuckey Alfa=0,05 DMS=0,27336

Error: 0,0315 gl: 12

Variedades	Medias	n		
<b>ICS-95</b>	6,81	6	A	
<b>CCN-51</b>	6,18	6		B
<b>Hibrido</b>	6,13	6		B

Test: Tuckey Alfa=0,05 DMS=0,48679

Error: 0,0315 gl: 12

Zonas	Variedades	Medias	n		
<b>Pucacaca</b>	<b>CCN-51</b>	7,26	3	A	
<b>Pucacaca</b>	<b>ICS-95</b>	7,25	3	A	
<b>Pucacaca</b>	<b>Hibrido</b>	7,16	3	A	
<b>Juanjuí</b>	<b>ICS-95</b>	6,37	3		B
<b>Juanjuí</b>	<b>Hibrido</b>	5,10	3		C
<b>Juanjuí</b>	<b>CCN-51</b>	5,09	3		C

## Anexo 8

Anova para conductividad eléctrica en el suelo.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C.E	18	0,89	0,85	7,43

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamiento	39487,99	5	7897,60	20,14	<0,0001
Zonas	7348,36	1	7348,36	18,74	0,0010
Variedades	842,45	2	421,23	1,07	0,3722
Zonas*Variedades	31297,18	2	15648,59	39,91	<0,0001
Error	4704,81	12	392,07		
Total	44192,80	17			

Test: Tuckey Alfa=0,05 DMS=20,34192

Error: 392,0678 gl: 12

Zonas	Medias	n	
Pucacaca	286,57	9	A
Juanjuí	246,16	9	B

Test: Tuckey Alfa=0,05 DMS=30,49943

Error: 392,0678 gl: 12

Variedades	Medias	n	
CCN-51	274,08	6	A
Hibrido	267,56	6	A
ICS-95	257,45	6	A


Test: Tuckey Alfa=0,05 DMS=54,31315

Error: 392,0678 gl: 12

Zonas	Variedades	Medias	n	
Pucacaca	Hibrido	346,52	3	A
Juanjuí	CCN-51	287,64	3	B
Juanjuí	ICS-95	262,23	3	B
Pucacaca	CCN-51	260,51	3	B
Pucacaca	ICS-95	252,67	3	B
Juanjuí	Hibrido	188,60	3	C

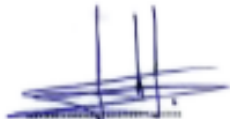
## Anexo 9

Informe del análisis de cadmio y conductividad eléctrica en las partes del grano.

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO</b>		
<b>FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS</b>		
<b>ANÁLISIS DE CADMIO EN CACAO (COTILEDÓN Y TESTA)</b>		
<b>SOLICITANTE:</b> GENOVITH VENTURO MINAURO	<b>FECHA DE MUESTRO:</b> 04/08/2015	
<b>TESISTA :</b> GENOVITH VENTURO MINAURO	<b>FECHA DE REPORTE:</b> 04/08/2015	
<b>PROVINCIA:</b> MARISCAL CÁCERES/PICOTA	<b>CULTIVO:</b> CACAO COTILEDÓN Y TESTA	
<b>SECTORES:</b> CHAMBIRA/PUCACACA		
<b>PRIMER LOTE</b>		
MUESTRA (COTILEDÓN)	Cd (mg/kg)	C.E. $\mu\text{s}/\text{cm}$
R1/C.E. J/CCN - S1/C	-	256.96
R1 /C.E. J/ICS - 95/C	-	289.56
R1/C.E. JHB/C	-	321.05
R1/Cd J/CCN - S1/C	0.032	-
R1 /Cd J/ICS - 95/C	0.045	-
R1/Cd J/HB/C	0.068	-
MUESTRA (TESTA)		
R1/C.E. J/ICS - 95/T	-	310.52
R1/C.E. J/CCN - S1/T	-	298.56
R1/C.E. J/HB/T	-	356.23
R1/Cd J/ICS - 95/T	0.025	-
R1/Cd J/CCN - S1/T	0.012	-
R1/Cd J/HB/T	0.056	-
<b>SEGUNDO LOTE</b>		
MUESTRA (COTILEDÓN)	Cd (mg/kg)	C.E. $\mu\text{s}/\text{cm}$
R1/C.E. P/HB/C	-	318.12
R1/C.E. P/CCN - S1/C	-	264.89
R1/Cd P/HB/C	0.053	-
R1/Cd P/CCN - S1/C	0.025	-
MUESTRA (TESTA)		
R1/C.E. P/HB/T	-	325.12
R1/C.E. P/CCN - S1/T	-	269.35
R1/Cd P/HB/T	0.047	-
R1/Cd P/CCN - S1/T	0.013	-
<b>METODOLOGÍAS</b>		
<b>Determinación de Cadmio:</b> Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA) de Llama Aire - Acetileno /Digestión Húmeda solución Nítrica - Perclórica		
<b>Determinación de Conductividad Eléctrica:</b> Conductímetro solución ebulida 1:10		
 Ing. Carlos Iván Gálvez Lab. de Análisis de Suelos y Agua LIMA - PERÚ Facultad de Ciencias Agrarias		

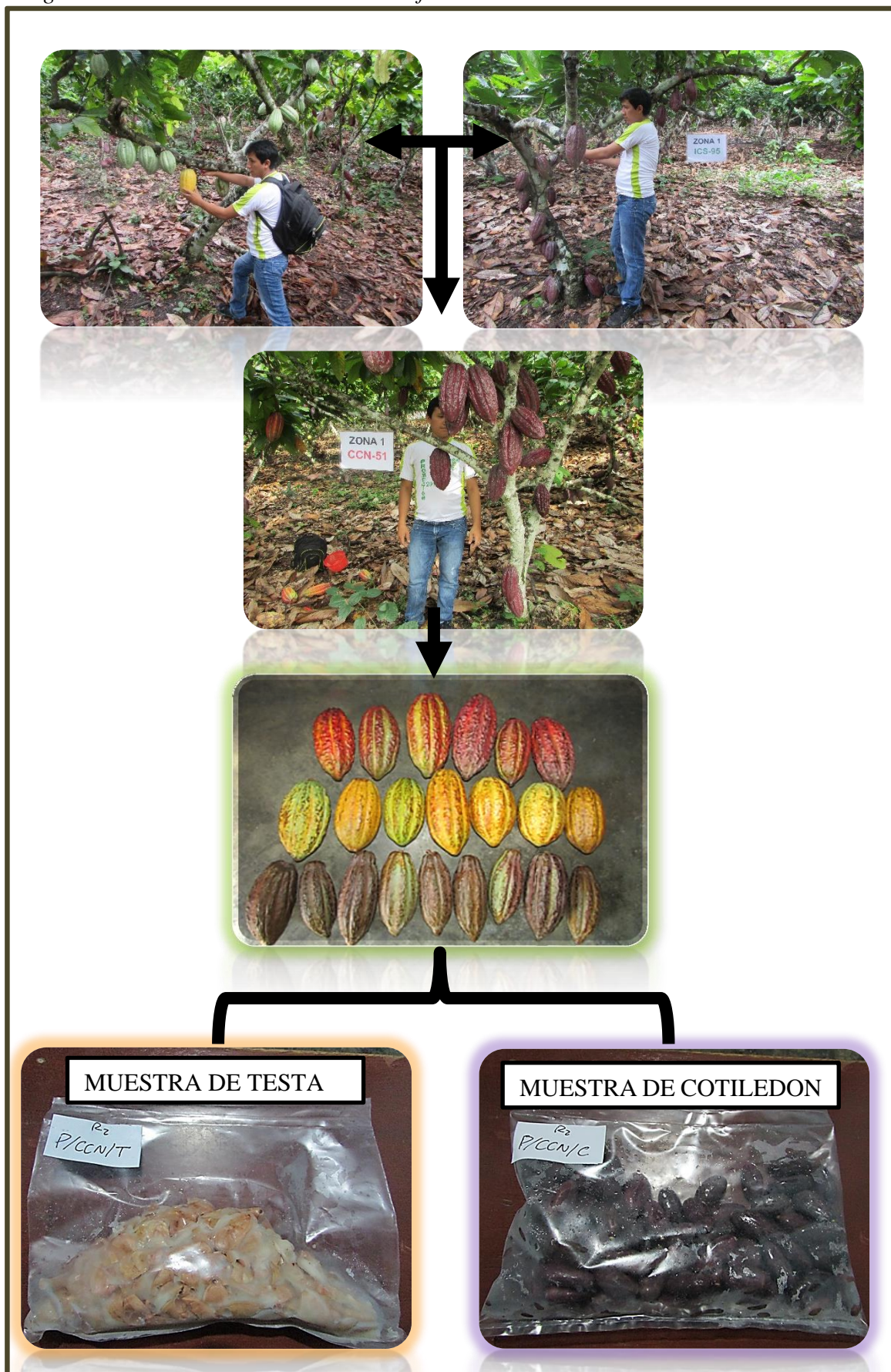
**Anexo 10**

*Informe del análisis de contenido de cadmio y conductividad eléctrica en el suelo.*

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO</b>	
<b>FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS</b>	
<b>DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN SUELOS</b>	
<b>SOLICITANTE:</b> GENOVITH VENTURO MINAURO	<b>FECHA DE MUESTREO:</b> 04/08/2015
<b>TESISTA :</b> GENOVITH VENTURO MINAURO	<b>FECHA DE REPORTE:</b> 08/09/2015
<b>PROVINCIA:</b> MARISCAL CÁCERES/PICOTA	
<b>SECTORES:</b> CHAMBIRA/PUCACACA	
<b>MUESTRA DE SUELO</b>	<b>C.E. <math>\mu\text{s/cm}</math></b>
(R1) S/J/HB	178.56
(R1) S/J/ICS - 95	245.89
(R1) S/J/CCN - 51	278.96
(R1) S/P/CCN - 51	256.89
(R1) S/P/HIBRIDO	325.01
(R1) S/P/ICS - 95	236.12
(R2) S/P/ICS - 95	198.56
(R2) S/P/HB	213.56
(R2) S/P/CCN - 51	256.48
<b>METODOLOGÍA</b>	
<b><u>Determinación de Conductividad Eléctrica:</u> Conductímetro</b>	
<b>solución 1:2.5</b>	
 <b>Ing. Carlos Verde Girbau</b> <small>Lab. de Análisis de Suelos y Agua UNSM - TARAPOTO Facultad de Ciencias Agrarias</small>	

Anexo 11

Diagrama de recolección de muestras de fruto de cacao.





Anexo 12

Diagrama de recolección de muestras de suelo.





**Anexo 13**

Diagrama del análisis de pH y conductividad eléctrica de las muestras.





## Anexo 14

Diagrama del análisis de cadmio en las partes del grano fresco de cacao.

