

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



**“CORRELACIÓN DEL ÍNDICE DE FERMENTACIÓN DE CACAO
(*Theobroma cacao* L.) CCN 51 CON LA CONDUCTIVIDAD
ELÉCTRICA DEL LÍQUIDO LIXIVIADO”**

Presentada por:

ELIZABETH MILAGROS VILLANUEVA QUEJIA

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

Lima – Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

**“CORRELACIÓN DEL ÍNDICE DE FERMENTACIÓN DE CACAO
(*Theobroma cacao* L.) CCN51 CON LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL
LÍQUIDO LIXIVIADO”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAGÍSTER
SCIENTIAE**

Presentada por:

ELIZABETH MILAGROS VILLANUEVA QUEJIA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Américo Guevara Pérez
PRESIDENTE

Mg.Sc. Gabriela Chire Fajardo
ASESOR

Mg.Sc. Nubia Martínez Guerrero
CO-ASESOR

Mg.Sc. Eduardo Morales Soriano
MIEMBRO

Dr. Milber Ureña Peralta
MIEMBRO

DEDICATORIA

Con todo mi amor y cariño a mis hijas Luciana y Camila.

A mis padres Luis y Feli por sus consejos y amor.

A mi esposo Yoni por su apoyo y paciencia.

AGRADECIMIENTOS

- Al Dr. Milber Ureña, por todo su tiempo y dedicación desde el inicio hasta la culminación de este trabajo de investigación.
- A la Dra. Gabriela Chire, asesora de este trabajo de investigación, por sus consejos, dedicación y apoyo incondicional hasta la culminación del mismo.
- A la Mg Sc. Nubia Martínez por todo su apoyo y aportes durante esta investigación.
- Al Dr. Américo Guevara por el tiempo y aporte brindando para mejorar este trabajo de investigación.
- Dr. Eduardo Morales por contribuir en la mejora de este trabajo.
- A Diana Nolzco, colega y amiga por todo su apoyo.
- A todas las personas que siempre estuvieron al pendiente de mis avances y que siempre me apoyaron.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. GENERALIDADES DEL CACAO	3
2.2. LA GENÉTICA DEL CACAO	4
2.2.1 GENOTIPO CCN 51	7
2.2.2. DESCRIPTORES DEL CACAO CCN 51	8
2.3. PRODUCCIÓN DE CACAO EN EL PERÚ	12
2.4 MANEJO POSCOSECHA DEL CACAO	15
2.5 PRUEBA DE CORTE	18
2.6. METODOLOGÍAS PARA EVALUAR EL ÍNDICE DE FERMENTACIÓN	19
2.6.1 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	19
2.7 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PRUEBA DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO	20
2.8 COMPOSICIÓN ELEMENTAL EN GRANOS DE CACAO	23
III. MATERIALES Y MÉTODOS	29
13.1 LUGAR DE EJECUCIÓN	29
3.2 MATERIA PRIMA	29
3.3 MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS	29
3.3.1 MATERIALES	29
3.3.2 EQUIPOS	30
3.3.3 REACTIVOS	30
3.4 MÉTODOS DE ANÁLISIS	31
3.4.1 ÍNDICE DE GRANO	31
3.4.2 DIMENSIONES Y RELACIÓN LARGO/ESPESOR DEL GRANO	31
3.4.3 PRUEBA DE CORTE	31

3.4.4 COMPOSICIÓN PROXIMAL.....	32
3.4.5 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL LÍQUIDO LIXIVIADO QUE CONTENÍAN LOS GRANOS DE CACAO.....	32
3.4.6 ANÁLISIS DE MINERALES.....	33
3.5 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	33
3.6 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	34
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	36
4.1. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y FISICOQUÍMICAS DEL CACAO.....	36
4.1.1. ÍNDICE DE GRANO.....	36
4.1.2. DIMENSIONES Y RELACIÓN LARGO/ESPESOR (L/e).....	37
4.1.3. COMPOSICIÓN PROXIMAL DE GRANOS DE CACAO FERMENTADOS Y SECOS.....	39
4.1.4. ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN DE MINERALES.....	42
4.2.1. ÍNDICE DE FERMENTACIÓN.....	46
4.2.3. RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE FERMENTACIÓN Y LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	50
4.3. ANÁLISIS DE LIXIVIADOS.....	52
4.3.1. COMPOSICIÓN DE CENIZAS Y GRASA CRUDA EN GRANOS DE CACAO LIXIVIADOS.....	52
4.3.2. MINERALES EN EL LÍQUIDO LIXIVIADO DE GRANOS DE CACAO.....	53
4.4. VARIACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA CON RESPECTO AL TIEMPO DE FERMENTACIÓN.....	57
4.5 CORRELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE FERMENTACIÓN Y EL TIEMPO.....	58
4.6. CORRELACIÓN ENTRE EL TIEMPO DE FERMENTACIÓN Y LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	60
4.7. CORRELACIÓN ENTRE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y EL ÍNDICE DE FERMENTACIÓN.....	61
V. CONCLUSIONES.....	64

VI. RECOMENDACIONES	65
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
VIII. ANEXOS	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Unidades utilizadas en conductimetría.....	20
Tabla 2: Composición de minerales (mg/100 g) en granos de cacao con diferentes días de fermentación.....	26
Tabla 3: Índice de grano de genotipo CCN 51 de diferente lugar de procedencia.....	36
Tabla 4: Dimensiones de largo, ancho, espesor y relación L/e de granos de cacao	38
Tabla 5: Composición proximal de los granos de cacao fermentados y secos de genotipo CCN 51.....	40
Tabla 6: Contenido de minerales de granos de cacao CCN 51	45
Tabla 7: Índice de fermentación por prueba de corte de granos de cacao CCN 51 de diferente procedencia.....	47
Tabla 8: Conductividad eléctrica del medio acuoso de granos enteros de cacao	49
Tabla 9: Composición de grasa cruda y cenizas de granos de cacao lixiviados.....	53
Tabla 10: Contenido de minerales en el líquido lixiviado.....	55
Tabla 11: Valores estimados del contenido de minerales en los granos de cacao después del lixiviado.....	55
Tabla 12: Conductividad eléctrica del lixiviado de granos de cacao procedentes de Uchiza con respecto a los días de fermentación.	57
Tabla 13: Estimación de los índices de fermentación por prueba de corte y calculado.	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mazorcas de cacao.	4
Figura 2. Cacao criollo.	5
Figura 3. Cacao Forastero del Alto Amazonas.....	6
Figura 4. Localización del origen de los diez grupos genéticos.....	7
Figura 5. Origen del genotipo CCN 51.....	8
Figura 6. Flor de genotipo CCN 51.....	9
Figura 7. Mazorca inmadura, madura y corte longitudinal del genotipo CCN 51.	10
Figura 8. Semillas de cacao CCN 51.....	11
Figura 9. Árbol y fruto de cacao CCN 51.	12
Figura 10. Producción de cacao según región, porcentaje total producido en el año 2017.	13
Figura 11. Rendimiento del cacao en grano según región (kg/ha).	14
Figura 12. Comportamiento de la producción nacional de cacao en grano.....	15
Figura 13. Valores de conductividad eléctrica (mS/cm) del agua de remojo de 12 lotes de semillas de maíz (<i>Zea mays</i>) durante 15 períodos de inmersión.	22
Figura 14. Conductividad eléctrica con diferentes cantidades de granos de cacao (15, 20 y 25) y el índice de fermentación (%).	24
Figura 15. Esquema experimental para evaluación de los granos de cacao genotipo CCN 51.	35
Figura 16. Índices de fermentación por prueba de corte y conductividad eléctrica 51	51
Figura 17. Modelo de correlación del índice de fermentación por prueba de corte de los granos de cacao con el tiempo.....	59
Figura 18. Modelo de correlación del tiempo de fermentación con la conductividad eléctrica del lixiviado de granos de cacao.....	60
Figura 19. Modelo de correlación del índice de fermentación y conductividad eléctrica... 61	61

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: DATOS DEL ÍNDICE DE GRANO DE GRANOS DE CACAO CCN 51.....	82
ANEXO 2: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL ÍNDICE DE GRANO DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$).....	83
ANEXO 3: DATOS DE LA EVALUACIÓN DE LAS DIMENSIONES DE GRANOS DE CACAO CCN 51.....	84
ANEXO 4: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LARGO DE GRANO DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$).....	85
ANEXO 5: DATOS DE LA COMPOSICIÓN PROXIMAL DE GRANOS DE CACAO CON CÁSCARA	89
ANEXO 6: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE PROTEÍNA CRUDA EN BASE SECA, DE GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$)	90
ANEXO 7: DATOS DEL ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN DE MINERALES DE GRANOS DE CACAO CON CÁSCARA DE DIFERENTE PROCEDENCIA	95
ANEXO 8: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE CALCIO EN GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$).....	96
ANEXO 9: DATOS DE ÍNDICE DE FERMENTACIÓN (%) DE GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA	102
ANEXO 10: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL ÍNDICE DE FERMENTACIÓN DE GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$)	103
ANEXO 11: VALORES DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON 20 GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA.....	104
ANEXO 12: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON 20 GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$).....	105
ANEXO 13: VALORES DE COMPOSICIÓN PROXIMAL DE GRANOS DE CACAO LIXIVIADOS DE DIFERENTE PROCEDENCIA	106
ANEXO 14: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE PROTEINA CRUDA, EN BASE SECA, DEL GRANO DE CACAO LIXIVADOS DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$)	107

ANEXO 15: VALORES DEL CONTENIDO DE MINERALES DE LIQUIDO LIXIVIADO DE GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA.....	109
ANEXO 16: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE CALCIO DEL LÍQUIDO LIXIVIADO DE GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$)	110
ANEXO 17: VALORES DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA DEL LÍQUIDO LIXIVIADO DE GRANOS DE CACAO PROCEDENTES DE UCHIZA - SAN MARTÍN	116
ANEXO 18: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL ÍNDICE DE FERMENTACIÓN Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN EL LÍQUIDO LIXIVIADO DE GRANOS DE CACAO PROCEDENTES DE UCHIZA ($p \leq 0,05$).....	117
ANEXO 19: ÍNDICE DE FERMENTACIÓN DE GRANOS DE CACAO PROCEDENTES DE UCHIZA- SAN MARTÍN.....	118
ANEXO 20: VALORES DE ÍNDICE DE FERMENTACIÓN DE GRANOS DE CACAO PROCEDENTES DE UCHIZA- SAN MARTÍN	119
ANEXO 21: VALORES DE ÍNDICE DE FERMENTACIÓN DE GRANOS DE CACAO PROCEDENTES DE UCHIZA- SAN MARTÍN	121
ANEXO 22: VALORES DE ÍNDICE DE FERMENTACIÓN DE GRANOS DE CACAO PROCEDENTES DE UCHIZA- SAN MARTÍN	123

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo, correlacionar el índice de fermentación de cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN 51 con la conductividad eléctrica del líquido lixiviado. El análisis físico determinó valores promedio de índice de grano $1,51 \pm 0,02$ g/grano, ancho, largo, espesor y relación L/e $13,40 \pm 0,33$; $23,87 \pm 0,56$; $9,12 \pm 0,31$ y $2,62 \pm 0,10$ mm, respectivamente. La evaluación fisicoquímica de las muestras reportaron valores promedio (b.s.) de $15,4 \pm 0,36$; $43,34 \pm 0,34$; $3,53 \pm 0,12$; $6,78 \pm 0,04$ y $37,72 \pm 0,54$ por ciento de proteína cruda, grasa cruda, ceniza, fibra cruda y carbohidratos totales, respectivamente. Los granos de cacao secos y fermentados fueron recolectados de cinco zonas productoras Aucayacu, Tingo María, Tocache, Ucayali y Uchiza, a los que se determinó el índice de fermentación por prueba de corte y la conductividad eléctrica del líquido lixiviado. La evaluación de índice de fermentación para granos procedentes Uchiza fue de $86,67 \pm 2,89$ por ciento y el mayor valor de conductividad eléctrica en el líquido lixiviado fue de $28,94 \pm 0,78$ $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$ procedentes de Ucayali. Se analizó el contenido de calcio, fósforo, magnesio potasio, hierro y cadmio a los granos de cacao de diferentes procedencias. La evaluación del líquido lixiviado determinó que el potasio es el mineral que se encuentra en un rango de 81 a 85 por ciento del total de los minerales. Se determinó la existencia de correlación directamente proporcional ($p \leq 0,05$; $r = 0,99$) del índice de fermentación con el tiempo de fermentación de granos de cacao procedente de Uchiza (región de San Martín), de la conductividad eléctrica del lixiviado con el tiempo de fermentación ($p \leq 0,05$; $r = 0,97$) y del índice de fermentación con la conductividad eléctrica del líquido lixiviado ($p \leq 0,05$; $r = 0,91$).

Palabras clave: índice de fermentación, lixiviación, conductividad eléctrica.

ABSTRACT

The objective of this research was to correlate the fermentation index of cocoa beans (*Theobroma cacao* L.) CCN 51 with the electrical conductivity of the leached liquid. Cocoa beans fermented and dried were collected from five producing areas Aucayacu, Tingo María, Tocache, Ucayali and Uchiza. For this purpose, 20 cocoa beans were immersed in 400 mL of deionized water at 25 °C for 24 hours. The moisture, ash, fat, protein, crude fiber, total carbohydrates, dimensions, calcium, phosphorus, magnesium, potassium, iron, and cadmium content were determined of the five samples. The fermentation index of the beans was evaluated by cutting test (%) and electrical conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$) of the leached liquid. Potassium was found in a range of 81 to 85 percent of total leached minerals. From all the samples evaluated, those from Uchiza - San Martín had a good fermentation index (86.67 %), so it was selected to continue the investigation. It was found a direct correlation between the fermentation time with the fermentation index determined by the cutting test ($p \leq 0.05$; $r = 0.99$) and the electrical conductivity of the leached liquid of cocoa beans ($p \leq 0.05$; $r = 0.97$). Also, it was found a direct correlation between the fermentation index determined by the cutting test with the of electrical conductivity of the leached liquid of cocoa beans ($p \leq 0.05$; $r = 0.91$).

Key words: fermentation index, leaching, electrical conductivity.

I. INTRODUCCIÓN

Theobroma cacao L. es originario de la cuenca del Amazonas, siendo considerado Perú el centro de origen de la especie, debido a que posee seis de los diez grupos genéticos identificados por Motamayor *et al.* (2008).

El cacao es la materia prima para la elaboración del chocolate. Para desarrollar los sabores propios, se realiza un proceso de fermentación, etapa clave que causa la muerte del grano, facilita la eliminación de la pulpa y posteriormente se debe realizar el secado. Durante estas etapas, se inicia la formación de precursores del sabor, aroma y desarrollo de color, así como una significativa reducción de la astringencia, atributos sobresalientes en la calidad del grano de cacao (Afoakwa *et al.* 2008).

Para determinar la fermentación de granos de cacao se emplea la prueba de corte, según lo indicado en la NTP-ISO 2451:2018, que es una norma espejo de la norma internacional de calidad ISO 2451. La evaluación consiste en realizar el corte de 300 granos de cacao en la que se consideran características de color, olor, grado de fermentación y defectos de los granos siendo usada por productores, comercializadores y procesadores.

La conductividad eléctrica es aplicada sobre diversos productos agroalimentarios, como una técnica para determinar diferentes parámetros como contenido de humedad y capacidad de germinación en semillas (Alwis y Mitchel 1989, Repo *et al.* 2002). La prueba de conductividad eléctrica mide la cantidad de electrolitos que son exudados de las semillas durante la imbibición (Tajbakhsh 2000). Los iones que fueron liberados en el líquido de imbibición son inversamente proporcionales a la integridad de las membranas celulares. Como consecuencia de una menor estructura de las membranas celulares de las semillas que tienen menor potencial fisiológico, estas liberan mayor contenido de iones lixiviados (Marcos Filho *et al.* 1987).

Esta prueba presenta ventajas tales como rapidez, objetividad, bajo costo en la evaluación de productos alimentarios (AOSA 1983, Hampton y Tekrony 1995, Soto 2011). Investigaciones recientes demostraron que este método se puede utilizar para evaluar el grado de madurez de frutos (Justicia 2017), o el índice de fermentación como lo investigado por Loo (2018), quien encontró una relación entre el índice de fermentación de los granos de cacao y la conductividad eléctrica (μS) del medio acuoso que los contiene, debido a que la fermentación produce en los granos de cacao separación de los alveolos y cambios en la porosidad por donde pueden migrar electrolitos internos por lixiviación en agua desionizada.

Por lo expuesto, en la presente investigación se correlacionó el índice de fermentación de cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN 51 con la conductividad eléctrica del líquido lixiviado. Para ello, se plantearon los siguientes objetivos:

- Caracterizar física y fisicoquímicamente las cinco muestras de granos de cacao de diferente procedencia de genotipo CCN 51.
- Determinar el índice de fermentación alcanzada para las cinco muestras de cacao de diferente procedencia utilizando la metodología de la prueba de corte y método conductimétrico.
- Determinar el contenido de grasa cruda y cenizas de los granos de cacao lixiviados y composición química del lixiviado calcio, fósforo, magnesio, potasio, hierro y cadmio.
- Determinar la correlación entre la conductividad eléctrica (correspondiente al índice de fermentación de los granos de cacao del genotipo CCN 51) y los electrolitos lixiviados.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. GENERALIDADES DEL CACAO

El cacao (*Theobroma cacao L.*) es un árbol tropical perenne, diploide, perteneciente a la familia Sterculiaceae de orden Malvales (Alverson *et al.* 1999; Cope 1984; Boza *et al.* 2014). Es nativa de los neotrópicos húmedos (Boza *et al.* 2014) “cuyo centro de origen está en las laderas bajas del este de los Andes entre Perú, Ecuador, Colombia y afluentes de los ríos Putumayo y Caquetá” (Martínez 2016), por este motivo la cuenca del Amazonas es considerada el centro de mayor diversidad para el género *Theobroma* debido a que se encuentran altos niveles de variabilidad genética (Motamayor *et al.* 2008).

El fruto de cacao es una baya de forma variable (oblonga, elíptica, ovada, abovada, esférica y oblata) de superficie lisa o rugosa (Figura 1) (García 2007). Los frutos de cacao se originan de la polinización de flores agrupadas en cojines de flores (Swanson *et al.* 2008). El fruto inmaduro cambia a color rojo o púrpura y pesa aproximadamente 450 g cuando está madura, mide de 15 a 30 cm de largo y 7 a 12 cm de ancho, la cáscara es esponjosa y suave, de espesor muy variado, que depende del genotipo; cada fruto puede tener un número muy variable de semillas (Enríquez 1985), el número de bayas y semillas depende de diversos factores como genéticos, ambientales y de las prácticas agronómicas (Cilas 1991; Cilas *et al.* 1999, Cilas *et al.* 2010).

El tamaño de las semillas varía de acuerdo al genotipo de cacao, pudiendo ser de forma redonda como el cacao tipo criollo, ovadas y otras aplanadas, estas semillas de cacao poseen un recubrimiento externo llamado mucílago, cuya función es proteger a los cotiledones, es dulce y permite fermentación (Beckett 2009).



Figura 1. Mazorcas de cacao.

FUENTE: MINAGRI (2016).

La coloración del cotiledón es de carácter genético, el color del cotiledón puede variar del tipo blanco, hasta el pigmentado con diferentes tonalidades y distribución de colores (Enríquez 1985). La astringencia es el sabor característico en las semillas de cacao sin fermentar por su alto contenido de compuestos fenólicos, especialmente contenido de antocianinas (Jinap *et al.* 2002).

Pérez (2004) reportó que los mucílagos suelen confundirse con las gomas y pectinas, diferenciándose por sus propiedades físicas. Mientras que las gomas se hinchan en el agua para dar dispersiones coloidales gruesas y las pectinas se gelifican; los mucílagos producen coloides poco viscosos con actividad óptica y pueden ser hidrolizados y fermentados.

2.2. LA GENÉTICA DEL CACAO

La clasificación tradicional propuesta por Cuatrecasas corresponde a dos grupos morfogeográficos principales Criollo (*T. cacao* ssp. *cacao*) y Forastero (*T. cacao* ssp. *sphaerocarpum*) (Cheesman 1944), y un tercer grupo híbrido originario de cruces entre Criollo y Forastero llamado Trinitario (Motamayor *et al.* 2002).

- **Criollo**

Inicialmente se propuso que el cacao Criollo se originó en América Central y que evolucionó independientemente de las poblaciones de cacao en la cuenca del Amazonas (Motamayor *et al.* 2002). Fue el primer tipo de cacao conocido en Europa llevado por los primeros

colonizadores. En la actualidad se cultiva en México y en Centroamérica; así como en el norte del Suramérica y algunas Islas del Caribe. Su fruto (Figura 2) en muchos casos es dulce y produce un chocolate de menor amargor y de mejor calidad.



Figura 2. Cacao criollo.

FUENTE: MINAGRI (2016).

- **Forastero**

Estaba compuesto por poblaciones muy diversas con diferentes orígenes geográficos: el Alto Amazonas, el Bajo Amazonas, el Orinoco y las Guayanas (Cheesman 1944). En el grupo estaba considerado el cacao originario de Brasil, Perú, Bolivia y Colombia (MINAGRI 2016). Se había agrupado por presentar mazorcas ovoides y amelonadas (Figura 3), generalmente son verdes, con tonos blanquecinos o rosados y las semillas de color morado, triangulares en corte transversal, aplanadas y pequeñas (Enríquez 1985; Batista *et al.* 2009).

- **Trinitario**

Se ha considerado como un cruce de Criollo con Forastero que presenta alta calidad, mayor rendimiento y resistencia a enfermedades (Yanamoto *et al.* 1995) con mazorcas y semillas con características intermedias entre los dos grupos que le dieron origen (Enríquez 1985). Se desarrolló en Trinidad y luego se extendió a Latinoamérica, África y Malasia (Jahurul *et al.* 2013).



Figura 3. Cacao Forastero del Alto Amazonas.

FUENTE: MINAGRI (2016).

El cacao Trinitario es clasificado como un cacao fino para la industria del cacao, se le atribuye principales características como afrutado, floral y agradable sabor caramelo y pasas (Bekele 2004; Sukha y Butler 2005; Jhonson *et al.* 2009).

Con el fin de aclarar, conocer e identificar los grupos genéticos del cacao, Motamayor *et al.* (2008) analizaron mil doscientos y un individuos silvestres de diferentes orígenes geográficos de cultivares de cacao de 12 países con marcadores microsatélites; la mayor parte proveniente de Perú (44 por ciento), Brasil (26 por ciento) y Ecuador (18 por ciento) de los resultados obtenidos generaron una nueva clasificación de germoplasma de cacao en 10 grupos principales: Marañon, Curaray, Criollo, Iquitos, Nanay, Contama, Amelonado, Purus, Nacional y Guayana (Figura 4) que es usada en la actualidad.

De los diez grupos principales encontrados, seis son originarios de Perú los cuales son Curaray, Contamana, Nacional, Iquitos, Purus y Marañon lo que demuestra la diversidad genética existente en el país y lo posiciona como centro de origen.

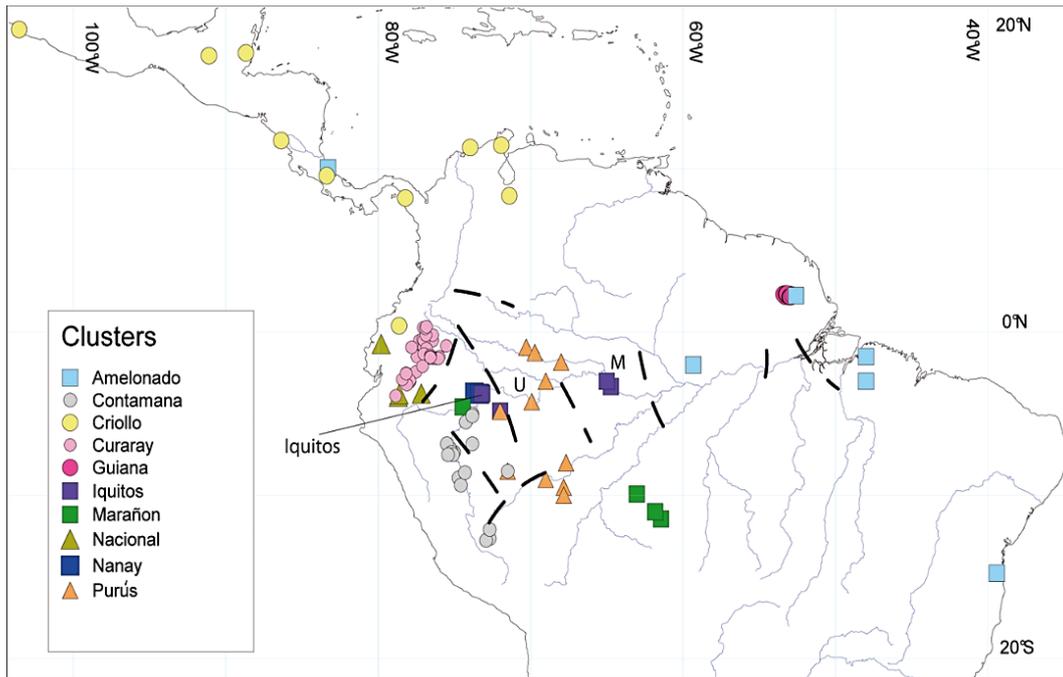


Figura 4. Localización del origen de los diez grupos genéticos.

FUENTE: Motamayor *et al.* (2008).

2.2.1 GENOTIPO CCN 51

A principios de la década de 1960, Homero Castro en la finca “Theobroma” localizada en el área de Naranjal al sur de Guayaquil – Ecuador, desarrolló el genotipo CCN “Colección Castro Naranjal” (Castro 1981). CCN 51 fue obtenido del cruce ICS 95 x IMC 67 (*Imperial College Selection e Iquitos Mixed Cabacillo*) (Figura 5), según Boza *et al.* (2014), en las investigaciones realizadas con marcadores de ADN mitocondrial con alelos de CCN 51 muestran evidencia de herencia citoplasmática por vía materna de origen IMC 67 y alelos de ICS 95.

CCN 51 fue seleccionado por su alto potencial de rendimiento y resistencia a enfermedades. Según Yamada *et al.* (2013) el genotipo CCN 51 es considerado de alto rendimiento por presentar alto número de frutos por árbol al año. Este genotipo puede alcanzar un rendimiento de 4,000 kg de semillas secas/hectárea bajo exposición solar y alta densidad (Espinosa *et al.* 2005). Boza *et al.* (2014) y Yamada *et al.* (2009) reportan que el genotipo CCN 51 es considerado como de buen tamaño de almendra (aproximadamente 1,54).

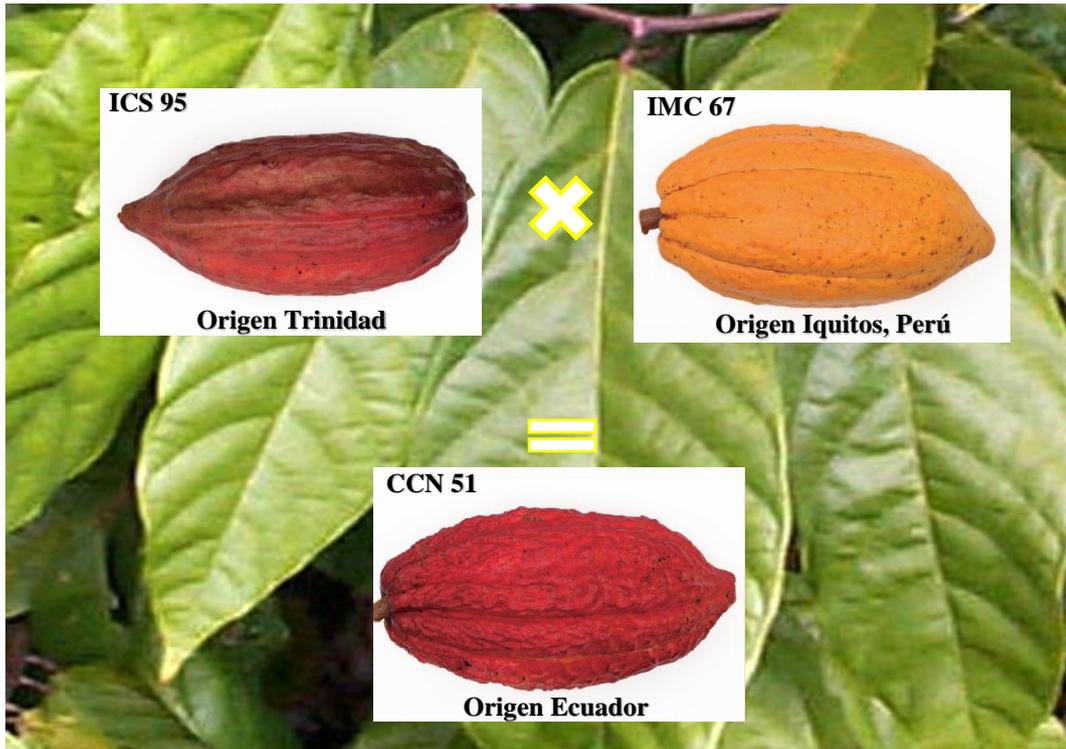


Figura 5. Origen del genotipo CCN 51.

FUENTE: Perea *et al.* (2013) adaptado por Villanueva (2019).

En cuanto a la calidad sensorial, CCN 51 posee rasgos menos deseables, como pH bajo para la testa y el cotiledón de los granos de cacao, intensidad moderada a baja en sabor a cacao y altos niveles de amargor y astringencia. Sin embargo, estas características pueden mejorar (Boza *et al.* 2014) a través de un proceso de fermentación adecuado, que puede llegar a que los granos de cacao mejoren sus características de calidad (Espinosa *et al.* 2005). El amargor y astringencia hacen que el cacao CCN 51 sea menos atractivo para los fabricantes de chocolate de alta calidad y sabor fino en comparación a otros cultivares nacionales tradicionales (Boza *et al.* 2014).

En el Perú se ha introducido el genotipo CCN 51, por ser de buen rendimiento y buscando una mayor rentabilidad económica en el marco de programas de apoyo a la sustitución de cultivos de la hoja de coca por este y otros tipos de cultivos (MINAGRI 2016).

2.2.2. DESCRIPTORES DEL CACAO CCN 51

A continuación, se cita la descripción morfológica, agronómica de productividad e industrial de CCN 51. Estas descripciones corresponden al catálogo de cultivares de cacao del Perú

(García 2010). Las imágenes referenciales pertenecen Perea *et al.* (2013), donde los materiales fueron recolectados en parcelas experimentales de la granja Villa Mónica (San Vicente de Chucurí) Colombia.

a. DESCRIPTORES MORFOLÓGICOS

Flor, como se muestra en la Figura 6 la flor tiene las siguientes características:

- Color del pedúnculo: rojo
- Antocianina en la lígula: ausente
- Antocianina en el filamento estaminal: ausente
- Antocianina en los estaminodios: presente
- Antocianina en la parte superior del ovario: presente
- Número de óvulos por ovario: 57



Figura 6. Flor de genotipo CCN 51.

FUENTE: Perea *et al.* (2013).

Fruto, como se muestra en la Figura 7 el color del fruto inmaduro, color del fruto maduro y corte longitudinal del fruto de cacao del genotipo CCN 51 presentan las siguientes características:

- Color al estado inmaduro: rojo
- Forma básica: oblongo
- Forma del ápice: ligeramente atenuado
- Rugosidad: fuerte
- Constricción basal: ligera
- Grosor de cáscara: intermedia
- Separación de un par de lomos: intermedio
- Profundidad de surcos: profundo



Figura 7. Mazorca inmadura, madura y corte longitudinal del genotipo CCN 51.

FUENTE: Perea *et al.* (2013).

Semilla, como se muestra en la Figura 8 la semilla de cacao tiene las siguientes características:

- Forma en sección longitudinal: elíptica
- Forma en sección transversal: intermedia
- Color de cotiledones: violeta - morado

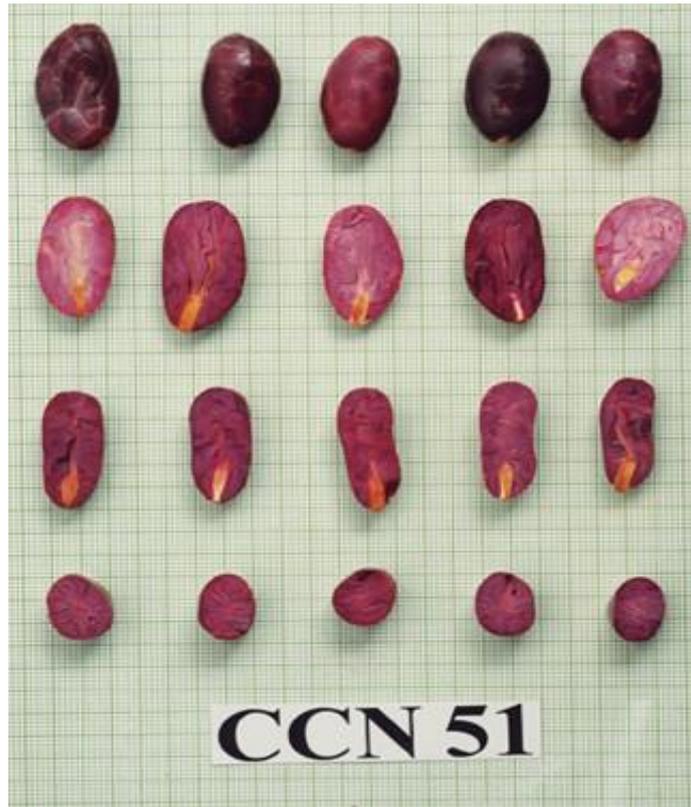


Figura 8. Semillas de cacao CCN 51.

FUENTE: Perea *et al.* (2013).

b. DESCRIPTORES AGRONÓMICOS DE PRODUCTIVIDAD

A continuación, se menciona la caracterización agronómica del CCN 51 (García 2010).

- Tamaño del fruto: muy grande
- N° de semillas por fruto: 44
- Tamaño de semilla: intermedia
- Peso seco de semilla: 1.4 g
- Índice de mazorca: 16
- Rendimiento: 2,760 kg/ha
- Compatibilidad sexual: autocompatible



Figura 9. Árbol y fruto de cacao CCN 51.

FUENTE: Perea *et al.* (2013).

- **Sanidad**

La reacción a las tres principales enfermedades del cacao se describen a continuación para el genotipo CCN 51.

- Pudrición parda (*Phytophthora sp*): susceptible
- Escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*): moderadamente resistente
- Moniliasis (*Moniliophthora roreri*): moderadamente susceptible

- **Descriptorios industriales**

- Contenido de grasa: 54 por ciento
- Sabores básicos y específicos de pulpa: dulzura (media), acidez (media), astringencia (media); amargor de almendra (medio); floral (muy bajo) y frutal (bajo).
- Sabores básicos y específicos del licor o pasta de cacao: acidez (media); astringencia (media); amargor (medio); floral (ausente); frutal (bajo), y nuez (ausente). Tiene una nota de corteza pronunciada y notable intensidad de chocolate (García 2010).

2.3. PRODUCCIÓN DE CACAO EN EL PERÚ

El cultivo de cacao en Perú es de significativa importancia social por ser uno de los cultivos más importantes, a nivel nacional la producción de cacao está distribuida en 16 regiones, 57 provincias y 269 distritos cacaoteros, es un cultivo que se ha desarrollado generalmente en la selva peruana, entre los 300 y 1000 m.s.n.m. (MINAGRI 2018).

En el año 2017 la producción fue de 122 mil toneladas de cacao en grano, la cual se concentra principalmente en siete regiones; siendo San Martín la más productiva con el 42 por ciento del total producido en el año 2017, equivalente a 51,4 mil toneladas. En segundo lugar se encuentra Junín, participando con el 18 por ciento del total (21,8 mil toneladas) como se muestra en la Figura 10.

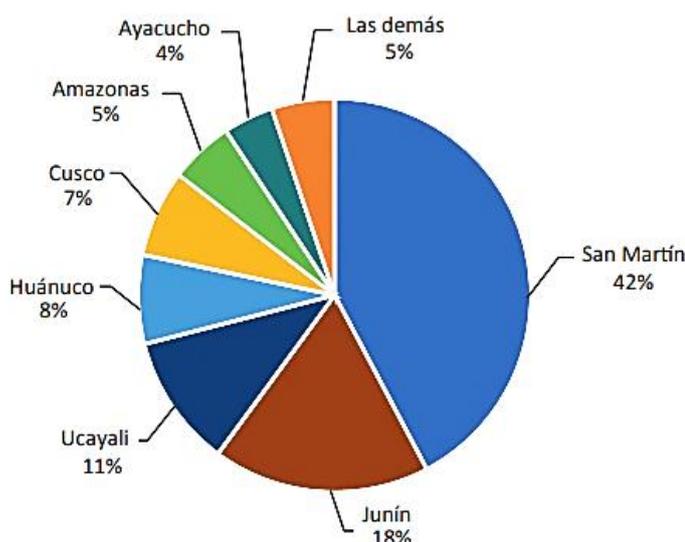


Figura 10. Producción de cacao según región, porcentaje total producido en el año 2017. FUENTE: MINAGRI (2018).

San Martín es la región que lidera la producción de cacao y ha tenido un aumento significativo en la última década, debido a nuevas hectáreas cultivadas de cacao y a la mejora en el rendimiento de la producción nacional equivalente a 51,4 mil toneladas en el año 2017. En Ucayali, la producción de cacao en grano ha aumentado 10 veces su nivel de 0,8 mil toneladas en el año 2008, a 8,6 mil toneladas en el año 2017, este incremento es por la incorporación de nuevas áreas cultivadas de cacao.

Es importante mencionar que el dinamismo que responde al crecimiento de la producción de cacao en cada región ha sido diferente. En los últimos 10 años, la producción en San Martín incrementó, pasando de 10,6 mil toneladas de cacao en grano producidas en el año 2008 a 51,4 mil toneladas en el año 2017 (MINAGRI 2018).

El rendimiento en la producción de cacao depende del factor genético, el manejo del cultivo y factores físicos y químicos del suelo (Nakayama 2010). En la Figura 11 se aprecian las

diferencias en el rendimiento entre regiones. Sin embargo, en los últimos 10 años, a excepción de Ucayali y Ayacucho, el rendimiento de cacao en grano aumentó en todas las regiones productoras. La Libertad también obtuvo un importante incremento en el rendimiento y ocupa el segundo lugar a nivel nacional (MINAGRI 2018).

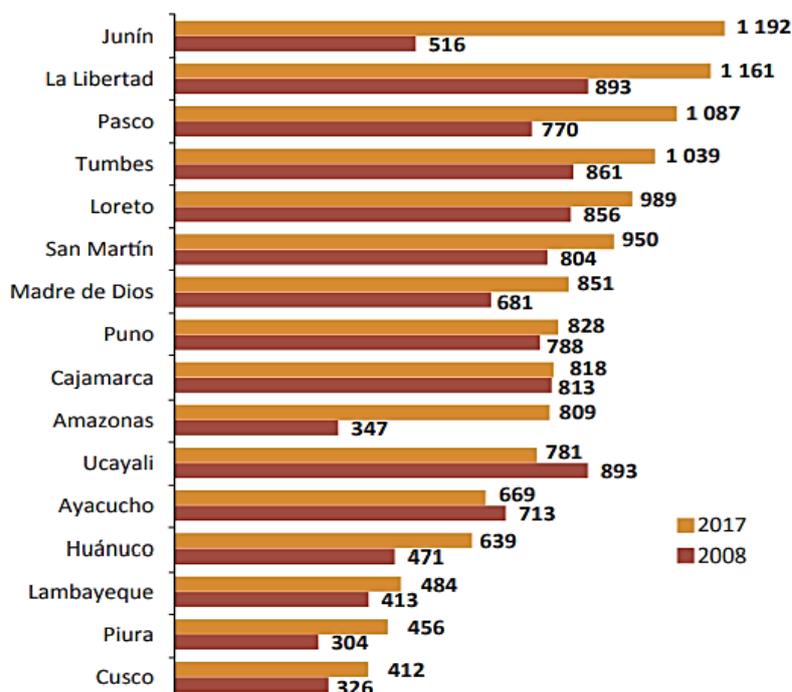


Figura 11. Rendimiento del cacao en grano según región (kg/ha).

FUENTE: MINAGRI-DGSEP (2019).

En el año 2018 (Figura 12) la producción fue 135,3 mil toneladas de cacao en grano, con un incremento de 11 por ciento respecto al mismo periodo del 2017 (121,8 mil toneladas); situación explicada por el incremento en las cosechas, principalmente en las regiones de Piura, Pasco, Ucayali y Cajamarca (MINAGRI 2019).

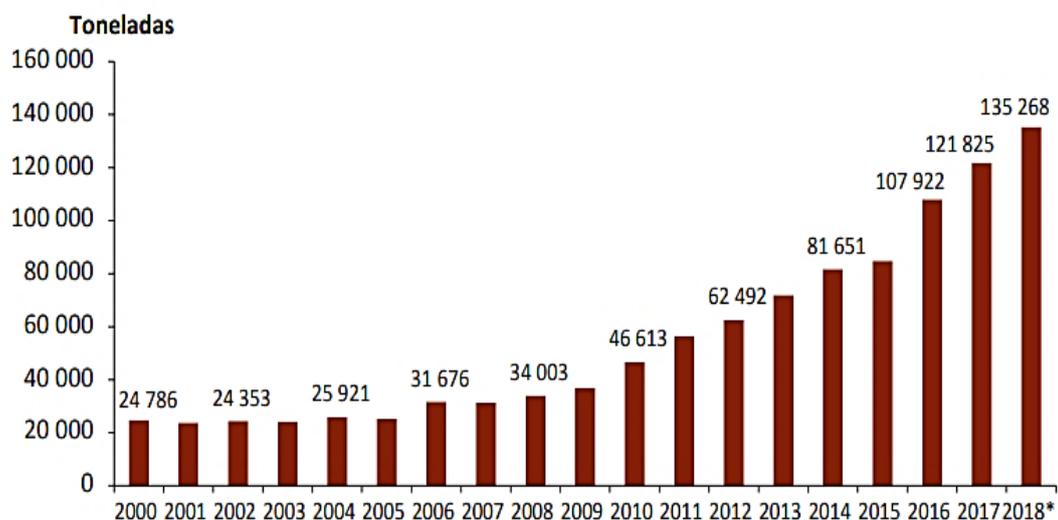


Figura 12. Comportamiento de la producción nacional de cacao en grano.

FUENTE: MINAGRI-DGSEP (2019).

San Martín, Junín y Ucayali son las regiones con mayor crecimiento en los últimos años, en el año 2000 estas regiones apenas producían 1100,00 toneladas, 2100,00 toneladas y 393 toneladas, respectivamente. En los siguientes años la producción se ha incrementado a una tasa promedio anual de 26,4 por ciento en el caso de San Martín; 14,1 por ciento en el caso de Junín y 20,8 por ciento en el caso de Ucayali (MINAGRI 2016).

El cacao CCN 51 está distribuido principalmente en los departamentos de San Martín, Cusco y Junín, entre otros. El cacao nativo e híbrido, se encuentra cultivado en el 44 por ciento de la superficie restante de cacao, distribuidos principalmente en Cusco, Ayacucho y Junín con el 35 por ciento, 17 por ciento y 16 por ciento, respectivamente. (MINAGRI 2018).

2.4 MANEJO POSCOSECHA DEL CACAO

El beneficio o poscosecha del cacao, se denomina al conjunto de prácticas interrelacionadas que tienen que ver con la transformación biológica que deben sufrir las semillas de cacao una vez cosechadas y que permiten el desarrollo de su potencial de calidad. El beneficio comprende: cosecha, extracción del grano, fermentación y secado.

a. Cosecha

Las mazorcas deben alcanzar su madurez que se identifica mediante los cambios de coloración del fruto para ser cosechadas. La cosecha se realiza de modo manual cortando los

frutos maduros del árbol con ayuda de tijeras y machetes según la dificultad de acceso para la cosecha (INIAP 1993).

b. Extracción del grano

Las mazorcas deben partirse, procurando no lastimar las semillas de cacao, que se extraen con los dedos o con una cuchara de madera, se debe eliminar la placenta, así como también cualquier fragmento de cáscara y semillas de cacao afectadas por enfermedades, que desmejoren la calidad del producto (INIAP 1993). Luego los granos de cacao recién cosechados son colocados en recipientes adecuados o pilas que deben cubrirse para crear un ambiente semi cerrado, así ocurre la eliminación de la baba o mucílago azucarado (Reyes *et al.* 2014).

c. Fermentación

La fermentación de los granos de cacao es un paso fundamental en el que interviene la acción sucesiva de levaduras, bacterias del ácido láctico y bacterias del ácido acético (Ardhana y Fleet 2003). La testa proporciona una barrera de la difusión de teobromina y polifenoles. En esta etapa se produce la muerte del embrión de la semilla y se desarrollan los precursores del aroma de chocolate (Schwan & Wheals 2004).

El proceso de fermentación puede durar mínimo tres días y un máximo de siete días, tiempo durante el cual los polifenoles se oxidan bajando su concentración inicial y provocan cambios en el color de la semilla, relacionados con cambios en la concentración inicial de antocianinas (Hii *et al.* 2009). Los microorganismos encontrados en las semillas en fermentación son con frecuencia levaduras del género *Saccharomyces spp*, particularmente *S. cerevisiae*, *Candida krusei*, *Kloeckera apiculata*, *Pichia fermentans*, *Hansenula anomala* y *Schizosaccharomyces pombe*, que provienen del medio ambiente circundante (Sato y Sakiyama 2011).

La fermentación puede caracterizarse como un proceso en dos etapas:

- Etapa de hidrólisis o fase anaeróbica, donde intervienen microorganismos como levaduras, que transforman el azúcar de la pulpa en alcohol y anhídrido carbónico. En ausencia de oxígeno proliferan diferentes especies de levaduras, esto genera un incremento de temperatura en la masa de fermentación entre 30°C y 35°C, y una acidificación del medio, lo que genera el inicio en el rompimiento de las células de la

pulpa durante las primeras 24 h (Lagunes *et al.* 2007). Las levaduras utilizan los azúcares presentes en la pulpa para producir etanol y dióxido de carbono, y algunas también secretan enzimas pectinolíticas, las que ayudan a solubilizar la pulpa (Ho *et al.* 2014).

Así, las enzimas se ponen en contacto con los polifenoles y proteínas, y se inician las reacciones hidrolíticas que dan lugar a cambios en los pigmentos cianidinglucósidos, provocando el inicio de la formación de los precursores del sabor a chocolate. Toda esta fase hidrolítica ocurre a temperaturas cercanas a 45 °C y con pH de 4,0 a 5,0 (Reyes *et al.* 2014).

- Etapa de oxidación o Fase aerobia, el ácido acético provoca la muerte del embrión de las semillas de cacao al penetrar en el tejido cotiledonar por efecto de la permeabilidad de las paredes celulares, permitiendo la interdifusión de los componentes del jugo celular (Reyes *et al.* 2014). Cuando el oxígeno tiene acceso a las células de los cotiledones durante la fase de condensación oxidativa, el color de la superficie de las semillas de cacao se vuelve pardo lo que sucede en todo el cotiledón, conforme se inicia el secado y se facilita la penetración del oxígeno al interior del cotiledón (Reyes *et al.* 2014).

La fermentación está influenciada por varios factores, entre los cuales los más importantes son el estado de madurez en el que se recolecta la mazorca de cacao, el tiempo que es almacenado antes de la fermentación y el tiempo y temperatura del proceso de fermentación (De Bertorelli *et al.* 2009).

d. Secado

Es una etapa importante debido a la continuidad de las reacciones de oxidación iniciadas en la fermentación, y conlleva a la reducción del amargor, astringencia y acidez de la semilla (Sato *et al.* 2011). Durante este proceso se desarrolla el color marrón característico del chocolate debido a la oxidación enzimática de polifenoles (Hansen y Olmo 1998; Hashim *et al.* 1999; Wollgast y Anklam 2000; Saltini *et al.* 2013).

La humedad de los granos de cacao debe ser reducida hasta 7,5 por ciento (Saltini *et al.* 2013) valores más altos podrían conducir a una contaminación microbiana por el crecimiento de hongos y los valores más bajos podrían disminuir el peso y la integridad de los granos por ser susceptibles a fracturas. Además puede alterar el olor y compuestos de sabor, afectando el valor comercial de los granos. El secado correcto garantiza la calidad sensorial,

química y microbiológica del cacao (ICONTEC 2003; Kumar *et al.* 2016, FEDECACAO 2004).

Debido a que durante el secado continúan sucediendo los procesos bioquímicos de carácter enzimático, necesarios para la aparición de las sustancias precursoras del sabor y aroma deseables en el cacao de buena calidad, los granos de cacao deben ser secados lentamente (Mejia 2018).

Según Nogales *et al.* 2006; Bonaparte *et al.* 1998; Zahouli *et al.* 2010; Saltini *et al.* 2013 en investigaciones realizadas de comparación de diferentes tipos de secado de cacao concluyen que en el secado natural (al sol) se obtienen mejores resultados.

La calidad física y sensorial del cacao depende de varios factores como la genética, el ambiente donde está el árbol, la sanidad del cultivo, la fermentación adecuada, el secado apropiado y la clasificación de las semillas de cacao (Enríquez 2004).

2.5 PRUEBA DE CORTE

La norma técnica peruana NTP-ISO 2451 (2018) menciona que la prueba de corte consiste en seleccionar 300 granos de cacao enteros, independientemente del tamaño, forma y condición de la muestra de ensayo. Luego realizar un corte longitudinal por la parte central de cada uno de los 300 granos para examinar visualmente y separar los granos defectuosos, estos pueden ser granos mohosos, pizarrosos, dañados por insectos, germinados, planos o que presenten cualquier otro defecto. La prueba de corte muestra determinados defectos que causan sabores negativos, y señala el grado de fermentación que tiene efecto sobre el sabor intrínseco de la almendra (Stevenson *et al.* 1993). La NTP – ISO 2451 (2018) clasifica a los granos de cacao de la siguiente manera:

- a. Granos bien fermentados:** granos de cacao con cotiledón de color marrón, hinchado y alveolos separados.
- b. Granos parcialmente fermentados:** granos de cacao con el cotiledón ligeramente violeta.
- c. Grano mohoso:** grano de cacao que ha sufrido deterioro parcial o total en su estructura interna debido a la acción de hongos.

- d. Grano pizarroso (pastoso):** grano de cacao de color pizarra (color negro verdoso) en al menos la mitad de la superficie de los cotiledones, expuestos por la prueba de corte.
- e. Grano dañado por insectos:** Grano de cacao que en la parte interna contiene insectos o ácaros en cualquier estado de desarrollo, o que ha sido atacado por insectos o muestra signos de daño a simple vista.
- f. Grano germinado:** Grano de cacao cuyo germen de la semilla ha perforado la testa, como lo demuestra la presencia física del germen de la semilla o un agujero en la testa después de su desprendimiento.
- g. Grano plano o vano:** grano de cacao que no ha llenado, que no tiene desarrollados los cotiledones.
- h. Grano violeta o violáceo:** grano de cacao cuyo cotiledón muestra color violeta o púrpura en al menos la mitad de la superficie de los cotiledones expuestos por la prueba de corte.
- i. Grano roto:** grano de cacao que ha perdido un fragmento, la parte perdida equivale a menos de la mitad del grano.

2.6. METODOLOGÍAS PARA EVALUAR EL ÍNDICE DE FERMENTACIÓN

Las regulaciones a nivel mundial han determinado algunos estándares de calidad poscosecha que solo se pueden verificar una vez que se haya completado esta etapa, estas características son controles para realizar su rendimiento y viabilidad comercial (ICCO 2009). Esto ha generado que investigaciones recientes de diferentes autores propongan nuevas metodologías para evaluar el índice de fermentación de los granos de cacao como evaluación de imágenes, utilizando medidas de color y redes neuronales artificiales (ANNs) (León-Roque *et al.* 2016); uso de imágenes hiperespectrales (HSI) para granos enteros (Caporaso *et al.* 2018); conductividad eléctrica (Loo 2018), aplicación de espectroscopía de infrarrojo cercano transformada de Fourier (FT-NIRS) y técnicas de quimiometría (Teye *et al.* 2015) siendo el más conocido y utilizado por varios investigadores el uso de espectrofotometría (Afoakwa *et al.* 2012; Ilangantileke *et al.* 1991).

2.6.1 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La conductividad eléctrica es una medida de la propiedad que poseen las soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica. Esta propiedad depende de la presencia de iones, su

concentración, movilidad, valencia y de la temperatura de la medición. Es necesario que los electrones se muevan libremente por el material (Quiñones 2013).

Para la determinación de la conductividad, la medida física que se realiza en el laboratorio es la resistencia, en ohmios o megaohmios. La conductividad es el inverso de la resistencia específica, y se expresa en microohmio por centímetro ($\mu\text{mho/cm}$), equivalentes a microsiemens por centímetro ($\mu\text{S/cm}$) o milisiemens por centímetro (mS/cm). En el Sistema Internacional de Unidades, el intervalo de aplicación del método es de 10 a 10.000 (o hasta 50.000) $\mu\text{mho/cm}$, las conductividades fuera de estos valores son difíciles de medir con los componentes electrónicos y las celdas convencionales (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales 2006). En la Tabla 1 se muestra el tipo de medida, unidades y símbolos.

Tabla 1: Unidades utilizadas en conductimetría.

Denominación	Nombre de las Unidades	Símbolo de las Unidades
Resistencia (R)	Ohmio	Ω
Conductancia	$\text{ohmio}^{-1} = \text{mho} = \text{siemens}$	$\Omega^{-1} = \text{S}$
Resistividad (ρ)	ohmio cm	$\Omega \text{ cm}$
Conductividad (κ)	$\text{mho cm}^{-1} = \text{siemens cm}^{-1}$	$\Omega^{-1} \text{ cm}^{-1} = \text{S cm}^{-1}$

FUENTE: Rubinson y Rubinson (2000).

La prueba de la conductividad eléctrica ha sido propuesta para evaluar el vigor de las semillas, se debe de considerar que semillas con bajo vigor generalmente presentan menor velocidad en recuperar la integridad de las membranas celulares (Soto y Valiengo 2011). Esta metodología presenta ventajas como rapidez, objetividad, menor costo y tener base teórica sólida, el valor de conductividad eléctrica permite identificar el deterioro de las semillas (Hampton y Tekrony 1995).

2.7 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PRUEBA DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO

Según Sørensen *et al.* (1996) hay factores que influyen en la prueba de conductividad eléctrica, que son descritas a continuación.

a. Contenido de humedad de la semilla

El contenido de humedad inicial influye en la conductividad. Hampton *et al.* 1994 citado por Sørensen *et al.* 1996 evaluó la conductividad de semillas con diferentes contenidos de humedad encontrando diferencias en los valores de conductividad eléctrica con respecto al contenido de humedad.

b. Temperatura de remojo

Sørensen *et al.* 1996 demostró una relación directamente proporcional de la cantidad de solutos que salen de las semillas hacia el medio acuoso que los contiene y la temperatura. Asimismo, sugiere que la temperatura debe ser constante durante toda la prueba para obtener resultados confiables ya que la conductividad aumenta con el incremento de la temperatura.

Según Mayer y Poijakoff-Mayber (1975) citados por Murphy y Noland (1982), la imbibición dependerá tanto de las propiedades del agua como de las semillas y la viscosidad es una de las propiedades del agua que dependen de la temperatura debido a que están fuertemente involucradas en la tasa de absorción de las semillas.

En investigaciones realizadas por Murphy y Noland (1982) en semillas de rábano (*Raphanus sativa* var. Early Scarlet Globe) y embriones de pino azucarado (*Pinus lambertiana* Dougl.) observaron que la pendiente aumenta en temperaturas superiores en relación con temperaturas inferiores este comportamiento fue similar tanto para la absorción de agua como para la fuga de solutos en semillas de rábano y embriones de pino azucarado), varias técnicas como resonancia de espín electrónico (ESR), resonancia magnética nuclear (NMR) y polarización fluorescente han demostrado que estos cambios en las tasas de fuga de solutos están asociados con cambios en las propiedades de la membrana de las semillas.

c. Tiempo de remojo

Según Sørensen *et al.* 1996, las fugas de los solutos de las semillas en las primeras horas aumentarán rápidamente hasta estabilizarse. La Figura 13 muestra la evolución de la conductividad de 12 lotes diferentes de semillas de *Zea mays* con respecto al tiempo de inmersión de las semillas mostrando una relación directamente proporcional, a mayor tiempo de imbibición aumenta el valor de conductividad eléctrica (Viloria y Méndez-Natra 2007). Sørensen *et al.* (1996) recomienda usar al menos de cuatro a seis lotes de semillas para

determinar el periodo de remojo de las semillas, este periodo usualmente es de 16 a 24 horas (Sørensen *et al.* 1996).

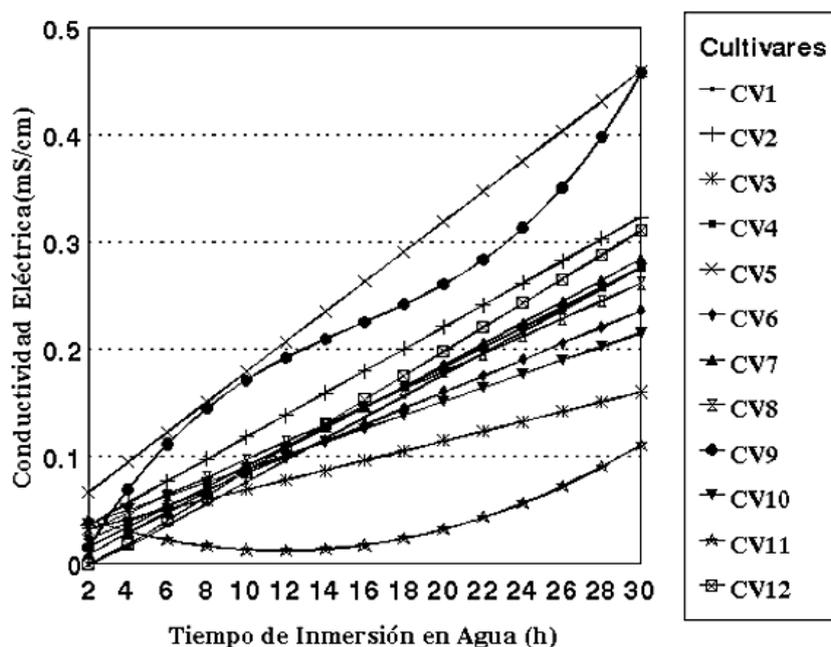


Figura 13. Valores de conductividad eléctrica (mS/cm) del agua de remojo de 12 lotes de semillas de maíz (*Zea mays*) durante 15 períodos de inmersión.

FUENTE: Vilorio y Méndez-Natra (2007).

Donde, CV1: Cariaco Jusepín-2000, CV2: Cariaco Jusepín-2003, CV3: Cariaco San Antonio-2002, CV4: Himeca 95-2002, CV5: Himeca 95-2003, CV6: Merideño-2002, CV7: Merideño-2003, CV8: Pioneer 3018-2002, CV9: Pioneer 3031-2002, CV10: Pioneer 3031-2003, CV11: Sefloarca 91-2002, CV12: Sefloarca 91-2003.

d. Presencia de semillas vacías e impurezas

La presencia de semillas vacías podrían alterar los resultados ya que la fuga de iones es mínima, asimismo se debe asegurar la eliminación de las impurezas antes de colocar las semillas en agua desionizada ya que podría ocasionar fuga de solutos como consecuente la variación de la conductividad eléctrica, se recomienda un lavado preliminar de las semillas en agua desionizada esta operación debe de estar estandarizada para evitar pérdida de solutos durante este proceso (Sørensen *et al.* 1996).

e. Daños mecánicos

La prueba de conductividad eléctrica en semillas evalúa indirectamente el grado de estructuración de las membranas celulares, a través de la determinación de la cantidad de iones lixiviados que son inversamente proporcionales a la integridad de las membranas celulares de las semillas (Marcos Filho *et al.* 1987). Loo (2018) evaluó la conductividad eléctrica de granos de cacao cortados y enteros (Figura 14), los resultados obtenidos muestran mayor fuga de iones en los granos de cacao cortados afirmando el incremento de la conductividad eléctrica debido al daño mecánico.

Las semillas se sumergen en un determinado volumen de agua, bajo temperatura controlada durante un periodo de tiempo determinado. Como consecuencia de una menor estructura y selectividad de las membranas celulares, las semillas de menor potencial fisiológico liberan mayor concentración de iones lixiviados (Marcos Filho *et al.* 1987; Fessel *et al.* 2006).

2.8 COMPOSICIÓN ELEMENTAL EN GRANOS DE CACAO

El cacao es fuente importante de proteína, fibra y grasa, los granos de cacao son importantes en la calidad nutricional por contener potasio, magnesio y fósforo, mientras que el hierro es el principal microelemento (Perea *et al.* 2011; Grembecka y Szefer 2012). En la composición proximal del grano de cacao seco y fermentado se han reportado altos contenidos de grasa de 49 por ciento y 56 por ciento, contenido de ceniza 2,7 por ciento, proteína 14 por ciento y fibra 2,2 por ciento (Perea *et al.* 2011).

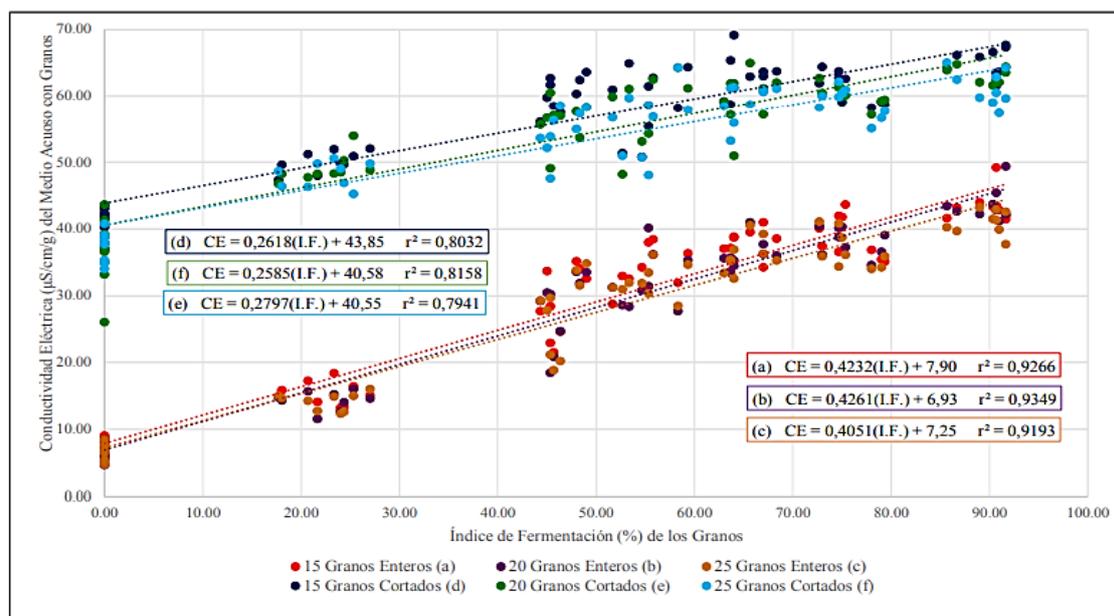


Figura 14: Conductividad eléctrica con diferentes cantidades de granos de cacao (15, 20 y 25) y el índice de fermentación (%).

FUENTE: Loo (2018).

Los contenidos de elementos minerales en granos de cacao de diferente origen presentaron valores de potasio 12,1 g/kg, fósforo 5,03 g/kg, magnesio 3,48 g/kg y calcio 1,37 g/kg (Bertoldi *et al.* 2016).

Afoakwa *et al.* (2013) en investigaciones determinó el contenido de minerales de granos de cacao procedente del Este de Ghana evaluados en diferentes tiempos de aguante (pre acondicionamiento) y días de fermentación, en la Tabla 2 se aprecia que tanto el tiempo de aguante y la fermentación causan disminución en el contenido de sodio y hierro. La concentración de sodio disminuye drásticamente en los granos de cacao con cero días de tiempo de aguante. En cuanto al contenido de calcio, magnesio, zinc y potasio se incrementa con relación a días de fermentación, este aumento podría deberse a la síntesis de estos minerales por los microorganismos que están presentes en la fermentación del cacao.

Sin embargo, los productos derivados de los granos de cacao como la manteca de cacao, el cacao en polvo y los productos de chocolate pueden contener niveles traza de metales pesados como níquel, cadmio, cromo y plomo que podrían afectar la salud de los consumidores, especialmente de los niños (Dahiya *et al.* 2005; Grembecka & Szefer 2012; Rankin *et al.* 2005; Yanus *et al.* 2014).

En el contenido de minerales del cacao algunos investigadores reportan que el contenido de cadmio es uno de los elementos más móviles con un factor de bioconcentración en las plantas mayor que algunos nutrientes esenciales y se acumula principalmente en los brotes, mientras que el plomo se acumula principalmente en las raíces (Kabata-Pendias 2011; Li *et al.* 2014).

Awolumate (1983) señala que las cenizas de las cáscaras del cacao son pobres en Mn, Cu, Zn, pero ricas en Ca, N, K, Na, P, Fe y Mg. Por otro lado, Oddoye (2012) menciona que la ceniza también puede convertirse en un abono rico en potasio. Mejía y Palencia (2002) demostraron que la cáscara de cacao puede ser utilizada para obtener un abono orgánico que consiste en una mezcla de residuos de cosecha de las plantas cultivadas (hojas, tallos, frutos, desperdicios).

Sin embargo, el contenido de minerales en el cacao dependerá tanto del origen del material como del manejo y control sanitario pues este cultivo suele verse afectado por las condiciones climáticas del lugar (Guerra 2015).

Tabla 2: Composición de minerales (mg/100 g) en granos de cacao con diferentes días de fermentación.

Tiempo de aguante (Días)	Fermentación (Días)	Na	Fe	Ca	Mg	Zn	K
0	0	103,26 ± 1,00	4,26 ± 1,00	316,92 ± 0,47	32,52 ± 1,08	1,04 ± 0,04	255,12 ± 1,97
	3	48,12 ± 2,00	3,56 ± 0,58	347,50 ± 0,50	33,98 ± 1,08	2,22 ± 0,89	226,06 ± 2,65
	6	17,48 ± 2,08	2,58 ± 0,43	395,80 ± 1,15	148,32 ± 0,84	4,58 ± 0,47	643,36 ± 0,57
3	0	40,60 ± 1,15	3,42 ± 0,58	248,42 ± 2,08	35,44 ± 0,58	2,44 ± 0,53	155,46 ± 1,10
	3	33,60 ± 0,58	2,90 ± 0,57	275,78 ± 2,08	134,46 ± 0,50	2,68 ± 0,57	408,64 ± 0,45
	6	9,54 ± 2,08	1,42 ± 0,57	374,50 ± 1,92	156,70 ± 2,08	2,78 ± 0,48	569,06 ± 1,00
7	0	20,18 ± 1,00	3,58 ± 0,36	190,12 ± 1,00	29,56 ± 0,48	0,64 ± 0,00	252,52 ± 0,50
	3	12,70 ± 1,53	2,04 ± 1,00	260,00 ± 0,58	97,96 ± 0,91	1,16 ± 0,20	507,16 ± 0,92
	6	9,66 ± 1,53	1,90 ± 0,57	341,14 ± 1,00	144,42 ± 0,54	1,20 ± 0,10	621,10 ± 1,00
10	0	14,15 ± 2,00	5,26 ± 0,87	307,68 ± 1,53	36,10 ± 0,00	0,30 ± 0,01	289,62 ± 1,38
	3	11,72 ± 5,63	2,96 ± 0,46	301,40 ± 1,49	71,02 ± 1,00	0,56 ± 0,02	392,36 ± 1,53
	6	8,68 ± 0,58	2,30 ± 0,00	189,20 ± 1,65	165,66 ± 0,58	0,98 ± 0,02	815,06 ± 2,00

FUENTE: Afoakwa *et al.* (2013).

2.9 MODELOS MATEMÁTICOS

Según Gutiérrez y Vladimirovna (2014) los modelos matemáticos son una representación simbólica de un fenómeno llevado a cabo con el fin de un mejor estudio. Los modelos matemáticos pueden clasificarse en determinísticos y probabilístico.

- **Modelos determinísticos**

Es cuando se realiza el modelo matemático de un fenómeno y en este se pueden manejar los factores que intervienen en su estudio con el propósito de predecir sus resultados.

- **Modelos probabilístico**

Los modelos probabilísticos o modelos estocásticos son aquellos modelos matemáticos de los fenómenos en los cuales no se pueden controlar los factores que intervienen en su estudio, además de que dichos factores ocurren de tal manera que no es posible predecir sus resultados, con el objetivo de tomar buenas decisiones para optimizar los resultados.

Asimismo el modelo matemático está basado en la lógica matemática, en que los elementos son variables y funciones, y las relaciones entre ellas se expresan a través de relaciones matemáticas (ecuaciones, inecuaciones, operadores lógicos, etc.) que se igualan con las correspondientes relaciones del mundo real que modelizan (relaciones tecnológicas, leyes físicas, restricciones del mercado, etc.) Regalado et al. (2008).

Correlación

Según Laguna (2014) la fuerza de la asociación entre dos variables cuantitativas, con el fin de conocer la intensidad de la relación entre ellas y si, al aumentar el valor de una variable, aumenta o disminuye el valor de la otra variable. Es una de las técnicas estadísticas más utilizadas.

- **El coeficiente de correlación de Pearson “r”**

Evalúa específicamente la adecuación a la recta lineal que defina la relación entre dos variables cuantitativas. Puede tomar valores entre -1 y +1.

- **El coeficiente de determinación “R²”**

Indica el grado de ajuste de la recta de regresión a los valores de la muestra, y se define como el porcentaje de la variabilidad total de la variable dependiente Y que es explicada por la recta de regresión, cuanto menos dispersos sean los residuos mejor será la bondad del ajuste.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

El trabajo de investigación se realizó en las siguientes instalaciones: Laboratorio de Análisis Físicoquímico de Alimentos, Laboratorio de Evaluación Sensorial de la Facultad de Industrias Alimentarias y Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía; instalaciones de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

3.2 MATERIA PRIMA

Se utilizaron granos de cacao fermentados y secos del genotipo CCN 51 (Colección Castro Naranjal) proveniente de cinco zonas productoras del Perú: Aucayacu (Huánuco), Tingo María (Huánuco), Tocache (San Martín), Ucayali (Pucallpa) y Uchiza (San Martín).

3.3 MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

3.3.1 MATERIALES

- Agua destilada
- Baguetas
- Barras de agitación magnética
- Beakers de 40 mL, 500 mL
- Bolsa di-laminadas de 1 kg
- Botellas de plástico de 500 mL
- Crisol de porcelana
- Campana de desecación
- Fiolas de 10 mL y 25 mL
- Cuchillos para la prueba de corte del grano de cacao
- Mufla
- Papel filtro
- Piseta

- Placa para determinación de humedad
- Placas Petri
- Probeta de 1000 mL
- Tubo de digestión
- Papel tissue

3.3.2 EQUIPOS

- Aire acondicionado Carrier®
- Balanza Analítica Adventurer®, rango de medición (10-4 g) Mod. AR 2140.
- Balanza eléctrica (ADAM EQUIPEMET modelo CBW-12aH®) sensibilidad (0,1 g)
- Conductímetro inolab Cond Level 2 p.
- Destilador Kjeldahl
- Digestor Kjeldahl
- Equipo de filtración al vacío
- Espectrofotómetro de absorción atómica (EAA) – Perkin Elmer AAnalyst 200.
- Estufa Memmert®
- Molino de cuchillas Molinex®
- Mufla
- Refrigeradora
- Sistema semi-micro Kjeldahl
- Sistema Soxhlet
- Termómetro Hanna
- Vernier Stainless Hardened® 0-200 mm.

3.3.3 REACTIVOS

- Ácido sulfúrico concentrado
- Ácido nítrico
- Ácido perclórico
- Agua destilada
- Éter de petróleo
- Hidróxido de sodio 0,1 N
- Reactivos para determinación de proteínas
- Solución buffer de pH 4,01 y de pH 7,01

- Solución de ácido bórico al 3 por ciento (p/v)
- Solución de ácido clorhídrico 0,1 N y 8 M
- Solución de ácido sulfúrico al 1,25 por ciento (p/v)

3.4 MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.4.1 ÍNDICE DE GRANO

El índice de grano se determinó siguiendo la metodología de la Norma Técnica Peruana ISO: 2451 (2018). Se realizó el conteo de 100 granos de cacao fermentados y secos elegidos al azar, se procedió a registrar su peso, y se procedió a utilizar la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de grano} = \frac{\text{Peso de 100 granos (g)}}{100}$$

3.4.2 DIMENSIONES Y RELACIÓN LARGO/ESPESOR DEL GRANO

Se realizó la medición de las dimensiones de granos de cacao, para lo cual se utilizó un vernier electrónico siguiendo el orden de: largo, ancho y espesor utilizada por Chire *et al.* (2014). Se registró las dimensiones de 20 granos de cacao fermentados y secos. Seguidamente se determinó la relación L/e (largo/espesor) para cada grano mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Relación L/e} = \frac{\text{Largo de grano (mm)}}{\text{Espesor de grano (mm)}}$$

3.4.3 PRUEBA DE CORTE

La evaluación del índice de fermentación se determinó según lo indicado en la Norma Técnica Peruana NTP – ISO 2451 (2018). Menciona que la prueba de corte consiste en hacer un corte longitudinal por la parte central de 300 granos de cacao, a fin de exponer la máxima superficie de corte de los cotiledones para examinar visualmente las mitades de cada grano, bajo una iluminación artificial equivalente a la luz diurna separando los granos defectuosos de aquellos que si cumplen con una adecuada fermentación.

$$\text{ÍF} = \frac{\text{Grano de cacao bien fermentados}}{300 \text{ granos}} \times 100$$

3.4.4 COMPOSICIÓN PROXIMAL

Se realizaron los siguientes análisis al grano de cacao fermentado y seco, asimismo a los granos de cacao lixiviados, en todos los casos la evaluación de los granos fue con cáscara. Los granos de cacao se acondicionaron para la determinación proximal. Humedad por el método 931.04 (AOAC 2016), proteína cruda por el método 970.22 (AOAC 2016), grasa cruda por el método 920.75 (AOAC 2016), ceniza por el método 972.15 (AOAC 2016), fibra cruda por el método 930.20 (AOAC 2016), carbohidratos totales.

3.4.5 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL LÍQUIDO LIXIVIADO QUE CONTENÍAN LOS GRANOS DE CACAO

El ensayo de conductividad eléctrica (Sørensen *et al.* 1996, adaptado por Loo 2018) se realizó al líquido lixiviado que contenían a los granos de cacao CCN 51 fermentados y secos para determinar el índice de fermentación. Se tomaron muestras de 20 granos enteros (con cáscara) y se procedió a pesar en una balanza electrónica (0,1 g). Los granos de cacao fueron enjuagados por diez segundos con agua desionizada para eliminar residuos que puedan interferir en la lixiviación de los electrolitos, estos granos fueron colocados en botellas de 500 mL, con 400 mL de agua desionizada por un periodo de 24 horas a 25 °C. También se consideró el blanco con 400 mL de agua desionizada que acompañó a cada batería. Las botellas de vidrio que contenían los granos de cacao con agua desionizada se mantuvieron cerradas por el periodo de 24 horas para evitar evaporación y contaminación. Culminado el periodo de imbibición, se procedió a homogeneizar el medio acuoso agitándolo por 10 segundos y se decantó el líquido en botellas de plástico con capacidad de 250 mL para medir con el conductímetro (inolab Cond Level 2 p), el valor de conductividad eléctrica en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Loo 2018). El valor de conductividad eléctrica del medio acuoso con granos enteros ($\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$) se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Conductividad eléctrica } (\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}) = \frac{\text{CE}_{\text{MA}} - \text{CE}_{\text{B}}}{m}$$

Donde:

CE_{MA} : Conductividad eléctrica del medio acuoso ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

CE_{B} : Conductividad eléctrica del blanco ($\mu\text{S}/\text{cm}$), que es CE del agua desionizada

m : Peso de los 20 granos de cacao (g)

3.4.6 ANÁLISIS DE MINERALES

A los granos de cacao fermentado y seco (con cáscara); y al líquido lixiviado que contenían los granos de cacao se determinó el contenido de los siguientes minerales: calcio (Ca), fósforo (P), magnesio (Mg), potasio (K), hierro (Fe) y cadmio (Cd). Estos minerales fueron analizados con un Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Perkin –Elmer 1982).

Para conocer el contenido de minerales de los granos de cacao después del lixiviado se realizó un cálculo utilizando la siguiente ecuación:

$$g = \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{\text{g}}{1000 \text{ mL}} \times 0,4\text{L}$$

Donde:

mg = contenido de minerales de granos de cacao antes de lixiviar

g = peso de los 20 granos de cacao que fueron colocados 400 mL de agua desionizada

3.5 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

En la Figura 15 se muestra el esquema experimental; en materia prima se realizaron los siguientes análisis características físicas (índice de grano, dimensiones y relación Largo/espesor, caracterización por composición físicoquímica proteína cruda, grasa cruda, ceniza, fibra cruda, carbohidratos totales, calcio (Ca), fósforo (P), magnesio (Mg), potasio (K), hierro (Fe) y cadmio (Cd) de los granos de cacao CCN 51 fermentado y seco de diferentes procedencias.

Se determinó el índice de fermentación con la prueba de corte y por el método conductimétrico.

Se determinó la composición proximal de los granos de cacao lixiviados (que estuvieron inmersos en el agua desionizada) y composición química del lixiviado de las cinco muestras de diferentes procedencias.

Se realizó la validación del método conductimétrico a partir de los valores de media y desviación estándar de los resultados obtenidos con granos de cacao provenientes de Uchiza. Se determinó la correlación de tiempo de fermentación y el índice de fermentación,

correlación de tiempo de fermentación y Conductividad Eléctrica y se realizó el modelamiento del índice de fermentación por las dos metodologías.

3.6 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para evaluar se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA) para analizar el factor procedencia de las cinco muestras de granos de cacao fermentado y seco. Las variables respuesta fueron: índice de grano, largo, ancho, espesor y relación Largo/espesor, humedad, proteína cruda, grasa cruda, cenizas, fibra cruda, carbohidratos totales, calcio, fósforo, magnesio, potasio, hierro y cadmio. Se aplicó ANVA y la prueba de múltiples rangos LSD para las comparaciones de media ($p \leq 0,05$) con respecto a las procedencias, fueron analizados tres repeticiones para cada tratamiento y los resultados se expresaron como el promedio \pm desviación estándar.

Se realizó el modelamiento para los valores obtenidos del índice de fermentación a partir del método de la prueba de corte y el método conductimétrico. Se realizaron tres repeticiones para cada tratamiento y los resultados Se aplicó ANVA y la prueba de múltiples rangos LSD para las comparaciones de media ($p \leq 0,05$) con respecto a las procedencias, fueron analizados tres repeticiones para cada tratamiento y los resultados se expresaron como el promedio \pm desviación estándar.

Se realizó el análisis de la composición proximal a los granos de cacao lixiviados de las cinco muestras de granos de cacao CCN 51. Se realizó el análisis de la composición química del lixiviado tales como calcio, fósforo, magnesio, potasio, hierro y cadmio se expresó como el promedio \pm desviación estándar. Se aplicó ANVA y la prueba de múltiples rangos LSD para las comparaciones de media ($p \leq 0,05$) con respecto a las procedencias, fueron analizados tres repeticiones para cada tratamiento y los resultados se expresaron como el promedio \pm desviación estándar.

Se realizó la validación del método conductimétrico e índice de fermentación con granos de cacao de mayor valor de índice de fermentación, se determinó la correlación entre cada uno de los minerales con el índice de fermentación.

El paquete estadístico utilizado para los cálculos estadísticos fue el Statgraphics® Centurion XVI para todas las evaluaciones.

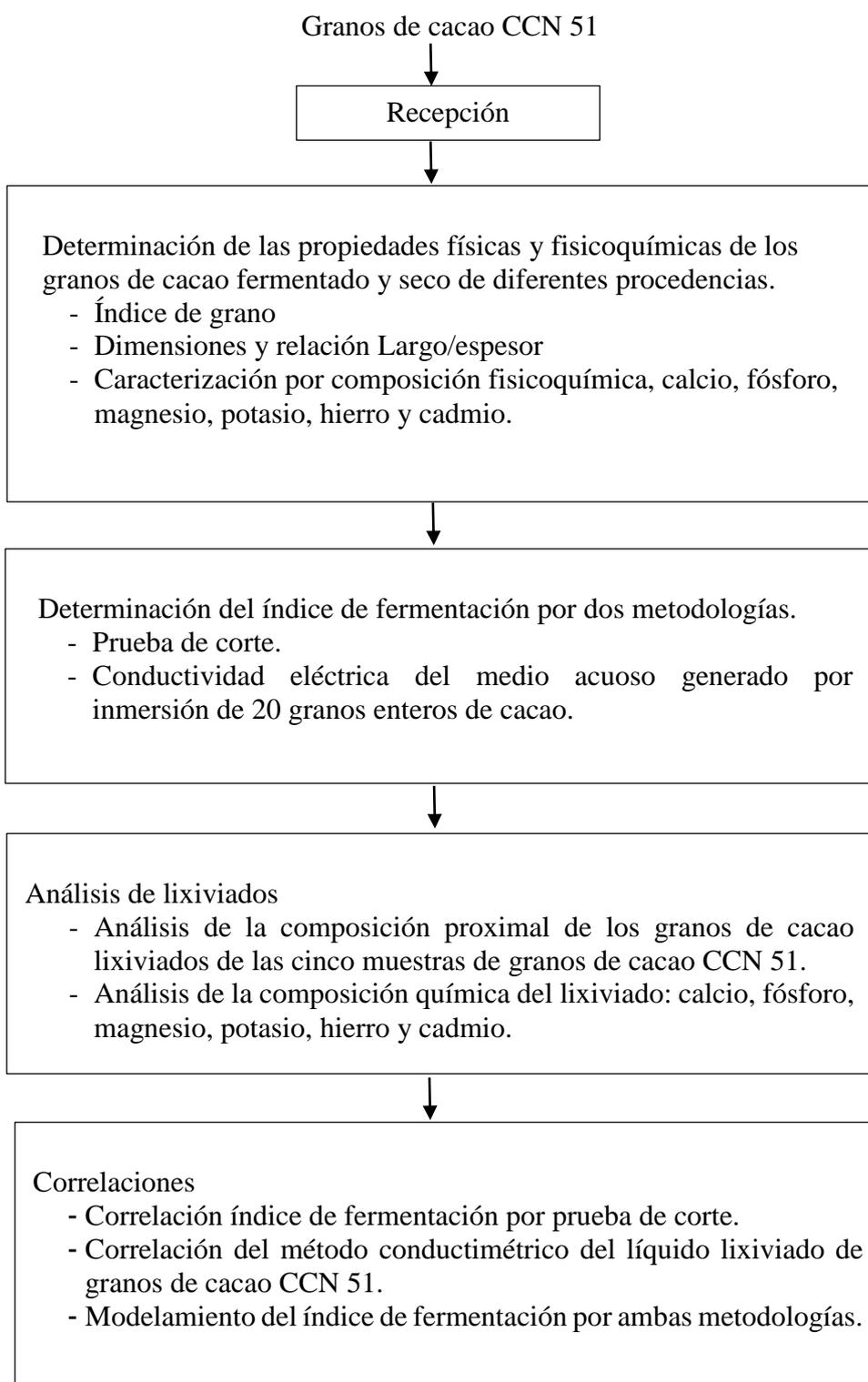


Figura 15. Esquema experimental para evaluación de los granos de cacao genotipo CCN 51.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y FISICOQUÍMICAS DEL CACAO

4.1.1. ÍNDICE DE GRANO

En la Tabla 3, Anexos 1 y 2 se presentan los resultados obtenidos de índice de grano, valores de cada repetición y el análisis estadístico correspondiente de granos cacao fermentado y seco del genotipo CCN 51 de diferente procedencia, respectivamente. El análisis de varianza determinó que existen diferencias significativas ($p \leq 0,05$) del índice de grano con respecto a la procedencia de los granos de cacao. Los granos procedentes de Tingo María y Ucayali son similares y diferentes de las muestras de Aucayacu, Tocache y Uchiza.

Tabla 3: Índice de grano de genotipo CCN 51 de diferente procedencia.

Procedencia	Días de fermentación	Índice de Grano (g/grano)
Aucayacu	4	$1,42 \pm 0,04^b$
Tingo María	7	$1,56 \pm 0,01^c$
Tocache	5	$1,37 \pm 0,02^a$
Ucayali	6	$1,54 \pm 0,01^c$
Uchiza	7	$1,66 \pm 0,03^d$

Los resultados se expresan como el promedio \pm la desviación estándar de tres repeticiones del índice de grano para cada procedencia. Letras distintas (a, b, c y d) en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) de menor a mayor en orden alfabético.

Además, se observa que el índice de grano varían de acuerdo a los días de fermentación, mostrando una relación entre el tiempo de fermentación y el índice de grano. De acuerdo a los valores obtenidos de índice de grano, los provenientes de Tingo María, Ucayali y Uchiza son considerados como granos de tamaño grande, según la clasificación de Soria y Enríquez (1981), citados por García (2012), que realiza la clasificación de los granos de cacao en función de su peso seco; se considera grano de tamaño grande a los que están

dentro de la escala de 1,5 – 1,8 g/grano. Los valores reportados de este trabajo de investigación son $1,56 \pm 0,01$; $1,54 \pm 0,01$ y $1,66 \pm 0,03$ g/grano, respectivamente que se encuentran dentro de la escala mencionada. Al respecto Bartley (2005), indica que el tamaño de las semillas de cacao secas puede ser de tamaño pequeño con peso promedio de 0,5 g y de tamaño grande que pueden llegar a pesar 2,0 g.

Los granos provenientes de Aucayacu y Tocache presentaron valores de índice de grano $1,42 \pm 0,04$ y $1,37 \pm 0,02$ g/grano, respectivamente, estas muestras se encuentran dentro de la escala 1,10 – 1,40 g/grano que corresponden a semillas de tamaño intermedio (García 2012). Al respecto Vera (2014), Rivera (2018) y Loo (2018) reportaron valores de índice de grano de 1,62 g/grano, 1,39 – 1,59 g/grano y 1,64 – 1,66 g/grano, respectivamente para granos de cacao seco de genotipo CCN 51, estos resultados coinciden con los reportados en esta investigación. Sobre el particular FEDECACAO (2004), menciona que el índice de grano del genotipo CCN 51 está dentro del rango de 1,58 – 1,73 g/grano; García (2012) reportó el valor de 1,4 g/grano, Boza *et al.* (2014) 1,54 g/grano y Sanchez *et al.* (2019) 1,61 g/grano valor de índice de grano que se encuentran dentro del rango de los valores reportados en este trabajo; en cambio Boza *et al.* (2014) y Yamada *et al.* (2009), encontraron que el genotipo CCN 51 tiene buen rendimiento y tamaño de semilla (aproximadamente 1,54).

La evaluación del índice de grano (peso de grano) es de importancia ya que permite determinar rendimientos en el proceso de transformación del grano de cacao (Motamayor *et al.* 2002, Aguilar 2016). Es importante mencionar que las diferencias de los resultados obtenidos podrían estar relacionados con factores ambientales como temperatura y precipitación, tipo de suelo y manejo agronómico las cuales afectan el tamaño de los granos de cacao (Daymond & Hadley 2008, Cilas *et al.* 2010).

4.1.2. DIMENSIONES Y RELACIÓN LARGO/ESPESOR (L/e)

En la Tabla 4, Anexos 3 y 4 se muestran los resultados obtenidos de la medición de los granos de cacao, datos obtenidos de las tres repeticiones y el análisis de varianza, respectivamente. Los resultados de ancho y relación L/e no muestran diferencias significativas ($p > 0,05$) con respecto al lugar de procedencia, lo que demuestra que los granos de cacao de diferentes procedencias son homogéneos.

Tabla 4: Dimensiones de largo, ancho, espesor y relación L/e de granos de cacao CCN 51.

Procedencia	Ancho (mm)	Largo (mm)	Espesor (mm)	Relación L/e
Aucayacu	13,10 ± 0,32 ^a	22,39 ± 1,90 ^a	8,43 ± 0,32 ^a	2,66 ± 0,15 ^a
Tingo María	13,51 ± 0,25 ^a	24,77 ± 0,22 ^{a,b}	9,81 ± 0,16 ^{a,b}	2,53 ± 0,03 ^a
Tocache	13,33 ± 0,45 ^a	23,66 ± 0,09 ^b	8,77 ± 0,35 ^{b,c}	2,70 ± 0,11 ^a
Ucayali	13,37 ± 0,11 ^a	24,20 ± 0,13 ^b	9,22 ± 0,24 ^{b,c}	2,63 ± 0,08 ^a
Uchiza	13,67 ± 0,50 ^a	24,30 ± 0,47 ^b	9,37 ± 0,48 ^c	2,60 ± 0,11 ^a

Los resultados se expresan como el promedio ± la desviación estándar de tres repeticiones. Letras distintas (a, b y c) en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) de menor a mayor en orden alfabético.

Los resultados de la relación de L/e oscila entre $2,53 \pm 0,03$ a $2,70 \pm 0,11$ mm de procedencia Tingo María y Tocache, respectivamente, se observó que el ancho de los granos se mantiene constante; sin embargo, existen diferencias significativas ($p \leq 0,05$) de largo y espesor con lugar de procedencia de las muestras estudiadas. Al respecto, Loo (2018) y Rivera (2018) reportaron valores de dimensiones para largo 21,88 a 24,82 mm, ancho 12,42 a 13,93 mm, espesor 8,04 a 9,74 mm y relación L/e 2,16 a 2,58 mm para granos de cacao provenientes de Uchiza con seis días de fermentación. Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación se encuentran dentro de estos valores.

Loo (2018) observó una relación directamente proporcional del espesor del grano y días de fermentación afirmando que el espesor incrementa conforme transcurren los días de fermentación de cero a seis días, esto se debe a que los granos de cacao durante la fermentación sufren hinchamiento a causa de la separación de los alvéolos siendo el espesor la dimensión mas sensible al cambio (Ndukwu *et al.* 2012).

Los resultados obtenidos de las variables ancho, largo, espesor y relación L/e de granos de cacao procedentes de Aucayacu no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$), estos resultados podrían estar relacionados con los días de fermentación por lo que obtuvo menor valor de índice de grano.

Según Tunde-Akintunde y Akintunde (2007), las dimensiones largo y espesor del grano de cacao fermentado son afectadas de forma proporcional, debido a que al incrementar su humedad, los valores de dimensión de largo y espesor incrementan. En el proceso de secado la humedad aún disminuye hasta valores de 7 a 7,5 por ciento (Páramo *et al.* 2010).

Las dimensiones de los granos de cacao son un factor de interés para la industria procesadora a fin de seleccionar los equipos acorde con las dimensiones de la materia prima a tratar (Wollgast y Anklam 2000, Martínez 2016). El tamaño de los granos de cacao es una característica altamente heredable y es gobernada por genes dominantes, estas condiciones están bajo el control genético (Álvarez *et al.* 2010; Cilas *et al.* 2010; Lachenaud 1995; Lockwood & Pang 1995).

4.1.3. COMPOSICIÓN PROXIMAL DE GRANOS DE CACAO

En la Tabla 5 y Anexos 5 y 6 se presentan los resultados del análisis de proteína cruda, grasa cruda, ceniza, fibra cruda y carbohidratos totales, los valores obtenidos de las tres repeticiones y el análisis de varianza, respectivamente.

Los resultados obtenidos para granos cacao analizados en esta investigación fueron de 6,10 a 7,15 por ciento de humedad, estos valores están dentro de lo reportado por Rivera (2018) y Gutiérrez y Gonzales (2018) de 6,02 a 7,10 por ciento para granos de cacao CCN 51. Al respecto, Vera (2014) recomienda que los granos de cacao tengan contenido de humedad entre 6 – 7 por ciento para garantizar la calidad de los granos y evitar el crecimiento de hongos. Asimismo, no es recomendable que los granos de cacao tengan contenido de humedad inferior al seis por ciento ya que pierden peso y son quebradizos (Reyes y De reyes 2000), esto perjudica su transporte y a los productores debido a la devaluación del precio del producto por la pérdida de calidad. Es importante destacar que los resultados de humedad obtenidos no superan el límite de calidad establecido por la Norma Técnica Peruana NTP-ISO 2451 (2018) valor de 7,5 por ciento para granos de cacao fermentado.

Tabla 5: Composición proximal de los granos de cacao fermentados y secos de genotipo CCN 51.

Procedencia	Proteína cruda (b. s.)	Grasa cruda (b. s.)	Ceniza (b. s.)	Fibra cruda (b. s.)	Carbohidratos totales (b. s.)
	%	%	%	%	%
Aucayacu	15,48 ± 0,20 ^{ab}	42,41 ± 0,30 ^{ab}	3,56 ± 0,09 ^{bc}	6,79 ± 0,05 ^c	38,55 ± 0,50 ^b
Tingo María	14,95 ± 0,12 ^a	42,74 ± 0,60 ^b	3,76 ± 0,12 ^c	7,04 ± 0,05 ^d	38,56 ± 0,50 ^b
Tocache	15,08 ± 0,34 ^{ab}	45,33 ± 0,20 ^c	3,28 ± 0,04 ^a	6,37 ± 0,02 ^b	36,31 ± 0,37 ^a
Ucayali	15,74 ± 0,60 ^c	41,80 ± 0,43 ^a	3,67 ± 0,12 ^c	7,97 ± 0,02 ^e	38,78 ± 1,09 ^b
Uchiza	15,73 ± 0,56 ^c	44,45 ± 0,16 ^c	3,40 ± 0,24 ^{ab}	5,74 ± 0,08 ^a	36,42 ± 0,23 ^a

Los resultados se expresan como el promedio ± la desviación estándar de tres repeticiones por cada lugar de procedencia de los granos de cacao. Letras distintas (a, b, c, d y e) en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) de menor a mayor en orden alfabético.

Respecto a proteína cruda de los granos de cacao, presentó diferencias significativas ($p \leq 0,05$) con respecto al lugar de procedencia, donde los mayores contenidos fueron para Ucayali $15,74 \pm 0,60$ por ciento y Uchiza $15,73 \pm 0,56$ por ciento. El menor valor le correspondió a Tingo María con $14,95 \pm 0,12$ por ciento. Los valores de proteína cruda encontrados en este estudio se encuentran dentro de lo descrito por Gutiérrez y Gonzales (2018) y Aldave (2016), donde el rango del contenido de proteína cruda es de 14,30 a 15,24 por ciento. Las proteínas intervienen en las reacciones que ocurre durante la fermentación de los granos de cacao y durante el secado, estando relacionadas con el aroma característico del cacao (Amin *et al.* 2002, Martínez 2016).

Referente a grasa cruda, presentaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) con respecto al lugar de procedencia de los granos de cacao, se encontró mayor contenido en granos de cacao procedentes de Tocache con $45,33 \pm 0,20$ por ciento y Uchiza con $44,45 \pm 0,16$ por ciento. El menor valor fue para los procedentes de Ucayali con $41,80 \pm 0,43$ por ciento. Estos resultados coinciden con los encontrados por Vera *et al.* (2014) quien reportó 41,44 por ciento de contenido de grasa cruda en granos de cacao. Sin embargo, difieren de los indicados por Loo (2018) y Rivera (2018) quienes reportaron 1,32 y 47,28 por ciento, respectivamente para granos de cacao CCN 51.

Afoakwa *et al.* (2014) y Martínez (2016) encontraron valores de 53,35 y 56,92 por ciento, respectivamente, siendo clasificados como altos según los resultados reportados por Boza *et al.* (2014). Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que el contenido de grasa cruda es variable. Según Rondanini *et al.* (2003) la temperatura en el cultivo tiene efecto en el contenido y perfil de grasa de los granos de cacao.

Daymon & Hadley (2008) concluyen que la variación estacional de la temperatura tiene efecto significativo sobre el contenido y perfil de grasa en los granos de cacao de dos genotipos evaluados procedentes de Brasil, lo que explicaría la diferencia del contenido de grasa cruda en los granos de cacao de diferente procedencia utilizados en este trabajo. Al respecto; la concentración de grasa en los granos de cacao varía de acuerdo al genotipo, edad de la planta, el tiempo de cosecha y proceso de beneficio (Lima *et al.* 2011).

Los resultados del contenido de cenizas y lugar de procedencia presentaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$), se observó mayor contenido de cenizas en granos de cacao

procedentes de Tingo María con $3,76 \pm 0,12$ por ciento; Tocache obtuvo el menor valor $3,28 \pm 0,04$ por ciento de cenizas. Al respecto Vera *et al.* 2014 y Vivanco *et al.* 2017 encontraron valores menores de ceniza 2,79 y 5,51 por ciento en granos de cacao CCN 51 procedente de Ecuador. Lares *et al.* (2012) obtuvo 2,96 por ciento, respectivamente de cenizas en granos de cacao fermentado y seco. Los resultados de esta investigación están dentro de los valores indicados por los autores mencionados.

Respecto a fibra cruda se encontró diferencias significativas ($p \leq 0,05$) con respecto al lugar de procedencia de los granos de cacao. El mayor contenido de fibra cruda fue para la muestra proveniente de Ucayali con $7,97 \pm 0,02$ por ciento. Uchiza reportó el menor contenido de fibra con $3,28 \pm 0,04$ por ciento. Loo (2018), Rivera (2018) y Aldave (2016) reportaron valores de fibra cruda entre 5,09 a 5,74 por ciento. Sin embargo, Martínez (2016) encontró contenido de fibra de 2,15 por ciento en granos de cacao CCN 51 procedente de Huila - Colombia. Los valores obtenidos en esta investigación fueron más dispersos en este componente los cinco lugares evaluados mostraron valores diferentes, lo que demuestra que el ambiente influye en el contenido final de fibra (Martínez 2016). Daymond & Hadley (2008) y Perea *et al.* (2011), mencionan que las cantidades de fibra difieren por las técnicas de cultivo, clima, tipo de suelo y factores ambientales como altura sobre el nivel del mar.

Se determinó diferencias significativas en el contenido de carbohidratos totales con respecto al lugar de procedencia ($p \leq 0,05$), el mayor contenido fue para los granos procedentes de Ucayali ($38,78 \pm 1,09$ por ciento), Tingo María ($38,55 \pm 0,50$ por ciento) y Aucayacu ($38,55 \pm 0,50$ por ciento) y el menor contenido para los procedentes de Tocache ($36,31 \pm 0,37$ por ciento) y Uchiza ($36,42 \pm 0,23$ por ciento); resultados muy cercanos a los obtenidos por Gutiérrez y Gonzales (2018) y Aldave (2016) quienes obtuvieron valores de 37,60 y 36,78 por ciento, respectivamente.

4.1.4. ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN DE MINERALES DE LOS GRANOS DE CACAO

En la Tabla 6, Anexos 7 y 8 se presentan los resultados obtenidos del contenido de calcio, fósforo, magnesio, potasio, hierro y cadmio, valores de cada una de las repeticiones y el análisis estadístico, respectivamente.

Las muestras procedentes de Tocache, Ucayali y Uchiza presentaron valores de $0,08 \pm 0,01$ por ciento de calcio, que difieren estadísticamente de los de Tingo María con $0,06 \pm 0,01$ por ciento y Aucayacu con $0,09 \pm 0,01$ por ciento, siendo estas últimas también diferentes entre ellas. El calcio es de importancia ya que forma parte de la pared celular de los tejidos vegetales, principalmente en las primeras etapas de desarrollo y crecimiento de la raíz, tallo, hoja, inflorescencia y fruto (Echevarría y García 2006).

Las cinco muestras evaluadas no mostraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre el contenido de fósforo manteniéndose en $0,45 \pm 0,24$ por ciento el mayor valor para los procedentes de Tocache. El valor intermedio es de $0,42 \pm 0,22$ por ciento a las muestras procedentes de Uchiza. Según Grembecka y Szefer (2012), entre los componentes minerales el macroelemento más abundante en cacao es el potasio, seguido de fósforo, resultados que coinciden con lo encontrado por este trabajo de investigación. Al respecto, Marshner (1995) indica que el fósforo es otro de los elementos de mayor cantidad debido a que se acumula especialmente en semillas y flores.

En magnesio tampoco se encontró diferencias significativas en todas las muestras evaluadas en granos de cacao, el menor valor corresponde a las muestras procedentes de Aucayacu ($0,28 \pm 0,02$ por ciento) y el mayor valor a los procedentes de Tingo María ($0,35 \pm 0,08$ por ciento). Este resultado coincide con lo encontrado por Furcal-Beriguete (2017) quien encontró 0,33 por ciento de magnesio en granos de cacao procedentes de Katira. El magnesio tiene un papel importante en la función fisiológica de los vegetales, contribuye junto al fósforo en la formación de diferentes compuestos químicos de la semilla (Campos 1981).

En el contenido de potasio las muestras de Aucayacu $1,14 \pm 0,28$ por ciento, Tocache $1,03 \pm 0,07$ por ciento, Ucayali $1,10 \pm 0,16$ por ciento y Uchiza $0,98 \pm 0,04$ por ciento son similares variando estadísticamente las muestras procedentes de Tingo María $1,28 \pm 0,17$ por ciento; similares resultados en composición química reportaron Furcal-Berigueta (2017) con valores de 1,12 a 1,05 por ciento. Según Afoakwa *et al.* (2011), indican que el potasio es el mineral más abundante en los granos de cacao de Ghana y esto podría verse influenciado por el tipo de suelo donde se cultivó el cacao, debido a que el potasio es un nutriente esencial y el catión más abundante en las células vegetales (Szczerbab 2009), además es importante para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Véry y

Sentenac 2003), así como para controlar los procesos fisiológicos como la floración y la producción de mazorcas (Snoeck *et al.* 2016; Almeida y Valle 2008).

El contenido de hierro en granos de cacao no presentó diferencias significativas ($p > 0,05$) con respecto al lugar de procedencia de los granos, siendo su valor promedio de 48,2 ppm. Afoakwa *et al.* (2013) reportaron valores de contenido de hierro 25,8 ppm, magnesio 0,15 por ciento, calcio 0,4 por ciento y potasio 0,64 por ciento en granos de cacao procedentes del Este de Ghana con seis días de fermentación, estas diferencias podrían estar relacionadas al tipo de suelo donde estuvieron plantados los árboles de cacao. Grembecka y Szefer (2012) indican que el hierro es el microelemento principal en el cacao.

En cadmio las muestras similares fueron las procedentes de Aucayacu $5,34 \pm 0,37$ ppm y Tingo María $5,34 \pm 0,86$ ppm; las de Tocache $1,77 \pm 0,24$ ppm y Uchiza $1,79 \pm 1,02$ ppm siendo diferentes a ambos grupos las procedentes de Ucayali $3,14 \pm 0,31$ ppm. Asimismo se debe indicar que los menores valores correspondieron a los granos de cacao procedentes de Tocache y Uchiza.

El cadmio es reconocido como un factor de riesgo para la salud humana, se encuentra en el suelo en forma natural o por labores culturales del hombre (Guo *et al.* 2010; Aikpokpodion 2012; Zia-ur-Rehman 2015). Izquierdo (1998) indica que la concentración de cadmio en las hojas de cacao posiblemente esta relacionado con factores del suelo, Puga *et al.* (2006) y Arévalo – Gardini *et al.* (2016) indican existen diversas variables para que este elemento sea absorbido por las plantas ya que juegan un papel importante en reducir o aumentar la toxicidad de los metales en el suelo.

El reglamento de la UE (2014), considera como contenido máximo de cadmio en diversos productos de cacao y chocolate de 0,10 a 0,80 mg/kg destinados al consumo humano. En nuestro país el cadmio influye negativamente en la comercialización de granos de cacao y derivados; este problema afecta al cacao en grano procedente en determinadas zonas de cultivo (CAOBISCO/ECA/FCC 2015).

Tabla 6: Contenido de minerales de granos de cacao CCN 51

Procedencia	Calcio %	Fósforo %	Magnesio %	Potasio %	Hierro Ppm	Cadmio ppm
Aucayacu	0,09 ± 0,01 ^c	0,29 ± 0,10 ^a	0,28 ± 0,02 ^a	1,14 ± 0,28 ^{ab}	43,0 ± 11,27 ^a	5,34 ± 0,37 ^c
Tingo María	0,06 ± 0,01 ^a	0,39 ± 0,21 ^a	0,35 ± 0,08 ^a	1,28 ± 0,17 ^c	56,33 ± 2,08 ^a	5,34 ± 0,86 ^c
Tocache	0,08 ± 0,01 ^b	0,45 ± 0,24 ^a	0,30 ± 0,09 ^a	1,03 ± 0,07 ^{ab}	47,0 ± 11,27 ^a	1,77 ± 0,24 ^a
Ucayali	0,08 ± 0,00 ^b	0,41 ± 0,21 ^a	0,31 ± 0,11 ^a	1,10 ± 0,16 ^{ab}	48,33 ± 4,16 ^a	3,14 ± 0,31 ^b
Uchiza	0,08 ± 0,01 ^b	0,42 ± 0,22 ^a	0,30 ± 0,05 ^a	0,98 ± 0,04 ^a	46,33 ± 6,35 ^a	1,79 ± 1,02 ^a

Los resultados se expresan como el promedio ± la desviación estándar de tres repeticiones. Letras distintas (a, b y c) en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) de menor a mayor en orden alfabético

La capacidad de absorción y uso de nutrientes esta sujeta a variables como el material genético y el contenido de nutrientes disponibles en suelo donde se encuentran plantados los árboles de cacao (Bertsch 2005; Puentes-Páramo *et al.* 2014).

La diferencia del contenido de minerales con respecto al lugar de procedencia podrían tener su similitud en el lavado de suelos como lo indican Echevarria y García (2006), quienes indican que el lixiviado de nutrientes en el suelo es el principal mecanismo de pérdida en los sistemas agrícolas de regiones húmedas o en sistemas bajo riego, uno de los factores que puede influir en pérdidas por lixiviación son las características de suelo que afectan el movimiento del agua, considerando al suelo como un medio poroso homogéneo sin agregación y sin cargas electroquímicas.

Considerando que en muchos cultivos comercialmente de gran importancia el fósforo, potasio, calcio y magnesio son macronutrientes trascendentales para el desarrollo y rendimiento del árbol de cacao y tomando en cuenta que se ha estudiado el mismo genotipo de cacao; los resultados muestran diferencias significativas según el origen de los granos de cacao fermentados, los que pueden estar afectados también por las prácticas locales en el manejo del cultivo de cacao y a factores ambientales.

4.2. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE FERMENTACIÓN

4.2.1. ÍNDICE DE FERMENTACIÓN

En la Tabla 7, Anexos 9 y 10 se presentan los resultados del índice de fermentación, valores de índice de fermentación por cada repetición y el análisis de varianza, respectivamente. Mediante el análisis de varianza se determinó que presentan diferencias significativas ($p \leq 0,05$) con respecto al lugar de procedencia de los granos de cacao.

El mayor valor de índice de fermentación fue para los granos de cacao procedentes de Uchiza con $86,67 \pm 2,89$ por ciento para siete días de fermentación y el menor porcentaje le correspondió a las muestras procedentes de Aucayacu y Ucayali con $37,67 \pm 2,51$ por ciento para cuatro días de fermentación y $37,67 \pm 2,08$ por ciento para seis días de fermentación, respectivamente.

Tabla 7: Índice de fermentación de granos de cacao CCN 51 de diferente procedencia.

Procedencia	Días de fermentación	IF_{PC} (%)
Aucayacu	4	37,67 ± 2,51 ^a
Tingo María	7	48,00 ± 2,65 ^b
Tocache	5	79,33 ± 7,37 ^c
Ucayali	6	37,67 ± 2,08 ^a
Uchiza	7	86,67 ± 2,89 ^d

Los resultados se expresan como el promedio ± la desviación estándar de tres repeticiones por cada procedencia de granos de cacao. Letras distintas (a, b, c y d) en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) de menor a mayor en orden alfabético.

Díaz y Pinoargote (2012) reportaron índice de fermentación de 79,3 por ciento para granos de cacao fermentados por cinco días del genotipo CCN 51, el mismo valor obtenido para granos de cacao procedentes de Tocache (79,33 ± 7,37 por ciento) para cinco días de fermentación.

Rivera (2018) y Meza (2010) reportaron índice de fermentación de 81,8 por ciento y 60 por ciento para granos de cacao fermentados por seis días de genotipo CCN 51, lo cual difiere del valor obtenido en esta investigación (37,67 ± 2,08 por ciento) para seis días de fermentación.

Estas diferencias de los índices de fermentación podrían deberse a factores influyentes como la cantidad de masa en la fermentación, diseño de fermentador utilizado, factores ambientales y la cantidad de remociones durante la fermentación, ya que las remociones favorecen la fermentación de granos de cacao (Puziah *et al.* 1998, Teneda 2016, Rodríguez 2006, Meza 2010).

Se determinó que el índice de fermentación por prueba de corte (IF_{PC}) es directamente proporcional al tiempo, es decir que a medida que aumentan los días de fermentación aumenta el índice de fermentación. La evaluación estadística indicó que Aucayacu y Ucayali no mostraron diferencias significativas ($p > 0,05$) para el índice de fermentación.

Se debe tomar en cuenta que si el índice de fermentación (porcentaje de granos marrones) es mayor al 60 por ciento es indicativo de que se ha dirigido un correcto desarrollo del sabor y aroma de los granos de cacao (Afoakwa *et al.* 2012) de lo contrario, no se producirá el sabor a cacao y en los productos elaborados con dichos granos serán amargos, astringentes (Schwan y Wheals 2004, Jalil e Ismail 2008). En consecuencia, cabe mencionar que los granos de cacao procedentes Tocache y Uchiza tienen valores de IF que corresponden a granos de cacao de buena calidad.

Durante la fermentación se desarrolla el cambio de coloración de los granos de cacao debido a que las polifenol oxidasas convierten los polifenoles (principalmente epicatequina y antocianidinas libres) en quinonas. Los polifenoles y quinonas forman complejos con otros polifenoles, proteínas y péptidos, disminuyendo su solubilidad y astringencia, dando lugar a la coloración marrón (Shamsuddin & Dimick 1986 y Chávez 2017), en el secado se desarrollan los pigmentos de color marrón que es característico en los granos de cacao por lo que el índice de fermentación incrementa (Cros y Jeanjean 1995, Jinap *et al.* 1994 y Nogales *et al.* 2006).

Es importante mencionar que la correcta fermentación de los granos de cacao dará origen a los precursores del sabor y del aroma a chocolate, un cacao que presenta fermentación deficiente tendrá presencia de sensación astringente, acidez intensa y como consecuencia afectará la calidad del cacao en grano (Contreras *et al.* 2004; Caballero *et al.* 2016; Afoakwa *et al.* 2008; Portillo 2006; Cardona 2016; Meersman *et al.* 2015).

4.2.2. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL LIXIVIADO

En la Tabla 8 y Anexos 11 y 12 se muestra los resultados de CE del medio acuoso de granos de cacao, los valores de cada repetición y su análisis estadístico, respectivamente.

La evaluación estadística de las muestras correspondientes a Tingo María, Tocache y Ucayali son similares y diferentes de las muestras de Aucayacu y Uchiza. El mayor valor de CE correspondió al lixiviado de los granos de procedentes de Ucayali ($28,94 \pm 0,78$ $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$) y el menor valor al lixiviado de los procedentes de Aucayacu ($15,91 \pm 0,70$ $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$).

Tabla 8: Conductividad eléctrica del medio acuoso de granos enteros de cacao

Procedencia	Días de fermentación	Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$)
Aucayacu	4	15,91 \pm 0,70 ^a
Tingo María	7	24,96 \pm 2,22 ^b
Tocache	5	25,30 \pm 1,21 ^b
Ucayali	6	28,94 \pm 0,78 ^b
Uchiza	7	23,62 \pm 1,57 ^c

Los resultados se expresan como el promedio \pm la desviación estándar de tres repeticiones por cada procedencia de granos de cacao. Letras distintas (a, b y c) en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) de menor a mayor en orden alfabético.

Los resultados pueden ser explicados considerando diversos factores también como edad del árbol, suelo, climatología, manejo agronómico y de poscosecha; a la acción de los microorganismos que se desarrollan durante el proceso de fermentación como levaduras, bacterias lácticas y bacterias acéticas (Teneda 2016), lo que explicaría las diferencias mostradas en los granos procedentes de Uchiza frente a los de Tingo María, Tocache y Ucayali.

La conductividad eléctrica se fundamenta en el hecho de que cuando las semillas están en agua exudan iones, azúcares y otros metabolitos cuya concentración en el lixiviado dependerá de la integridad de los granos (Fessel *et al.* 2006 y Arámendiz *et al.* 2017). Al respecto Sørensen *et al.* (1996) mencionan que, como consecuencia del secado de las semillas, las membranas celulares van perdiendo su capacidad para mantener los solutos dentro de las células, por lo que en la rehidratación liberan los solutos que están dentro de las membranas celulares. La cantidad y el tipo de electrolitos liberados durante el tiempo de lixiviado de granos pueden variar por diversos factores, como el tamaño y la calidad de los granos y días de fermentación de los mismos.

Viloria (2007) en su investigación realizada en maíz *Zea mays L.* encontró que valores menores de CE corresponden semillas o granos vigorosos. Similar resultado encontraron Craviotto *et al.* (2009) al investigar en granos de soja *Glycine max (L.)*; los valores altos de CE corresponden a semillas sometidas a envejecimiento (semillas de bajo vigor) estas

liberan mayor cantidad de electrolitos en el líquido de imbibición dando como resultado un alto valor de conductividad eléctrica.

Fessel *et al.* (2006) afirman que los valores obtenidos de la conductividad eléctrica del medio acuoso que contenía semillas de maíz que fueron almacenados a temperatura de 30 °C dependen a la cantidad de iones lixiviados principalmente calcio, magnesio y potasio e indican que es una relación directamente proporcional con la integridad de las semillas debido a que se incrementa la salida de iones. Al respecto, Halloin (1975) demostró que el potasio es el ion principal lixiviado durante la imbibición de las semillas, seguido del sodio y calcio, y que pueden ser utilizados como un indicador de la integridad de la membrana celular. Por su lado Marcos Filho *et al.* (1990) y Prete (1992), afirman que la conductividad eléctrica depende principalmente del contenido de potasio. Justicia *et al.* (2017) en su estudio de las propiedades de conductividad eléctrica y la madurez de aceituna, evidenciaron que las propiedades eléctricas pueden constituir una medida objetiva de este método de medición que permite caracterizar el punto óptimo de la cosecha de aceitunas de mesa.

De igual forma Loo (2018), indica que a mayor conductividad eléctrica mayor cantidad de solutos lixiviados de granos de cacao CCN 51, lo que corrobora los hallazgos de los autores antes referidos y los obtenidos en esta investigación donde se encontró una relación directamente proporcional de la CE con el índice de fermentación obtenido con la prueba de corte.

4.2.3. RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE FERMENTACIÓN Y LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

En la Figura 16 se presenta los resultados obtenidos del índice de fermentación utilizando la metodología de prueba de corte y el valor de conductividad eléctrica correspondiente. El menor valor de índice de fermentación correspondió a los granos de cacao procedentes de Aucayacu con cuatro días de fermentación ($37,67 \pm 2,51$ por ciento) y de Ucayali con seis días ($37,67 \pm 2,08$ por ciento) cuya evaluación estadísticamente no mostró diferencias significativas; sin embargo si existen diferencias significativas en conductividad eléctrica Aucayacu $15,91 \pm 0,70$ y Ucayali $28,94 \pm 0,78$ $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$, respectivamente. El mayor valor de IF correspondió a los granos de cacao procedentes de Uchiza con siete días de

fermentación ($86,67 \pm 2,89$ por ciento), mostrando una conductividad eléctrica mayor que el de los procedentes de Aucayacu pero menor que los de Tingo María, Tocache y Ucayali siendo $24,96 \pm 2,22$; $25,30 \pm 1,21$; $28,94 \pm 0,78$ $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$, respectivamente.

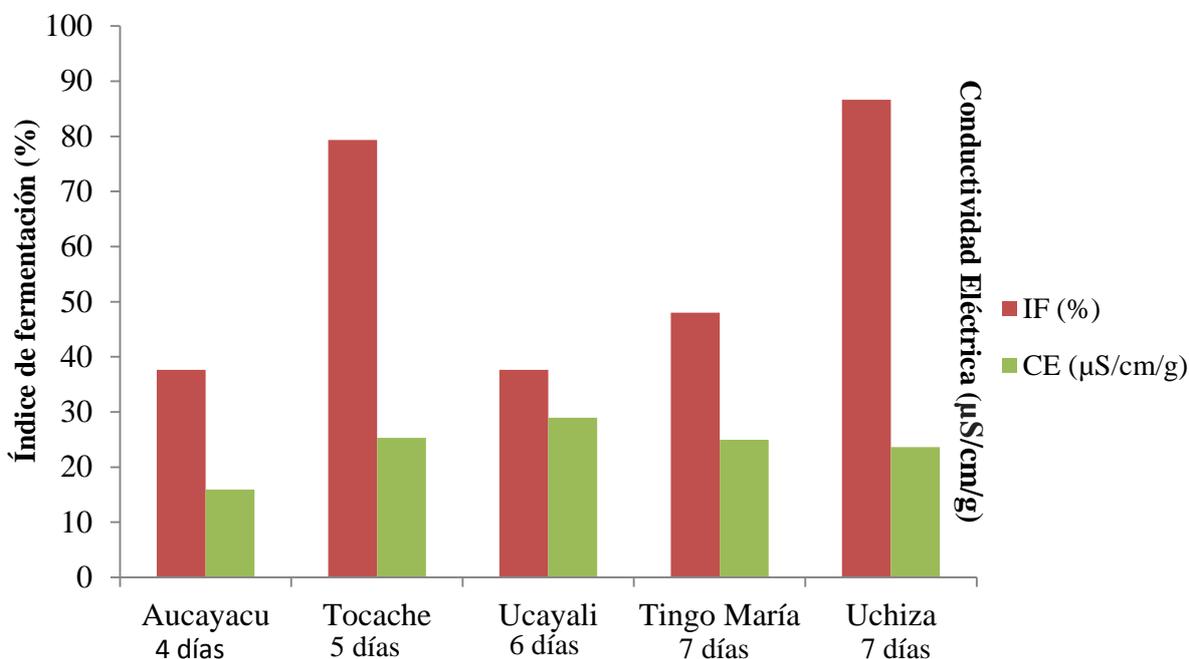


Figura 16. Índices de fermentación por prueba de corte y conductividad eléctrica

Los granos de cacao fermentados fueron recibidos de los productores, acorde a las prácticas que ellos realizan, al realizar la evaluación de prueba de corte se encontró valores de índice de fermentación de 37,67 a 86,67 por ciento. Los datos obtenidos son dispersos debido al IF con la CE, teniendo en cuenta la Norma Técnica Ecuatoriana indica que los granos de cacao CCN 51 bien fermentados y ligeramente fermentados es de 76 por ciento, debido a este problema en la realidad el índice de fermentación es subjetivo, se mejoraría la calidad de los granos llevándolo a una prueba de CE.

Según lo indicado en la Norma Técnica Ecuatoriana tienen fermentación adecuada los procedentes de Tocache y Uchiza con IF de 79,33 y 86,67 por ciento, ambas muestras tuvieron siete días de fermentación. Sin embargo los valores de CE fueron menores, posiblemente se deba a que los microorganismos que fermentan consumen minerales que están en los granos de cacao y por tanto la CE refleja un valor menor en el séptimo día de fermentación. Al respecto Nogales *et al.* (2006), detectaron descenso de la concentración

de cenizas con respecto al tiempo de secado, indican que la disminución de este componente podría estar relacionada con la eliminación del contenido de agua de los granos de cacao la cual se difunde a través de los poros de los granos arrastrando consigo a minerales hidrosolubles.

4.3. ANÁLISIS DE LIXIVIADOS

4.3.1. COMPOSICIÓN DE GRASA CRUDA Y CENIZAS DE GRANOS DE CACAO LIXIVIADOS

En la Tabla 9 y Anexo 13 y 14, se presentan los resultados obtenidos del contenido de grasa y cenizas, datos de las tres repeticiones y el análisis de varianza, respectivamente. El contenido de grasa cruda de los granos de cacao que fueron lixiviados presentaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Se determinó una evidente pérdida siendo el valor promedio de 23,10 por ciento respecto al contenido inicial. La mayor pérdida corresponde a los granos de cacao procedentes de Ucayali $27,09 \pm 1,14$ por ciento y la menor pérdida a los procedentes de Uchiza $41,71 \pm 0,98$ por ciento. Al respecto, el contenido de grasa en el grano de cacao constituye entre el 50 y 57 por ciento (Cardona 2016), los triglicéridos son el mayor componente alrededor de 97 por ciento de la composición total; la fracción restante esta compuesta por ácidos grasos libres, mono y diglicéridos, fosfolípidos y glicolípidos (Lima *et al.* 2011). La cantidad de fosfolípidos en granos de cacao varía de 0,05 a 0,13 por ciento (Codini *et al.* 2004), los que tienen moléculas anfifílicas, siendo uno de los componentes básicos de las membranas biológicas de alimentos de origen vegetal (Belitz *et al.* 2009; Kindlein *et al.* 2018) y estos son solubles en agua por tanto posiblemente explicaría la pérdida del 8,57 por ciento promedio de grasa cruda contenidas en el grano de cacao hacia el líquido de imbibición.

Los resultados del contenido de cenizas en los granos de cacao lixiviados presentaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$); se encontró una pérdida del contenido promedio de 0,65 por ciento con respecto al contenido inicial. Los granos de cacao después de la lixiviación presentaron contenido de $2,69 \pm 0,03$ a $3,25 \pm 0,09$ por ciento lo que demuestra una migración de constituyentes de ceniza presente inicialmente en el grano sin lixiviar al líquido de lixiviación. Al respecto, Kirk *et al.* (1991) indican que es el contenido de minerales y el reporte de los mismos depende de las condiciones de incineración y la composición del producto analizado.

Tabla 9: Composición de grasa cruda y ceniza de cacao lixiviados de diferentes procedencias.

Procedencia	Grasa cruda (b. s.)	Ceniza (b. s.)
	%	%
Aucayacu	35,59 ± 0,14 ^c	3,25 ± 0,09 ^c
Tingo María	39,10 ± 0,08 ^d	2,92 ± 0,09 ^b
Tocache	30,43 ± 0,67 ^b	2,69 ± 0,03 ^a
Ucayali	27,09 ± 1,14 ^a	2,71 ± 0,08 ^a
Uchiza	41,71 ± 0,98 ^e	2,81 ± 0,07 ^{ab}

Los resultados se expresan como el promedio ± la desviación estándar de tres repeticiones. Letras distintas (a, b, c, d y e) en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) de menor a mayor en orden alfabético.

4.3.2. MINERALES EN EL LÍQUIDO LIXIVIADO DE GRANOS DE CACAO

En la Tabla 10 y Anexos 15 y 16, se presentan los resultados del contenido de calcio, fósforo, magnesio, potasio, hierro y cadmio del líquido lixiviado de granos de cacao, valores obtenidos de cada repetición y el análisis estadístico, respectivamente.

Los resultados del contenido de calcio en el líquido lixiviado no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) el mayor valor obtenido de este componente fue para los granos de cacao procedente de Tocache y Uchiza ($0,0020 \pm 0,0002$ por ciento) y el menor para los procedentes de Tingo María ($0,0017 \pm 0,0001$ por ciento).

En el contenido de fósforo en el lixiviado de las procedentes de Tingo María ($0,0032 \pm 0,0001$ por ciento) y Tocache ($0,0045 \pm 0,0004$ por ciento) son similares variando estadísticamente Aucayacu ($0,0010 \pm 0,0001$ por ciento), Ucayali ($0,0033 \pm 0,0002$ por ciento) y Uchiza ($0,0022 \pm 0,0001$ por ciento), siendo estas últimas diferentes entre ellas.

Magnesio del líquido lixiviado de las muestras de Tingo María ($0,0018 \pm 0,0001$ por ciento), Tocache ($0,0028 \pm 0,0001$ por ciento) y Uchiza ($0,0019 \pm 0,0010$ por ciento) son similares variando estadísticamente de Aucayacu ($0,0009 \pm 0,0001$ por ciento) y Ucayali ($0,0020 \pm 0,0001$ por ciento), siendo estas últimas diferentes entre ellas.

En potasio la evaluación estadística indicó diferencias el mayor valor fue para el lixiviado de las muestras procedente de Tocache ($0,0388 \pm 0,0015$ por ciento) y el menor valor para las procedentes de Aucayacu ($0,0213 \pm 0,0003$ por ciento), de los minerales evaluados en el lixiviado este componente es el que presentó mayor contenido. Kikuti *et al.* (2008); Ribeiro *et al.* (2005); Victorio de Carvalho y Marcos Filho (2002), indican que el potasio es el principal ion lixiviado por las semillas durante la imbibición y su liberación es un indicador de la integridad de las membranas celulares.

La evaluación estadística indicó que todos los valores de hierro en el líquido lixiviado son similares reportando menor valor las muestras procedentes de Aucayacu ($0,50 \pm 0,04$ ppm) y mayor valor las procedentes de Tingo María ($1,26 \pm 1,20$ ppm).

Según Boonsiri *et al.* (2007), el daño que se produce a la membrana celular de las semillas disminuye la capacidad del transporte de proteínas y a su vez el transporte de electrolitos. La fuga de electrolitos se debe a la pérdida de semipermeabilidad de la membrana plasmática.

Tabla 10: Contenido de minerales en el líquido lixiviado

Procedencia	Calcio (%)	Fósforo (%)	Magnesio (%)	Potasio (%)	Hierro (ppm)	Cadmio (ppm)	Relación Potasio/minerales totales
Aucayacu	0,0018±0,0001 ^a	0,0010±0,0001 ^a	0,0009±0,0001 ^a	0,0213±0,0003 ^a	0,50 ± 0,04 ^a	0,09 ± 0,02 ^a	213/251 = 0,85
Tingo María	0,0017±0,0001 ^a	0,0032±0,0001 ^c	0,0018±0,0001 ^b	0,0372±0,0038 ^c	1,26 ± 1,20 ^a	0,08 ± 0,01 ^a	372/440 = 0,85
Tocache	0,0020±0,0002 ^a	0,0045±0,0004 ^c	0,0028±0,0001 ^b	0,0388±0,0015 ^b	0,82 ± 0,37 ^a	0,09 ± 0,01 ^a	302/374 = 0,81
Ucayali	0,0019±0,0002 ^a	0,0033±0,0002 ^d	0,0020±0,0001 ^c	0,0302±0,0045 ^c	0,62 ± 0,03 ^a	0,10 ± 0,01 ^a	388/482 = 0,81
Uchiza	0,0020±0,0001 ^a	0,0022±0,0001 ^b	0,0019±0,0010 ^b	0,0358±0,0019 ^c	0,73 ± 0,14 ^a	0,09 ± 0,03 ^a	358/419 = 0,85

Los resultados se expresan como el promedio ± la desviación estándar de tres repeticiones. Letras distintas (a, b, c y d) en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) de menor a mayor en orden alfabético.

Tabla 11: Valores calculados del contenido de minerales en los granos de cacao después del lixiviado

Procedencia	Calcio (%)	Magnesio (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)	Hierro Ppm	Cadmio ppm
Aucayacu	0,068 ± 0,01	0,267 ± 0,02	0,273 ± 0,10	0,837 ± 0,27	35,849 ± 11,39	4,064 ± 0,52
Tingo María	0,042 ± 0,01	0,328 ± 0,08	0,348 ± 0,20	0,818 ± 0,14	40,343 ± 15,47	4,335 ± 0,98
Tocache	0,051 ± 0,01	0,273 ± 0,09	0,410 ± 0,24	0,616 ± 0,07	35,856 ± 12,82	1,998 ± 0,17
Ucayali	0,055 ± 0,00	0,272 ± 0,11	0,349 ± 0,21	0,616 ± 0,14	40,584 ± 4,52	0,540 ± 0,44
Uchiza	0,060± 0,00	0,274 ± 0,05	0,399 ± 0,22	0,559 ± 0,03	37,700 ± 5,50	0,718 ± 1,30

El contenido de cadmio del líquido lixiviado no presentó diferencias significativas, el menor contenido fue para los procedentes de Tingo María ($0,08 \pm 0,01$ ppm) y el mayor valor para Ucayali ($0,10 \pm 0,01$).

En lo que respecta en la relación potasio/minerales totales el lixiviado de las muestras procedentes de Aucayacu, Tingo María y Uchiza presentaron el mayor valor.

En el lixiviado de las cinco muestras evaluadas las procedentes de Aucayacu con menos días de fermentación presentó menor contenido de calcio, fósforo, magnesio, potasio y hierro estos resultados afirman lo mencionado por Kikuti *et al.* (2008); Ribeiro *et al.* (2005); Victorio de Carvalho y Filho (2002) quienes indican que a mayor tiempo de envejecimiento de las semillas estas liberan mayor cantidad de iones debido al daño ocasionado a la membrana celular.

En la Tabla 11 se presentan los valores calculados del contenido de minerales en granos de cacao después de la lixiviación, estos siguen la misma tendencia de los valores indicados en la Tabla 9 y 10. Se debe indicar que el movimiento de nutrientes puede ser descrito por tres principales procesos: convección referida al transporte de solutos debido al flujo de masa de agua, difusión debido a una distribución desigual de solutos en el suelo donde se produce un flujo de los lugares de alta concentración a lugares de baja concentración de nutrientes y la acción mecánica de dispersión del agua donde este fluye a través del suelo produciendo una mezcla con tendencia a igualar la distribución de solutos, proceso al cual se le conoce como dispersión hidrodinámica (Echevarria y García 2006).

Kaewnaree *et al.* (2011) demostraron que el transporte de proteínas y la permeabilidad de la bicapa lipídica causan incremento en la salida de electrolitos en semillas de ají de diferentes calidades que fueron colocadas en agua desionizada obteniendo valores de conductividad eléctrica (de mayor a menor) de iones de potasio, sodio, calcio y magnesio; orden que se dió también en los resultados obtenidos en la presente investigación: potasio, fósforo, calcio, magnesio, hierro y cadmio.

Teniendo en cuenta los resultados, la muestra que fue seleccionada para continuar con la investigación fue la procedente de Uchiza toda vez a que está en correcto valor de índice de

fermentación, valor apropiado de conductividad eléctrica y en lo que respecta al contenido de minerales es muy similar al de las otras muestras analizadas.

4.4. VARIACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA CON RESPECTO AL TIEMPO DE FERMENTACIÓN

En la Tabla 12, se presenta la variación de la conductividad eléctrica del líquido lixiviado de granos de cacao fermentado procedentes de Uchiza (San Martín) con el tiempo de fermentación. En el Anexo 17 se presentan los valores de índice de fermentación y en el Anexo 18 el análisis de varianza respectivo.

Tabla 12: Conductividad eléctrica del lixiviado de granos de cacao procedentes de Uchiza con respecto a los días de fermentación.

Tiempo de fermentación (Días)	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$)
0	$4,05 \pm 0,33^a$
1	$8,33 \pm 0,24^b$
2	$9,58 \pm 0,32^c$
3	$17,55 \pm 0,20^d$
4	$25,03 \pm 0,69^f$
5	$25,04 \pm 0,22^f$
6	$22,67 \pm 0,35^e$

Los resultados se expresan como el promedio \pm la desviación estándar de tres repeticiones en cada día de fermentación de tres lotes. Letras distintas (a, b, c, d, e y f) en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) de menor a mayor en orden alfabético.

Los resultados obtenidos indicaron que no existen diferencias significativas ($p \leq 0,05$) al cuarto y quinto día de fermentación muestras que reportan $25,03 \pm 0,69$ y $25,04 \pm 0,22$ $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$, respectivamente valores de conductividad eléctrica. Asimismo, se aprecia que el valor de conductividad eléctrica aumenta hasta el quinto día de fermentación viéndose reducido significativamente al sexto día.

Ouyang *et al.* (2002), demostraron que el envejecimiento de las semillas aumentó la conductividad eléctrica y disminuye el porcentaje de germinación de las mismas; esto solo se cumplió hasta el quinto día posteriormente se redujo a $22,67 \pm 0,35$ $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$.

Al estudiar las propiedades físicas del tejido, es necesario considerar su falta de homogeneidad desde el punto de vista macro y microscópico. Al probar las propiedades eléctricas desde el punto de vista microscópico, es evidente que el interior de la célula es conductivo porque existe una conductividad de tipo iónico en el contenido de las soluciones de materia orgánica e inorgánica. Las membranas celulares no son conductoras, la conductividad esta influenciada debido a que los granos en el líquido de lixiviación liberan electrolitos (Hlavacova 2003).

La densidad y la disposición estructural de las células en ellas y las propiedades de cada tipo de tejido influyen en las propiedades eléctricas de estos materiales. Las características de los materiales sueltos y porosos también están influenciadas por las propiedades del aire, que queda atrapado en los poros, su humedad relativa y la temperatura. El despliegue de las piezas en el paquete, el tamaño de las piezas, el brillo, la superficie de contacto y la densidad aparente también influyen en las propiedades eléctricas de los materiales sueltos. Entre los factores influyentes para los materiales porosos se pueden incluir los siguientes: tamaño y distribución de los poros, porosidad y densidad aparente. Otros factores son la temperatura del material, pero el más significativo es la presencia de agua, su despliegue desigual en el material, la energía de enlace diferente en cada enlace de agua en el material y las propiedades de absorción (Hlavacova 2003).

4.5 CORRELACIÓN ENTRE EL TIEMPO Y EL ÍNDICE DE FERMENTACIÓN

La Figura 17 y Anexos 19 y 20, se presenta la evolución del índice de fermentación, valores de cada repetición y el análisis estadístico de granos de cacao secos y fermentados de genotipo CCN 51 proveniente de Uchiza (San Martín) durante el tiempo de fermentación, repectivamente. Se encontró una correlación significativa ($p \leq 0,05$; $r = 0,99$; $r^2 = 98,50$; $EEE = 0,37$), alcanzando el valor de 88,67 por ciento a los seis días de fermentación; valor cercano a IF 89,70 por ciento reportado por Loo (2018) para granos de cacao CCN 51 procedentes de Uchiza. El valor 0,99 de “r” indica una relación muy fuerte entre el tiempo de fermentación y el IF según el modelo exponencial obtenido para predecir el IF_{PC} en función al tiempo. La representación matemática de la Figura 16 es:

$$IF_{PC} = (0.239462 + 3.69396 * \sqrt{t})^2 \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde, IF_{PC}= Índice de fermentación por prueba de corte; t= tiempo (días)

Se debe indicar que el genotipo CCN 51 es originario de Ecuador y que ha sido introducido a nuestro país por adaptarse con facilidad a diferentes ambientes, por ser de alto rendimiento y por su buen nivel de producción; de allí la importancia de considerar la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0176 (2006) como valor referencial en el IF.

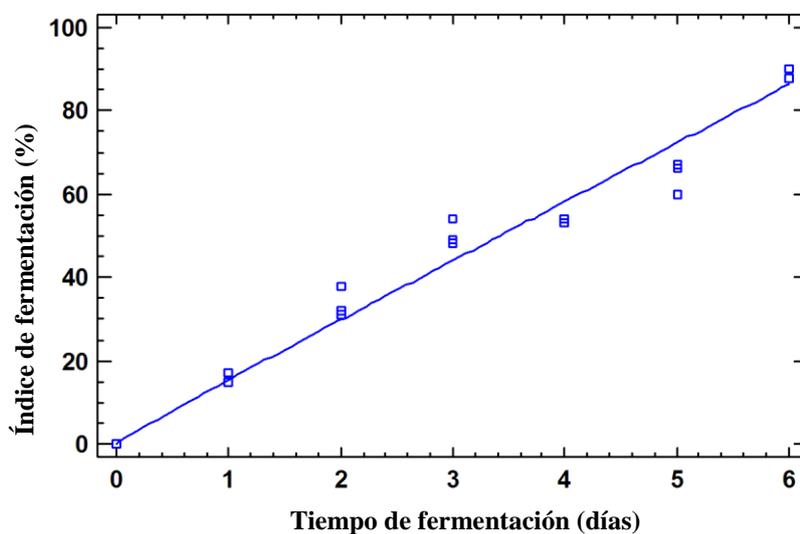


Figura 17. Modelo de correlación del índice de fermentación por prueba de corte de los granos de cacao CCN 51 con el tiempo.

Según la NTE INEN 0176 (2006) el porcentaje de granos bien y ligeramente fermentados es de 76 por ciento para el genotipo CCN 51, con lo que puede considerarse que el valor alcanzado de IF_{PC} (88,67 por ciento) es satisfactorio.

Contreras *et al.* (2004) consideran que la reducción del porcentaje de granos violeta tiene mayor incremento en los primeros tres días, periodo en que se reduce el 70 por ciento. Esta disminución revela un adecuado manejo durante la fermentación, proceso en que las reacciones químicas cambian la coloración de los granos de violeta a marrón. La coloración violeta del cotiledón de los granos frescos de cacao indican que contienen pigmentos de antocianinas, los cambios en el color de los granos de cacao podrían estar relacionados a la degradación de estos pigmentos, dando origen a la formación de productos de condensación de antocianinas tales como cianidina-3-βD-galactosida y cianidina-3-α-Larabinósido siendo estos compuestos los originarían cambios en el cotiledón a un color marrón (Afoakwa *et al.* 2011 y Bordiga *et al.* 2015, Chávez 2017).

4.6. CORRELACIÓN ENTRE EL TIEMPO DE FERMENTACIÓN Y LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La Figura 18 y Anexo 21 muestra la variación de la conductividad eléctrica durante los días de fermentación y la regresión simple de los granos de cacao CCN 51 provenientes de Uchiza - San Martín, respectivamente.

La correlación obtenida fue significativa ($p \leq 0,05$), para un valor de “r” igual a 0,97 que indica una alta correlación entre el tiempo de fermentación y la CE del modelo exponencial obtenido alcanzando valores de $25 \mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$, cuya representación matemática es:

$$CE = e^{8,26694+0,801841 * \sqrt{t}} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde, CE = Conductividad eléctrica; t = tiempo (días).

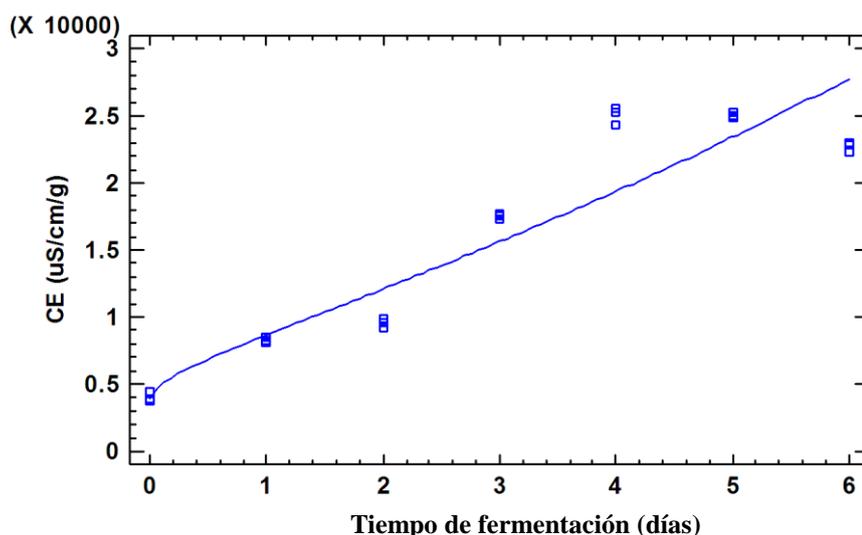


Figura 18. Modelo de correlación del tiempo de fermentación con la conductividad eléctrica del lixiviado de granos de cacao CCN 51.

Se aprecia que en los primeros dos días se presentó un ascenso no muy pronunciado, ascenso que para el cuarto y quinto día fue de $15 \mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$ unidades más con respecto al tercer día de fermentación.

AOSA (1983) y Hampton y Tekrony (1995), indican que el vigor de las semillas de cacao disminuye a medida que el proceso de fermentación se va desarrollando; asimismo, Marcos

Filho *et al.* (1987) mencionan que las semillas de menor potencial fisiológico liberan mayor concentración de iones lixiviados. Soto y Valiengo (2011) reportan que la prueba de conductividad eléctrica muestra que los iones lixiviados son inversamente proporcionales a la integridad de las membranas celulares. En tal sentido, la curva de la Figura 17 puede representar el proceso adecuado de fermentación de granos de cacao CCN 51, donde el criterio de máxima reducción del potencial del grano (muerte de la semilla) se alcanzaría al quinto día de fermentación para las condiciones de la zona con temperatura promedio de 23°C en este distrito.

4.7. CORRELACIÓN ENTRE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y EL ÍNDICE DE FERMENTACIÓN

En la Figura 19 y Anexo 22 se muestra la correlación significativa ($p \leq 0,05$, $r = 0,91$, $r^2 = 83,53$) y el análisis estadístico realizado de CE del lixiviado de granos de cacao CCN 51 procedentes de Uchiza (San Martín) con el IF de los mismos, respectivamente.

Para un valor de “r” igual a 0,91 indica una alta correlación obtenida con el modelo doble raíz cuadrada que difiere del modelo lineal propuesto por Loo (2018) con un valor “r” de 0,9669.

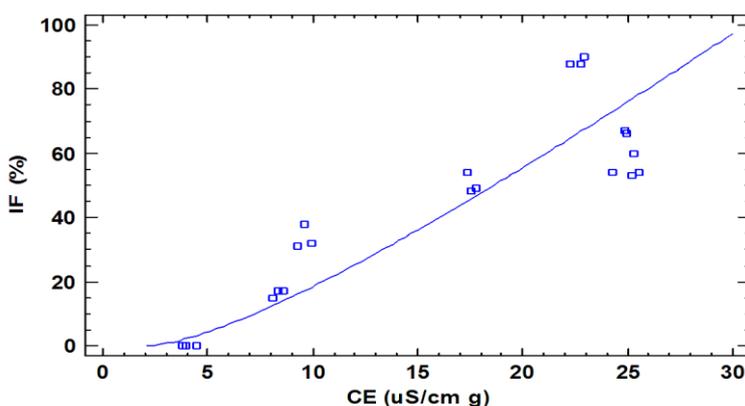


Figura 19. Modelo de correlación del índice de fermentación y conductividad eléctrica

La representación matemática de la correlación (Figura 18) es:

$$IF = (-3,29222 + 2,40232 (\sqrt{CE}))^2 \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde, IF = Índice de fermentación (%); CE = Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$).

Loo (2018) determinó que existe relación directamente proporcional entre la conductividad eléctrica del medio acuoso con granos de cacao y el índice de fermentación, siendo mayor para granos enteros con coeficientes de correlación “r” promedio de 0,96 y coeficientes de determinación “r²” promedio de 93,49 por ciento, para 20 granos de cacao inmersos en agua desionizada por 24 horas.

Según Gutiérrez-Pulido y De la Vara-Salazar (2008), los buenos modelos son aquellos que cumplen más criterios de calidad del ajuste. Sin embargo, siempre existirán circunstancias en las que, al no cumplirse alguno de los criterios, desde el punto de vista práctico no necesariamente harán inviable el modelo. Dicha situación, se verifica en los modelos de correlación entre la CE y el IF propuestos en esta investigación y lo reportado por Loo (2018), donde la prueba de Durbin y Watson fue significativa.

Cabe indicar que el modelo de Loo (2018) difiere del reportado en esta investigación y es posible se deba a la diferencia de los resultados obtenidos del índice de fermentación y características fisicoquímicas de los granos de cacao fermentados y secados al sol, podría atribuirse a la aplicación de procesos diferentes de fermentación y secado, así como al uso de otros genotipos de cacao, asimismo a labores culturales (Ortiz *et al.* 2004) también estarían relacionados a labores culturales y ambientales. Varios factores influyen sobre la fermentación del cacao, entre ellos el genotipo de cacao (Braudeau 1970; Lemus *et al.* 2002), tiempo de almacenamiento de la mazorca o tiempo de aguante antes de la apertura y el desgrane (Barel 1987; Dias y Avila 1993; Schwan *et al.* 1990; Torres *et al.* 2004), tipo de fermentador usado (Contreras *et al.* 2004; Graziani de Fariñas *et al.* 2003; Nogales *et al.* 2006), tiempo del proceso y frecuencia de remoción de la masa fermentante (Puziah *et al.* 1999; Senanayake *et al.* 1997; Schwan *et al.* 1990), que explicaría las diferencias entre el modelo y sus resultados.

En la Tabla 13 se muestra los valores del IF obtenido por conductimetría en función al modelamiento matemático indicado en la ecuación 3. La diferencia de los resultados obtenidos podría deberse a diversas variables como tiempo de cosecha, labores culturales y ambientales utilizados.

Tabla 13: Estimación de los índices de fermentación por prueba de corte y calculado.

Tiempo de fermentación (Días)	Prueba de corte (%)	Ecuación de Correlación
0	0	2,39± 0,62
1	16,33 ± 1,16	13,26 ± 0,74
2	33,67 ±3,79	17,17 ± 1,04
3	50,33 ±3,22	45,86 ± 0,77
4	53,67 ±0,58	76,12 ± 2,88
5	64,33 ±3,79	76,21 ± 0,91
6	88,67 ±1,16	66,33 ± 1,44

V. CONCLUSIONES

1. El análisis físico determinó valores promedio de índice de grano $1,51 \pm 0,02$ g/grano, ancho, largo, espesor y relación L/e de $13,40 \pm 0,33$; $9,12 \pm 0,31$; $2,62 \pm 0,10$ mm, respectivamente. La evaluación fisicoquímica de las muestras reportaron las siguientes características fisicoquímicas $15,4 \pm 0,36$; $43,34 \pm 0,34$; $3,53 \pm 0,12$; $6,78 \pm 0,04$ y $37,72 \pm 0,54$ contenido promedio de proteína cruda, grasa cruda, ceniza, fibra cruda y carbohidratos totales (composición proximal en bs), respectivamente. El análisis químico determinó valores promedio de calcio $0,08 \pm 0,01$ por ciento; fósforo $0,38 \pm 0,20$ por ciento; magnesio $0,31 \pm 0,07$ por ciento; potasio $1,11 \pm 0,14$ por ciento; hierro $48,20 \pm 7,03$ ppm y cadmio $3,48 \pm 0,71$ ppm para Aucayacu, Tingo María, Tocache, Ucayali y Uchiza, respectivamente.
2. El índice de fermentación obtenido fue de $37,67 \pm 2,51$; $48,00 \pm 2,65$; $79,33 \pm 7,37$; $37,67 \pm 2,08$ y $86,67 \pm 2,89$ por ciento para Aucayacu, Tingo María, Tocache, Ucayali y Uchiza, respectivamente. Los valores de conductividad eléctrica obtenidos reportaron $15,91 \pm 0,7$; $24,96 \pm 2,22$; $25,30 \pm 1,21$; $28,94 \pm 0,78$ y $23,62 \pm 1,57$ $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$, respectivamente para Aucayacu, Tingo María, Tocache, Ucayali y Uchiza.
3. El análisis de grasa cruda y cenizas de granos de cacao lixiviados determinó valores de $33,05 \pm 1,14$ y $2,89 \pm 0,07$ por ciento, respectivamente. El análisis del líquido lixiviado presentó contenidos promedio de $0,0019 \pm 0,0001$; $0,0028 \pm$; $0,0019 \pm 0,001$; $0,327 \pm 0,0024$ por ciento; $0,79 \pm 0,36$ y $0,09 \pm 0,16$ ppm de calcio, fósforo, magnesio, potasio, hierro y cadmio, respectivamente para Aucayacu, Tingo María, Tocache, Ucayali y Uchiza.
4. Para el CCN 51 proveniente de Uchiza (San Martín), existe una relación directamente proporcional relativamente fuerte ($p < 0,05$; $r > 0,9$) entre el índice de fermentación del grano de cacao obtenido con la prueba de corte y la conductividad eléctrica del lixiviado de los granos.

VI. RECOMENDACIONES

- Estudiar con mayor profundidad la relación positiva entre el índice de fermentación de granos de cacao de otros genotipos con la conductividad eléctrica del lixiviado de sus granos, en la búsqueda de un método objetivo para su medición.
- Analizar con mayor profundidad la variación del índice de fermentación con la cantidad de electrolitos presentes en el lixiviado y su relación con la cantidad de minerales presentes en los granos de cacao por fermentar.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afoakwa, E. O.; Kongor, J. E.; Takrama, J. F. y Budu, A. S. 2013. Changes in acidification, sugars and mineral composition of cocoa pulp during fermentation of pulp pre-conditioned cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *International Food Research Journal* 20: 1215-1222.
- Afoakwa, E. O.; Quao, J.; Takrama, F. S.; Budu, A. S.; Saalia, F. K. 2012. Changes in total polyphenols, o-diphenols and anthocyanin concentrations during fermentation of pulp pre-conditioned cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *International Food Research Journal* 19(3): 1071 – 1077.
- Afoakwa, E. O.; Quao, J.; Takrama, J.; Budu, A. S.; y Saalia, F. K. 2011. Chemical composition and physical quality characteristics of Ghanaian cocoa beans as affected by pulp pre-conditioning and fermentation. *Journal of Food Science and Technology* 50(6):1097-1105.
- Afoakwa, E.O.; Budu, A.S.; Mensah-Brown, H.; Takrama, J.F. y Akomanyi, E. 2014. Changes in biochemical and physico-chemical Qualities during drying of pulp preconditioned and fermented cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *Journal of Nutritional Health & Food Science* 2(3): 1 – 8.
- Afoakwa, E.O.; Paterson, A.; Fowler, M.; Ryan, A. 2008. Flavor formation and character in cocoa and chocolate: A critical review. *Reviews in Food Science and Nutrition* 48(9): 840 – 857. DOI: 10.1080/10408390701719272.
- Aguilar, H. 2016. Manual para la Evaluación de la Calidad del Grano de Cacao. La Lima, Cortés, Honduras, C.A: FHIA.
- Aikpokpodion, P. 2012. Assessment of Heavy Metals Movility in Selected Contaminated Cocoa Soils in Ondo State, Nigeria. *Global Journal of Environmental Research* 6: 30-35.
- Aldave Palacios, G. J. 2016. Efecto de la temperatura y tiempo de tostado en los caracteres sensoriales y en las propiedades químicas de granos de cacao (*Thebroma cacao* L.) procedente de Uchiza, San Martín – Perú para la obtención de NIBS. Tesis Magister en ciencia de alimentos, Perú, Universidad nacional de San Marcos. 112 p.

- Aliaga, D. y Garzón, B. 2016. Efecto de la quema de purmas sobre la calidad del suelo en el distrito de Pichanki – Chanchamayo. Tesis Ingeniero Forestal y Ambiental. Universidad Nacional del Centro del Perú. 120 p.
- Almeida, A.; Valle, R. 2008. Ecophysiology of the cacao tree. *Braz. J. Plant Physiol* 19(4):425-448.
- Álvarez, C.; Tovar, L.; García, H.; Morillo, F.; Sánchez, P.; De Farías, A. 2010. Evaluación de la calidad comercial del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.) usando dos tipos de fermentadores. *Revista Científica UDO Agrícola* 10(1): 76-87.
- Alverson, W. S.; Whitlock, B. A.; Nyffeler, R.; Bayer, C. y Baum, D. A. 1999. Phylogeny of the core Malvales: evidence from ndhF sequence data. *American Journal of Botany* 86(10):1474-1486.
- Alwis, A.; Mitchel, F. 1989. Electrical conductivity meter for food samples. *IOPscience* 22:554-556. DOI:10.1088/0022-3735/22/8/004
- Amin, I.; Jinap, S.; Jamilah, B.; Harikrisna, K. y Biehl, B. 2002. Analysis of vicilin (7S)-class globulin in cocoa cotyledons from various genetic origins. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 82(7): 728-732.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemist, Estados Unidos). 2016. Official Methods of Analysis of Association of AOAC International. 20 ed. Latimer, GW (eds). Maryland, USA. 3100 p.
- AOSA (Association of Official Seed Analysts, US). 1983. Seed vigour testing handbook. Lincoln, USA. AOSA. 88 p.
- APPCACAO. 2012. Manual de control de calidad del cacao. Primera Edición. Lima, Perú. 52 p.
- Arámendiz, H; Cardona, C; Alzate, K. 2017. Prueba de conductividad eléctrica en la evaluación de la calidad fisiológica de semillas en berenjena (*Solanum melongena* L.). *Scientia Agropecuaria* 8 (3): 225 – 231. DOI: 10.17268/sci.agropecu.2017.03.05.
- Ardhana, M., y Fleet, G. 2003. The microbial of cocoa vean fermentations in Indonesia. *Int. J. Food Microbiol.* 86(1-2): 87–99.
- Arévalo-Gardini E.; Obando-Cerpa M.; Zúñiga-Cernades L.; Arévalo-Hernández C.; Baligar V. y He Z. 2016 Metales pesado en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres regiones del Perú. *Ecología Aplicada* 15(2):81-89.
- Barel, M. 1987. Délai d' écabossage. Influence sur les rendements et la qualité du cacao marchand et du cacao torréfié. *Café, Cacao, Thé* 31(2):141-150.

- Bartley, B. 2005. The genetic diversity of cocoa and its utilization. CABI Publishing, Oxford shire-U.K. 1ed. 337 p.
- Batista, L. 2009. Guía Técnica el Cultivo de Cacao en la República Dominicana. Santo Domingo, República Dominicana. CEDAF, 2009. 250pp.
- Beckett, S. 2009. Industrial chocolate manufacture and use (4ta. ed.). Oxford, Reino Unido: John Wiley y Sons Ltd. 720 p.
- Bekele, F. L.; Bekele, I.; Butler, D. R. y Bidaisee, G. 2006. Patterns of morphological variation in a sample of cacao (*Theobroma cacao* L.) germplasm from the International Cocoa Genebank, Trinidad. Genetic Resources and Crop Evolution, 53(5), 933-948.
- Belitz H-D.; Grosch W. y Schieberle P. 2009. Food Chemistry. 4th Edition. Springer – Verlag, Berlin, 1070 pag.
- Bertoldi, D.; Barbero, A.; Camin, F.; Caligiani, A.; Larcher, R. 2016. Multielemental fingerprinting and geographic traceability of *Theobroma cacao* beans and cocoa products. Food Control 65: 46-53.
- Bertsch, F. 2005. Estudios de absorción de nutrimentos como apoyo a las recomendaciones de fertilización. Informaciones Agronómicas 57:1-10.
- Bonaparte, A.; Alikhani, Z.; Madramootoo, C. A. y Raghavan, V. 1998. Some quality characteristics of solar-dried cocoa beans in St Lucia. Journal of the Science of Food and Agriculture 76(4):553-559. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0010(199804)76:43.0.CO;2-V
- Boonsiri, K.; Ketsa S. y Van Doorn, W. G. 2007. Seed browning of hot peppers during low temperature storage. Postharvest Biology and Technology 45:358-365.
- Bordiga, M.; Locatelli, M.; Travaglia, F.; Coisson, J.D.; Mazza, G.; Arlorio, M. 2015. Evaluation of the effect of processing on cocoa polyphenols: antiradical activity, anthocyanins and procyanidins profiling from raw beans to chocolate. International Journal of Food Science and Technology 50: 840–848.
- Boza, E. J.; Motamayor, J. C.; Amores, F. M.; Cedeño-Amador, S.; Tondo, C. L.; Livingstone, D. S.; y Gutiérrez, O. A. 2014. Genetic characterization of the cacao cultivar CCN 51: its impact and significance on global cacao improvement and production. Journal of the American Society for Horticultural Science 139(2), 219-229.
- Braudeau, J. 1970. El Cacao. Técnicas agrícolas y producciones tropicales Primera edición. Barcelona, España. Editorial Blume. 297 p.

- Caballero-Pérez, J.; Avendaño-Arrazate, C.; González-Ávila, N. y López-Escobar, S. 2016. Influencia del tipo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en las características del secado y fermentado. *Agroproductividad* 981:48-54.
- Campos, I. 1981. *Horticultura rentable: suelos, abonos y fertilizantes. Cómo mejorar la fertilidad del terreno*. Barcelona (ES): De Vecchi, SA. 287 p. ISBN 84-315-8010-0.
- CAOBISCO/ECA/FCC Cocoa Beans: Chocolate and Cocoa Industry Quality Requirements. 2015. End, M.J. and Dand, R., Editors.
- Caporaso, N.; Whitworth, M.; Fowler, M.; Fisk, I. 2018. Hyperspectral imaging for non-destructive prediction of fermentation index, polyphenol content and antioxidant activity in single cocoa beans. *Food Chemistry* 258:343-351.
- Cardona, L. M. 2016. Influencia del proceso de fermentación sobre las características de calidad del grano de cacao (*Theobroma cacao*). Tesis de Magíster en Ciencia y tecnología de alimentos. Universidad Nacional de Colombia. 99 p.
- Castro, H. U. 1981. Posibilidad de creación de una nueva variedad de cacao de fruto hexalocular por cruzamiento entre flores mutantes hexameras. Arch. Victor Chacon Salinas, Jesus Maria, Quito, Ecuador.
- Chávez, A. 2017. Efecto de las condiciones de fermentación y secado, en las características físico químicas del cacao (*Theobroma cacao* L.); CCN 51 (Colección Castro Naranjal). Tesis de Magister Scientiae. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima Perú. 70 p.
- Cheesman, E. 1944. Notes on the nomenclature, classification and possible relationships of cocoa populations. *Journal of Tropical Agriculture* 21: 144-159.
- Chire, G.; Orosco, P.; Valdivia, R.; Ureña, M. 2014. Determinación de las propiedades físicas, químicas y termofísicas de diferentes granos de cacao del Perú. In CIBIA, Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos. 3(9): 545-551.
- Cilas, C. 1991. Estimation de quelques paramètres génétiques pour différents plans de croisements chez le cacaoyer. *Café, Cacao, Thé* 35:3-14.
- Cilas, C.; Machado, R. y Motamayor, J-C. 2010. Relations between several traits linked to sexual plant reproduction in *Theobroma cacao* L.: number of ovules per ovary, number of sedes per pod, and seed weight. *Tree Genetics & Genomes* 6(2):219–226
- Cilas, C.; Paulin D.; Clément, D.; Baradat P. 1999. Sélecton multicaractères dans un plan factoriel de croisements en Cote d'Ivoire. Définition d'un index de sélection. In: Proc. 12^o Conférence Internationale sur la recherche Cacaoyère, 20-25 Octobre 1996, Salvador de Bahia, Brazil, 411-416.

- Codini, M.; Díaz, F.; Ghirardi, M.; Villavicencio, I. 2004. Obtención y utilización de la manteca de cacao. *Redalyc* 7(12):143-148.
- Contreras, C. L.; Ortiz de Bertorelli, L.; Graziani de Fariñas y Parra, P. 2004. Fermentadores para cacao usados por los productores de la localidad de Cumboto, Venezuela. *Agronomía Tropical* 54(2):219-232.
- Cope, F. W. 1984. Cacao *Theobroma cacao* (*Sterculiaceae*) In: Simmonds N.W. (ed.). *Evolution of crops plants*. Longman London. pp 285-289.
- Craviotto; Roque, M.; Salinas, A.; Arango, M. y Ferrari, S. 2009. Influencia de propiedades físicas sobre la conductividad eléctrica de semillas individuales de soja *Glycine max* (L.) merrill. *Revista Científica Agropecuaria* 13 (1-2): 33-43.
- Crespo, E. y Crespo, F. 1997. Cultivo y beneficio del caco CCN 51. Guayaquil: Editorial El Conejo.
- Cros, E.; y Jeanjean, N. 1995. Cocoa quality: Effect of fermentation and drying. *Plantations, recherché, développement* 24: 25-27.
- Dahiya, S.; Karpe, R; Hegde, A. G. y Sharma, R. M. 2005. Lead, cadmium and nickel in chocolates and candies from suburban areas of Mumbai, India. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18:517-522.
- Daymond, A. J. y Hadley, P. 2008. Differential effects of temperature on fruit development and bean quality of contrasting genotypes of cacao (*Theobroma cacao*). *Annals of Applied Biology* 153(2):175-185.
- De Bertorelli, L. O.; Rovedas, G. y De Fariña, L. G. 2009. Influencia de varios factores sobre características del grano de cacao fermentado y secado al sol. *Agronomía tropical*. 59: 81-88.
- Dias, J. y Avila, M. 1993. Influência do período de póscolheita do fruto, sistema de revolvimento da massa e tempo de fermentação sobre a acidez do cacau. *Agrotropica*. 5(2):25-30.
- Díaz, S.; y Pinoargote, M. 2012. Análisis de las características organolépticas del chocolate a partir de cacao CCN 51 tratado enzimáticamente y tostado a diferentes temperaturas. Tesis de Ingeniero, Guayaquil-Ecuador. Escuela Superior Politécnica del Litoral. 145 p.
- Echevarría, H. E. y García, F. O. 2006. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Ediciones Intituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Enríquez, G. 1985. Curso sobre el cultivo del cacao. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Turrialba, Costa Rica. 239 p.

- Enríquez, G. 1989. Resúmenes de los trabajos de fermentación CATIE del proyecto PIPA (MAGCATIE) en Costa Rica. Red Regional de Generación y Transferencia de Tecnología en cacao. P. 219-232.
- Enríquez, G. 2004. Cacao Orgánico. Guía para productores ecuatorianos. Botánica del cacao. Grupos genéticos. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP. Manual N° 54. Quito - Ecuador. Environ. 472: 407–420.
- Enríquez, G. y Salazar, C. 1987. Manual del Cacao para agricultores. 1ra Edición San José CR. EUNED. Coedición: CATIE-ACRI-UNED. 150 p.
- Espinosa, J.; Mite, F.; Cedeño, S.; Barriga, S. y Andino, J. 2005. Manejo por sitio específico del cacao basado en sistemas de información geográfica. INIAP, Estación Experimental Pichilingue. Quevedo, Ecuador.
- FEDECACAO (Federación Nacional de Cacaoteros) 2004. El beneficio y características físico químicas del cacao (*Theobroma cacao* L.). Retrieved from <http://www.fedecacao.com.co/site/index.php/1pub-publicaciones>.
- Fessel, S.; Vieira, R.; Pessoa, M.; de Paula R.; Panobianco, M. 2006. Electrical conductivity testing of corn seeds as influenced by temperature and period of storage. Pesquisa Agropecuaria Brasileira 41(10):1551-1559.
- Furcal-Beriguete, P. 2017. Extracción de nutrientes por los frutos de cacao en dos localidades en Costa Rica. Agronomía Mesoamericana 28(1):113-129.
- García, C. 2009. Grupos y variedades de cacao. En Cultivo del cacao en la amazonia peruana. Ed. INIA, Lima, Perú.
- García, C. L. 2007. Guía de campo: Identificación de cultivares de cacao. USAID/PERU - ACDI/VOCA/UNAS. Lima. 32 p.
- García, L. 2012. Catálogo de Cultivares de Cacao del Perú. Ministerio Nacional de Agricultura. Perú. Dirección General de Competitividad Agraria. Lima, Perú.
- García, L. F. 2010. Catálogo de Cultivares de Cacao del Perú. Ministerio de Agricultura Dirección General de Competitividad Agraria, Lima 112 pp
- Graziani de Fariñas, L.; Ortiz de Bertorelli, L.; Álvarez, N. y Trujillo A. 2003. Fermentación del cacao en dos diseños de cajas de madera. Agronomía Trop. 53(2):175-187.
- Grembecka, M. y Szefer, P. 2012. Differentiation of confectionary products based on mineral composition. Food Analytical Methods 5:250-259.
- Guerra, P. A. 2015. “Producción y caracterización de Biochar a partir de la biomasa residual de sistemas agroforestales y de agricultura convencional en la Amazonía Peruana” Tesis Ingeniero Lima – Perú. 101p.

- Guo, H.; Luo, S.; Chen, L.; Xiao, X.; Xi, Q.; Wei, W.; Zeng, G.; Liu, C.; Wan, Y.; Chen, J. y He, Y. 2010. Bioremediation of heavy metals by growing hyperaccumulador endophytic bacterium *Bacillus* sp. L14. *Biores. Technol.* 101(22):8599 - 8605. Doi:10.1016/j.biortech.2010.06.085.)
- Gutiérrez, E. y Vladimirovna, O. 2014. Probabilidad y estadística, Aplicaciones a las ingeniería y las ciencias. 1ra Edición Editorial Patria- México.
- Gutierrez, R.; Gonzales, G. 2018. Evaluación de la aplicación de tecnologías para la fermentación y secado del cacao (*Theobroma cacao L.*) tipo CCN 51 y criollo en su porcentaje de fermentación y secado, en la provincial de Tambopata – MDD. Tesis Ingeniero. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. Puerto Maldonado Perú. 131 p.
- Gutiérrez-Pulido, H. y De la Vara-Salazar, R. 2008. Análisis y diseño de experimentos. Segunda edición. México. McGraw-Hill. 483 p.
- Halloin, J. M. 1975. Solute loss from deteriorated cotton seed: relationship between deterioration, seed moisture, and solute loss. *Crop Science* 15:11-15.
- Hampton, J. G.; Tekrony, D.M. 1995. Handbook of vigour test methods. 3 ed. Zurich, Suiza. The International Seed Testing Association. 117 p.
- Hansen, C. E.; Del Olmo, M. y Burri, C. 1998. Enzyme activities in cocoa beans during fermentation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 77(2):273-281.
- Hashim, P.; Selamat, J.; Muhammad, K. y Ali, A. 1999. Effect of drying time, bean depth and temperature on free amino acid, peptide-N, sugar and pyrazine concentrations of Malaysian cocoa beans. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(7): 987-994.
- Hii, C. L.; Law, C. L.; Suzannah, S; Misnawi; Cloke, M., 2009. Polyphenols in cocoa (*Theobroma cacao L.*). *Asian Journal of Food and Agro-Industiy* 2(4): 702-722.
- Hlavacova, Z. 2003. Low frequency electric properties utilization in agriculture and food treatment. *Research in Agricultural Engineering* (49):125-136.
- Ho, V. T.; Zhao, J.; y Fleet, G. 2014. Yeasts are essential for cocoa bean fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 174: 72–87. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.021>
- ICCO (International Cocoa Organization). 2009. Guidelines on Best Known Practices in the Cocoa Value Chain, Nineteenth meeting.
- ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación). 2003. Norma Técnica Colombiana NTC 1252. Cacao en grano.

- Ilangantileke, S.G.; Wahyudi, T.; Bailon, M.A.G. 1991. Assessment Methodology to Predict Quality of Cocoa Beans for Export. *Journal of Food Quality* 14(6): 481 - 496. DOI: 10.1111/j.1745-4557.1991.tb00088.x.
- INIAP Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias 1993. Manual del Cultivo de Cacao N° 25", 2da. Edición, Estación Experimental Tropical Pichilingue. Ecuador.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2006. Subdirección De Hidrología Grupo- Laboratorio De Calidad Ambiental-Republica de Colombia. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+El%C3%A9ctrica.pdf/f25e2275-39b2-4381-8a35-97c23d7e8af4>
- Izquierdo, A. 1998. Determinación de la contaminación con cadmio en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) y su posible origen en la región de Barlovento estado Miranda. Tesis de maestría. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, pp. 250.
- Jahurul, M. H. A.; Zaidul, I. S. M.; Norulaini, N. A. N.; Sahena, F.; Jinap, S.; Azmir, J.; Sharif, K. M.; Mohd Omar A. K. 2013. Cocoa butter fats and possibilities of substitution in food products concerning cocoa varieties, alternative sources, extraction methods, composition, and characteristics. *Journal of Food Engineering* 117(4):467–476.
- Jalil, A. M.; Ismail, A. 2008. Polyphenols in cocoa and cocoa products: is there a link between antioxidant properties and health? *Molecules* 13(9): 2190-2219.
- Jinap M.; Bakar J.; Saari N. 2002. Oxidation of polyphenols in unfermented and partly fermented cocoa beans by cocoa polyphenol oxidase and tyrosinase. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 82(5):559 – 566.
- Jinap, S.; Thien, J. M.; Yap, T. N. 1994. Effect of drying on acidity and volatile fatty acids content of cocoa beans. *Journal of the Food and Agriculture*. 65:67-75.
- Johnson, E. S.; Bekele, F. L.; Brown, S. J.; Song, Q.; Zhang, D.; Meinhardt, L. W. y Schnell, R. J. 2009. Population Structure and Genetic Diversity of the Trinitario Cacao (*L.*) from Trinidad and Tobago. *Crop Science*, 49(2), 564-572.
- Justicia, M.; Madueño, A.; Ruiz-Canales, A.; Molina, J. M.; López, M.; Madueño, J. M.; Granados, J. A. 2017. Low-frequency characterization of mesocarp electrical conductivity in different varieties of olives (*Olea europaea* L.). *Computers and electronics in Agriculture*. 142:338-347. DOI 10.1016/j.compag.2017.09.021

- Kaewnaree P; Vichitphan S; Klanrit P; Siri, B. y Vichitphan K. 2011. Effect of Accelerated Aging Process on Seed Quality and Biochemical Changes in Sweet Pepper (*Capsicum annuum* Linn.) Seeds. *Biotechnology* 10: 175-182.
- Kikuti, H.; Medina, P. F.; Pereira K. A. L.; Ramos, N. 2008. Teste de lixiviação de potássio para avaliação do vigor de sementes de amendoim. *Revista Brasileira de Sementes* 30(01):10-18.
- Kindlein, M.; Elts, E.; Briesen, H. 2018 Phospholipids in chocolate: Structural insights and mechanistic explanations of rheological behavior by coarse-grained molecular dynamics simulations. *Journal of Food Engineering* 228: 118-127.
- Kirk, S. R.; Egan, H.; Sawyer, R. 1991. *Composición y Análisis de los Alimentos de Pearson*; Editorial Continental; 25-50 p.
- Lachenaud, P. 1995. Variations in the number of beans per pod in *Theobroma cacao* L. in the Ivory Coast. II. Pollen germination, fruit setting and ovule development. *Journal of Horticultural Science*, 70(1): 1-6.
- Laguna-Aragón, C. 2010. *Correlación y regresión lineal*. Instituto Aragonés de Ciencias de la Salud.
- Lagunes, S.; Loiseau, G.; Luis, J.; Barel, M. y Guiraud, J. 2007. Study on the microflora and biochemistry of cocoa fermentation in the Dominican Republic. *International Journal of Food Microbiology* 114: 124–130.
- Lares, M. Gutiérrez, R.; Pérez, E. Álvarez C. 2012. Efecto del tostado sobre las propiedades físicas, fisicoquímicas, composición proximal y perfil de ácidos grasos de la manteca de granos de cacao del estado Miranda, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola* 12 (2): 439-446. 2012.
- Lemus, M.; Graziani, L.; Ortiz L. y Trujillo A. 2002. Efecto del mezclado de cacaos tipos criollo y forastero de la localidad de Cumboto sobre algunas características físicas durante la fermentación. *Agronomía Trop.* 52(1):45-48.
- León-Roque, N.; Abderrahim M.; Nuñez-Alejos, L.; Arribas S; Condezo-Hoyos, L. 2016. Prediction of fermentation index of cocoa beans (*Theobroma cacao* L.) based on color measurement and artificial neural networks. *Talanta* 161:31–39.
- Lima, L. J.; Almeida, M. H.; Nout, M. J. y Zwietering, M. H. 2011. *Theobroma cacao* L.: The Food of the Gods?: Quality Determinants of Commercial Cocoa Beans, with Particular Reference to the Impact of Fermentation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(8): 731–761. <http://doi.org/10.1080/10408391003799913>

- Lockwood, G. y Pang, J. T. 1995. Cocoa breeding at Bal plantations: genetic analysis and its implications for breeding strategies. First International Group for Genetic Improvement of Cocoa (INGENIC). In International Workshop on Cocoa Breeding Strategies. Edited by INGENIC (pp. 66-80).
- Loo, J. 2018. Relación del índice de fermentación con la conductividad eléctrica en dos variedades de granos de cacao peruano. Tesis Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú. 230 p.
- Marcos Filho, J.; Cícero, S. M.; Silva, W. R. 1987. Avaliação da qualidade das sementes. Piracicaba, San Pablo. Brasil. Fealq. 230 p.
- Marcos Filho, J.; Silva, W. R.; Coelho, C. A. D.; Pescarin, H. 1990. Estudo comparativo de métodos para a avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja, com ênfase ao teste de condutividade elétrica. Pesquisa Agropecuária Brasileira 25(12):1805-1815.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, 2nd Ed. Nueva York. 889 p.
- Martinez, N. 2016. Evaluación de componentes físicos, químicos, organolépticos y del rendimiento de clones universales y regionales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en las zonas productoras de Santander, Arauca y Huila. Tesis maestría. Universidad Nacional de Colombia- Sede Bogotá. 107 p.
- Meersman, E.; Steensels, J.; Struyf, N.; Paulus, T.; Saels, V.; Mathawan, M.; Verstrepen, K. J. 2015. Tuning Chocolate Flavor through Development of Thermotolerant *Saccharomyces cerevisiae* Starter Cultures with Increased Acetate Ester Production. Applied and Environmental Microbiology 82(2):732–746.
- Mejía, C. 2018. Validación de un modelo matemático para la predicción de la fermentación y secado del grano de cacao. Revista de investigación Agraria y Ambiental. Santa Fe de Antioquia, Colombia 9:59-69.
- Meza, A. 2010. Fermentación del cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN 51 en dos diseños de cajas de madera. Tesis de ingeniero en industria alimentaria. Universidad nacional agraria de la selva. 116p.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). 2018. Análisis de la cadena productiva del cacao. http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/tematicas/f-taxonomia_plantas/f01-cultivo/2018/cadena_cacao_nov188.pdf
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). 2019. Boletín De Publicación Trimestral. http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/tematicas/e-economia/e71/commodities_cacao_ene19.pdf

- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, Perú); DGPA (Dirección General de Políticas Agrarias, Perú); DEEIA (Dirección de Estudios Económicos e Información Agraria, Perú). 2016. Estudio del Cacao en el Perú y el Mundo: situación actual y perspectivas en el mercado nacional e internacional al 2015. Lima, Perú. 89 p.
- Motamayor, J. C.; Lachenaud, P.; da Silva y Mota, J. W.; Loor, R.; Kuhn, D. N.; Brown, J. S.; Schnell, R. J. 2008. Geographic and Genetic Population Differentiation of the Amazonian Chocolate Tree (*Theobroma cacao* L). PLoS ONE 3(10):1 – 8.
- Motamayor, J.C.; Risterucci, P.A.; Lopez, P.A.; Ortiz, C.F.; Moreno, A.; Lanaud, C. 2002. Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas. Heredity 89(5):380-386.
- Murphy, B. y Noland, T. 1982. Temperature Effects on Seed Imbibition and Leakage Mediated by Viscosity and Membranes. Plant Physiology 69:428-431.
- Nakayama, L. H. 2010. Avaliação do estado nutricional das combinações híbridas de cacauero cultivado no Latossolo Amarelo Distrofíco Típico. Agrotropica 22(1):5 – 10.
- Ndukwu, M.; Simonyan, K.; Ndirika, V. 2012. Investigation of the structural changes of cocoa beans (with and without seed coat) during convective drying. International Journal of Agricultural and Biological Engineering 5(3):75-81.
- Nieves, A.; Domínguez, F. 2009. Probabilidad y Estadística para Ingeniería. Un enfoque moderno. México DF, México, McGraw Hill.
- Nogales, J.; Graziani de Fariñas, N.; Ortiz de Bertorelli, L. 2006. Cambios físicos y químicos durante el secado al sol del grano de cacao fermentado en dos diseños de cajones de madera. Agronomía Tropical 56 (1): 5-20.
- NTE INEN 0176 (Norma Técnica Ecuatoriana). 2006. Cacao en grano. Requisitos.
- NTP ISO 2451:2018 (Norma Técnica Peruana). 2018. Granos de cacao. Especificaciones y requisitos de calidad. 5ta. Edición.
- Ortiz de Bertorelli, L.; Camacho, G. y Graziani de Fariñas, L. 2004. Efecto del secado al sol sobre la calidad del grano fermentado de cacao. Agronomía Trop. 54(1):31-43.
- Ouyang, X.; Van Voorthuysen T.; Toorop P. y Hilhorst, H. 2002. Seed vigor, aging, and osmopriming affect anion and sugar leakage during imbibition of maize (*zea mays* l.) caryopses. Int. J. Plant Sci. 163(1):107–112.
- Páramo, D., P. García Alamilla, M.A. Salgado Cervantes, V.J. Robles Olvera, G.C. Rodríguez Jimenes y M.A. García Alvarado. 2010. Mass transfer of water and volatile fatty acids in cocoa beans during drying. J. Food Eng. 99(3), 276-283. Doi: 10.1016/j.jfoodeng.2010.02.028

- Perea, A.; Martínez, N.; Aranzazu, F. y Cadena, T. 2013. Características de calidad del cacao de Colombia. Catálogo de 26 cultivares.
- Perea, J. A.; Ramirez, O. L.; Villamizar, A. R. 2011. Caracterización fisicoquímica de materiales regionales de cacao colombiano. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 9(1):35-42.
- Pérez, P. 2004. Mucílago pulverizado obtenido a partir de la cáscara de cacao, una alternativa en la clarificación de jugos en la industria panelera. Universidad Nacional. Manizales, Colombia. 52p.
- Pérez, R. 2009. La Calidad del Cacao. Programa de Capacitación a facilitadores y agricultores en la cadena del Cacao. Estación Experimental Central de la Amazonía. Ecuador.
- Perquin-Elmer. 1982. *Analytical Methods for Atomic Absorption, spectrophotometry*. Norwalk, Connecticut. U.S.A.
- Portillo, E.; Graziani, L.; Cros, E. 2006. Efecto de algunos factores post-cosecha sobre la calidad sensorial del cacao criollo porcelana (*Theobroma cacao L.*). *Revista de la Facultad de Agronomía* 23(1), 51-59.
- Prete, C. 1992. Condutividade elétrica do exsudato de grãos de café (*Coffea arabica L.*) e sua relação com a qualidade da bebida. 1992. 125 f. Tese Doutorado em Fitotecnia. Universidade de Sao Paulo. Brasil. Piracicaba. 135 p.
- Puentes-Páramo, Y.J., J.C. Menjivar-Flores, y F. AranzazuHernández. 2014a. Eficiencias en el uso de nitrógeno, fósforo y potasio en clones de cacao (*Theobroma cacao L.*). *Bioagro* 26:99-106.
- Puga, S.; Sosa, M.; Lebgue, T.; Quintana, C. y Campos, A. 2006. Heavy Metals Pollution In Soils Damaged By Mining Industry. *Ecología Aplicada*, 5: 149-155.
- Puziah, H.; Jinap, S.; Kharidah, M. y Asbi, A. 1999. Effect of drying time, bean depth and temperature on free amino acid, peptide-N, sugar and pyrazine concentrations of Malaysian cocoa beans. *Journal of the science Food and Agriculture* 79:987-994.
- Puziah, H.; Jinap, S.; Sharifah, K. y Asbi, A. 1998. Effect of mass and turning time on free amino acid, peotide-N, sugar and pyrazine concentration during cocoa fermentation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 78: 543-550.
- Quiñones, L. 2013. Diseño de un sensor de gas de óxido nitroso químicamente resistivo a partir de una base polimérica. Tesis Doctor en Ciencias de Materiales 69 p.

- Rankin, C.; Nriagu, J.; Aggarwal, J.; Arowolo, T.; Adebayo, K. y Russell, A. 2005. Lead contamination in cocoa and cocoa products: isotopic evidence of global contamination. *Environmental Health Perspectives* 113(10): 1344-1348.
- Regalado, A.; Peralta, E.; Gonzales, C. 2008. Cómo hacer un modelo matemático. *Temas de Ciencia y Tecnología* 12(35):9-18.
- Reglamento (UE) de la Comisión N° 488/2014 que modifica el Reglamento (CE) N° 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de cadmio en los productos alimenticios, aplicable a partir del 1 de enero de 2019.
- Repo, T.; Paine, D. H.; Taylor, A. G. 2002. Electrical impedance spectroscopy in relation to seed viability and moisture content in snap bean (*Phaseolus vulgaris L.*) *Seed Science Research* 12(01):17-29.
- Reyes, H.; de Reyes, C. L. 2000. El cacao en Venezuela. Moderna Tecnología para su cultivo. Caracas, Venezuela, Chocolates El Rey. 270 p.
- Reyes, H.; Vivas, J.; Romero, A. 2014. La calidad del cacao: II. Cosecha y fermentación. Fondo Nacional del Cacao. Caracas-Venezuela.
- Ribeiro, M.; Fonseca, A.; De Rezende, C. 2005. Condutividade elétrica e lixiviação de potássio do exsudato de grãos de café: alguns fatores que podem influenciar essas avaliações. *Ciênc. agrotec., Lavras* 29(5): 1015-1020.
- Rivera, J. 2018. Correlación de la porosidad con el índice de fermentación del grano de cacao peruano (*Theobroma cacao L.*). Tesis de ingeniero en industrias alimentarias. Universidad Nacional Agraria la Molina. Perú. 168 p.
- Rodríguez, N. 2006. Beneficio del cacao. Facultad de agronomía de U. C. V. Departamento e Instituto de Agronomía. VE. p. 25-27.
- Rondanini, D.; Savin, R.; Hall, A. J. 2003. Dynamics of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus L.*) exposed to brief intervals of high temperature during grain filling. *Field Crops Research* 83:79–90.
- Rubinson, K. A.; Rubinson, J. F. 2000. Análisis instrumental. Madrid, España, Prentice Hall. p.872 p.
- Saltini, R.; Akkerman, R.; y Frosch, S. 2013. Optimizing chocolate production through traceability: A review of the influence of farming practices on cocoa bean quality. *Food Control* 29(1), 167–187.
- Sanchez, M.; Mestanza, C.; Vargas Y. 2019. Evaluation of the Cocoa Bean (*Theobroma Cacao L.*), using Two Fermentators, Orellana and Sucumbios Provinces, Ecuador. *International Journal of Engineering Research & Technology* 8:278-283.

- Sato, K.; Sakiyama, K. 2011. Chocolate cocoa is a fermented Food. *Kagaku to seibutsu* (49): 523-526.
- Schwan, R. F. y Wheals, A. E. 2004. The Microbiology of Cocoa Fermentation and Role in Chocolate Quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(4):205-221.
- Schwan, R.; Lopez, A.; Silva, D. y Vanetti, M. 1990. Influência da frequência e intervalos de revolvimentos sobre a fermentação do cacau e qualidade do chocolate. *Agrotrópica* 2(1):22-31.
- Senanayake, M.; Jansz, E. y Buckle, K. 1997. Effect of different mixing intervals on the fermentation of cocoa beans. *J. Sci. Food Agric.* 74:42-48.
- Shamsuddin, S., & Dimick, P. (1986). Qualitative and quantitative measurements of cacao bean fermentation, in *Proceedings of Cocoa Biotechnology*. (by Dimick, Vol. 78, pp. 55–78).
- Snoeck, D.; Koko, L.; Joffre, J.; Bastide, P.; Jagoret, P.; 2016. Cacao nutrition and fertilization. In: Lichtfouse, E. (Ed.), *Sustainable Agriculture Reviews: Volume 19*. Springer International Publishing, Cham, 155–202 p.
- Sørensen, A.; Brask, E.; Thomsen, K. 1996. Electrical Conductivity Test. *Danida Forest Seed Centre Technical Notes*. 45(45): 1-19.
- Soto, J. L.; Valiengo, S. 2011. Prueba de la conductividad eléctrica en la evaluación fisiológica de la calidad de semillas en *Zeyheria tuberculosa*. *Bosque (Valdivia)* 32(2): 197-202.
- Stevenson, C.; Corven, J; Villanueva, G. 1993. *Manual para análisis de cacao en Atorio*. San José - Costa Rica.
- Sukha, D. A.; Butler, D. R.; Umaharan, P. y Boulton, E. 2008. The use of an optimised organoleptic assessment protocol to describe and quantify different flavour attributes of cocoa liquors made from Ghana and Trinitario beans. *European Food Research and Technology*, 226(3), 405-413.
- Swanson, J. D.; Carlson, J. E.; Gultinan, M. J. 2008. Comparative flower development in *Theobroma cacao* based on temporal morphological indicators. *Int J Plant Sci* 169:1187-1199.
- Szczerba, M. W.; Britto, D. T.; Kronzucker, H. J. 2009. K⁺ transport in plants: Physiology and molecular biology. *Journal of Plant Physiology* 166:447-466.

- Tajbakhsh, M. 2000. Relationships Between Electrical Conductivity of Imbibed Seeds Leachate and Subsequent Seedling Growth (Viability and Vigour) in Omid Wheat. *Journal of Agricultural Science and Technology* 2: 67-71.
- Teneda, W. 2016. Mejoramiento del Proceso de fermentación del cacao (*Theobroma cacao* L.) Variedad Nacional y variedad CCN 51. Universidad Internacional de Andalucía. 140 p.
- Teye, E.; Huang, X.; Sam-Amoah, L. K.; Takrama, J.; Boison, D.; Botchway, F.; Kumi, F. 2015. Estimating cocoa bean parameters by FT-NIRS and chemometrics analysis. *Food Chemistry* 176(1): 403 – 410.
- Torres, O.; Graziani, L.; Ortiz L. y Trujillo A. 2004. Efecto del tiempo transcurrido entre la cosecha y el desgrane de la mazorca del cacao tipo forastero de Cuyagua sobre características del grano en fermentación. *Agronomía Trop.* 54(4):481-495.
- Tunde-Akintunde, T.; Akintunde, B. 2007. Effect of Moisture content and variety on selected physical properties of beniseed. *Agricultural Engineering* 9:1-14.
- Vera C. J.; Vallejo, T. C.; Párraga, M. W.; Morales, R.; Macías, V. J.; Ramos, R. R. 2014. Atributos físicos-químicos y sensoriales de las almendras de quince clones de cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) en el Ecuador. *Ciencia y Tecnología. UTEQ. Quevedo-Ecuador. Ciencia y Tecnología* 7(2): 21-34.
- Véry, A.; Sentenac, H. 2003. Molecular mechanisms and regulation of K⁺ transport in higher plants. *Annu Rev Plant Biol* 54:575–603.
- Victorio, M.; Marcos Filho, J. 2002. Potassium leakage and maize seed physiological potential. *Scientia Agrícola* 59(2):315-319.
- Viloria, H. y Méndez-Natera, J. 2007. Relación de la calidad fisiológica de semillas de maíz con pH y conductividad eléctrica. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias XXXIX* (2): 91-100.
- Vivanco, E.; Matute, L.; Campo, M. 2017. Caracterización físico-química de la cascarilla de *Theobroma cacao* L., variedades Nacional y CCN 51. *Conference Proceedings UTMACH. Vol.2 N°1.*
- Wollgast, J. y Anklam, E. 2000. Review on polyphenols in *Theobroma cacao*: Changes in composition during the manufacture of chocolate and methodology for identification and quantification. *Food Research International* 33(6): 423-447.
- Yamada, M. M.; Faleiro, F. G.; Flores, A. B.; Lopes, U. V.; Pires, J. L.; Correa, R. X. y dos Santos, R. F. 2009. Microsatellite diversity and heterozygosity of parents of a cocoa breeding population. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 9(1):17-22.

- Yamada, M. M.; Pires, J. L.; Faleiro, F. G.; Lopes, U. V. y Macedo, M. M. 2013. Agronomic performance of 27 cocoa progenies and plant selection based on productivity, self-compatibility and disease resistance. *Revista Ceres* 60(4):514-518.
- Yanamoto, K.; Inoue, A.; Sasai, H. 1995. Methods of producing white cocoa nibs and food using white cocoa nibs. United States Patent. Patent Number: 5395635.
- Yanus, R. L.; Sela, H.; Borojovich, E. J.; Zakon, Y.; Saphier, M.; Nikolski, A.; Gutflais, E.; Lorber, A y Karpas, Z. 2014. Trace elements in cocoa solids and chocolate: An ICPM Study. *Talanta* 119:1-4.
- Zahouli, G.; Guehi, S.; Fae, A. M.; Ban-Koffi, L.; Nemlin, J. 2010. Effect of drying methods on the chemical quality traits of cocoa raw material. *Advance Journal Food Science Technology* 2(4): 184-190.
- Zia-ur-Rehman, M.; Sabir, M.; Rizwan, M.; Saifullah, U.; Ahmed, H. R. y Nadeem, M. 2015. Remediating Cadmium-Contaminated Soils by Growing Grain Crops Using Inorganic Amendments. *Soil Remediation and Plants*. 367-396. DOI:10.5402/2011/402647.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: DATOS DEL ÍNDICE DE GRANO DE GRANOS DE CACAO CCN 51.

Procedencia	Replica	Índice de grano g/grano
Aucayacu	1	1.47
Tingo María	1	1.57
Ucayali	1	1.55
Tocache	1	1.39
Uchiza	1	1.64
Aucayacu	2	1.40
Tingo María	2	1.55
Ucayali	2	1.53
Tocache	2	1.35
Uchiza	2	1.69
Aucayacu	3	1.38
Tingo María	3	1.56
Ucayali	3	1.54
Tocache	3	1.36
Uchiza	3	1.66

ANEXO 2: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL ÍNDICE DE GRANO DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$)

ANOVA Simple - Índice de Grano (g/grano)

Variable dependiente: Índice de grano (g/grano)
Factor: Procedencia

Número de observaciones: 15
Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para Índice de grano (g/grano) por Procedencia

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.166819	4	0.0417048	66.47	0.0000
Intra grupos	0.00627467	10	0.000627467		
Total (Corr.)	0.173094	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para Índice de grano (g/grano) por Procedencia

Método: 95.0 porcentaje LSD

Procedencia	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Tocache	3	1.36667	X
Aucayacu	3	1.41767	X
Ucayali	3	1.54	X
Tingo María	3	1.56133	X
Uchiza	3	1.66167	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Aucayacu - Tingo María	*	-0.143667	0.0455715
Aucayacu - Tocache	*	0.051	0.0455715
Aucayacu - Ucayali	*	-0.122333	0.0455715
Aucayacu - Uchiza	*	-0.244	0.0455715
Tingo María - Tocache	*	0.194667	0.0455715
Tingo María - Ucayali		0.0213333	0.0455715
Tingo María - Uchiza	*	-0.100333	0.0455715
Tocache - Ucayali	*	-0.173333	0.0455715
Tocache - Uchiza	*	-0.295	0.0455715
Ucayali - Uchiza	*	-0.121667	0.0455715

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 3: DATOS DE LA EVALUACIÓN DE LAS DIMENSIONES DE GRANOS DE CACAO CCN 51.

Procedencia	Replica	Largo mm.	ancho mm.	espesor mm.	Relación L/e
Aucayacu	1	20,22	12,75	8,08	2,50
Tingo María	1	25,00	13,64	9,87	2,53
Tocache	1	23,67	13,82	8,40	2,82
Ucayali	1	24,28	13,24	8,96	2,71
Uchiza	1	24,83	14,06	9,84	2,52
Aucayacu	2	23,76	13,39	8,95	2,65
Tingo María	2	24,57	13,23	9,62	2,55
Tocache	2	23,57	13,23	9,09	2,59
Ucayali	2	24,05	13,44	9,43	2,55
Uchiza	2	23,91	13,10	9,38	2,55
Aucayacu	3	23,18	13,15	8,25	2,81
Tingo María	3	24,73	13,67	9,93	2,49
Tocache	3	23,75	12,94	8,81	2,70
Ucayali	3	24,27	13,42	9,26	2,62
Uchiza	3	24,17	13,85	8,89	2,72

ANEXO 4: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LARGO DE GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$)

ANOVA Simple - Largo de Grano (mm)

Variable dependiente: Largo (mm.)

Factor: Procedencia

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para Largo de grano de cacao por Procedencia

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	10.0275	4	2.50688	3.21	0.0613
Intra grupos	7.80701	10	0.780701		
Total (Corr.)	17.8346	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para Largo de grano de cacao por Procedencia

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Procedencia</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Aucayacu	3	22.387	X
Tocache	3	23.6633	XX
Ucayali	3	24.2	X
Uchiza	3	24.3033	X
Tingo María	3	24.7667	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Aucayacu - Tingo María	*	-2.37967	1.60746
Aucayacu - Tocache		-1.27633	1.60746
Aucayacu - Ucayali	*	-1.813	1.60746
Aucayacu - Uchiza	*	-1.91633	1.60746
Tingo María - Tocache		1.10333	1.60746
Tingo María - Ucayali		0.566667	1.60746
Tingo María - Uchiza		0.463333	1.60746
Tocache - Ucayali		-0.536667	1.60746
Tocache - Uchiza		-0.64	1.60746
Ucayali - Uchiza		-0.103333	1.60746

* indica una diferencia significativa.

ANÁLISIS DE VARIANZA DE ANCHO DE GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$)

ANOVA Simple - Ancho de grano (mm)

Variable dependiente: Ancho (mm.)

Factor: Procedencia

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para Ancho de grano de cacao por Procedencia

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.550973	4	0.137743	1.09	0.4131
Intra grupos	1.2658	10	0.12658		
Total (Corr.)	1.81677	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para Ancho de grano de cacao (mm.) por Procedencia

Método: 95.0 porcentaje LSD

Procedencia	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Aucyacu	3	13.0967	X
Tocache	3	13.33	X
Ucayali	3	13.3667	X
Tingo María	3	13.5133	X
Uchiza	3	13.67	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Aucyacu - Tingo María		-0.416667	0.647262
Aucyacu - Tocache		-0.233333	0.647262
Aucyacu - Ucayali		-0.27	0.647262
Aucyacu - Uchiza		-0.573333	0.647262
Tingo María - Tocache		0.183333	0.647262
Tingo María - Ucayali		0.146667	0.647262
Tingo María - Uchiza		-0.156667	0.647262
Tocache - Ucayali		-0.036667	0.647262
Tocache - Uchiza		-0.34	0.647262
Ucayali - Uchiza		-0.303333	0.647262

* indica una diferencia significativa.

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL ESPESOR DE GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$)

ANOVA Simple – Espesor de Grano (mm)

Variable dependiente: Espesor (mm.)

Factor: Procedencia

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para Espesor de grano de cacao (mm.) por Procedencia

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3.44663	4	0.861657	6.71	0.0069
Intra grupos	1.28487	10	0.128487		
Total (Corr.)	4.73149	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para Espesor de grano de cacao por Procedencia

Método: 95.0 porcentaje LSD

Procedencia	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Aucaycu	3	8.42667	x
Tocache	3	8.76667	xx
Ucayali	3	9.21667	xx
Uchiza	3	9.37	xx
Tingo María	3	9.80667	x

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Aucaycu - Tingo María	*	-1.38	0.652119
Aucaycu - Tocache		-0.34	0.652119
Aucaycu - Ucayali	*	-0.79	0.652119
Aucaycu - Uchiza	*	-0.943333	0.652119
Tingo María - Tocache	*	1.04	0.652119
Tingo María - Ucayali		0.59	0.652119
Tingo María - Uchiza		0.436667	0.652119
Tocache - Ucayali		-0.45	0.652119
Tocache - Uchiza		-0.603333	0.652119
Ucayali - Uchiza		-0.153333	0.652119

* indica una diferencia significativa.

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA RELACIÓN LARGO/ESPESOR DE GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$)

ANOVA Simple – Relación Largo/espesor de Grano

Variable dependiente: Relación Largo/espesor de grano

Factor: Procedencia

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para Relación Largo/espesor de grano de cacao por Procedencia

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.0525477	4	0.0131369	1.19	0.3732
Intra grupos	0.110452	10	0.0110452		
Total (Corr.)	0.163	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para Relación Largo/espesor de grano de cacao por Procedencia

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Procedencia</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Tingo María	3	2.52567	X
Uchiza	3	2.597	X
Ucayali	3	2.627	X
Aucayacu	3	2.65567	X
Tocache	3	2.70233	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Aucayacu - Tingo María		0.13	0.191198
Aucayacu - Tocache		-0.0466667	0.191198
Aucayacu - Ucayali		0.0286667	0.191198
Aucayacu - Uchiza		0.0586667	0.191198
Tingo María - Tocache		-0.176667	0.191198
Tingo María - Ucayali		-0.101333	0.191198
Tingo María - Uchiza		-0.0713333	0.191198
Tocache - Ucayali		0.0753333	0.191198
Tocache - Uchiza		0.105333	0.191198
Ucayali - Uchiza		0.03	0.191198

ANEXO 5: DATOS DE LA COMPOSICIÓN PROXIMAL DE GRANOS DE CACAO CON CÁSCARA

Procedencia	Replica	Componente (%)					
		Humedad	Proteína cruda (b.s.)	Grasa cruda (b.s.)	Ceniza (b.s.)	Fibra cruda (b.s.)	Carbohidratos totales (b.s.)
Aucayacu	1	6,15	15,70	42,36	3,54	6,79	38,40
Tingo María	1	6,17	14,89	42,18	3,82	7,08	39,12
Tocache	1	6,09	14,90	45,55	3,29	6,35	36,27
Ucayali	1	5,95	15,89	42,15	3,79	7,99	38,16
Uchiza	1	7,15	16,07	44,49	3,19	5,64	36,25
Aucayacu	2	6,07	15,48	42,72	3,66	6,74	38,14
Tingo María	2	6,09	14,87	43,36	3,61	6,99	38,16
Tocache	2	6,21	14,88	45,18	3,24	6,40	36,70
Ucayali	2	6,21	16,26	41,93	3,67	7,99	38,14
Uchiza	2	7,10	16,04	44,27	3,37	5,78	36,32
Aucayacu	3	6,15	15,27	42,14	3,48	6,84	39,11
Tingo María	3	6,13	15,09	42,67	3,82	7,06	38,41
Tocache	3	6,34	15,47	45,25	3,32	6,37	35,96
Ucayali	3	6,04	15,08	41,33	3,56	7,95	40,04
Uchiza	3	7,19	15,08	44,59	3,65	5,80	36,68

ANEXO 6: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE PROTEÍNA CRUDA EN BASE SECA, DE GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$)

ANOVA Simple - % Proteína cruda (b. s.) por Procedencias

Variable dependiente: % Proteína cruda en grano (b.s)

Factor: Procedencia

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para % Proteína cruda (b.s) en grano por Procedencia

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1.59855	4	0.399638	2.35	0.1246
Intra grupos	1.70115	10	0.170115		
Total (Corr.)	3.29971	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para % Proteína cruda (b.s) en grano de cacao por Procedencia

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Procedencia</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Tingo María	3	14.951	X
Tocache	3	15.0843	XX
Aucayacu	3	15.483	XX
Uchiza	3	15.7293	X
Ucayali	3	15.741	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Aucayacu - Tingo María		0.532	0.750359
Aucayacu - Tocache		0.398667	0.750359
Aucayacu - Ucayali		-0.258	0.750359
Aucayacu - Uchiza		-0.246333	0.750359
Tingo María - Tocache		-0.133333	0.750359
Tingo María - Ucayali	*	-0.79	0.750359
Tingo María - Uchiza	*	-0.778333	0.750359
Tocache - Ucayali		-0.656667	0.750359
Tocache - Uchiza		-0.645	0.750359
Ucayali - Uchiza		0.0116667	0.750359

* indica una diferencia significativa.

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE GRASA CRUDA EN BASE SECA, DE GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$)

ANOVA Simple – % Grasa cruda (b. s.) por Procedencia

Variable dependiente: % Grasa cruda en granos (b.s)

Factor: Procedencia

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para % Grasa cruda (b.s) en granos de cacao por Procedencia

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	26.3386	4	6.58464	47.64	0.0000
Intra grupos	1.38211	10	0.138211		
Total (Corr.)	27.7207	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para % Grasa cruda (b.s) en granos de cacao por Procedencia

Método: 95.0 porcentaje LSD

Procedencia	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Ucayali	3	41.8023	X
Aucayacu	3	42.4057	XX
Tingo María	3	42.7353	X
Uchiza	3	44.4483	X
Tocache	3	45.327	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Aucayacu - Tingo María		-0.329667	0.676347
Aucayacu - Tocache	*	-2.92133	0.676347
Aucayacu - Ucayali		0.603333	0.676347
Aucayacu - Uchiza	*	-2.04267	0.676347
Tingo María - Tocache	*	-2.59167	0.676347
Tingo María - Ucayali	*	0.933	0.676347
Tingo María - Uchiza	*	-1.713	0.676347
Tocache - Ucayali	*	3.52467	0.676347
Tocache - Uchiza	*	0.878667	0.676347
Ucayali - Uchiza	*	-2.646	0.676347

* indica una diferencia significativa.

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE CENIZA EN BASE SECA, DE GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$)

ANOVA Simple - % Ceniza (b. s.) por Procedencia

Variable dependiente: % Ceniza en grano (b.s)

Factor: Procedencia

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para % Ceniza (b.s.) en grano de cacao por Procedencia

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.444773	4	0.111193	6.08	0.0095
Intra grupos	0.18291	10	0.018291		
Total (Corr.)	0.627683	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para % Ceniza (b.s.) en grano de cacao por Procedencia

Método: 95.0 porcentaje LSD

Procedencia	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Tocache	3	3.28133	x
Uchiza	3	3.40433	xx
Aucayacu	3	3.559	xx
Ucayali	3	3.674	x
Tingo María	3	3.75167	x

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Aucayacu - Tingo María		-0.192667	0.246046
Aucayacu - Tocache	*	0.277667	0.246046
Aucayacu - Ucayali		-0.115	0.246046
Aucayacu - Uchiza		0.154667	0.246046
Tingo María - Tocache	*	0.470333	0.246046
Tingo María - Ucayali		0.0776667	0.246046
Tingo María - Uchiza	*	0.347333	0.246046
Tocache - Ucayali	*	-0.392667	0.246046
Tocache - Uchiza		-0.123	0.246046
Ucayali - Uchiza	*	0.269667	0.246046

* indica una diferencia significativa.

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE FIBRA CRUDA EN BASE SECA, DE GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$)

ANOVA Simple – % Fibra Cruda (b.s.) por Procedencia

Variable dependiente: % Fibra en grano (b.s.)

Factor: Procedencia

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para % Fibra cruda (b.s.) en grano de cacao por Procedencia

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	8.2367	4	2.05918	783.21	0.0000
Intra grupos	0.0262913	10	0.00262913		
Total (Corr.)	8.263	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para % Fibra cruda (b.s.) en grano de cacao por Procedencia

Método: 95.0 porcentaje LSD

Procedencia	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Uchiza	3	5.73933	X
Tocache	3	6.37133	X
Aucayacu	3	6.79033	X
Tingo María	3	7.04133	X
Ucayali	3	7.97467	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Aucayacu - Tingo María	*	-0.251	0.0932833
Aucayacu - Tocache	*	0.419	0.0932833
Aucayacu - Ucayali	*	-1.18433	0.0932833
Aucayacu - Uchiza	*	1.051	0.0932833
Tingo María - Tocache	*	0.67	0.0932833
Tingo María - Ucayali	*	-0.933333	0.0932833
Tingo María - Uchiza	*	1.302	0.0932833
Tocache - Ucayali	*	-1.60333	0.0932833
Tocache - Uchiza	*	0.632	0.0932833
Ucayali - Uchiza	*	2.23533	0.0932833

* indica una diferencia significativa.

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE CARBOHIDRATOS TOTALES EN BASE SECA DE GRANO DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$)

ANOVA Simple - % Carbohidratos totales (b.s.) por Procedencia

Variable dependiente: % Carbohidratos totales (b.s.)

Factor: Procedencia

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para % Carbohidratos totales (b.s.) por Procedencia

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	18.6716	4	4.6679	12.43	0.0007
Intra grupos	3.75608	10	0.375608		
Total (Corr.)	22.4277	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para % Carbohidratos totales (b.s.) por Procedencia

Método: 95.0 porcentaje LSD

Procedencia	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Tocache	3	36.3073	x
Uchiza	3	36.4177	x
Aucayacu	3	38.5527	x
Tingo María	3	38.562	x
Ucayali	3	38.783	x

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Aucayacu - Tingo María		-0.00933333	1.11498
Aucayacu - Tocache	*	2.24533	1.11498
Aucayacu - Ucayali		-0.230333	1.11498
Aucayacu - Uchiza	*	2.135	1.11498
Tingo María - Tocache	*	2.25467	1.11498
Tingo María - Ucayali		-0.221	1.11498
Tingo María - Uchiza	*	2.14433	1.11498
Tocache - Ucayali	*	-2.47567	1.11498
Tocache - Uchiza		-0.110333	1.11498
Ucayali - Uchiza	*	2.36533	1.11498

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 7: DATOS DEL ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN DE MINERALES DE GRANOS DE CACAO CON CÁSCARA DE DIFERENTE PROCEDENCIA

Procedencia	Replica	Calcio %	Fósforo %	Magnesio %	Potasio %	Hierro ppm	Cadmio ppm
Aucayacu	1	0,09	0,38	0,27	1,27	36,00	5,40
Tingo María	1	0,07	0,39	0,31	1,34	54,00	6,05
Tocache	1	0,08	0,59	0,24	0,95	40,00	2,00
Ucayali	1	0,08	0,45	0,25	1,18	45,00	3,13
Uchiza	1	0,09	0,50	0,28	0,98	39,00	2,20
Aucayacu	2	0,09	0,29	0,27	1,33	37,00	5,68
Tingo María	2	0,06	0,59	0,30	1,42	57,00	5,60
Tocache	2	0,08	0,59	0,26	1,04	41,00	1,78
Ucayali	2	0,08	0,59	0,24	1,20	47,00	3,45
Uchiza	2	0,08	0,59	0,26	1,02	50,00	2,53
Aucayacu	3	0,10	0,19	0,30	0,82	56,00	4,95
Tingo María	3	0,06	0,18	0,44	1,09	58,00	4,38
Tocache	3	0,07	0,18	0,40	1,09	60,00	1,53
Ucayali	3	0,08	0,18	0,43	0,92	53,00	2,83
Uchiza	3	0,08	0,18	0,35	0,94	50,00	0,63

ANEXO 8: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE CALCIO EN GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$)

ANOVA Simple - Calcio en grano de cacao por Procedencia

Variable dependiente: Calcio en grano (%)

Factor: Procedencia

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para % Calcio en grano de cacao por Procedencia

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.00142667	4	0.000356667	13.37	0.0005
Intra grupos	0.000266667	10	0.0000266667		
Total (Corr.)	0.00169333	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para % Calcio en grano de cacao por Procedencia

Método: 95.0 porcentaje LSD

Procedencia	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Tingo María	3	0.0633333	X
Tocache	3	0.0766667	X
Ucayali	3	0.08	X
Uchiza	3	0.0833333	X
Aucayacu	3	0.0933333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Aucayacu - Tingo María	*	0.03	0.00939468
Aucayacu - Tocache	*	0.0166667	0.00939468
Aucayacu - Ucayali	*	0.0133333	0.00939468
Aucayacu - Uchiza	*	0.01	0.00939468
Tingo María - Tocache	*	-0.0133333	0.00939468
Tingo María - Ucayali	*	-0.0166667	0.00939468
Tingo María - Uchiza	*	-0.02	0.00939468
Tocache - Ucayali		-0.00333333	0.00939468
Tocache - Uchiza		-0.00666667	0.00939468
Ucayali - Uchiza		-0.00333333	0.00939468

* indica una diferencia significativa.

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE FÓSFORO EN GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$)

ANOVA Simple - Fósforo por Procedencia

Variable dependiente: Fósforo en grano (%)

Factor: Procedencia

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para % Fósforo en grano de cacao por Procedencia

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.04824	4	0.01206	0.31	0.8674
Intra grupos	0.393933	10	0.0393933		
Total (Corr.)	0.442173	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para % Fósforo en grano de cacao por Procedencia

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Procedencia</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Aucayacu	3	0.286667	X
Tingo María	3	0.386667	X
Ucayali	3	0.406667	X
Uchiza	3	0.423333	X
Tocache	3	0.453333	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Aucayacu - Tingo María		-0.1	0.361085
Aucayacu - Tocache		-0.166667	0.361085
Aucayacu - Ucayali		-0.12	0.361085
Aucayacu - Uchiza		-0.136667	0.361085
Tingo María - Tocache		-0.0666667	0.361085
Tingo María - Ucayali		-0.02	0.361085
Tingo María - Uchiza		-0.0366667	0.361085
Tocache - Ucayali		0.0466667	0.361085
Tocache - Uchiza		0.03	0.361085
Ucayali - Uchiza		-0.0166667	0.361085

* indica una diferencia significativa.

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE MAGNESIO EN GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$)

ANOVA Simple - Magnesio en grano por Procedencia

Variable dependiente: Magnesio en grano (%)

Factor: Procedencia

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para % Magnesio en grano de cacao por Procedencia

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.0082	4	0.00205	0.37	0.8245
Intra grupos	0.0553333	10	0.00553333		
Total (Corr.)	0.0635333	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para % Magnesio en grano de cacao por Procedencia

Método: 95.0 porcentaje LSD

Procedencia	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Aucayacu	3	0.28	X
Uchiza	3	0.296667	X
Tocache	3	0.3	X
Ucayali	3	0.306667	X
Tingo María	3	0.35	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Aucayacu - Tingo María		-0.07	0.135329
Aucayacu - Tocache		-0.02	0.135329
Aucayacu - Ucayali		-0.0266667	0.135329
Aucayacu - Uchiza		-0.0166667	0.135329
Tingo María - Tocache		0.05	0.135329
Tingo María - Ucayali		0.0433333	0.135329
Tingo María - Uchiza		0.0533333	0.135329
Tocache - Ucayali		-0.00666667	0.135329
Tocache - Uchiza		0.00333333	0.135329
Ucayali - Uchiza		0.01	0.135329

* indica una diferencia significativa.

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE POTASIO EN GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$)

ANOVA Simple - Potasio en grano por Procedencia

Variable dependiente: Potasio en grano (%)

Factor: Procedencia

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para % Potasio en grano de cacao por Procedencia

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.164427	4	0.0411067	1.49	0.2781
Intra grupos	0.276733	10	0.0276733		
Total (Corr.)	0.44116	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para % Potasio en grano de cacao por Procedencia

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Procedencia</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Uchiza	3	0.98	X
Tocache	3	1.02667	XX
Ucayali	3	1.1	XX
Aucayacu	3	1.14	XX
Tingo María	3	1.28333	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Aucayacu - Tingo María		-0.143333	0.302641
Aucayacu - Tocache		0.113333	0.302641
Aucayacu - Ucayali		0.04	0.302641
Aucayacu - Uchiza		0.16	0.302641
Tingo María - Tocache		0.256667	0.302641
Tingo María - Ucayali		0.183333	0.302641
Tingo María - Uchiza	*	0.303333	0.302641
Tocache - Ucayali		-0.0733333	0.302641
Tocache - Uchiza		0.0466667	0.302641
Ucayali - Uchiza		0.12	0.302641

* indica una diferencia significativa.

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE HIERRO EN GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$)

ANOVA Simple – Hierro (p.p.m)

Variable dependiente: Hierro en grano (ppm)

Factor: Procedencia

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para Hierro en grano de cacao (ppm) por Procedencia

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	294.4	4	73.6	1.16	0.3826
Intra grupos	632.0	10	63.2		
Total (Corr.)	926.4	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para Hierro en grano de cacao (ppm) por Procedencia

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Procedencia</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Aucayacu	3	43.0	X
Uchiza	3	46.3333	X
Tocache	3	47.0	X
Ucayali	3	48.3333	X
Tingo María	3	56.3333	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Aucayacu - Tingo María		-13.3333	14.4629
Aucayacu - Tocache		-4.0	14.4629
Aucayacu - Ucayali		-5.33333	14.4629
Aucayacu - Uchiza		-3.33333	14.4629
Tingo María - Tocache		9.33333	14.4629
Tingo María - Ucayali		8.0	14.4629
Tingo María - Uchiza		10.0	14.4629
Tocache - Ucayali		-1.33333	14.4629
Tocache - Uchiza		0.666667	14.4629
Ucayali - Uchiza		2.0	14.4629

* indica una diferencia significativa.

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE CADMIO EN GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$)

ANOVA Simple - Cadmio en grano por Procedencia

Variable dependiente: Cadmio en grano (ppm)

Factor: Procedencia

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para Cadmio en grano de cacao (ppm) por Procedencia

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	38.5599	4	9.63997	23.35	0.0000
Intra grupos	4.12867	10	0.412867		
Total (Corr.)	42.6886	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para Cadmio en grano de cacao (ppm) por Procedencia

Método: 95.0 porcentaje LSD

Procedencia	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Tocache	3	1.77	X
Uchiza	3	1.78667	X
Ucayali	3	3.13667	X
Tingo María	3	5.34333	X
Aucayacu	3	5.34333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Aucayacu - Tingo María		0.0	1.16897
Aucayacu - Tocache	*	3.57333	1.16897
Aucayacu - Ucayali	*	2.20667	1.16897
Aucayacu - Uchiza	*	3.55667	1.16897
Tingo María - Tocache	*	3.57333	1.16897
Tingo María - Ucayali	*	2.20667	1.16897
Tingo María - Uchiza	*	3.55667	1.16897
Tocache - Ucayali	*	-1.36667	1.16897
Tocache - Uchiza		-0.0166667	1.16897
Ucayali - Uchiza	*	1.35	1.16897

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 9: DATOS DE ÍNDICE DE FERMENTACIÓN (%) DE GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA

Procedencia	Replica	Índice de fermentación %
Aucayacu	1	35
Tingo María	1	50
Tocache	1	85
Ucayali	1	37
Uchiza	1	85
Aucayacu	2	40
Tingo María	2	45
Tocache	2	82
Ucayali	2	36
Uchiza	2	90
Aucayacu	3	38
Tingo María	3	49
Tocache	3	71
Ucayali	3	40
Uchiza	3	85

ANEXO 10: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL ÍNDICE DE FERMENTACIÓN DE GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA (p≤0,05)

ANOVA Simple - Índice de fermentación por Procedencia (%)

Variable dependiente: Índice de fermentación (%)

Factor: Procedencia

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para Índice de fermentación por Procedencia

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	6611.07	4	1652.77	102.87	0.0000
Intra grupos	160.667	10	16.0667		
Total (Corr.)	6771.73	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para Índice de fermentación por Procedencia

Método: 95.0 porcentaje LSD

Procedencia	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Ucayali	3	37.6667	X
Aucayacu	3	37.6667	X
Tingo María	3	48.0	X
Tocache	3	79.3333	X
Uchiza	3	86.6667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Aucayacu - Tingo María	*	-10.3333	7.29223
Aucayacu - Tocache	*	-41.6667	7.29223
Aucayacu - Ucayali		0.0	7.29223
Aucayacu - Uchiza	*	-49.0	7.29223
Tingo María - Tocache	*	-31.3333	7.29223
Tingo María - Ucayali	*	10.3333	7.29223
Tingo María - Uchiza	*	-38.6667	7.29223
Tocache - Ucayali	*	41.6667	7.29223
Tocache - Uchiza	*	-7.33333	7.29223
Ucayali - Uchiza	*	-49.0	7.29223

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 11: VALORES DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON 20 GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA

Repetición	Replica	Peso 20 granos (g)	Conductividad eléctrica uS/cm
Aucayacu	1	28,38	430
Tingo María	1	33,29	756
Tocache	1	32,16	749
Ucayali	1	28,37	933
Uchiza	1	31,27	796
Aucayacu	2	27,06	446
Tingo María	2	30,96	778
Tocache	2	32,24	702
Ucayali	2	29,24	959
Uchiza	2	34,50	792
Aucayacu	3	29,06	471
Tingo María	3	31,74	862
Tocache	3	31,94	780
Ucayali	3	30,44	900
Uchiza	3	36,23	817

ANEXO 12: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON 20 GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$)

ANOVA Simple – CE (uS/cm/g)

Variable dependiente: CE (uS/cm/g)

Factor: Procedencia (uS/cm/g)

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para CE (uS/cm/g) por Procedencia

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	277.043	4	69.2608	34.53	0.0000
Intra grupos	20.0597	10	2.00597		
Total (Corr.)	297.103	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para CE (uS/cm/g) por Procedencia

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Procedencia</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Aucayacu	3	15.9067	x
Uchiza	3	23.62	x
Tingo María	3	24.96	x
Tocache	3	25.3033	x
Ucayali	3	28.94	x

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Aucayacu - Tingo María	*	-9.05333	2.57668
Aucayacu - Tocache	*	-9.39667	2.57668
Aucayacu - Ucayali	*	-13.0333	2.57668
Aucayacu - Uchiza	*	-7.71333	2.57668
Tingo María - Tocache		-0.343333	2.57668
Tingo María - Ucayali	*	-3.98	2.57668
Tingo María - Uchiza		1.34	2.57668
Tocache - Ucayali	*	-3.63667	2.57668
Tocache - Uchiza		1.68333	2.57668
Ucayali - Uchiza	*	5.32	2.57668

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 13: VALORES DE GRASA CRUDA Y CENIZAS EN BASE SECA DE GRANOS DE CACAO LIXIVIADOS DE DIFERENTE PROCEDENCIA

Procedencia	Replica	Componente (%)		
		Humedad	Grasa cruda (b.s.)	Ceniza (b.s.)
Aucayacu	1	45,215	35,580	3,347
Tingo María	1	47,687	39,087	3,004
Tocache	1	47,847	27,553	2,752
Ucayali	1	47,893	31,197	2,690
Uchiza	1	45,845	40,580	2,778
Aucayacu	2	45,386	35,726	3,158
Tingo María	2	47,633	39,045	2,928
Tocache	2	47,841	27,924	2,618
Ucayali	2	47,607	30,081	2,661
Uchiza	2	45,716	42,325	2,888
Aucayacu	3	45,452	35,450	3,244
Tingo María	3	47,289	39,192	2,827
Tocache	3	47,726	25,784	2,751
Ucayali	3	47,873	30,010	2,718
Uchiza	3	45,898	42,219	2,755

ANEXO 14: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE GRASA CRUDA, EN BASE SECA, DE GRANOS DE CACAO LIXIVIADOS DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$)

ANOVA Simple – % Grasa cruda en granos de cacao lixiviado

Variable dependiente: Grasa cruda (%)

Factor: Procedencia

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para %Grasa por Procedencia

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	436.463	4	109.116	199.63	0.0000
Intra grupos	5.46581	10	0.546581		
Total (Corr.)	441.929	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para % Grasa cruda por Procedencia

Método: 95.0 porcentaje LSD

Procedencia	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Ucayali	3	27.087	X
Tocache	3	30.4293	X
Aucayacu	3	35.5853	X
Tingo María	3	39.108	X
Uchiza	3	41.708	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Aucayacu - Tingo María	*	-3.52267	1.34501
Aucayacu - Tocache	*	5.156	1.34501
Aucayacu - Ucayali	*	8.49833	1.34501
Aucayacu - Uchiza	*	-6.12267	1.34501
Tingo María - Tocache	*	8.67867	1.34501
Tingo María - Ucayali	*	12.021	1.34501
Tingo María - Uchiza	*	-2.6	1.34501
Tocache - Ucayali	*	3.34233	1.34501
Tocache - Uchiza	*	-11.2787	1.34501
Ucayali - Uchiza	*	-14.621	1.34501

* indica una diferencia significativa.

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE CENIZA, EN BASE SECA, DE GRANOS DE CACAO LIXIVIADOS DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$)

ANOVA Simple - % Ceniza en grano de cacao lixiviado por Procedencia

Variable dependiente: Ceniza en grano lixiviado (%)

Factor: Procedencia

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para % Ceniza en grano de cacao lixiviado por Procedencia

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.628698	4	0.157174	27.43	0.0000
Intra grupos	0.05729	10	0.005729		
Total (Corr.)	0.685988	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para % Ceniza en grano de cacao lixiviado por Procedencia

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Procedencia</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Tocache	3	2.68967	X
Ucayali	3	2.707	X
Uchiza	3	2.807	XX
Tingo María	3	2.91967	X
Aucayacu	3	3.24967	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Aucayacu - Tingo María	*	0.33	0.137701
Aucayacu - Tocache	*	0.56	0.137701
Aucayacu - Ucayali	*	0.542667	0.137701
Aucayacu - Uchiza	*	0.442667	0.137701
Tingo María - Tocache	*	0.23	0.137701
Tingo María - Ucayali	*	0.212667	0.137701
Tingo María - Uchiza		0.112667	0.137701
Tocache - Ucayali		-0.0173333	0.137701
Tocache - Uchiza		-0.117333	0.137701
Ucayali - Uchiza		-0.1	0.137701

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 15: VALORES DEL CONTENIDO DE MINERALES DEL LÍQUIDO LIXIVIADO DE GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA

Procedencia	Replica	Calcio mg/L	Fósforo mg/L	Magnesio mg/L	Potasio mg/L	Hierro mg/L	Cadmio mg/L
Aucayacu	1	18,17	10,18	9,68	215,50	0,54	0,07
Tingo María	1	15,67	32,46	16,57	409,00	0,72	0,08
Tocache	1	20,83	49,57	29,02	395,67	0,65	0,09
Ucayali	1	17,07	35,05	18,60	289,00	0,48	0,10
Uchiza	1	20,83	21,58	17,77	335,67	0,59	0,07
Aucayacu	2	18,50	9,14	9,48	213,50	0,46	0,10
Tingo María	2	18,17	32,46	19,30	374,17	2,63	0,08
Tocache	2	22,00	43,61	26,37	398,50	0,63	0,09
Ucayali	2	18,00	31,17	18,82	265,33	1,20	0,08
Uchiza	2	20,17	21,84	19,52	370,83	0,88	0,08
Aucayacu	3	17,00	10,18	8,37	210,00	0,51	0,11
Tingo María	3	17,83	30,13	17,85	333,17	0,43	0,09
Tocache	3	18,00	42,57	27,35	370,67	0,59	0,11
Ucayali	3	21,50	31,43	21,15	351,83	0,78	0,09
Uchiza	3	18,33	22,62	19,37	366,17	0,74	0,13

ANEXO 16: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE CALCIO DEL LÍQUIDO LIXIVIADO DE GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$)

ANOVA Simple - Calcio en medio acuoso por Procedencia

Variable dependiente: Calcio en medio acuoso (%)

Factor: Procedencia

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para Calcio en medio acuoso por Procedencia

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.77333E-7	4	4.43333E-8	1.39	0.3069
Intra grupos	3.2E-7	10	3.2E-8		
Total (Corr.)	4.97333E-7	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para Calcio en medio acuoso por Procedencia

Método: 95.0 porcentaje LSD

Procedencias	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Tingo María	3	0.00173333	x
Aucayacu	3	0.0018	x
Tocache	3	0.0019	x
Uchiza	3	0.00196667	x
Ucayali	3	0.00203333	x

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Aucayacu - Tingo María		0.0000666667	0.000325441
Aucayacu - Tocache		-0.0001	0.000325441
Aucayacu - Ucayali		-0.000233333	0.000325441
Aucayacu - Uchiza		-0.000166667	0.000325441
Tingo María - Tocache		-0.000166667	0.000325441
Tingo María - Ucayali		-0.0003	0.000325441
Tingo María - Uchiza		-0.000233333	0.000325441
Tocache - Ucayali		-0.000133333	0.000325441
Tocache - Uchiza		-0.0000666667	0.000325441
Ucayali - Uchiza		0.0000666667	0.000325441

* indica una diferencia significativa.

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE FÓSFORO DEL LÍQUIDO LIXIVIADO DE GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$)

ANOVA Simple - Fósforo en medio acuoso por Procedencia

Variable dependiente: Fósforo en medio acuoso (%)

Factor: Procedencia

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para Fósforo en medio acuoso por Procedencia

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.000021296	4	0.000005324	122.86	0.0000
Intra grupos	4.33333E-7	10	4.33333E-8		
Total (Corr.)	0.0000217293	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para Fósforo en medio acuoso por Procedencia

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Procedencias</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Aucayacu	3	0.000966667	X
Uchiza	3	0.00223333	X
Tingo María	3	0.00313333	X
Tocache	3	0.00323333	X
Ucayali	3	0.00456667	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Aucayacu - Tingo María	*	-0.00216667	0.000378712
Aucayacu - Tocache	*	-0.00226667	0.000378712
Aucayacu - Ucayali	*	-0.0036	0.000378712
Aucayacu - Uchiza	*	-0.00126667	0.000378712
Tingo María - Tocache		-0.0001	0.000378712
Tingo María - Ucayali	*	-0.00143333	0.000378712
Tingo María - Uchiza	*	0.0009	0.000378712
Tocache - Ucayali	*	-0.00133333	0.000378712
Tocache - Uchiza	*	0.001	0.000378712
Ucayali - Uchiza	*	0.00233333	0.000378712

* indica una diferencia significativa.

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE MAGNESIO DEL LÍQUIDO LIXIVIADO DE GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$)

ANOVA Simple - Magnesio en medio acuoso por Procedencia

Variable dependiente: Magnesio en medio acuoso (%)

Factor: Procedencia

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para Magnesio en medio acuoso por Procedencia

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.00000510267	4	0.00000127567	95.68	0.0000
Intra grupos	1.33333E-7	10	1.33333E-8		
Total (Corr.)	0.000005236	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para Magnesio en medio acuoso por Procedencia

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Procedencias</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Aucayacu	3	0.0009	X
Tingo María	3	0.0018	X
Uchiza	3	0.0019	X
Tocache	3	0.00196667	X
Ucayali	3	0.00273333	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Aucayacu - Tingo María	*	-0.0009	0.000210071
Aucayacu - Tocache	*	-0.00106667	0.000210071
Aucayacu - Ucayali	*	-0.00183333	0.000210071
Aucayacu - Uchiza	*	-0.001	0.000210071
Tingo María - Tocache		-0.000166667	0.000210071
Tingo María - Ucayali	*	-0.000933333	0.000210071
Tingo María - Uchiza		-0.0001	0.000210071
Tocache - Ucayali	*	-0.000766667	0.000210071
Tocache - Uchiza		0.0000666667	0.000210071
Ucayali - Uchiza	*	0.000833333	0.000210071

* indica una diferencia significativa.

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE POTASIO DEL LÍQUIDO LIXIVIADO DE GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$)

ANOVA Simple - Potasio en medio acuoso por Procedencia

Variable dependiente: Potasio en medio acuoso (%)

Factor: Procedencia

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para Potasio por Procedencias

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.000609389	4	0.000152347	18.72	0.0001
Intra grupos	0.0000814	10	0.00000814		
Total (Corr.)	0.000690789	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para Potasio por Procedencias

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Procedencias</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Aucayacu	3	0.0213333	X
Tocache	3	0.0302	X
Uchiza	3	0.0357667	X
Tingo María	3	0.0372	X
Ucayali	3	0.0388667	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Aucayacu - Tingo María	*	-0.0158667	0.00519051
Aucayacu - Tocache	*	-0.00886667	0.00519051
Aucayacu - Ucayali	*	-0.0175333	0.00519051
Aucayacu - Uchiza	*	-0.0144333	0.00519051
Tingo María - Tocache	*	0.007	0.00519051
Tingo María - Ucayali		-0.00166667	0.00519051
Tingo María - Uchiza		0.00143333	0.00519051
Tocache - Ucayali	*	-0.00866667	0.00519051
Tocache - Uchiza	*	-0.00556667	0.00519051
Ucayali - Uchiza		0.0031	0.00519051

* indica una diferencia significativa.

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE HIERRO DEL LÍQUIDO LIXIVIADO DE GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$)

ANOVA Simple - Hierro en medio acuoso por Procedencia

Variable dependiente: Hierro (mg/L)

Factor: Procedencia

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para Hierro en líquido lixiviado por Procedencia

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1.00377	4	0.250943	0.79	0.5561
Intra grupos	3.1662	10	0.31662		
Total (Corr.)	4.16997	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para Hierro por Procedencia

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Procedencia</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Aucayacu	3	0.503333	X
Ucyali	3	0.623333	X
Uchiza	3	0.736667	X
Tocache	3	0.82	X
Tingo María	3	1.26	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Aucayacu - Tingo María		-0.756667	1.02369
Aucayacu - Tocache		-0.316667	1.02369
Aucayacu - Uchiza		-0.233333	1.02369
Aucayacu - Ucyali		-0.12	1.02369
Tingo María - Tocache		0.44	1.02369
Tingo María - Uchiza		0.523333	1.02369
Tingo María - Ucyali		0.636667	1.02369
Tocache - Uchiza		0.0833333	1.02369
Tocache - Ucyali		0.196667	1.02369
Uchiza - Ucyali		0.113333	1.02369

* indica una diferencia significativa

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE CADMIO DEL LÍQUIDO LIXIVIADO DE GRANOS DE CACAO DE DIFERENTE PROCEDENCIA ($p \leq 0,05$)

ANOVA Simple - Cadmio en medio acuoso por Procedencia

Variable dependiente: Cadmio en medio acuoso (mg/L)

Factor: Procedencia

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para Cadmio en medio acuoso por Procedencia

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.000306667	4	0.0000766667	0.22	0.9205
Intra grupos	0.00346667	10	0.000346667		
Total (Corr.)	0.00377333	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para Cadmio en medio acuoso por Procedencia

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Procedencia</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Tingo María	3	0.0833333	X
Tocache	3	0.09	X
Aucayacu	3	0.0933333	X
Uchiza	3	0.0933333	X
Ucayali	3	0.0966667	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Aucayacu - Tingo María		0.01	0.033873
Aucayacu - Tocache		0.00333333	0.033873
Aucayacu - Ucayali		-0.00333333	0.033873
Aucayacu - Uchiza		0.0	0.033873
Tingo María - Tocache		-0.00666667	0.033873
Tingo María - Ucayali		-0.0133333	0.033873
Tingo María - Uchiza		-0.01	0.033873
Tocache - Ucayali		-0.00666667	0.033873
Tocache - Uchiza		-0.00333333	0.033873
Ucayali - Uchiza		0.00333333	0.033873

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 17: VALORES DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL LÍQUIDO LIXIVIADO DE GRANOS DE CACAO PROCEDENTES DE UCHIZA - SAN MARTÍN

Fermentación Días	Replica	Peso de 20 granos (g)	Conductividad eléctrica $\mu\text{S}/\text{cm}$
0	1	31,456	139,1
1	1	32,588	270,7
2	1	32,713	302,7
3	1	34,086	591,7
4	1	34,23	863,7
5	1	32,855	830,7
6	1	36,642	834,7
0	2	31,4728	119,2
1	2	32,467	278,7
2	2	32,94	315,7
3	2	33,004	578,7
4	2	34,00	869,7
5	2	33,128	827,7
6	2	34,16	760,7
0	3	34,756	136,5
1	3	33,184	268,7
2	3	32,297	319,7
3	3	31,016	550,7
4	3	33,055	801,7
5	3	32,087	797,7
6	3	37,609	862,7

ANEXO 18: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL ÍNDICE DE FERMENTACIÓN Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL LÍQUIDO LIXIVIADO DE GRANOS DE CACAO PROCEDENTES DE UCHIZA ($p \leq 0,05$)

ANOVA Simple - Índice de Fermentación por CE días de fermentación

Variable dependiente: Índice de Fermentación (días)

Factor: CE días de fermentación

Número de observaciones: 21

Número de niveles: 7

Tabla ANOVA para Índice de Fermentación por CE días de fermentación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1358.83	6	226.472	1657.18	0.0000
Intra grupos	1.91325	14	0.136661		
Total (Corr.)	1360.74	20			

Pruebas de Múltiple Rangos para Índice de Fermentación por CE días de fermentación

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0 días	3	4.04533	x
1 día	3	8.32933	x
2 días	3	9.57867	x
3 días	3	17.5493	x
6 días	3	22.6627	x
4 días	3	25.0217	x
5 días	3	25.0433	x

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 días - 1 día	*	-4.284	0.647383
0 días - 2 días	*	-5.53333	0.647383
0 días - 3 días	*	-13.504	0.647383
0 días - 4 días	*	-20.9763	0.647383
0 días - 5 días	*	-20.998	0.647383
0 días - 6 días	*	-18.6173	0.647383
1 día - 2 días	*	-1.24933	0.647383
1 día - 3 días	*	-9.22	0.647383
1 día - 4 días	*	-16.6923	0.647383
1 día - 5 días	*	-16.714	0.647383
1 día - 6 días	*	-14.3333	0.647383
2 días - 3 días	*	-7.97067	0.647383
2 días - 4 días	*	-15.443	0.647383
2 días - 5 días	*	-15.4647	0.647383
2 días - 6 días	*	-13.084	0.647383
3 días - 4 días	*	-7.47233	0.647383
3 días - 5 días	*	-7.494	0.647383
3 días - 6 días	*	-5.11333	0.647383
4 días - 5 días		-0.0216667	0.647383
4 días - 6 días	*	2.359	0.647383
5 días - 6 días	*	2.38067	0.647383

* indica una diferencia significativa.

**ANEXO 19: ÍNDICE DE FERMENTACIÓN DE GRANOS DE CACAO
PROCEDENTES DE UCHIZA- SAN MARTÍN.**

Tiempo de fermentación (Días)	Replica	Índice de fermentación (%)
0	1	0
1	1	17
2	1	31
3	1	54
4	1	53
5	1	60
6	1	88
0	2	0
1	2	17
2	2	38
3	2	48
4	2	54
5	2	66
6	2	88
0	3	0
1	3	15
2	3	32
3	3	49
4	3	54
5	3	67
6	3	90

ANEXO 20: CORRELACIÓN DEL ÍNDICE DE FERMENTACIÓN Y TIEMPO DE FERMENTACIÓN DE GRANOS DE CACAO PROCEDENTES DE UCHIZA - SAN MARTÍN

Regresión Simple - Índice de fermentación vs. Tiempo (Días)

Variable dependiente: Índice de fermentación

Variable independiente: Tiempo (Días)

Raíz Cuadrada Doble: $Y = (a + b \cdot \sqrt{X})^2$

Número de observaciones: 21

Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	0.239462	0.181348	1.32046	0.2024
Pendiente	3.69396	0.104701	35.281	0.0000

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	173.52	1	173.52	1244.75	0.0000
Residuo	2.64863	19	0.139402		
Total (Corr.)	176.169	20			

Coefficiente de Correlación = 0.992454

R-cuadrada = 98.4965 por ciento

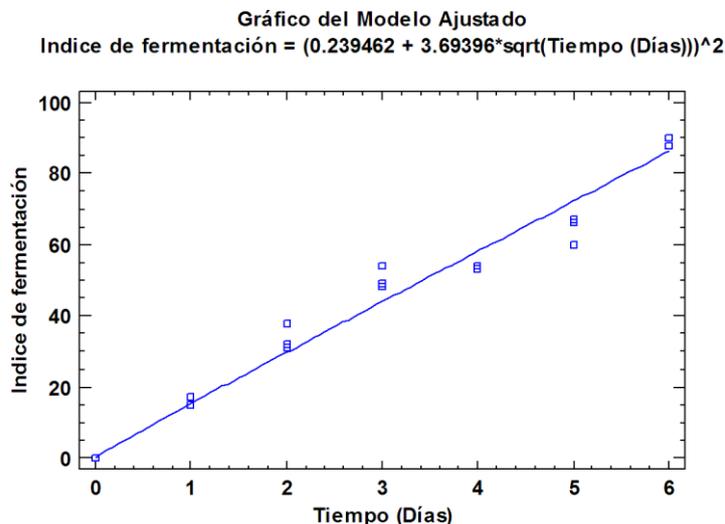
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 98.4174 por ciento

Error estándar del est. = 0.373366

Error absoluto medio = 0.297795

Estadístico Durbin-Watson = 0.903956 (P=0.0011)

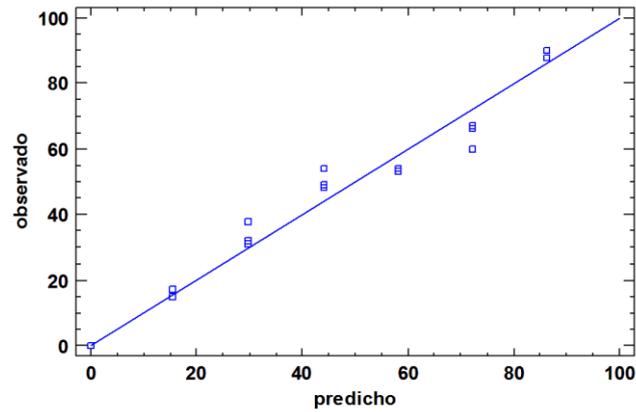
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.529718



Análisis de Varianza con Carencia de Ajuste

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	173.52	1	173.52	1244.75	0.0000
Residuo	2.64863	19	0.139402		
Carencia de Ajuste	2.17482	5	0.434963	12.85	0.0001
Error Puro	0.473818	14	0.0338441		
Total (Corr.)	176.169	20			

Gráfico de Índice de fermentación



Comparación de Modelos Alternos

Modelo	Correlación	R-Cuadrada
Raíz Cuadrada Doble	0.9925	98.50%
Lineal	0.9844	96.90%
Cuadrado Doble	0.9754	95.14%
Raíz Cuadrada de X	0.9567	91.53%
Cuadrado de X	0.9375	87.89%
Cuadrado de Y	0.9348	87.38%
Raíz Cuadrada de Y	0.9306	86.60%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	0.8295	68.81%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	0.8125	66.02%
Exponencial	<sin ajuste>	
Inversa de Y	<sin ajuste>	
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	<sin ajuste>	
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	<sin ajuste>	
Logaritmo de X	<sin ajuste>	
Raíz Cuadrada-Y Log-X	<sin ajuste>	
Multiplicativa	<sin ajuste>	
Inversa-Y Log-X	<sin ajuste>	
Cuadrado-Y Log-X	<sin ajuste>	
Inversa de X	<sin ajuste>	
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	<sin ajuste>	
Curva S	<sin ajuste>	
Doble Inverso	<sin ajuste>	
Cuadrado-Y Inversa de X	<sin ajuste>	
Log-Y Cuadrado-X	<sin ajuste>	
Inversa-Y Cuadrado-X	<sin ajuste>	
Logístico	<sin ajuste>	
Log probit	<sin ajuste>	

Residuos Atípicos

	Predicciones			Residuos	
Fila	X	Y	Y	Residuos	Studentizados
8	2.0	38.0	29.85	8.14998	2.09
10	3.0	54.0	44.0577	9.94232	2.13
16	5.0	60.0	72.2401	-12.2401	-2.35

ANEXO 21: CORRELACIÓN DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y TIEMPO DE FERMENTACIÓN DE GRANOS DE CACAO PROCEDENTES DE UCHIZA - SAN MARTÍN

Regresión Simple - CE (uS/cm/g) vs. Tiempo (Días)

Variable dependiente: CE (uS/cm/g)

Variable independiente: Tiempo (Días)

Log-Y Raíz Cuadrada-X: $Y = \exp(a + b \cdot \sqrt{X})$

Número de observaciones: 21

Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	8.26694	0.0840365	98.3732	0.0000
Pendiente	0.801841	0.0485185	16.5265	0.0000

NOTA: intercepto = $\ln(a)$

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	8.17601	1	8.17601	273.13	0.0000
Residuo	0.568765	19	0.029935		
Total (Corr.)	8.74478	20			

Coefficiente de Correlación = 0.966933

R-cuadrada = 93.4959 por ciento

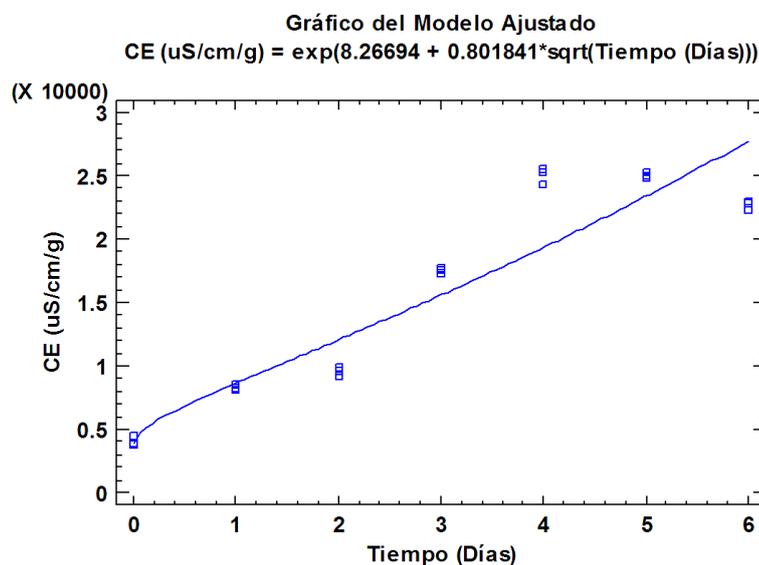
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 93.1536 por ciento

Error estándar del est. = 0.173017

Error absoluto medio = 0.13925

Estadístico Durbin-Watson = 0.49344 (P=0.0000)

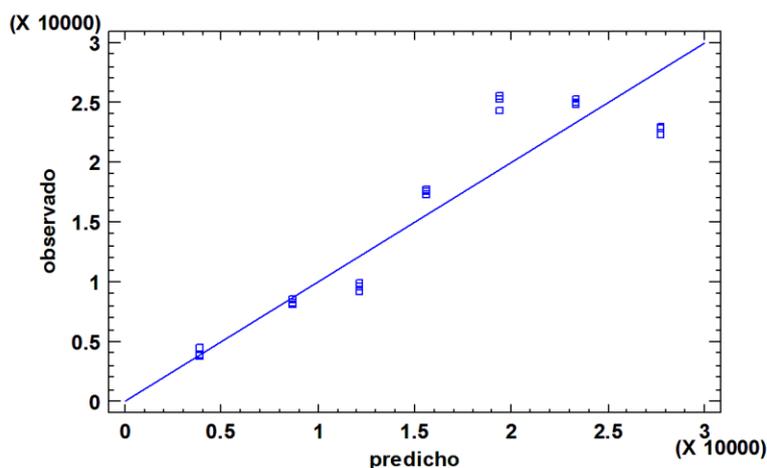
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.707125



Análisis de Varianza con Carencia de Ajuste

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	8.17601	1	8.17601	273.13	0.0000
Residuo	0.568765	19	0.029935		
Carencia de Ajuste	0.549213	5	0.109843	78.65	0.0000
Error Puro	0.0195526	14	0.00139661		
Total (Corr.)	8.74478	20			

Gráfico de CE (uS/cm/g)



Comparación de Modelos Alternos

Modelo	Correlación	R-Cuadrada
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	0.9669	93.50%
Raíz Cuadrada Doble	0.9455	89.40%
Raíz Cuadrada de Y	0.9331	87.06%
Lineal	0.9293	86.35%
Exponencial	0.9230	85.19%
Raíz Cuadrada de X	0.9159	83.89%
Cuadrado de Y	0.9013	81.23%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	0.8553	73.15%
Inversa de Y	-0.8511	72.44%
Cuadrado de X	0.8353	69.77%
Cuadrado Doble	0.8321	69.24%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	0.8218	67.53%
Log-Y Cuadrado-X	0.7925	62.81%
Inversa-Y Cuadrado-X	-0.6874	47.25%
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	<sin ajuste>	
Logaritmo de X	<sin ajuste>	
Raíz Cuadrada-Y Log-X	<sin ajuste>	
Multiplicativa	<sin ajuste>	
Inversa-Y Log-X	<sin ajuste>	
Cuadrado-Y Log-X	<sin ajuste>	
Inversa de X	<sin ajuste>	
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	<sin ajuste>	
Curva S	<sin ajuste>	
Doble Inverso	<sin ajuste>	
Cuadrado-Y Inversa de X	<sin ajuste>	
Logístico	<sin ajuste>	
Log probit	<sin ajuste>	

ANEXO 22: CORRELACIÓN DE ÍNDICE DE FERMENTACIÓN Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Regresión Simple - Índice de fermentación vs. CE (uS/cm/g)

Variable dependiente: Índice de fermentación

Variable independiente: CE (uS/cm/g)

Raíz Cuadrada-Y Inversa de X: $Y = (a + b/X)^2$

Número de observaciones: 21

Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	9.6606	0.300676	32.1296	0.0000
Pendiente	-39661.4	2572.11	-15.4198	0.0000

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	163.133	1	163.133	237.77	0.0000
Residuo	13.0358	19	0.686094		
Total (Corr.)	176.169	20			

Coefficiente de Correlación = -0.962291

R-cuadrada = 92.6004 por ciento

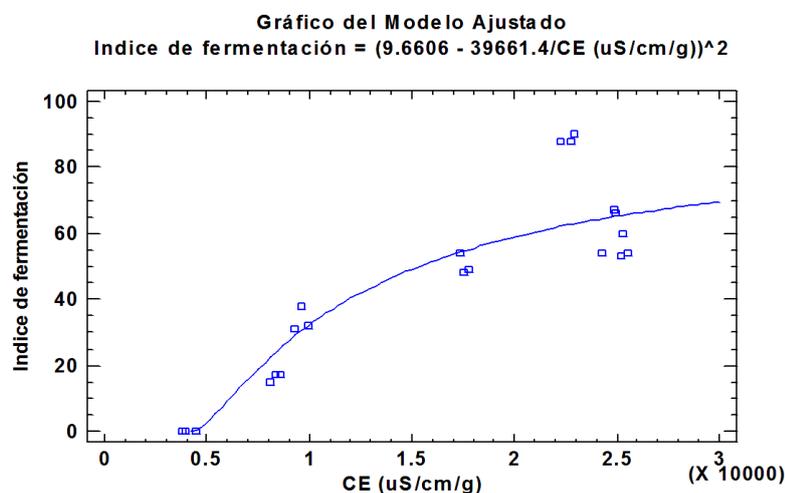
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 92.2109 por ciento

Error estándar del est. = 0.828308

Error absoluto medio = 0.645585

Estadístico Durbin-Watson = 0.620034 (P=0.0000)

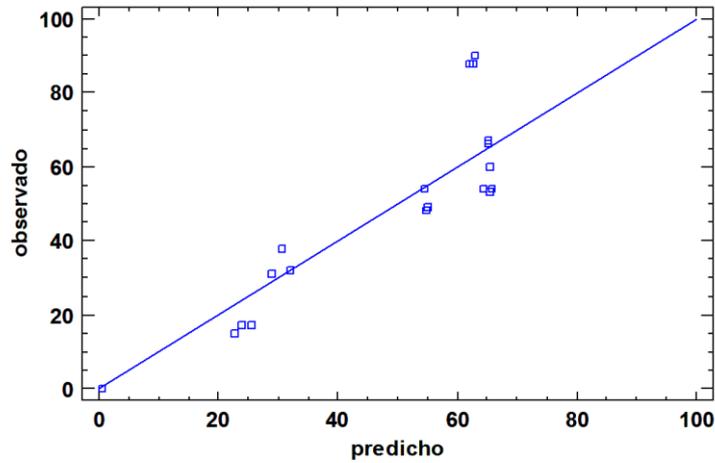
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.57887



Análisis de Varianza con Carencia de Ajuste

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	163.133	1	163.133	237.77	0.0000
Residuo	13.0358	19	0.686094		
Carencia de Ajuste	13.0358	19	0.686094		
Error Puro	0	0			
Total (Corr.)	176.169	20			

Gráfico de Índice de fermentación



Comparación de Modelos Alternos

Modelo	Correlación	R-Cuadrada
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	-0.9623	92.60%
Raíz Cuadrada-Y Log-X	0.9464	89.57%
Raíz Cuadrada Doble	0.9140	83.53%
Logaritmo de X	0.9054	81.97%
Raíz Cuadrada de X	0.9018	81.32%
Lineal	0.8853	78.37%
Raíz Cuadrada de Y	0.8745	76.48%
Inversa de X	-0.8585	73.70%
Cuadrado de X	0.8363	69.94%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	0.7988	63.81%
Cuadrado de Y	0.7704	59.35%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	0.7696	59.23%
Cuadrado-Y Log-X	0.7536	56.79%
Cuadrado Doble	0.7451	55.52%
Cuadrado-Y Inversa de X	-0.6723	45.19%
Exponencial	<sin ajuste>	
Inversa de Y	<sin ajuste>	
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	<sin ajuste>	
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	<sin ajuste>	
Multiplicativa	<sin ajuste>	
Inversa-Y Log-X	<sin ajuste>	
Curva S	<sin ajuste>	
Doble Inverso	<sin ajuste>	
Log-Y Cuadrado-X	<sin ajuste>	
Inversa-Y Cuadrado-X	<sin ajuste>	
Logístico	<sin ajuste>	
Log probit	<sin ajuste>	

Regresión Simple - IF (%) vs. CE (uS/cm g)

Variable dependiente: IF (%)

Variable independiente: CE (uS/cm g)

Raíz Cuadrada Doble: $Y = (a + b \cdot \sqrt{X})^2$

Número de observaciones: 21

Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	-3.29222	0.980014	-3.35936	0.0033
Pendiente	2.40232	0.244752	9.8153	0.0000

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	147.148	1	147.148	96.34	0.0000
Residuo	29.0203	19	1.52739		
Total (Corr.)	176.169	20			

Coefficiente de Correlación = 0.913931

R-cuadrada = 83.527 por ciento

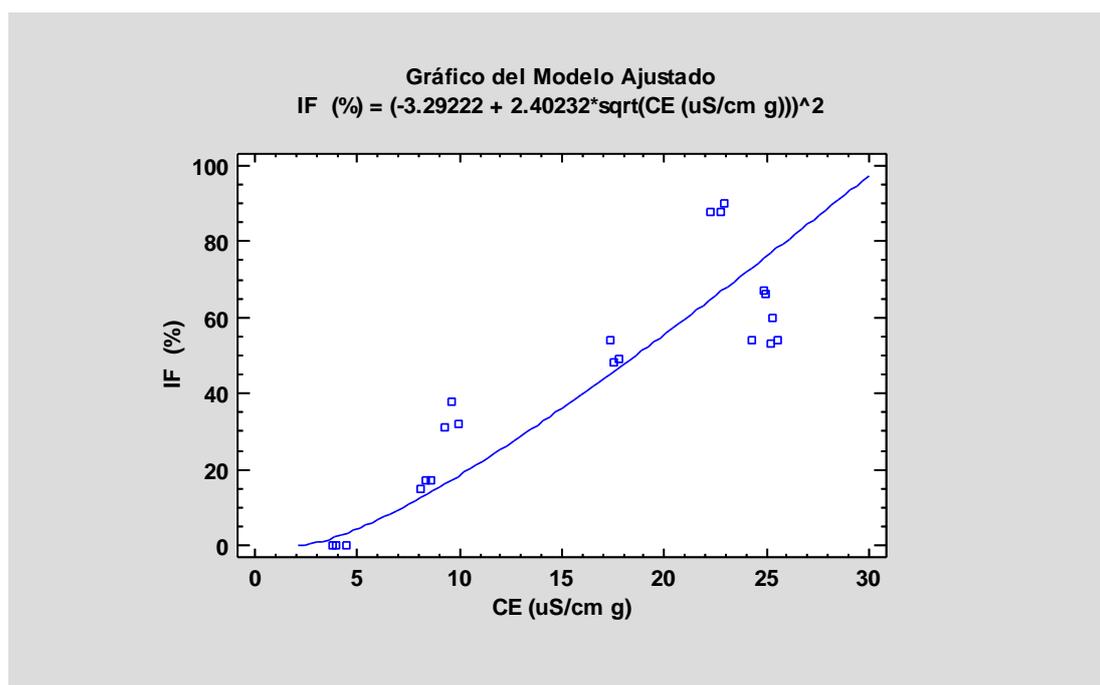
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 82.66 por ciento

Error estándar del est. = 1.23587

Error absoluto medio = 1.04191

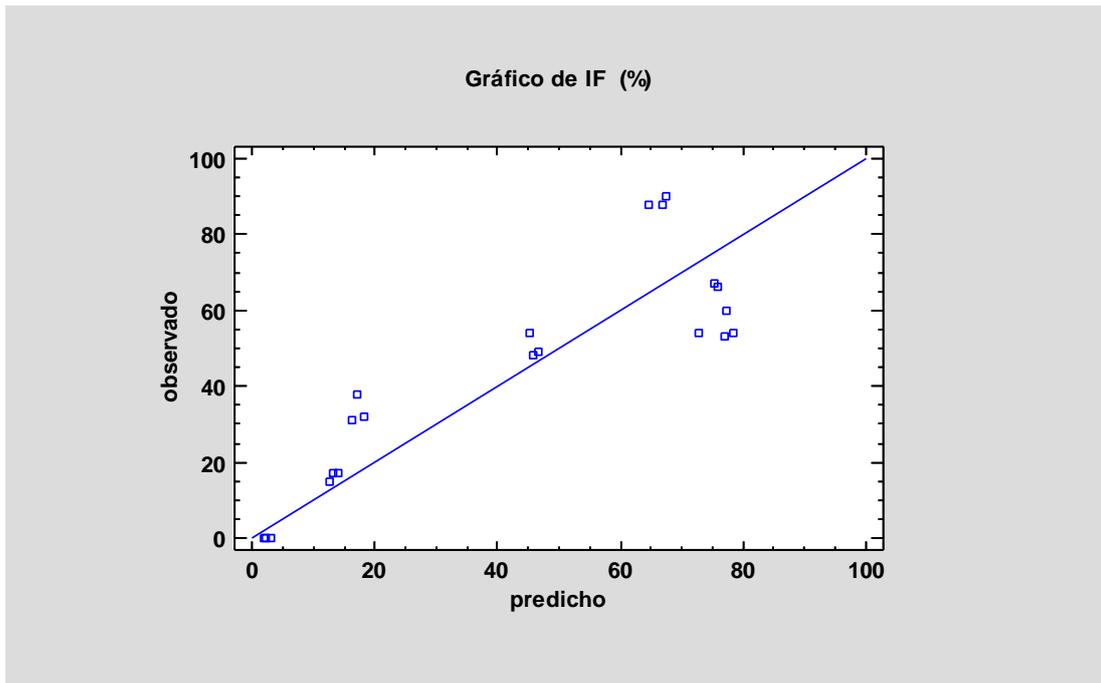
Estadístico Durbin-Watson = 0.446366 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.695627



Análisis de Varianza con Carencia de Ajuste

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	147.148	1	147.148	96.34	0.0000
Residuo	29.0203	19	1.52739		
Carencia de Ajuste	29.0203	19	1.52739		
Error Puro	0	0			
Total (Corr.)	176.169	20			



Comparación de Modelos Alternos

<i>Modelo</i>	<i>Correlación</i>	<i>R-Cuadrada</i>
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	-0.9624	92.61%
Raíz Cuadrada-Y Log-X	0.9464	89.57%
Raíz Cuadrada Doble	0.9139	83.53%
Logaritmo de X	0.9054	81.97%
Raíz Cuadrada de X	0.9018	81.33%
Lineal	0.8853	78.37%
Raíz Cuadrada de Y	0.8745	76.48%
Inversa de X	-0.8586	73.72%
Cuadrado de X	0.8364	69.95%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	0.7988	63.81%
Cuadrado de Y	0.7704	59.36%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	0.7696	59.23%
Cuadrado-Y Log-X	0.7536	56.80%
Cuadrado Doble	0.7452	55.53%
Cuadrado-Y Inversa de X	-0.6724	45.21%
Exponencial	<sin ajuste>	
Inversa de Y	<sin ajuste>	
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	<sin ajuste>	
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	<sin ajuste>	
Multiplicativa	<sin ajuste>	
Inversa-Y Log-X	<sin ajuste>	
Curva S	<sin ajuste>	
Doble Inverso	<sin ajuste>	
Log-Y Cuadrado-X	<sin ajuste>	
Inversa-Y Cuadrado-X	<sin ajuste>	
Logístico	<sin ajuste>	
Log probit	<sin ajuste>	