



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS
INDUSTRIALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**«OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE FERMENTADO,
SECADO Y TOSTADO DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.)
EN LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO»**

Yoel Phocco Cuchuyrumi

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Asesor: D. Sc. Elizabeth Huanatico Suarez

Co-Asesor: M. Sc. Adalibt Jhony Arisaca Parilio

Juliaca, 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS
INDUSTRIALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**«OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE FERMENTADO,
SECADO Y TOSTADO DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.)
EN LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO»**

Yoel Phocco Cuchuyrumi

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Asesor: D. Sc. Elizabeth Huanatico Suarez
Co-Asesor: M. Sc. Adalht Jhony Arisaca Parilio

Juliaca, 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS
INDUSTRIALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



«OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE FERMENTADO,
SECADO Y TOSTADO DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.)
EN LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO»

Yoel Phocco Cuchuyrumi

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Asesor: D. Sc. Elizabeth Huanatico Suarez

Co-Asesor: M. Sc. Adaliht Jhony Arisaca Parillo

Juliaca, 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Phocco, Y. (2023), *Optimización de los parámetros de fermentado, secado y tostado del cacao (Theobroma cacao L.) en la concentración de cadmio*. (Tesis de ingeniería). Universidad Nacional de Juliaca, Juliaca.

AUTOR: Yoel Phocco Cuchuyrumi

TÍTULO: Optimización de los parámetros de fermentado, secado y tostado del cacao (*Theobroma cacao* L.) en la concentración de cadmio.

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2023.

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (150 pp)

CODIGO: 03-000019-03/P51

NOTA: Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias - Universidad Nacional de Juliaca.

NOTA: Incluye bibliografía.

ASESOR: D. Sc. Elizabeth Huanatico Suarez
M. Sc. Adaliht Jhony Arisaca Parillo

PALABRAS CLAVES: Cadmio, Cacao, Fermentación, Secado y Tostado

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS
INDUSTRIALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**«OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE FERMENTADO,
SECADO Y TOSTADO DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.)
EN LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO»**

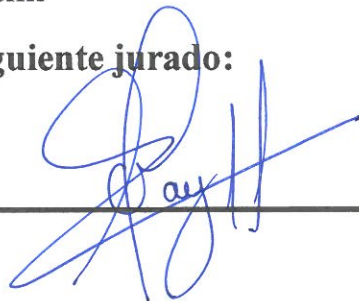
TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentado por:

Yoel Phocco Cuchuyrumi

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

D. Sc. Olivia Magaly Luque Vilca
PRESIDENTE DEL JURADO

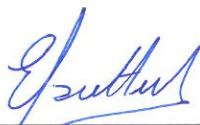



M. Sc. José Manuel Prieto
JURADO (Secretario)


2º MIEMBRO

M. Sc. Lenin Quille Quille
JURADO (Vocal)


3º MIEMBRO


D. Sc. Elizabeth Huanatico Suarez
ASESOR DE TESIS


M. Sc. Adaliht Jhony Arisaca Parillo
CO – ASESOR DE TESIS

DEDICATORIA

A mis padres, Eleuterio y Reyna, quienes desde mi infancia me inculcaron valores, que hoy hacen que sea una mejor persona y el apoyo incondicional que tuvieron para mi formación profesional.

A mi hermano Royer, con el que tengo momentos gratos y de felicidad, quien a su vez me motivaba para lograr cada uno de mis objetivos.

A mi novia Yusthy Lis Brenda, siendo la mayor motivación orientado al éxito, fue el elemento perfecto el poder haber culminado esta investigación con éxito, ser grato con esa persona que se tomó interés por mí en cada momento y que siempre deseo lo mejor para mí.

A mi sobrina Andrea, la sonrisa de la familia.

AGRADECIMIENTO

A mi alma mater, la Universidad Nacional de Juliaca, y a la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias; quienes permitieron empezar, desarrollar y culminar mis objetivos profesionales

A la Universidad Nacional de Juliaca, Vicepresidencia de Investigación y a los organizadores del IV Concurso de Proyectos de Tesis para la obtención del Título Profesional 2021, con Resolución de Consejo de Comisión Organizadora N° 410-2021-CCO-UNAJ.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quienes accedieron y contribuyeron a la ejecución de la investigación, con los análisis de la concentración de cadmio en el cacao en sus laboratorios.

A mis asesores, Dr. Sc. Elizabeth Huanatico Suarez y al M. Sc. Adaliht Jhony Arisaca Parillo quienes, durante la etapa como estudiante de la escuela profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, me inculcaron en realizar investigación científica y al apoyo en culminar esta investigación.

A mis jurados, Dra. Sc. Olivia Magaly Luque Vilca, M. Sc. José Manuel Prieto y M. Sc. Lenin Quille Quille, quienes contribuyeron en el desarrollo de esta investigación.

A la bióloga Eliana Céspedes Rodríguez y al Ingeniero Luis, quienes aportaron en la ejecución del proyecto de tesis, en la facilitación de los ambientes de los laboratorios generales de la Universidad Nacional de Juliaca.

Al Ing. Miguel Sánchez Rodríguez, quien puso toda su disposición para el desarrollo de esta investigación.

A la Cooperativa Agraria Industrial San Gabán Ltda., quienes facilitaron sus ambientes de procesos del cacao para la ejecución de esta investigación. En especial para el Gerente General Miguel Bustinza Montesino quien coopero en la adquisición de la materia prima; y para David Cutipa Ccuno quien apoyo en cada proceso de los tratamientos ejecutados de esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN	xviii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. OBJETIVOS.....	2
1.1.1. Objetivo general	2
1.1.2. Objetivos específicos	2
1.2. JUSTIFICACIÓN	2

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES	4
2.2. El CACAO	9
2.2.1. Clasificación taxonómica	9
2.2.2. Composición química del cacao	9
2.2.3. Variedades de cacao	11
a. Criollo o nativo	11
b. Forastero.....	11
c. Cacao trinitario	11
2.2.4. Fermentación del cacao	12
a. Tipos de fermentación	13

b. Métodos de fermentación.....	14
c. Tiempo de fermentación.....	15
d. Temperatura en la fermentación	15
2.2.5. Secado.....	16
2.2.6. Tostado	17
2.3. CADMIO	18
2.3.1. Generalidades.....	18
2.3.2. Efectos a la salud por la exposición al cadmio	18
2.3.3. Toxicinética.....	19
2.3.4. Toxicodinámica.....	19
2.3.5. Comportamiento del cadmio en el cacao	19
2.3.6. Normativa de límites de cadmio en el cacao.....	20

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO	21
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	21
3.3. MATERIALES Y EQUIPOS.....	22
3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	23
3.4.1. Descripción del proceso	24
3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	25
3.5.1. Factores por objetivos.....	27
3.6. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	28
3.6.1. Métodos de análisis.....	28
a. Lineamiento de muestreo para la determinación de cadmio en suelos y agua	28
b. Determinación de metal pesado cadmio por el método de análisis Espectroscopía de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES)	29
c. Determinación de humedad en granos de cacao fresco, seco y tostado	30
d. Determinación de cenizas en granos de cacao fresco, seco y tostado.....	30
e. Determinación de acidez en granos de cacao fresco, seco y tostado.....	30
f. Determinación del pH por el método potenciométrico en granos de cacao fresco, seco y tostado.....	31
g. Determinación del grado de fermentación (prueba de corte) en granos de cacao fresco y seco.....	31

h. Determinación del color en granos tostados de cacao	31
3.6.2. Diseño estadístico	32
3.7. HIPÓTESIS	34
3.7.1. Hipótesis general.....	34
3.7.2. Hipótesis específicas.....	34

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN EL SUELO Y AGUA	35
4.2. CONCENTRACIÓN DE CADMIO DE LAS MUESTRAS PATRONES DE CACAO CCN- 51 EN SUS ESTADOS DE FRESCO, SECOS Y TOSTADOS.	36
4.3. CONCENTRACIÓN DE CADMIO Y COMPOSICIÓN FÍSICA DEL CACAO CCN-51 FERMENTADO Y SECADO.....	39
4.3.1. Para el cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado	39
a. Concentración de cadmio en el cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado	39
b. Composición física del cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado	44
4.3.2. Para la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado	51
a. Concentración de cadmio en la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado	51
b. Composición física de la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado	54
4.3.3. Curva de secado del cacao CCN-51 secado	57
4.4. CONCENTRACIÓN DE CADMIO Y COMPOSICIÓN FÍSICA DEL CACAO CCN-51 TOSTADO	60
4.4.1. Para el cotiledón del cacao CCN-51 tostado.....	60
a. Concentración de cadmio en el cotiledón del cacao CCN-51 tostado	60
b. Composición física del cotiledón del cacao CCN-51 tostado	63
4.4.2. Para la cascarilla del cacao CCN-51 tostado.....	66
a. Concentración de cadmio en la cascarilla del cacao CCN-51 tostado	66
b. Composición física de la cascarilla del cacao CCN-51 tostado.....	69
4.4.3. Análisis del color en el espacio CIELab del cacao CCN-51 tostado.....	72
a. Análisis de las coordenadas L*, a* y b*	73
b. Análisis de la tonalidad H* y cromaticidad (pureza) C*	75
c. Análisis de delta E*ab entre tratamientos	79

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.2. CONCLUSIONES	81
5.2. RECOMENDACIONES	82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
ANEXOS	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Composición química de almendras de cacao fermentadas y secas</i>	9
Tabla 2: <i>Composición química y valor nutricional (contenidos en 100 g de semilla de cacao)</i>	10
Tabla 3: <i>Límites máximos de contenido de cadmio en productos de cacao y derivados</i>	20
Tabla 4: <i>Coordenadas UTM del lugar de investigación</i>	21
Tabla 5: <i>Parámetros de los procesos</i>	26
Tabla 6: <i>Leyenda de símbolos</i>	27
Tabla 7: <i>Parámetros de calibración: λ; R²; LOD y el rango de linealidad</i>	29
Tabla 8: <i>Matriz de diseño para un diseño compuesto (P=3) de fermentado y secado</i> ...	33
Tabla 9: <i>Matriz de diseño para un diseño compuesto (P=3) de tostado</i>	33
Tabla 10: <i>Matriz de diseño para un diseño compuesto (P=2)</i>	34
Tabla 11: <i>Concentración de cadmio en el suelo y agua</i>	35
Tabla 12: <i>Composición proximal del cacao CCN-51 extraído de una mazorca</i>	36
Tabla 13: <i>Composición proximal del cotiledón del cacao CCN-51 Fresco</i>	36
Tabla 14: <i>Composición proximal de la cascarilla del cacao CCN-51 Fresco</i>	36
Tabla 15: <i>Composición proximal del cotiledón del cacao CCN-51 seco de la Cooperativa Agroindustrial San Gabán Ltda</i>	38
Tabla 16: <i>Composición proximal de la cascarilla del cacao CCN-51 seco de la Cooperativa Agroindustrial San Gabán Ltda</i>	38
Tabla 17: <i>Composición proximal del cotiledón del cacao CCN-51 tostado de la Cooperativa Agroindustrial San Gabán Ltda</i>	39
Tabla 18: <i>Composición proximal de la cascarilla del cacao CCN-51 tostado de la Cooperativa Agroindustrial San Gabán Ltda</i>	39
Tabla 19: <i>Media y desviación estándar de análisis de la concentración de Cd en el cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado</i>	40
Tabla 20: <i>Resultados del índice de fermentación de cacao CCN-51 fermentado y secado</i>	44
Tabla 21: <i>Humedad del cacao CCN-51 seco</i>	46
Tabla 22: <i>Composición proximal del cotiledón del cacao CCN-51 seco</i>	48
Tabla 23: <i>Media y desviación estándar de análisis de la concentración del Cd en la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado</i>	51
Tabla 24: <i>Composición proximal de la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado</i>	55
Tabla 25: <i>Media y desviación estándar de análisis de la concentración de Cd en el cotiledón del cacao CCN-51 tostado</i>	60
Tabla 26: <i>Composición proximal del cotiledón del cacao CCN-51 tostado</i>	63
Tabla 27: <i>Media y desviación estándar de análisis de la concentración de Cd de la cascarilla del cacao CCN-51 tostado</i>	66
Tabla 28: <i>Composición proximal de la cascarilla del cacao CCN-51 Tostado</i>	70
Tabla 29: <i>Coordenadas de los colores del cacao CCN-51 en el espacio CIELab</i>	73
Tabla 30: <i>Tonalidad H* y pureza C* del cacao CCN-51 tostado</i>	75
Tabla 31: <i>Comparación de colores entre diferentes tratamientos, ΔE^*</i>	79

Tabla 32: <i>Análisis de ANOVA acidez del cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado</i>	98
Tabla 33: <i>Prueba LSD acidez del cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado...</i>	98
Tabla 34: <i>Análisis de ANOVA cenizas del cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado</i>	98
Tabla 35: <i>Prueba LSD cenizas del cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado</i>	99
Tabla 36: <i>Análisis de ANOVA pH del cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado</i>	99
Tabla 37: <i>Prueba LSD pH del cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado</i>	99
Tabla 38: <i>Análisis de ANOVA acidez de la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado</i>	100
Tabla 39: <i>Prueba LSD acidez de la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado</i>	100
Tabla 40: <i>Análisis de ANOVA ceniza de la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado</i>	100
Tabla 41: <i>Prueba LSD ceniza del cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado</i>	101
Tabla 42: <i>Análisis de ANOVA pH de la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado</i>	101
Tabla 43: <i>Prueba LSD pH del cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado</i>	101
Tabla 44: <i>Análisis de ANOVA humedad del cacao CCN-51 seco</i>	102
Tabla 45: <i>Prueba LSD humedad del cacao CCN-51 seco</i>	102
Tabla 46: <i>Análisis de ANOVA índice de fermentación del cacao CCN-51 seco</i>	102
Tabla 47: <i>Prueba LSD índice de fermentación del cacao CCN-51 seco</i>	102
Tabla 48: <i>Análisis de ANOVA acidez del cotiledón del cacao CCN-51 tostado</i>	103
Tabla 49: <i>Prueba LSD acidez del cotiledón del cacao CCN-51 tostado</i>	103
Tabla 50: <i>Análisis de ANOVA cenizas del cotiledón del cacao CCN-51 tostado</i>	104
Tabla 51: <i>Prueba LSD cenizas del cotiledón del cacao CCN-51 tostado</i>	104
Tabla 52: <i>Análisis de ANOVA pH del cotiledón del cacao CCN-51 tostado</i>	104
Tabla 53: <i>Prueba LSD pH del cotiledón del cacao CCN-51 tostado</i>	104
Tabla 54: <i>Análisis de ANOVA acidez de la cascarilla del cacao CCN-51 tostado</i>	105
Tabla 55: <i>Prueba LSD acidez de la cascarilla del cacao CCN-51 tostado</i>	105
Tabla 56: <i>Análisis de ANOVA ceniza de la cascarilla del cacao CCN-51 tostado</i>	105
Tabla 57: <i>Prueba LSD ceniza del cotiledón del cacao CCN-51 tostado</i>	106
Tabla 58: <i>Análisis de ANOVA pH de la cascarilla del cacao CCN-51 tostado</i>	106
Tabla 59: <i>Prueba LSD pH de la cascarilla del cacao CCN-51 tostado</i>	106
Tabla 60: <i>Análisis de ANOVA de las coordenadas de color L* del cacao CCN-51 tostado</i>	107
Tabla 61: <i>Prueba LSD de las coordenadas de color L* del cacao CCN-51 tostado</i> ...	107
Tabla 62: <i>Análisis de ANOVA de las coordenadas de color a* del cacao CCN-51 tostado</i>	107
Tabla 63: <i>Prueba LSD de las coordenadas de color a* del cacao CCN-51 tostado</i>	107
Tabla 64: <i>Análisis de ANOVA de las coordenadas de color b* del cacao CCN-51 tostado</i>	108
Tabla 65: <i>Prueba LSD de las coordenadas de color b* del cacao CCN-51 tostado</i>	108
Tabla 66: <i>Análisis de ANOVA de la tonalidad H* del cacao CCN-51 tostado</i>	109

Tabla 67: Prueba LSD de la tonalidad H^* del cacao CCN-51 tostado.....	109
Tabla 68: Análisis de ANOVA de la cromaticidad C^* del cacao CCN-51 tostado.....	109
Tabla 69: Prueba LSD de la cromaticidad C^* del cacao CCN-51 tostado.....	109
Tabla 70: Análisis de ANOVA del Contenido de cadmio (Cd) en el cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado.....	110
Tabla 71: Prueba LSD del Contenido de cadmio (Cd) en el cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado.....	110
Tabla 72: Análisis de ANOVA del contenido de cadmio (Cd) en la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado.....	111
Tabla 73: Prueba LSD del contenido de cadmio (Cd) en la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado.....	111
Tabla 74: Análisis de ANOVA del contenido de cadmio (Cd) en el cotiledón del cacao CCN-51 tostado.....	111
Tabla 75: Prueba LSD del contenido de cadmio (Cd) en el cotiledón del cacao CCN-51 tostado.....	111
Tabla 76: Análisis de ANOVA del contenido de cadmio (Cd) en la cascarilla del cacao CCN-51 tostado.....	112
Tabla 77: Prueba LSD del contenido de cadmio (Cd) en la cascarilla del cacao CCN-51 tostado.....	112
Tabla 78: Análisis de la varianza de la superficie de respuesta de [Cd vs fermentación y secado – cacao CCN-51 seco cotiledón.....	113
Tabla 79: Análisis de la varianza de la superficie de respuesta de [Cd vs fermentación y secado – cacao CCN-51 seco cascarilla.....	113
Tabla 80: Análisis de la varianza de la superficie de respuesta de [Cd vs tiempo y temperatura (tostado) – cacao CCN-51 tostado cotiledón.....	114
Tabla 81: Análisis de la varianza de la superficie de respuesta de [Cd vs tiempo y temperatura (tostado) – cacao CCN-51 tostado cascarilla.....	115
Tabla 82: Matriz de consistencia.....	116

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Partes del grano de cacao seco.....	10
<i>Figura 2.</i> Diagrama de flujo para la obtención de cacao tostado.....	23
<i>Figura 3.</i> a. Gráficas de la superficie de respuesta. b. Contorno de la superficie de respuesta de análisis de la concentración de Cd en el cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado.....	42
<i>Figura 4.</i> Grafica de efectos principales de los análisis de la concentración del Cd en el cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado	43
<i>Figura 5.</i> Índice de fermentación del cacao CCN-51 seco.....	45
<i>Figura 6.</i> Contenido de humedad del cacao CCN-51 seco	47
<i>Figura 7.</i> Contenido de % de acidez, % de cenizas y pH del cotiledón del cacao CCN-51 seco	50
<i>Figura 8.</i> a. Gráficas de la superficie de respuesta. b. Contorno de la superficie de respuesta de análisis de la concentración de Cd en la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado.....	53
<i>Figura 9.</i> Grafica de efectos principales de los análisis de la concentración del Cd en la cascarilla del cacao CCN-51 seco	54
<i>Figura 10.</i> Contenido de % de acidez, % de cenizas y pH de la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado	57
<i>Figura 11.</i> Curva de secado de cacao CCN-51 a temperaturas de secado a 36 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 64 °C.....	58
<i>Figura 12.</i> a. Gráficas de la superficie de respuesta. b. Contorno de la superficie de respuesta de análisis de contenido de Cd en el cotiledón del cacao CCN-51 tostado	62
<i>Figura 13.</i> Grafica de efectos principales de los análisis de la concentración del Cd en el cotiledón del cacao CCN-51 tostado.....	63
<i>Figura 14.</i> Contenido de % de acidez, % de cenizas y pH del cotiledón del cacao CCN-51 tostado.....	66
<i>Figura 15.</i> a. Gráficas de la superficie de respuesta. b. Contorno de la superficie de respuesta de análisis de la concentración de Cd en la cascarilla del cacao CCN-51 tostado	68
<i>Figura 16.</i> Grafica de efectos principales de los análisis de la concentración del Cd en la cascarilla del cacao CCN-51 tostado	69
<i>Figura 17.</i> Contenido de % de acidez, % de cenizas y pH de la cascarilla del cacao CCN-51 tostado.....	72
<i>Figura 18.</i> Ubicación de L*; a* y b* de los tratamientos T1, T2, T3 y T4 de los colores en el espacio CIELab	77
<i>Figura 19.</i> Ubicación de L*; a* y b* de los tratamientos T5, T6, T7, T8, T9 y T10 de los colores en el espacio CIELab	78
<i>Figura 20.</i> Comparación de tratamientos de los colores en el espacio CIELab	80
<i>Figura 21.</i> a. Identificación de la muestra b. Extracción del mucilago de cacao.....	117
<i>Figura 22.</i> a. Acondicionamiento de la muestra b. Fermentación del cacao	117
<i>Figura 23.</i> a. Toma de temperatura del cacao fermentando b. Remoción de las muestras de cacao fermentando.....	117
<i>Figura 24.</i> a. Cacao fermentado b. Acondicionamiento para el secado	118
<i>Figura 25.</i> a. Secado en estufa b. Control de tiempo y temperatura en el secado	118

<i>Figura 26.</i> a. Cacao seco b. Tostado del cacao	118
<i>Figura 27.</i> a. Control de tiempo y temperatura b. Cacao tostado	119
<i>Figura 28.</i> a. Muestras secas de cacao b. Muestras tostadas de cacao c. Muestras de agua y suelo	119
<i>Figura 29.</i> Toma de muestra de suelo y agua	120
<i>Figura 30.</i> Identificación de mazorcas de cacao y cacao fresco	120
<i>Figura 31.</i> Preparación de muestras para los análisis de acidez, ceniza y pH (trituration).....	120
<i>Figura 32.</i> Análisis de cenizas	121
<i>Figura 33.</i> Filtración de muestras para los análisis de acidez y pH.....	121
<i>Figura 34.</i> Análisis de Acidez.....	121
<i>Figura 35.</i> Análisis de pH	122
<i>Figura 36.</i> Preparación de muestras para tomas del color.....	122
<i>Figura 37.</i> Equipo ICP OES.....	122
<i>Figura 38.</i> a. Índice de fermentación b. Equipos para determinación de humedad.....	123

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 01. Análisis de varianza (ANOVA) y prueba LSD de los datos obtenidos de las distintas pruebas.	98
ANEXO 03. Fotografías del proceso de fermentado, secado y tostado del cacao CCN-51	117
ANEXO 04. Preparación de las muestras de cacao, suelo y agua	119
ANEXO 05. Fotografía de los análisis proximales	120
ANEXO 06. Ficha técnica de la caja fermentadora	123
ANEXO 07. Análisis de laboratorio	123

RESUMEN

La finalidad de la investigación fue optimizar los parámetros de fermentado, secado y tostado del cacao (*Theobroma cacao* L.) en la concentración de cadmio, por el método de análisis Espectroscopía de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES). Las muestras de cacao fueron adquiridas de la variedad CCN-51 del distrito de San Gabán. La fermentación se realizó en un fermentador de madera, durante 5-8 días, mismos que fueron secados en una estufa a temperaturas de 40-60 °C y el tostado a temperaturas de 120-130 °C con tiempos de 30-40 minutos, para ambos análisis fue dividido el cacao en sus partes (cotiledón y cascarilla). El análisis de los datos fue mediante el diseño compuesto central rotable, con 3 puntos centrales y Análisis de Varianza, haciendo el uso del software estadístico R. La concentración mínima de cadmio que se determinó del cacao fermentado y secado fue; para el cotiledón el tratamiento de 5 días de fermentado y secado a 40 °C con 0.264 mg/Kg y para la cascarilla fue 0.5710 mg/Kg, la que corresponde a un tiempo de fermentado de 5 días y secado a 50 °C. Para el cacao tostado se determinó concentraciones de 0.0381 mg/Kg correspondientes al tratamiento de tostado de 30 minutos a una temperatura y 0.5063 mg/Kg, correspondiente al tratamiento de tostado de 35 minutos a una temperatura de 132 °C. para el cotiledón y la cascarilla respectivamente. En conclusión, el proceso de fermentado y secado no influye en la concentración de cadmio (cotiledón y cascarilla el p-valor es mayor a 5 por ciento); y el proceso de tostado influye en la concentración de cadmio en el cotiledón del cacao con un p-valor menor a 5 por ciento, sin embargo, dicho proceso no influye en la concentración de cadmio en la cascarilla del cacao con un p-valor mayor a 5 por ciento.

Palabras claves: Cadmio, Cacao, Fermentación, Secado y Tostado

ABSTRACT

The purpose of the research was to optimize the fermentation, drying and roasting parameters of cocoa (*Theobroma cacao* L.) in the cadmium concentration, by the Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy (ICP-OES) analysis method. The cocoa samples were acquired of the CCN-51 variety from the San Gabán district. The fermentation was carried out in a wooden fermenter, for 5-8 days, which were dried in an oven at temperatures of 40-60 °C and toasted at temperatures of 120-130 °C with times of 30-40 minutes, for both analyzes it was divided the cocoa into its parts (cotyledon and husk). The analysis of the data was through the rotatable central compound design, with 3 central points and Analysis of Variance, using the statistical software R. The minimum concentration of cadmium that was determined from the fermented and dried cocoa was; for the cotyledon the treatment of 5 days of fermentation and drying at 40 °C with 0.264 mg/Kg and for the husk it was 0.5710 mg/Kg, which corresponds to a fermentation time of 5 days and drying at 50 °C. For roasted cocoa, concentrations of 0.0381 mg/Kg corresponding to the roasting treatment for 30 minutes at a temperature and 0.5063 mg/Kg, corresponding to the roasting treatment for 35 minutes at a temperature of 132 °C, were determined. for the cotyledon and shell respectively. In conclusion, the fermentation and drying process does not influence the cadmium concentration (cotyledon and husk the p-value is greater than 5 percent); and the roasting process influences the concentration of cadmium in the cocoa cotyledon with a p-value less than 5 percent, however, said process does not influence the concentration of cadmium in the cocoa husk with a higher p-value to 5 percent.

Keywords: Cadmium, Cocoa, Fermentation, Drying and Roasting

INTRODUCCIÓN

La calidad en un alimento está definida por las características organolépticas y su composición, esto incluye que se encuentre libre de contaminantes, dentro de ellos los metales pesados como arsénico, cadmio y plomo (Velasque, 2017). La presencia de cadmio en el cacao (*Theobroma cacao* L.) y en sus derivados se ha asociado a efectos negativos a la salud, debido a esto la Unión Europea dispuso límites máximos de cadmio en el cacao.

El reglamento UE N°2021/1323 se presentó el 10 de agosto del 2021 por la Unión Europea, en el cual instituyen un límite máximo de cadmio en diversos productos alimenticios, dentro de los productos que contempla esta normativa están los productos derivados del cacao. El cadmio es un metal que se halla de manera natural en los suelos, las plantas tienen la capacidad de absorberlos y, así mismo, su transmisión directa a sus productos. Para las personas es tóxico, acumulativo en el organismo y de alta permanencia. Por ello, que viene la importancia de considerar, estudiar y mitigar la contaminación del cadmio en cacao ya que cada vez más países los que vienen poniendo restricciones y reglamentos al respecto, porque el metal pesado cadmio viene causando efectos negativos en sus ciudadanos, lo que influye en la exportación de nuestros productos (AGQlab, 2019). Frente a esto los agricultores de San Gabán dedicada al cultivo de cacao se ven también afectados económicamente, por lo que se propone buscar soluciones a través de esta investigación para mitigar estas restricciones.

Esta investigación consistió en la toma de muestra de cacao CCN-51, en el sector primero de mayo, situado en el valle del Distrito de San Gabán, las mismas que fueron cosechadas en un estado de madurez óptima. El proceso de fermentado fue realizado en la sala de beneficio de la Cooperativa Agraria Industrial San Gabán Ltda. (CAI San Gabán); donde se dispuso la materia prima a fermentación y remoción durante periodos establecido con los parámetros de estudio. Una vez terminado los procesos de fermentación se procedió al secado en estufas de la Universidad Nacional de Juliaca, para obtener muestras de cacao secos; las mismas que fueron acondicionadas para el análisis de la concentración de cadmio en los laboratorios de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Para el caso de las muestras tostadas se hizo los mismos mecanismos de obtención de cacao seco, con la adición de que estos fueron sometidos al tostado en la sala de tostado de la CAI San Gabán

Ltda., posterior acondicionamiento de las mismas para el análisis de la concentración de cadmio en los laboratorios de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

En esta investigación se da conocer los niveles de cadmio en los granos de cacao del distrito de San Gabán, resultados que nos permiten conocer si la concentración de cadmio del cacao San Gabino se encuentran dentro de los límites establecidos por la Unión Europea, de tal manera reconocer y manejar (optimizar) los parámetros, en cada uno de los procesos como fermentado (tiempo), secado (temperatura), y tostado (tiempo y temperatura) para reducir las concentraciones de cadmio.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cacao es un cultivo de mucha importancia en el Perú, ya que se beneficia económicamente por las exportaciones de este cultivo, ahora ya existen más 144 232 hectáreas cultivadas de cacao, gran parte de ellos fueron instalados gracias a los programas de desarrollo alternativo que promueven la siembra de cacao en la selva peruana (Del Aguila, 2017). De la misma manera los productores de San Gabán también se benefician con esta actividad del cultivo de cacao, la variedad que ellos están produciendo es CCN-51 con una producción más de 80 toneladas por año (DRA-Puno, 2017) y la transformación que se realiza en esta zona, es en granos secos y en pasta de cacao de manera artesanal.

En recientes investigaciones, se encontró la presencia de cadmio en el cacao y productos derivados de este, además los suelos y el agua de las zonas de cultivo de cacao tienen cadmio de manera natural, contaminado por el uso de fosfatos (pesticidas) y el río que circula por esta zona tiene como origen en zonas mineras. Por ello la presencia de este metal hace que en el alimento no esté inocuo y afecta la calidad del cacao; generando deficiencias en el funcionamiento metabólico del cuerpo humano con altos riesgos a la salud (carcinógeno, efectos tóxicos en riñones, sistema óseo y respiratorio) (Niño, 2015). Frente a este problema el Perú no es extraño porque es un país exportador de cacao, octavo productor de envío al exterior y segundo en la agroindustria, es así que se verá afectado por la exigencia de la Unión Europea, a través del reglamento 2021/1323 al contenido máximo de cadmio en el cacao (Guardia, 2018). Todo ello limita a las exportaciones por ende la economía de los agricultores, con esto ellos buscan otras alternativas, como el cultivo de la hoja de coca (actividad ilícita).

Es así, que la investigación pretende conocer y evaluar el contenido de cadmio del cacao cultivado en el distrito de San Gabán, en sus procesos de fermentado (tiempo), secado (temperatura) y tostado (tiempo y temperatura), con el objetivo de establecer parámetros óptimos en la concentración de este metal y así de identificar y mejorar los procesos de transformación del cacao. Por lo mencionado anteriormente se plantea las siguientes interrogantes:

¿De qué manera influye el tiempo de fermentación y la temperatura de secado en la concentración de cadmio del cacao (*Theobroma cacao* L.)?

¿Cuál es el efecto del tiempo y temperatura de tostado en la concentración de cadmio del cacao (*Theobroma cacao* L.)?

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

- Optimizar los parámetros de fermentado, secado y tostado del cacao (*Theobroma cacao* L.) en la concentración de cadmio.

1.1.2. Objetivos específicos

- Evaluar la concentración del cadmio en el cacao (*Theobroma cacao* L.), en función al tiempo de fermentado y temperatura de secado.
- Evaluar el efecto del tiempo y temperatura de tostado en la concentración de cadmio en el cacao (*Theobroma cacao* L.).

1.2. JUSTIFICACIÓN

La calidad de los productos alimentarios, no solo conlleva a las buenas características organolépticas, más aún se debe considerar la composición química, la no presencia de agentes tóxicos y contaminantes. La presencia de cadmio en el cacao (*Theobroma cacao* L.) y en productos derivados del cacao se ha asociado a efectos negativos a la salud, debido a esto la Unión Europea dispuso límites máximos de cadmio en el cacao. Frente a esto los agricultores de San Gabán dedicada al cultivo de cacao se ven afectado económicamente, por lo que se propone buscar soluciones a través de esta investigación para mitigar estas restricciones.

De esta manera esta investigación tiene como finalidad; dar a conocer los niveles de cadmio en los granos de cacao del distrito de San Gabán, resultados que nos permitirá

conocer si la concentración de cadmio del cacao San Gabino está dentro de los límites establecidos por la Unión Europea; de tal manera reconocer y manejar (optimizar) los parámetros en cada uno de los procesos como fermentado (tiempo), secado (temperatura), y tostado (temperatura y secado) para reducir las concentraciones de cadmio.

Con esta investigación se propone establecer parámetros que controlen el contenido de cadmio en los granos de cacao y sus derivados; así el diseño o manejo de la tecnología en los procesos de elaboración de productos derivados de cacao.

Los conocimientos nuevos y resultados que serán adquiridos con la presente investigación se darán a conocer a la sociedad por medio de publicaciones en revistas indexadas, ponencias y como antecedente a futuras investigaciones.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

En las investigaciones indagadas se logró encontrar resultados del contenido de cadmio en el cacao en los procesos de fermentado, secado; mas no se pudo encontrar el comportamiento del cadmio en el proceso de tostado del cacao.

Lanza *et al.* (2016), reportaron el contenido de cadmio (Cd) en cacao hibrido, en los granos frescos o mucilago se encontraron contenidos de cadmio de 2.09 mg/Kg, luego del proceso de fermentado del cacao hibrido se determinó 1.74 mg/Kg en sus contenido de cadmio. En el caso del cacao porcelana o criollo, se encontraron valores de 1.90 mg/Kg en el cacao fresco o mucilago y 1.82 mg/Kg en el cacao ya fermentado. Del Águila (2017), realizo una investigación con el grano de cacao de la variedad CCN-51, es sus estados de fresco o mucilago, granos secos y licor de cacao. Con respecto al grano fresco o mucilago reportó resultados en localidades como Campos Verdes con 0.08 ± 0.02 mg/Kg, Alto Huallaga con 0.04 ± 0.01 mg/Kg y Pangoa con 0.02 ± 0.01 mg/Kg. Con los granos de cacao seco determino también en localidades como Campos Verdes 0.11 ± 0.02 mg/Kg, Alto Huallaga con 0.06 ± 0.02 mg/Kg y Pangoa con 0.05 ± 0.02 mg/Kg. Finalmente, en el licor de cacao se concluyó que los niveles de cadmio en diferentes marcas de licor de cacao: Oro, Sol de Oro y Pangoa promedios de 0.1; 0.1 y 0.04 mg/Kg respectivamente. Álvarez (2018), demostró niveles promedios de Cd en la variedad CCN-51: en fase de mucilago 0.89 mg/Kg; luego del proceso de fermentación 0.73 mg/Kg y resultados de 0.95 mg/Kg en el cacao seco.

Las concentraciones de cadmio en el cacao fresco en su investigación, Florida y Jacobo (2018), reportaron la concentración de cadmio 0.20 a 0.03 mg/Kg en almendras frescas o mucilago. De la misma manera Araujo (2016), determino la concentración de cadmio

0.54 mg/Kg para almendras de cacao fresco y; Llactas (2016), determinó en un promedio de cadmio 0.66 mg/Kg en granos frescos.

Pedraza (2017), reportó concentraciones de cadmio en granos frescos 0.84 mg/Kg en suelos residuales y 1.08 mg/Kg en suelos aluviales. López y Hoyos (2018), determinó 0.75; 0.71 y 0.54 mg/Kg de concentración de cadmio, de la misma manera, Barraza *et al.* (2021), encontraron concentraciones de cadmio con valores 1.26 mg/Kg Cd en fincas orgánicas del Ecuador; y Barraza *et al.* (2017), reportaron concentraciones de cadmio de 1.12 mg/Kg Cd en zonas con actividad petrolera del Ecuador. También Mendoza *et al.* (2021), reportaron 0.2850 mg/Kg Cd en cacao fresco extraídos de la región San Martín (Lamas) a una altitud 600 msnm, a su vez Argüello *et al.* (2019), encontraron concentraciones de cadmio en almendras fresca de cacao con un promedio de 0.90 mg/Kg en 560 ubicaciones a nivel del país de Ecuador; en el mismo país de Ecuador Chávez *et al.* (2015), reportaron resultados de cadmio con un promedio de 0.94 mg/Kg Cd al sur del país en 15 fincas. A su vez Mite *et al.* (2010), reportaron concentraciones de cadmio en muestras de almendras de cacao con un promedio 0.84 mg/Kg y Cd en las muestras de testa presentaron un promedio de 1.51 mg/Kg Cd, en 142 fincas cacaoteras en las regiones del Litoral, Sierra y Oriente del Ecuador y finalmente Romero *et al.* (2019), informaron concentraciones de cadmio en 9 provincias ecuatoriana con una concentración entre 0.267 y 1.715 mg/Kg Cd.

Batallas *et al.* (2021), determinaron valores que oscilan entre 0.3960 a 0.5427 mg/Kg, 0.3960 a 0.5427 mg/Kg en el cotiledón, mientras en la cascarilla con valores de 0.4178 a 0.5900 mg/Kg, en 5 fincas productoras ubicadas en el sector La Adelina cantón Balao, Ecuador. En el Brasil se encontró reportes de Oliveira *et al.* (2019), 0.04 a 0.82 mg/Kg Cd en las principales zonas productoras de cacao como es en Bahía y Para, por el lado del país de Honduras nos reportan Gramlich *et al.* (2019), con un 1.10 mg/Kg Cd en los granos de cacao, resultados que corresponden a 55 fincas hondureñas. Finalmente tenemos reportes peruanos; como Tantalean y Huauya (2017), quienes reportaron concentraciones de Cd 1.08 mg/Kg en localidades de Jacintillo y Ramal de Aspuzana correspondiente a departamentos de Huánuco y San Martín, en el mismo año también reportan Arévalo *et al.* (2017), las concentraciones de cadmio que son 0.45 mg/Kg en las zonas del norte, centro y sur del país, y finalmente Zug *et al.* (2019), reportan

concentraciones de cadmio en 20 fincas en la región de Huánuco, Perú con resultados de 0.2 a 12.56 mg/Kg Cd.

Para el cacao seco, Díaz (2018), encontró un promedio de 0.455 mg/Kg de Cd en almendras de cacao; dichos resultados mencionados por el autor se encuentran menores a los 2.00 mg/Kg de Cd reportado por PROMSA (2003). Sin embargo, Acosta y Pozo (2013), determinaron cadmio en la almendra de cacao siendo 0.35 mg/Kg. De la misma manera Florida (2018) reportó en granos secos de cacao 0.064 mg/Kg, a su vez Lara, (2017), reportó niveles máximos de 0.41 mg/Kg en la variedad CCN-51 con el secado en estufa, y niveles mínimos de 0.31 mg/Kg en CCN-51 con el secado en asfalto. Santander *et al.* (2021), reportaron valores de contenido de cadmio entre 0.021 mg/Kg y 0.098 mg/Kg de dos provincias (Bellavista y Huallaga) y cinco localidades (3 en Bellavista y 2 en Huallaga) de la Región San Martín. Aldas (2020), reporta valores de 0.01 mg/Kg a 0.08 mg/Kg en variedades de cacao (criollo, trinitario y forastero) y a tiempos controlados de fermentación (de 1 a 5 días de fermentación) y en tipos de fermentación (cascada, yute y controlado). Y en la cascarilla del cacao fermentado y seco; Batallas *et al.* (2021), con un promedio de concentración de Cd 2.61 mg/Kg. Pero Santander *et al.* (2021), reportaron resultados que oscilan entre 0.012 y 0.056 mg/Kg.

Para el cacao tostado, se tomó como antecedente al licor de cacao obtenido por Santander *et al.* (2021), a partir de los granos fermentados y secos de cacao de las 05 localidades y 02 provincias de la región San Martín, encontraron niveles mínimos de cadmio de 0.089 mg/Kg y máximos de 0.210 mg/Kg. Y el contenido de cadmio en los derivados de cacao, en este caso en los chocolates se tiene investigaciones como, Beltran (2017), reportó el contenido de cadmio de 0.003 a 0.018 mg/Kg en chocolates de mesa en El Salvador, así mismo Velazque (2017) ,concluyó que durante los periodos Enero-Febrero del 2016 que los chocolates contenían concentraciones de cadmio entre 0.21 mg/Kg hasta 0.57 mg/Kg en Lima-Perú; de la misma Amores (2012),reportó chocolate con un contenido de materia seca total (licor de cacao) mayor del 50 por ciento cadmio de 0.06 mg/Kg. Finalmente, la concentración de cadmio obtenidos en la cascarilla de cacao tostado por El Salous y Pascual (2018), quienes reportaron concentraciones de Cd en harina proveniente de las cascarillas del cacao CCN 51 de 0.54 mg/Kg y en harina proveniente de las cascarillas del cacao Nacional Arriba con 1.11 mg/Kg en el Ecuador.

El índice de fermentación determinado por Camacho (2014), en su tesis de investigación obtuvo porcentajes de fermentado de 64.28 por ciento a 4 días (96 horas) y 78.11 por ciento en 6.5 días (156 horas). Mientras que Vilches (2016), obtuvo un 88.95 por ciento de fermentación en 7 días. Y la humedad del cacao seco, Del Águila (2017), reportó la humedad de cacao CCN-51 entre 7.05 y 7.34 por ciento.

El contenido de acidez del cacao seco en su investigación, Vilches (2016) reportó el contenido de acidez titulable en ácido cítrico 0.099 por ciento con tratamientos de 7 días de fermentado y con el secado a exposición solar, Del Águila (2017), con valores de 0.86 por ciento en ácido acético en condiciones tratamientos tradicionales. García (2007), menciona que cuando el secado se desarrolla a temperaturas cercanas a 60 °C, el grano retiene altos contenidos de ácido acético, cítrico, propanoico, isobutírico e isovalérico. Y Vivanco *et al.* (2017), en su investigación, reportaron resultados de 0.11 por ciento muestras que fueron tomadas en la provincia de El Oro, Ecuador. En caso del cacao tostado las investigaciones realizadas por Del Águila (2017), mostraron fue de 1.68 y 0.98 de acidez titulable. De la misma manera Lares *et al.* (2012), determinaron la acidez titulable en su trabajo de investigación 1.13 a 1.22 por ciento con parámetros de tostado de 20 minutos a una temperatura de 120 °C. A estos resultados Vivanco *et al.* (2017), reportaron 0.11 de acidez titulable para cascarillas de cacaos recolectados en el Ecuador; pero Garay (2019), reportó resultados superiores a los obtenidos en esta investigación 1.75 por ciento con tratamiento de tostado de la cascarilla a 120 °C por 10 minutos; y 1.10 por ciento con el tratamiento de tostado de 140 °C por 10 minutos. Por su parte Tapia (2015), informo resultados por debajo de los de la investigación con 0.01 y 0.02 por ciento con tratamientos del tostado a 140 °C durante una hora una estufa marca GEMMY Modelo YCO.

El contenido de porcentaje de cenizas del cotiledón del cacao seco, Del Águila (2017), reportó el contenido de cenizas de 3.71 a 4.65 por ciento, de la misma manera informo Vílchez (2016), la cantidad de 3.3 por ciento, ambos autores utilizaron tratamientos con parámetros tradicionales; es decir; con 7 días de fermentado y secado a exposición solar. Mientras que Álvarez *et al.* (2010), reportaron resultados entre 2.83 y 3.34 por ciento, con un tratamiento de 5 días de fermentado y con un secado durante 5 días. Sangronis *et al.* (2014), reportaron resultados entre 7.51 y 8.09 por ciento y Soto (2012), informo resultado de 7.87 por ciento, y Villamizar y López (2016), con el 11.4 por ciento. los

porcentajes de cenizas del cacao tostado en el cotiledón de Lares (2012), con 3,06 y 2,96 por ciento con parámetros de tostado de 20 minutos a una temperatura de 120 °C, a su vez Álava (2016), reportó 3.05 por ciento con parámetros de tostado de 35 minutos a una temperatura de 115 °C. Por su parte Aldave (2016), con 2,85 por ciento en promedio los mismos que fueron sometidos al tostado con tiempos de 30 y 40 minutos y a temperaturas de 120 y 130 °C, resultados superiores obtuvo Del Águila (2017), con 4.28 y 3.55 por ciento de cenizas. Para la composición del porcentaje de ceniza de la cascarilla del cacao tostado, Cardona (2012), reportó resultados de 7.90 por ciento de cenizas y Zhong y Nsor-Atindana (2012), con 5.96 obtenido de Jiangsu Linzhi Shanyan Group Co. Ltd.

Los diferentes pH obtenidos de las diferentes investigaciones del cacao seco y tostado se reportan; en su investigación Vilches (2016), quien determinó un pH de 4.77 para el cotiledón de cacao seco; Ortiz (2009), que tiene resultados entre 5.75 y 6.16 de pH. También Herrera (2020), tuvo resultado de 5.46. En el pH determinado al cotiledón del cacao tostado obtenidos por Lares (2012), con 4.68 a 4.82 de pH. Y finalmente el pH de la cascarilla del cacao tostado se determinaron 5.13 a 5.30, resultados que son superiores a los reportados por Garay (2017), 4.69 a 4.91 con tratamiento de tostado de la cascarilla a 120 °C por 10 minutos; y 1.10 por ciento con el tratamiento de tostado de 140 °C por 10 minutos respectivamente.

En investigaciones del color en el espacio Cielab, Bonilla (2019), en su investigación informa que obtuvo una Luminosidad L^* de 25.32 para el cacao clon FEAR 5; TCS 06 25.07 y 28.89 del clon FSV 41, en la Cromaticidad a^* encontró resultados con 5.58 para el cacao clon FEAR 5; TCS 06 5.71 y 6.52 del clon FSV 41, y para la Cromaticidad b^* con 53.37 para el cacao clon FEAR 5; TCS 06 3.62 y 4.18 del clon FSV 41 los mismos que fueron sometidos a tratamientos de tostado a 115 °C de temperatura por 15 minutos. Por su parte Chire (2019), optimizó la mezcla de dos cacaos CCN 51 e ICS 6 obteniendo una Luminosidad de L^* 26.37; de la misma manera Alegría (2015) determinó Luminosidad L^* de 28.64 a 25.50, en la Cromaticidad a^* con resultados de 11.66 a 13.89, Cromaticidad b^* con 7.78 a 9.52 a tiempo de 40 minutos y temperaturas de 150 °C de tostado. Y Colin (2014), con resultados de 7.5 a 10.31 de Cromaticidad b^* con tratamientos de tostado de 15 a 20 minutos a una temperatura de 130 °C.

2.2. EL CACAO

Theobroma cacao L. es el nombre científico que recibe el árbol de cacao, cuyo fruto es conocido por su gran comercialización y variedad de productos que se elaboran a partir de sus granos (Sanchez, 2016). Es una especie leñosa tropical alógama de la familia Malvaceae 1, nativa de los bosques húmedos tropicales de Sur América (Motamayor *et al.*, 2002). El cacao pertenece al género *Theobroma* Cacao, orden Filiales y familia Sterculáceas. Es un árbol tropical que se desarrolla en climas calientes y húmedos, necesita una temperatura constante de cerca de 24-26 °C, lluvias abundantes y regulares, y un suelo rico en potasio, nitrógeno y oligo-elementos (Orcés *et al.*, 2012).

2.2.1. Clasificación taxonómica

- Clase: Angiospermae
 - Sub clase: Dicotyledoneae
 - Orden: Malvales
 - Familia: Malvaceae
 - Genero: *Theobroma*
 - Especie: (*Theobroma cacao* L.)

2.2.2. Composición química del cacao

Los principales constituyentes químicos del cacao son: agua, grasa, compuestos fenólicos, materia nitrogenada (proteínas y 22 purinas), almidón y otros carbohidratos (Wakao, 2002).

Tabla 1: Composición química de almendras de cacao fermentadas y secas

Componentes	Fermentado y seco (%)	Germen o retícula (%)
Agua	5	8.5
Grasa	54	3.5
Cafeína	0.2	
Teobromina	1.2	
Polihidroxifenoles	6	
Proteínas brutas	1.5	25.1
Mono-Oligosacáridos	1	2.3
Almidón	6	
Pentosanos	1.5	
Celulosa	9	4.3
Ácidos Carboxílicos	1.5	

<<Continuación>>		
Otras sustancias	0.5	
sustancias Cenizas	2.6	6.3

FUENTE: Calderón (2002).

Ramírez (2010), menciona que la composición física y química de los granos de cacao es muy compleja, teniendo transformaciones en sus componentes a lo largo del crecimiento del grano, y dependiendo del proceso al cual éste es sometido.

Tabla 2: Composición química y valor nutricional (contenidos en 100 g de semilla de cacao)

Elemento	Valor
Calorías (Cal)	456.00
Aguas (g)	3.60
Proteínas (g)	12.00
Grasas (g)	46.30
Carbohidratos (g)	34.70
Fibras (g)	8.60
Cenizas (g)	3.40
Calcio (mg)	106.00
Fosforo (mg)	537.00
Hierro (mg)	3.60
Retinol (mcg)	2.00
7 Vit. B1 (Tiamina) (mcg)	0.17
Vit. B2 (Riboflamina) (mcg)	0.14
Vit. B5 (Niacina) (mcg)	1.70
Ac. Ascórbico reduc. (mcg)	3.00

FUENTE: Ramírez (2010).

El cacao está conformado por dos partes en general, el mucilago y el cotiledón, separadas por la cascarilla, el mismo que tiene la función de recubrimiento del cotiledón, como se observa en la Figura 1. Estas partes poseen diferente composición, además varían de acuerdo a la época de cosecha, condiciones climatológicas, variedad, grado de maduración, y entre otros factores. (García, 2000)



Figura 1. Partes del grano de cacao seco

2.2.3. Variedades de cacao

Según Rimache (2008), menciona que existen tres tipos de cacao de acuerdo a su morfología:

a. Criollo o nativo

«Criollo, fue el término atribuido por los españoles al cacao cultivado en ese entonces en Venezuela; se lo encuentra en la provincia de Esmeraldas», según información emitida por (Alvarez, 2014).

Tienen flores con estaminoides de color rosado pálido, mazorcas de color rojo o amarillo al estado de madurez, con diez surcos profundos, muy rugosos y punteados, los cotiledones frescos son de color blanco o violeta pálido; con un período corto de fermentación (2-3 días), es muy aromático y comercialmente designado como «cacao fino» (Baptista, 2009).

b. Forastero

Originario de la alta Amazonia, se trata de un cacao normal, con el tanino más elevado (Plúa, 2008). Proviene normalmente de África, no están bien definidos (Sánchez, 2015). Se caracterizan por tener mazorcas pequeñas inicialmente son de color verde claro o rosado pálido, luego se ponen amarillas, la punta es redondeada, la cáscara de la mazorca es lisa o ligeramente rugosa, delgadas, tienen 10 surcos superficiales, con capa lignificada en el centro del pericarpio (Sanchez, 2007).

El grano tiene una cáscara gruesa, es resistente y poco aromático (Castillo, 2019). Para neutralizar sus imperfecciones, requiere un intenso tostado, de donde proceden el sabor y el aroma particular de la mayoría de los chocolates (Gutiérrez, 2017). Los mejores productores usan granos forasteros en sus mezclas, para dar cuerpo y amplitud al chocolate, pero la acidez, el equilibrio y la complejidad de los mejores chocolates proviene de la variedad criolla (Sánchez, 2015).

c. Cacao trinitario

Es el resultado del cruce entre el cacao de tipo criollo de trinidad y forastero, también conocido como híbrido, seleccionado y multiplicado en la cuenca del río Orinoco en

Trinidad y de ahí su nombre (Rojas, 2020). Tiene una calidad intermedia debido a sus características, esta variedad abastecen del 10 al 15 por ciento de la producción mundial por lo que es el cacao que más se cultiva y adecua al clima de las zonas de América (Orcés *et al.*, 2012).

Dentro de éste grupo se incluye la variedad CCN-51 que es el resultado de un programa de cruzamiento entre materiales Forasteros Amazónicos con Trinitarios, llegando a obtener el CCN (Colección Castro Naranjal) un clon altamente productivo, con resistencia a enfermedades, con características físicas codiciadas y adecua al clima (Sánchez, 2015).

2.2.4. Fermentación del cacao

La fermentación del cacao es una etapa muy importante en el procesamiento del grano, ya que se producen cambios bioquímicos que dan origen a los precursores del aroma y sabor, lo que determina la calidad del cacao (Sánchez, 2015).

Existe un sin número de formas para fermentar una masa de cacao; el método más utilizado por los pequeños agricultores es el de «montón» ya que es el método más tradicional y económico (Liendo y Marín, 2006). Este método consiste en amontonar las almendras de cacao sobre una mesa de madera o sobre hojas de plátanos que el jugo que sale del mucilago puede escurrirse fácilmente, los montones se voltean periódicamente, con una frecuencia que depende del tamaño del montón y de la variedad del cacao (Díaz, 2013).

Dos principales fenómenos ocurren durante ese proceso: a) actividad microbiana en la pulpa mucilaginosa, con producción de alcohol y ácidos, liberando calor; b) complejas reacciones bioquímicas en el interior de los cotiledones, iniciadas por las difusión de productos del metabolismo de la pulpa, producidos por microorganismos (Orcés *et al.*, 2012).

La fermentación incluye dos fenómenos distintos pero no independientes, el primero es una fermentación microbiana de la pulpa que contribuye a degradar el mucílago presente alrededor de las almendras de cacao; y el segundo es un conjunto de reacciones bioquímicas internas que conducen a una modificación de la composición fenólica, a la

formación de los precursores de aroma que se consumirán en el tostado y a la formación de una fracción volátil (Cros, 2006).

El tiempo de fermentación está relacionado con la variedad de cacao: el criollo fermenta en 2 a 3 días y el forastero en 5 a 7 días (Ortiz de Bertorelli *et al.*, 2009). Sin embargo, las condiciones climáticas, el volumen de la masa y el método aplicado ejercen un papel importante sobre la duración del proceso y pueden causar grandes variaciones, por lo que es conveniente establecer en el campo el tiempo adecuado (Mera y Ruiz, 2014).

a. Tipos de fermentación

Se distinguen varios tipos de fermentación, las cuales se las describe a continuación:

a.1. Fermentación anaeróbica

La fermentación es el proceso de extracción de energía de la oxidación de compuestos orgánicos, tales como hidratos de carbono, y el uso de un aceptor endógeno de electrones, que suele ser un compuesto orgánico (Portillo, 2012). Por el contrario, la respiración es donde los electrones son donados a una exógena aceptor de electrones, tales como el oxígeno, a través de una cadena de transporte electrónico (Passos *et al.*, 1984). «En la fermentación la condición anaeróbica es importante ya que mantiene la producción de ATP (Adenosin-Tri-Fosfato) por la glucólisis cuando no existe fosforilación oxidativa» (Bravo *et al.*, 2011).

a.2. Fermentación aeróbica

Su acción principal es la formación de ácido acético a partir de etanol por bacterias acética (Forsyth y Quesnel, 1963). En esta fase se produce una elevación de la temperatura que contribuye a la eliminación de levaduras y bacterias lácticas (Thompson *et al.*, 2001). La función primordial de este tipo de bacterias es la oxidación del alcohol a ácido acético y que con las fracciones de ácido láctico son también oxidados a dióxido de carbono y agua (Schwan y Wheals, 2004).

a.3. Fase de oxidación:

Puede ocurrir luego de la primera fase o a la vez con la mencionada. Consiste en una incrementación de reacciones que van aumentando la hinchazón, agrietamiento y separación de los cotiledones de la cascarilla (cutícula) (Ortiz *et al.*, 2009). Se reduce el

sabor amargo, la acidez, la humedad y las almendras exteriormente tienen color marrón, olor a vinagre y la pulpa desaparece (Rimache, 2018).

b. Métodos de fermentación

b.1. Cajones de madera a un nivel

Los cajones se construyen con tablones de maderas finas, preferiblemente blancas, resistentes a la humedad, tales como el cedro, nogal, etc., que no desprendan sustancias extrañas, como taninos, que interfieran con la calidad final del cacao. Deben descansar sobre patas o largueros separados del suelo a una altura de 0,2 m. Las dimensiones varían de acuerdo con la producción y pueden ser de 0,60 x 0,60 x 0,60 m o 1,0 x 1,0 x 1,0 m (Aldave, 2016).

b.2. Cajones de madera tipo escalera

Es el método más ventajoso cuando se dispone de grandes cantidades de cacao. Se construye con varias series de tres cajones de madera, colocados a diferentes niveles, como formando una escalera (Díaz, 2013). Los cajones son de dimensiones variables y guardan relación con la cantidad de cacao a procesar. Se debe prever que el fondo de las cajas tengan agujeros de 0.5 cm de diámetro con una separación de 10 cm entre ellos para permitir el escurrimiento del mucílago y la aireación (Ramírez, 2010).

b.3. Fermentación en montón

Este método consiste en amontonar directamente las almendras sobre el piso, ya sea de madera, caña guadua o bambú, aunque, algunos productores realizan esta operación haciendo uso de un tendido de hojas de plátano directamente sobre el piso, de tal suerte que los exudados de la masa fermentativa puedan fluir con facilidad (Campoverde, 2010). Luego de esto, la masa de cacao se cubre con el mismo tipo de hojas para que inicie la fermentación. Los montones se cubren adicionalmente con sacos de yute para reducir pérdidas de calor, y el cacao debe removerse de un lugar a otro, con la finalidad de mejorar el proceso fermentativo (Chévez, 2015). El montón de almendra permanece en esas condiciones entre 5 a 6 días dependiendo del material genético, para posteriormente proceder al secado (Ramírez, 2010).

b.4. Fermentación en sacos

Una práctica común del productor es llenar sacos con cacao fresco para luego dejarlos colgando con el fin de facilitar el escurrimiento. Alternativamente, acostumbra amontonar los sacos en el piso por un periodo de 5 a 7 días, o los que sean necesarios, según el tipo de cacao (Teneda, 2016). De cuando en cuando mueve la masa dentro de los sacos para promover la aireación y completar la fermentación; si el método no se maneja bien da lugar a un alto porcentaje de almendras tipo violeta y pizarra, afectándose seriamente la calidad sensorial del cacao (Jiménez, 2008).

c. Tiempo de fermentación

El tiempo de la fermentación está relacionado a la rapidez de transformación de reactivos a productos, con la finalidad de cuantificar teóricamente este parámetro es necesario contar con las concentraciones (actividades termodinámicas) del sustrato y de la enzima, esta valoración permite determinar el efecto de la concentración del sustrato sobre la rapidez de la reacción química permitiendo de esa manera establecer el orden de la misma que para el caso de reacciones como las que se mencionan en este trabajo están entre una reacción de orden cero y de primer orden o combinadas las dos (Bravo *et al.*, 2011).

El cacao de la variedad forastero necesita un tiempo de fermentación más prolongado que el cacao criollo, que usualmente se fermenta por tres días y los cacaos de tipo forastero se fermentan por cinco a siete días (Rodríguez, 2011). El tiempo de fermentación está relacionado con la cantidad de pulpa y concentración de polifenoles en las almendras, según el genotipo o variedad que se trabaje (Aldave, 2016).

d. Temperatura en la fermentación

En un proceso de fermentación se desarrolla calor siendo la reacción de tipo exotérmico que según la bibliografía para el caso del cacao es 75 kJ/mol, en consecuencia hay un incremento importante de temperatura en el proceso (Bravo *et al.*, 2011). Durante los primeros días de fermentación, la temperatura de la masa varía entre 45 y 50 °C, siendo esta una variación normal dentro del proceso. Posteriormente, se produce un descenso e incremento simultaneo, luego de la primera remoción de la masa; para luego disminuir una vez que ha concluido el proceso de fermentación. (Díaz, 2013).

En el interior de la almendra el embrión muere cuando la temperatura llega a 45 °C, marcando el inicio de los cambios bioquímicos que conducirán a la formación de los precursores del sabor y aroma del chocolate (Enríquez, 2004).

2.2.5. Secado

El objetivo principal de secado es que el cacao termine de desarrollar el sabor a chocolate que adquirió durante la fermentación (Díaz, 2013). El proceso de secado no constituye una simple reducción de humedad, sino que los cambios químicos continúan mientras el contenido de humedad desciende con lentitud hasta que se detienen por la falta de humedad o la inactivación de las enzimas por otros medios. El secado ha terminado cuando los granos suenan al apretarlos y presentan 7 por ciento de humedad (Ponce y Chang, 2012).

Es muy importante que la humedad disminuya lentamente, es decir, entre el lapso de 5 a 7 días, para favorecer que se completen los cambios químicos (reacciones de oxidación) responsables del sabor y aroma del cacao (Tinoco y Yomali, 2010). De lo contrario, se corre el riesgo de inactivar a las enzimas antes de que se hayan completado los cambios químicos esenciales, lo cual ocurre por las altas temperaturas (>65 °C) y la baja humedad, además, un secado rápido induce el aplastamiento de las almendras, dando granos duros y de cutículas arrugadas, determinantes de la calidad del producto (Orcés *et al.*, 2012).

a. Secado artificial

El secado artificial se realiza mediante el empleo de estufas o secadoras mecánicas haciendo pasar una corriente de aire seco y caliente por la masa del producto (Zahouli *et al.*, 2010). La convección forzada, tiene lugar cuando una fuerza motriz exterior mueve un fluido con una velocidad, sobre una superficie que se encuentra a una temperatura mayor o menor que la del fluido, como la velocidad del fluido en la convección forzada es mayor que en la convección natural, se transfiere, por lo tanto, una mayor cantidad de calor para una determinada temperatura (Sanchez, 2017).

Según Cubillos *et al.* (2008), la temperatura del aire caliente no puede ser mayor de 60 °C con el fin de evitar la inactivación de reacciones enzimáticas fundamentales e indispensables en la formación de los precursores del sabor. El secado artificial es de mayor rapidez y aplicable en zonas de alta precipitación. Sin embargo, su uso se limita

porque requieren cantidades significativas de almendras para ser rentable (Zahouli *et al.*, 2010).

2.2.6. Tostado

El tostado es una etapa crítica en la elaboración del cacao y de los productores del chocolate, ésta operación es necesaria debido a que promueve un conjunto de reacciones químicas, en las cuales intervienen, los compuestos precursores formados durante la fermentación y el secado, por tal motivo una almendra sin tostar será amarga y astringente (Orcés *et al.*, 2012). Los principales efectos que se observan al tostar el grano son: eliminación de ácido acético, intensificación del sabor agradable, desecación de la cascarilla, deshidratación del grano y formación de nuevos componentes que acrecientan el sabor aromático, entre los cuales destacan compuestos de naturaleza aldehídica, formados por la reacción que ocurre entre los monosacáridos y los aminoácidos que se obtienen de la fermentación (Ramli *et al.*, 2006). A esto, los aminoácidos libres, péptidos y azúcares reductores participan conjuntamente en el tostado a través de las reacciones de Maillard y la degradación de Strecker contribuyendo a una mayor formación de los compuestos aromáticos (Serra, 2005). La reacción de Maillard en el grano de cacao es producto de la interacción entre los azúcares reductores; la glucosa, fructosa y aminoácidos libres o péptidos de cadena corta (Palacios, 2016). La degradación de Strecker se origina con la participación de un carbonilo derivado de la reacción de Maillard reacciona con otros aminoácidos libres del producto (Vázquez *et al.*, 2016). Ambas reacciones hacen del típico sabor a chocolate, obtenido del proceso de tostado, a consecuencia de las reacciones de Maillard y la degradación Strecker de los compuestos precursores del sabor y productos intermedios (Aprotosoiaie *et al.*, 2016).

El tostado consiste en someter a las almendras a una temperatura de 100 a 140 °C durante 15 a 45 minutos en un recipiente plano y moviendo permanentemente (Vega *et al.*, 2016). Si se llegara a quemar, pierde su sabor característico y toma un sabor amargo (Aldave, 2016). Posteriormente se realiza el quebrado y descascarado, separando la cascarilla y el embrión de los cotiledones de forma cuidadosa. Se puede hacer a mano o con una pequeña maquina como un pilón (Vizcarra, 2013). Los precursores de aromas desarrollados durante la fermentación interactúan en el proceso de tostado para producir el deseado sabor a chocolate (Ponce y Chang, 2012).

2.3. CADMIO

2.3.1. Generalidades

El cadmio es un metal pesado presente en la naturaleza que es absorbido por el agua y suelo, acumulado por los animales y vegetales transmitiéndose al ser humano a través del consumo de alimentos como pescado y marisco, carne y vegetales con altas concentraciones de cadmio (Elika, 2014).

El cadmio es un metal que se encuentra en el grupo IIB de la Tabla periódica, cuyo peso atómico es de 112.41 y número atómico es 48 (Navas y Méndez, 2011). El cadmio es un elemento metálico de color blanco plateado con una propiedad de maleabilidad (Ganiveth *et al.*, 2008). El cadmio fue descubierto por el químico alemán Friedrich Stromeyer en 1817, en las incrustaciones de los hornos de cincesta. Las características de este metal son de bioacumulativo de 10 a 30 años, móvil en el ambiente acuático, se encuentra en agua subterráneas y superficiales (Ganiveth *et al.*, 2008). También podemos encontrarlos en la superficie del suelo (Sánchez, *et al.*, 2005).

El cadmio es obtenido como subproducto metalúrgico del zinc y del plomo, a partir del sulfuro de cadmio, en proceso se forman óxido de cadmio cuyo elemento es muy tóxico (Ramírez, 2002).

2.3.2. Efectos a la salud por la exposición al cadmio

El cadmio entra en la alimentación humana con los vegetales y productos animales. Se fija a las plantas más rápidamente que el plomo (Kjellstrom T, 1985). El Departamento de Salud y Servicios Humanos de los E.E.U.U. (DHHS) y la Agencia para la Investigación del Cáncer (IARC) han determinado que el cadmio y los compuestos de cadmio son carcinogénicos en seres humanos. La US EPA determinó que el cadmio probablemente es carcinogénico en seres humanos (grupo B1).

Las recientes investigaciones sobre la contaminación con plomo y cadmio; y otros metales pesados, en los alimentos (Al-Hossainy *et al.*, 2017) y sus consecuencias sobre la salud humana como afecciones con lesiones en el embarazo, irritación gastrointestinal, náuseas, vómitos, daños renales, enfisema, y cáncer pulmonar (Antoine, 2017).

La FAO/OMS (2014), fija como valor de cadmio que puede ingerirse semanalmente por un adulto 400-500 microgramos y considera una dosis mortal de 100 microgramos/dl.

2.3.3. Toxicinética

Por su capacidad de bioacumularse, el contenido corporal de cadmio se incrementa con la edad. Sin exposición laboral a cadmio, la carga corporal del metal puede llegar a 40 miligramos, dependiendo de la situación geográfica y de las costumbres alimenticias, etc. Fumadores, por ejemplo, suelen de adsorber el doble de cadmio que un no fumador (Piotrowski, 1990).

El cadmio absorbido en el cuerpo se excreta principalmente por orina y en menor cantidad con la bilis, aunque pequeñas porciones puedan eliminarse con sudor, pelo y heces. El cadmio excretado por el tracto gastrointestinal en su mayor parte es el que no se absorbió (Kjellstrom *et al.* 1978). Por orina, diariamente se elimina un 0.007 por ciento y por heces 0.03 por ciento del contenido corporal total (Ellemhorn, 1996).

2.3.4. Toxicodinámica

El cadmio es un xenobiótico; por tanto, un metal tóxico y no esencial para el organismo, que se acumula en los tejidos humanos y en los órganos blancos (riñón y pulmón), en una exposición laboral o ambiental, sus principales efectos tóxicos son: neumonitis química, disfunción renal con proteinuria y microproteinuria y enfisema (Kido, 1991).

2.3.5. Comportamiento del cadmio en el cacao

En el caso del cacao es posible que la contaminación del producto se de en las etapas de cultivo, producción y transformación. Conocer el origen de la contaminación en alimentos es fundamental para determinar las acciones a seguir y para establecer la calidad del producto (FAO/OMS, 2014).

La planta de cacao absorbe ligeramente los metales pesados que existen por naturaleza en los suelos y los concentra en las semillas grasosas y según los lugares de cultivo, el grado de concentración de metales pesados es diferente (Barrueta, 2013).

El comportamiento del cadmio en el proceso de fermentación se ve afectado en la reducción de un 17 por ciento desde el mucilago (Lanza *et al.*, 2016). Mientas por el proceso de secado la concentración del cadmio aumenta en un 30 por ciento; esto dependiendo al tipo de secado (Del Águila, 2017).

2.3.6. Normativa de límites de cadmio en el cacao

Por las conclusiones señaladas en este documento se presenta la siguiente Tabla 3 contiene los valores de niveles máximos de Cd para chocolate y productos derivados del cacao que proteja la salud de sus consumidores y asegure prácticas equitativas en el comercio de los alimentos.

Tabla 3: Límites máximos de contenido de cadmio en productos de cacao y derivados

Productos	Nivel máximo de Cadmio (mg/Kg)
1. Chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao <30%.	0,10
2. Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao <50%; chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao \geq 30%.	0,30
3. Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao \geq 50%.	0,8
4. Cacao en polvo vendido al consumidor final o como ingrediente en cacao en polvo edulcorado vendido al consumidor final (chocolate para beber)	0,6

FUENTE: FAO/OMS (2021).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

Los procesos de fermentado se ejecutaron en el sector primero de mayo del distrito de San Gabán cuyas coordenadas UTM se observa en la Tabla 4 y en las salas de beneficio de la Cooperativa Agraria Industrial San Gabán Ltda. Los procesos de secado fueron realizados en los laboratorios generales de la Universidad Nacional de Juliaca y el tostado se ejecutó en la Cooperativa Agraria Industrial San Gabán Ltda., en la ciudad de San Gabán.

El muestreo y acondicionamientos de las muestras de cacao para los análisis físicos, químicos y contenidos de cadmio se efectuaron en el Laboratorios Generales de la Universidad Nacional de Juliaca.

La determinación de las concentraciones de cadmio en cada una de las muestras obtenidas (suelo, agua, fermentado, secado y tostado), fueron evaluadas en los laboratorios de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de Tingo María, Huánuco.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

Cacao: Para la investigación se utilizó la variedad de cacao CCN-51, cultivado en el sector primero de mayo del distrito de San Gabán cuyas coordenadas UTM se observa en la Tabla 4.

Tabla 4: *Coordenadas UTM del lugar de investigación*

Lugar		UTM			
	Puntos	X	Y	Huso	Hemisferio
San Gabán, Puno, Perú	1	356832.66	8515922.22	19	Sur
	2	356796.95	8515891.58		
	3	356836.20	8515858.84		
	4	356866.89	8515902.29		

3.3. MATERIALES Y EQUIPOS

Equipos:

- Mufla Marca SELECTA
- Tostadora Marca IMSA ERTC-5
- Balanza analítica Model ML204T Marca Mettler Toledo
- Estufa de secado y esterilización Conterm, analógica, J.P. SELECTA®
- Desionizador
- Agitador magnético VELP Scientifica
- pH – Metro Lab 855 SI Analytics
- Baño maría
- Refrigeradora SAMSUNG
- ICP-OES Marca Horiba, modelo Ultima Expert
- Colorímetro CM.- 700d Konica Minolta Sensing
- Higrómetro Marca Wile CC
- Campana de extracción
- Manta calentadora
- Cocina eléctrica
- Bureta.
- Destilador
- Digestor

Materiales:

- Matraces Erlenmeyer de 100, 250 y 500 ml.
- Vasos de precipitación de 100, 250 y 1000 ml.
- Pipetas graduadas de 5 y 10 ml.
- Tubos de ensayo de 50 ml.
- Placas Petri
- Fiolas de 125, 500 y 1000 ml.
- Probetas graduadas de 100, 500 y 1000 ml.
- Crisol
- Pinzas
- Botellas plásticas

- Papel filtro N° 40 y 42
- Cronómetro
- Soporte universal y pinzas
- Envases herméticos de vidrio
- Frascos de polietileno de alta densidad (PE-HD)
- Bolsas con cierre hermético

Reactivos:

- Ácido clorhídrico concentrado (HCl)
- Hidróxido de sodio (NaOH) 99,5 por ciento
- Ácido nítrico concentrado (HNO₃)
- Ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄)
- Ácido perclórico concentrado (HClO₄)
- Etanol (C₂H₅OH) 99,99 por ciento
- Agua destilada (H₂O)

3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Para realizar los análisis de concentración de cadmio, se tomó como referencia mostrada en la Figura 2:

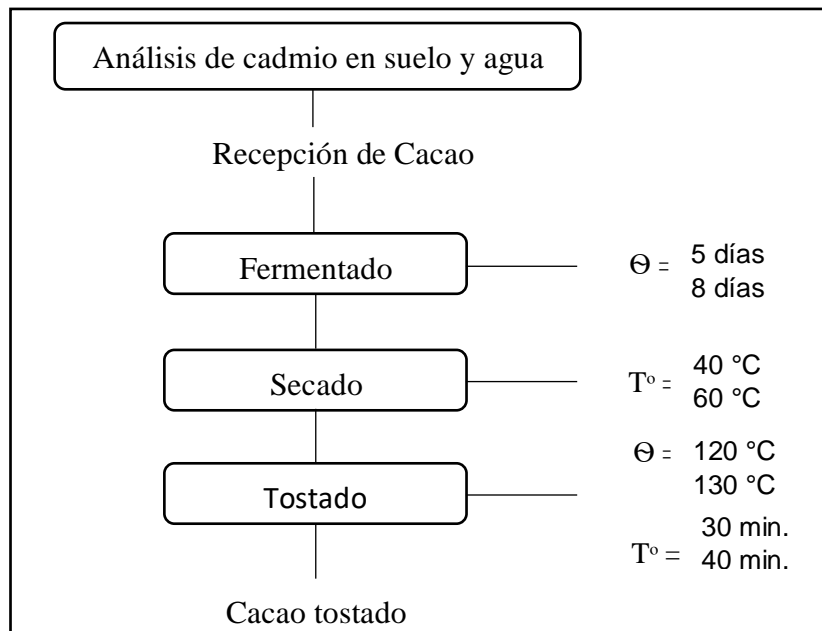


Figura 2. Diagrama de flujo para la obtención de cacao tostado

3.4.1. Descripción del proceso

- **Análisis de cadmio en el suelo y agua**

Se realizó los análisis de origen de las concentraciones de cadmio en el suelo y agua en la zona de cultivo del cacao cuyas coordenadas UTM se muestra en la Tabla 4. El muestreo del suelo se realizó de acuerdo a la Resolución Ministerial N°0451-MINAGRI, 2018 «Lineamiento de muestreo para la determinación de cadmio en suelos, hojas, granos y productos derivados de cacao» y el muestreo de agua de acuerdo al RJ N°010-2016-ANA, 2016 «Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos». Finalmente, los análisis de concentración de cadmio en el suelo y agua se determinaron por ICP-OES según AOAC 999.11: 2005 a fin de investigar la fuente de origen del cadmio.

- **Recepción de cacao**

En esta operación se recolectó el cacao en granos frescos o mucílago cultivado en el sector primero de mayo del distrito de San Gabán cuyas coordenadas UTM se observa en la Tabla 4, muestra que fueron analizadas en su concentración de cadmio, cenizas, humedad, pH, y acidez; para tener concentraciones de cadmio como patrones en los granos de cacao.

- **Fermentado**

El cacao recepcionado fue sometido a fermentación (granos frescos o mucilago), con una cantidad de 20 Kg y unas dimensiones de los cajones de 1x1x1 m. de madera tornillo, bajo condiciones aeróbicas en la fase de oxidación. Una vez en el fermentador de dejó durante 5 y 8 días (parámetros) con una temperatura de fermentación estándar de 44 °C; por lo que el oxígeno necesario para el proceso se facilita volteando los granos una vez por día (remoción diaria). Finalizado el proceso de fermentación se realizó el proceso de secado.

- **Secado (estufa)**

Los granos fermentados de cacao se sometieron a un proceso de secado en estufa de secado y esterilización Conterm, analógica, J.P. SELECTA® a temperaturas de 40 °C a 60 °C, los granos fueron extendidos sobre 2 bandejas y removidos cada 2 h para homogenizar los granos y evitando la proliferación de los hongos, hasta llegar a una

humedad de 7 por ciento del cacao. Se supo que ha completado el secado del cacao también cuando a la presión de los dedos índice y pulgar, se rompan los granos fácilmente.

Finalizado el proceso de secado, para los análisis de concentración de cadmio, prueba de corte, cenizas, humedad, pH y acidez; se ha separado el cacao en sus partes, como es el cotiledón y la cascarilla.

- **Tostado:**

Esta operación se realizó a temperaturas de 120 °C a 130 °C con tiempos de 30 y 40 minutos.

Finalizado el proceso de tostado, para los análisis de concentración de cadmio, color, cenizas, humedad, pH, y acidez; se ha separado el cacao en sus partes, como es el cotiledón y la cascarilla.

3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

En la Tabla 5. Se observa los parámetros que se usaron durante la fermentación, secado y tostado para determinar la presencia del cadmio en cada uno de los procesos mencionados.

Tabla 5: Parámetros de los procesos

Operaciones		Recepción	Fermentado	Secado	Tostado
Materia prima	M: CACAO CCN-51	M1			
		M1 Fermentado			
		M1 secado			
Análisis		% Acidez		% Acidez	% Acidez
		% Cenizas		% Cenizas	% Cenizas
		pH		pH	pH
		humedad		humedad	humedad
		Concentración de Cd		índice de fermentación	índice de fermentación
				Concentración de Cd	Concentración de Cd
Controles			Θ1= 5 DIAS	T°1 = 40 °C	Θ1= 30 Minutos
			Θ1= 8 DIAS	T°1 = 60 °C	Θ1= 40 Minutos
			T° = 44 °C		T°1 = 120 °C
					T°1 = 130 °C

Tabla 6: Leyenda de símbolos

Procesos	Símbolos	Significado	Parámetros
Fermentado	$\Theta 1$	Tiempo 1	5 DIAS
	$\Theta 2$	Tiempo 2	8 DIAS
	T°	Temperatura	47 °C
Secado	$T^\circ 1$	Temperatura 1	40 °C
	$T^\circ 2$	Temperatura 2	60 °C
	H°	Humedad	7%
Tostado	$T^\circ 1$	Temperatura 1	120 °C
	$T^\circ 2$	Temperatura 1	130 °C
	$\Theta 1$	Tiempo 1	30 min.
	$\Theta 2$	Tiempo 2	40 min.

3.5.1. Factores por objetivos

a. Factores para el objetivo 1

- Evaluar la concentración del cadmio en el cacao (*Theobroma cacao* L.), en función al tiempo de fermentado y temperatura de secado.

Variables independientes:

- **Tiempo de fermentación**
 - 5 y 8 DIAS
- **Temperatura de secado**
 - 40 °C y 60 °C

Variable dependiente:

- Concentración de cadmio
- Curva de secado
- Composición física (Grado de Fermentación, humedad, pH, acidez y cenizas)

b. Factores para el objetivo 2

- Evaluar el efecto del tiempo y temperatura de tostado en la concentración de cadmio en el cacao (*Theobroma cacao* L.).

Variables independientes:

- **Tostado**
 - Tiempo: 30 y 40 min
 - Temperatura: 120 °C y 130 °C

Variable dependiente:

- Concentración de cadmio
- Color
- Composiciones físicas (humedad, pH, acidez y cenizas)

3.6. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**3.6.1. Métodos de análisis****a. Lineamiento de muestreo para la determinación de cadmio en suelos y agua****-Muestreo de suelo**

Según Resolución Ministerial N°0451-MINAGRI, 2018: Para conocer la extensión horizontal de la concentración de cadmio en la superficie del suelo se tomó muestras simples, utilizando el método sistemático al azar de las plantaciones representativas de cacao, a una profundidad de 10 cm, y una cantidad de 500 g de suelo, las cuales fueron colocadas en bolsas de envases herméticos.

Para conocer la distribución vertical del cadmio en suelo, que permitió determinar su origen, se realizó el muestro en zonas representativas del predio, utilizando un auger de acero inoxidable, se tomó una muestra de 500 g de suelo a niveles de profundidad de 20 a 40 cm según RM 085-2014-MINAN.

-Muestreo de agua

Según resolución Jefatura N°010-2016-ANA. La muestra que fue colectada proviene de agua de riego de un arroyo, que son utilizadas para el riego complementario al agua de lluvia, en el ámbito de las plantaciones cacaoteras.

El agua fue colectada en frascos de polietileno de alta densidad (PE-HD) de primer uso de 500 ml de capacidad, por la unidad de muestreo.

b. Determinación de metal pesado cadmio por el método de análisis Espectroscopía de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES)

Se pesaron muestras de granos de cacao frescos, secos y tostados al horno (500 mg cada una) y digerido con 10 ml de una mezcla de HNO₃ (65 por ciento) y HClO₄ (98 por ciento) de Merck® en proporción 4:1 respectivamente. La digestión se realizó en bloque a 120 °C por 3 h y luego a 200 °C por 2 h. La solución digerida se filtró a través de un Whatman papel filtro N°42, y diluido previo al análisis. Las concentraciones del cadmio se determinaron por medio del equipo Espectrofotómetro de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP OES) Marca Horiba, modelo Ultima Expert. Para lograr la calidad analítica se realizaron tres repeticiones por cada muestra y se utilizaron las medias para el análisis estadístico.

El equipo cuenta con un generador de estado sólido 40,68 MHz, refrigerado por agua, inyector de alúmina de 3 mm de diámetro interno, nebulizador concéntrico de vidrio y cámara de pulverización ciclónica de vidrio, bomba peristáltica de 3 canales, cobertura continua de longitud de onda de 120 a 800 nm, sistema óptico estabilizado térmicamente. Está equipado con un auto muestreador AS 500. Se utilizó gas Argón 5,0 (99,99 por ciento de pureza, Linde, Perú) para purgar la óptica y formar el plasma. Los parámetros de calibración se presentan en la Tabla 7 y las condiciones operativas fueron: Poder de plasma 1000, flujo de gas argón-plasma 12 L/min, tipo de nebulizador (Sea Spray), velocidad de flujo del nebulizador 2 L/min, velocidad de la bomba 30 rpm, tiempo de estabilización 15 s, los números de pruebas por cada medición 3, observación de plasma radial con vista de plasma total.

Tabla 7: Parámetros de calibración: λ ; R²; LOD y el rango de linealidad

Elementos	Longitud de onda de detección (nm)	Coefficiente de correlación (R ²)	Límite de detección (µg/L)	Rango de Linealidad (mg/L)
Cd	228.802	0.999934	0.02	0.03656*I+0.7143

c. Determinación de humedad en granos de cacao fresco, seco y tostado

Se pesaron 5 g. de muestra de cacao fresco en placas Petri previamente secas y puestas a enfriar en un desecador, que se llevaron a una estufa de secado y esterilización Conterm, analógica, J.P. SELECTA® a 105 °C durante 5 horas. Posteriormente, se pasaron a un desecador y se pesaron nuevamente. Se realizó el procedimiento por triplicado. El porcentaje de humedad se calculó por pérdida de peso de acuerdo con la ecuación (1) (AOAC 950.27:2005) y para la comparación del porcentaje de humedad se usó un higrómetro:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{peso de la muestra húmeda} - \text{peso de la muestra seca}}{\text{peso de la muestra húmeda}} * 100 \dots \dots \dots (1)$$

Para determinar la humedad de los granos de cacao secos, se hizo el uso del equipo Medidor de humedad de granos de café y cacao WILE COFFEE.

d. Determinación de cenizas en granos de cacao fresco, seco y tostado

Se utilizó el método AOAC 940.26 (AOAC 2005), Para esto se quemaron los crisoles vacíos, enfriaron y pesaron, luego se pesaron en los crisoles 2-3 gramos de muestras, se incineraron en una mufla a una temperatura de 550 °C hasta obtener las cenizas (6 horas), se enfriaron en un desecador, luego fueron pesados. Se realizaron el mismo procedimiento para todas las muestras por triplicado. El cálculo de las cenizas se hizo de acuerdo con la ecuación (2).

$$\% \text{ de Ceniza en base seca} = \frac{\text{peso de la ceniza}}{\text{peso de la muestra}} * 100 \dots \dots \dots (2)$$

e. Determinación de acidez en granos de cacao fresco, seco y tostado

Se pesaron 5-10 g de los granos de cacao (fresco, seco y tostado) y se dispersaron en 250 ml de agua libre de CO₂ caliente a 80 °C, luego se filtraron con papel filtro número 40. Se tomaron con pipeta volumétrica 25 ml de la dispersión preparada y luego de esto fueron traspasada a un matraz limpio, seco y frío. Se agregaron tres gotas de fenolftaleína 1% P/V. Se titularon utilizando hidróxido de sodio 0,1 M hasta obtener un color rosa persistente. Se reportó como mililitros de álcali 0,1 M /100g ó 100 ml de la fruta. Se

realizaron por triplicado en procedimiento para cada muestra. Para el cálculo de porcentaje de ácido cítrico se hizo el uso de la ecuación (3) (AOAC 942.15:2005).

$$\% \text{ Acidez} = \frac{\text{ml de NaOH gastados} * \text{M NaOH real} * \text{meq ácido} * 100}{\text{Cantidad de muestra (ml)} * \text{M NaOH teórico}} \dots \dots \dots (3)$$

f. Determinación del pH por el método potenciométrico en granos de cacao fresco, seco y tostado.

Para determinar el valor del pH de los granos de cacao (fresco, seco y tostado) se utilizó el método propuesto por AOAC 981.12 (2005) cada grano fue triturado usando un mortero y 100 ml de agua destilada, por un lapso de 2 a 3 minutos, luego la determinación del pH fue establecida con un pH-metro de laboratorio de mesa con electrodo intercambiable.

g. Determinación del grado de fermentación (prueba de corte) en granos de cacao seco

Se realizó con el método de la prueba de corte utilizando guillotina, donde se realizó un corte longitudinal por la parte central de 100 granos de cacao. Luego del corte se evaluaron visualmente las almendras de cacao según (NTP-ISO-1114:2006). El porcentaje de almendras de cacao fermentado fueron calculadas de acuerdo con la ecuación (4).

$$\% \text{ de fermentacion} = \frac{\# \text{ de granos muestra}}{\# \text{ de granos bien fermentados}} * 100 \dots \dots \dots (4)$$

h. Determinación del color en granos tostados de cacao

Se realizó con un colorímetro espectrofotómetro CM.- 700d Konica Minolta Sensing, con el que se midió la luminosidad de color de los granos, se desprendió la cascarilla de los granos tostado y se colocaron en una placa Petri cubiertas en una superficie de vidrio plano y transparente, se enfocó el equipo sobre esta superficie y se efectuó el escaneo del color de los granos, luego de esto se procedió a registrar la luminosidad de cada uno de los tratamientos. El método considerado y utilizado fue el sistema CIELab.

$$L^* = 116 \left(\sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} - 0.1379 \right)$$

$$a^* = 500 \left(\sqrt[3]{\frac{X}{X_n}} - \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} \right)$$

$$b^* = 200 \left(\sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} - \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_n}} \right)$$

3.6.2. Diseño estadístico

Metodología de optimización

Para la optimización de los parámetros de fermentado, secado y tostado del cacao en la concentración de cadmio, se pueden emplear diversos métodos analíticos y, en esta investigación se utilizó la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR), que permite optimizar una función de respuesta sujeta a diferentes variables independientes.

Es el objetivo de cualquier diseño experimental aplicado a la mejora de procesos, el poder estudiar la influencia de las diferentes variables de operación (factores experimentales), tanto en lo que se refiere a la variabilidad de las respuestas como a su tendencia central, realizando siempre el mínimo de experiencias posibles (Montgomery, 1995).

Se utilizó el Diseño compuesto central rotatable de segundo orden, cuyo modelo matemático es el siguiente:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2$$

Donde:

Y: variable de respuesta (concentración de cadmio)

β : Parámetros desconocidos

X: Factores (tiempo de fermentado, temperatura de secado y, temperatura y tiempo de tostado)

La Matriz de diseño para el objetivo 1 se muestra a continuación:

Tabla 8: *Matriz de diseño para un diseño compuesto (P=3) de fermentado y secado*

Tratamientos	Fermentado	Secado
	Tiempo (Días)	Temperatura (°C)
T ₁	5	40
T ₂	5	60
T ₃	8	40
T ₄	8	60
T ₅	4	50
T ₆	9	50
T ₇	6.5	36
T ₈	6.5	64
T ₉	6.5	50
T ₁₀	6.5	50
T ₁₁	6.5	50

La Matriz de diseño para el objetivo 2 se muestra a continuación:

Tabla 9: *Matriz de diseño para un diseño compuesto (P=3) de tostado*

Tratamientos	Tostado	
	Temperatura (°C)	Tiempo (Minutos)
T ₁	120	30
T ₂	120	40
T ₃	130	30
T ₄	130	40
T ₅	118	35
T ₆	132	35
T ₇	125	28
T ₈	125	42
T ₉	125	35
T ₁₀	125	35
T ₁₁	125	35

La Matriz de diseño para las composiciones físicas del cacao correspondientes a los objetivos 1 y 2; se muestra a continuación:

Tabla 10: Matriz de diseño para un diseño compuesto (P=2)

Tratamientos	Objetivo 1		Objetivo 2	
	Fermentado	Secado	Tostado	
	Tiempo (Días)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Tiempo (Minutos)
T ₁	5	40	120	30
T ₂	5	60	120	40
T ₃	8	40	130	30
T ₄	8	60	130	40
T ₅	4	50	118	35
T ₆	9	50	132	35
T ₇	6.5	36	125	28
T ₈	6.5	64	125	42
T ₉	6.5	50	125	35
T ₁₀	6.5	50	125	35

Se ha conducido bajo un Diseño compuesto central rotatable de segundo orden, luego se examinó el ANOVA con la finalidad de determinar la variabilidad, a un nivel de confianza de 95 por ciento y un error del cinco por ciento a si mismo se aplicó la prueba LSD de Fisher. Se utilizó el programa estadístico R.

3.7. HIPÓTESIS

3.7.1. Hipótesis general

- Los procesos de fermentado, secado, tostado afectan el comportamiento del cadmio en el cacao (*Theobroma cacao* L.).

3.7.2. Hipótesis específicas

- La concentración de cadmio depende del tiempo de fermentado y temperatura de secado del cacao (*Theobroma cacao* L.).
- El tiempo y temperatura de tostado influye en la concentración del cadmio del cacao (*Theobroma cacao* L.).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN EL SUELO Y AGUA

Para determinar las concentraciones de cadmio en el suelo, se contempló la Resolución Ministerial N°0451-MINAGRI, 2018 y RM 085-2014-MINAN. Para la concentración de cadmio en el agua se tomó la resolución Jefatura N°010-2016-ANA. Los resultados se encuentran en la Tabla 11.

Tabla 11: *Concentración de cadmio en el suelo y agua*

Componente	Fracción	Cadmio
Suelo (mg/Kg)	Disponible	0.1815 ±0.0078
Suelo (mg/Kg)	Total	0.6950 ±0.0099
Agua(mg/L)	Total	0.0024 ±0.000

Según la Tabla 11, la concentración de cadmio para la fracción disponible fue 0.1815 ±0.0078 mg/Kg Cd y 0.6950 ±0.0099 mg/Kg Cd en el total, resultados que se encuentran dentro los determinados por Calla (2021), quien determinó concentraciones de cadmio en el valle de San Gabán, que oscilan desde 0.030 a 0.066 mg/Kg. Mencionados resultados reportados en el valle de San Gabán se encuentran dentro lo establecido (1.4 mg/Kg) para suelo agrícola (ECA suelo - D.S. 011-2017 MINAM). A su vez Florida *et al.* (2019), reportaron resultados de 0.25 mg/Kg de Cd en suelos en las localidades del distrito de Nuevo Progreso y provincia Padre Abad, región Ucayali los mismos que también se encuentran dentro de los límites establecidos.

Para la concentración de cadmio en el agua, los registros fueron 0.0024 ±0.000 mg/L Cd según la Tabla 11, los mismos se encuentra dentro de los límites establecidos para riego de vegetales (0.01 mg/L) (ECA agua – D.S. 004-2017 MINAM).

4.2. CONCENTRACIÓN DE CADMIO DE LAS MUESTRAS PATRONES DE CACAO CCN- 51 EN SUS ESTADOS DE FRESCO, SECOS Y TOSTADOS.

Los resultados obtenidos de las mazorcas para el rendimiento, numero de granos de cacao obtenido por mazorca y la humedad se muestra en la Tabla 12, el análisis proximal del cotiledón del cacao CCN-51 fresco se registran en la Tabla 13 y el análisis proximal de la cascarilla Cacao CCN-51 fresco se observa en la Tabla 14.

Tabla 12: *Composición proximal del cacao CCN-51 extraído de una mazorca*

Componente	Proximal
Rendimiento (%)	25.45 ±1.58
# de granos	54.00 ±1.00
% Humedad	58.49 ± 0.87

Tabla 13: *Composición proximal del cotiledón del cacao CCN-51 Fresco*

Componente	Proximal
% Acidez	0.054 ±0.003
% Ceniza	2.978 ±0.077
pH	6.38 ± 0.01
Cadmio (cotiledón) mg/Kg	1.4742 ±0.0032

Tabla 14: *Composición proximal de la cascarilla del cacao CCN-51 Fresco*

Componente	Proximal
% Acidez	0.207 ±0.001
% Ceniza	2.5686 ±0.0883
pH	3.80 ±0.02
Cadmio (Cascarilla) mg/Kg	0.3593 ±0.0630

En las Tablas 13 y 14, se observa los resultados de los análisis proximales del cacao CCN-51 fresco, los mismos que dieron con un promedio de concentración de cadmio de 1.4742 ±0.0032 mg/Kg en la parte del cotiledón y con 0.3593 ±0.0630 mg/Kg en la cascarilla o testa, en cuanto al cotiledón la concentración del cadmio reportado en esta investigación es superior al reportado por López y Hoyos (2018), con 0.75; 0.71 y 0.54 mg/Kg Cd, de la misma manera Del Águila (2017), encontró concentración de cadmio en cacao fresco

0.02 a 0.08 mg/Kg Cd. Por su parte Barraza *et al.* (2021), encontraron concentraciones de cadmio con valores 1.26 mg/Kg Cd en fincas orgánicas del Ecuador; y Barraza *et al.* (2017), reportaron concentraciones de cadmio de 1.12 mg/Kg Cd en zonas con actividad petrolera del Ecuador. También Mendoza *et al.* (2021), reportaron 0.2850 mg/Kg Cd en cacao fresco extraídos de la región San Martín (Lamas) a una altitud 600 msnm, la misma altitud donde se encuentra el distrito de San Gabán, Puno. A su vez Argüello *et al.* (2019), encontraron concentraciones de cadmio en almendras fresca de cacao con un promedio de 0.90 mg/Kg en 560 ubicaciones a nivel del país de Ecuador; en el mismo país del Ecuador Chávez *et al.* (2015), reportaron resultados de cadmio con un promedio de 0.94 mg/Kg Cd al sur del país en 15 fincas. A su vez Mite *et al.* (2010), reportaron concentraciones de cadmio en muestras de almendras de cacao con un promedio 0.84 mg/Kg Cd, en las muestras de testa presentaron un promedio de 1.51 mg/Kg Cd, en 142 fincas cacaoteras en las regiones del Litoral, Sierra y Oriente del Ecuador y finalmente Romero *et al.* (2019), informaron concentraciones de cadmio en 9 provincias ecuatoriana con una concentración entre 0.267 y 1.715 mg/Kg Cd.

Batallas *et al.* (2021), determinaron valores que oscilan entre 0.3960 a 0.5427 mg/Kg, en el cotiledón mientras en la cascarilla con valores de 0.4178 a 0.5900 mg/Kg, en 5 fincas productoras ubicadas en el sector La Adelina cantón Balao, Ecuador. En el Brasil se encontró reportes de Oliveira *et al.* (2019), 0.04 a 0.82 mg/Kg Cd en las principales zonas productoras de cacao como es en Bahía y Para, por el lado del país de Honduras nos reportan Gramlich *et al.* (2019), con un 1.10 mg/Kg Cd en los granos de cacao, resultados que corresponden a 55 fincas hondureñas. Finalmente tenemos reportes peruanos; como Tantalean y Huauya (2017), quienes reportaron concentraciones de Cd 1.08 mg/Kg en localidades de Jacintillo y Ramal de Aspuzana correspondiente a departamentos de Huánuco y San Martín, en el mismo año también reportan Arévalo *et al.* (2017), las concentraciones de cadmio que son 0.45 mg/Kg en las zonas del norte, centro y sur del país, y Zug *et al.* (2019), reportan concentraciones de cadmio en 20 fincas en la región de Huánuco, Perú con resultados de 0.2 a 12.56 mg/Kg Cd, respecto a los resultados de las muestras patrones de cacao CCN-51 se encuentran dentro de los reportes señalados.

En las Tablas 15 y 16, se observa los resultados de los análisis proximales del cacao CCN-51 seco, luego de pasar por procesos como el fermentado y el secado, procesos que fueron realizados por los productores del Distrito de San Gabán en los establecimientos de la

Cooperativa Agroindustrial San Gabán Ltda. Los resultados en el cotiledón con 0.047 ± 0.003 por ciento de acidez titulable en ácido cítrico, 2.978 ± 0.077 por ciento de cenizas, pH de 6.38 ± 0.01 . Para el caso de la cascarilla se obtuvo 0.207 ± 0.006 por ciento de acidez titulable en ácido cítrico, 2.5686 ± 0.0883 por ciento de cenizas, pH de 3.80 ± 0.02 , finalmente con una concentración de cadmio de 1.4742 ± 0.0032 y 0.3593 ± 0.0630 mg/Kg Cd en el cotiledón y la cascarilla respectivamente.

Tabla 15: Composición proximal del cotiledón del cacao CCN-51 seco de la Cooperativa Agroindustrial San Gabán Ltda.

Componente	Proximal
% Acidez	0.047 ± 0.003
% Ceniza	2.978 ± 0.077
pH	6.38 ± 0.01
Cadmio (cotiledón) mg/Kg	1.4742 ± 0.0032

Tabla 16: Composición proximal de la cascarilla del cacao CCN-51 seco de la Cooperativa Agroindustrial San Gabán Ltda.

Componente	Proximal
% Acidez	0.207 ± 0.006
% Ceniza	2.5686 ± 0.0883
pH	3.80 ± 0.02
Cadmio (Cascarilla) mg/Kg	0.3593 ± 0.0630

En las Tablas 17 y 18, se observa los resultados de análisis proximal del cacao CCN-51 tostado, este proceso fue realizado por la Cooperativa Agroindustrial San Gabán Ltda. (CAI San Gabán Ltda.), los mismos que manejan parámetros propios de tostado. Los resultados obtenidos del cacao tostado de la CAI San Gabán Ltda., en el cotiledón con 0.037 ± 0.004 por ciento de acidez titulable en ácido cítrico, 3.087 ± 0.028 por ciento de cenizas, pH de 4.86 ± 0.01 . Para el caso de la cascarilla se obtuvo 0.039 ± 0.003 por ciento de acidez titulable en ácido cítrico, 10.557 ± 0.263 por ciento de cenizas, pH de 6.40 ± 0.00 , finalmente con una concentración de cadmio de 1.5310 ± 0.0238 y 0.5192 ± 0.0059 mg/Kg Cd en el cotiledón y la cascarilla respectivamente.

Tabla 17: Composición proximal del cotiledón del cacao CCN-51 tostado de la Cooperativa Agroindustrial San Gabán Ltda.

Componente	Proximal
% Acidez	0.037 ±0.004
% Ceniza	3.087 ±0.028
pH	4.86 ±0.01
Cadmio (cotiledón) mg/Kg	1.5310 ±0.0238

Tabla 18: Composición proximal de la cascarilla del cacao CCN-51 tostado de la Cooperativa Agroindustrial San Gabán Ltda.

Componente	Proximal
% Acidez	0.039 ±0.003
% Ceniza	10.557 ±0.263
pH	6.40 ±0.00
Cadmio (Cascarilla) mg/Kg	0.5192 ±0.0059

4.3. CONCENTRACIÓN DE CADMIO Y COMPOSICIÓN FÍSICA DEL CACAO CCN-51 FERMENTADO Y SECADO

4.3.1. Para el cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado

a. Concentración de cadmio en el cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado

La determinación del cadmio en el cotiledón del cacao CCN-51 seco se realizó de acuerdo al método (AOAC 999.11 2005). Además, se usaron los tratamientos con parámetros establecidos según la matriz de diseño para un diseño compuesto central rotatable de segundo orden (P=3) de fermentado y secado. Los resultados se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19: Media y desviación estándar de análisis de la concentración de Cd en el cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado

Tratamiento	Cadmio (mg/Kg)
T ₁	0.2635 ±0.0115 e
T ₂	0.3437 ±0.0069 e
T ₃	1.1963 ±0.0251 d
T ₄	0.3235 ±0.0137 e
T ₅	2.9000 ±0.1100 b
T ₆	4.5698 ±0.0727 a
T ₇	1.5385 ±0.0352 c
T ₈	1.4433 ±0.0143 c
T ₉	1.5070 ±0.0030 c
T ₁₀	1.5057 ±0.0025 c
T ₁₁	1.5077±0.0025 c

Los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes, LSD de Fisher ($p < 0.05$).

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para la concentración de cadmio, aportó evidencias estadísticas de un valor $p = 2e-16$ mostrado en el Anexo 1 (Tabla 70), el cual es menor que $p < 0.05$; existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de las concentraciones de Cd entre un nivel de tratamiento y otro, con un nivel del 95.0 por ciento de confianza. La prueba de LSD de Fisher, mostrado en Anexo 1 (Tabla 71), evidencia que no existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma letra en una columna. La prueba de LSD de Fisher presenta evidencias estadísticas de una clasificación por grupos, el tratamiento 6 se encuentra en el grupo «a» con una mayor concentración de Cd presentando una media de 4.5698 mg/Kg, mientras que en el segundo lugar se encuentra tratamiento 5 del grupo «b» con una media de 2.900 mg/Kg; y en la última posición se encuentra el tratamiento 1 con una media de 0.2635 mg/Kg correspondiente al grupo «e», con una menor concentración de Cd en los tratamientos mostrado en la Tabla 19.

Los resultados de la Tabla 19, demuestran que el tratamiento 6 con parámetros de 9 días de fermentado y secado a 50 °C y el tratamiento 1 con parámetros de 5 días de fermentado y secado a 40 °C, tuvieron resultados de contenido de Cd por 4.5698 mg/Kg y 0.2635

mg/Kg respectivamente. Por su parte Lanza *et al.* (2016), determinaron concentraciones de cadmio a muestras de cacao híbrido y porcelana, proveniente de Santa Bárbara del Zulia, Venezuela con concentraciones de este metal se ubicaron entre 1.74 y 2.09 mg/Kg para el cacao híbrido fermentado y no fermentado respectivamente. En el caso del cacao porcelana, se encontraron valores entre 1.82 mg/Kg fermentado y 1.90 mg/Kg porcelano no fermentado, para las concentraciones de cadmio en tipo de fermentador reportaron resultados que se ubicaron entre 0.95 mg/Kg y 1.10 mg/Kg para el cacao híbrido fermentado en madera e híbrido fermentado en cesta, respectivamente. Por su parte el cacao porcelano arrojó valores ente 1.57 mg/Kg porcelana fermentado en madera y 1.76 mg/Kg porcelana fermentado en cesta. De la misma manera Del Águila (2017), reportó entre las tres localidades de su investigación, dando como resultado el mayor contenido se encontró en la CAC Campos Verdes 0.11 mg/Kg, seguido por la APC Alto Huallaga con 0.06 mg/Kg, y CAC Pangoa con 0.05 mg/Kg; estos resultados son inferiores a los realizados en esta investigación. También Santander *et al.* (2021), reportaron valores inferiores de contenido de cadmio entre 0.021 mg/Kg y 0.098 mg/Kg de dos provincias (Bellavista y Huallaga) y cinco localidades (3 en Bellavista y 2 en Huallaga) de la Región San Martín. Aldas (2020), reporta valores de 0.01 mg/Kg a 0.08 mg/Kg en variedades de cacao (criollo, trinitario y forastero) y a tiempos controlados de fermentación (de 1 a 5 días de fermentación) y en tipos de fermentación (cascada, yute y controlado). Comparando estos resultados de los diferentes autores, las muestras de esta investigación se encuentran en concordancia con ellos; excepto el tratamiento 6 que muestra valores de 4.5698 mg/Kg valor superior al resto. Esta diferencia se puede deber a que en diversas investigaciones han demostrado que, durante el proceso de fermentación del cacao, existen variaciones en las características fisicoquímicas del grano, en función del tipo de fermentador utilizado y del tiempo de secado, que pueden afectar las concentraciones de los metales, así como la calidad e inocuidad del producto final (Portillo *et al.*, 2007).

Según el anexo 1 (Tabla 78) el estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 54.31 por ciento de la variabilidad en la concentración de cadmio en el cotiledón del cacao CCN-51 seco, Puesto que el valor-P =0.4271; es mayor que 5.0 por ciento, lo que indica la existencia de una relación estadísticamente no significativa entre la concentración de cadmio y las variables de tiempo de fermentado y temperatura de secado, con un nivel de significancia del 5.0 por ciento.

En la Figura 3, se observa la relación de la concentración de cadmio frente a los días de fermentado y las temperaturas de secado; mediante la gráfica y contorno de superficie de respuesta se observa que; la relación de la concentración de cadmio y los días de fermentado en el cotiledón del cacao CCN-51 seco, al transcurso del tiempo se observa una leve disminución en la concentración de cadmio, pero ya en el transcurso de los días finales de fermentado la concentración de cadmio aumenta considerablemente. Para la temperatura de secado la relación con la concentración de cadmio es directamente proporcional hasta llegar a una temperatura de 50 °C, luego de esto aborda a descender.

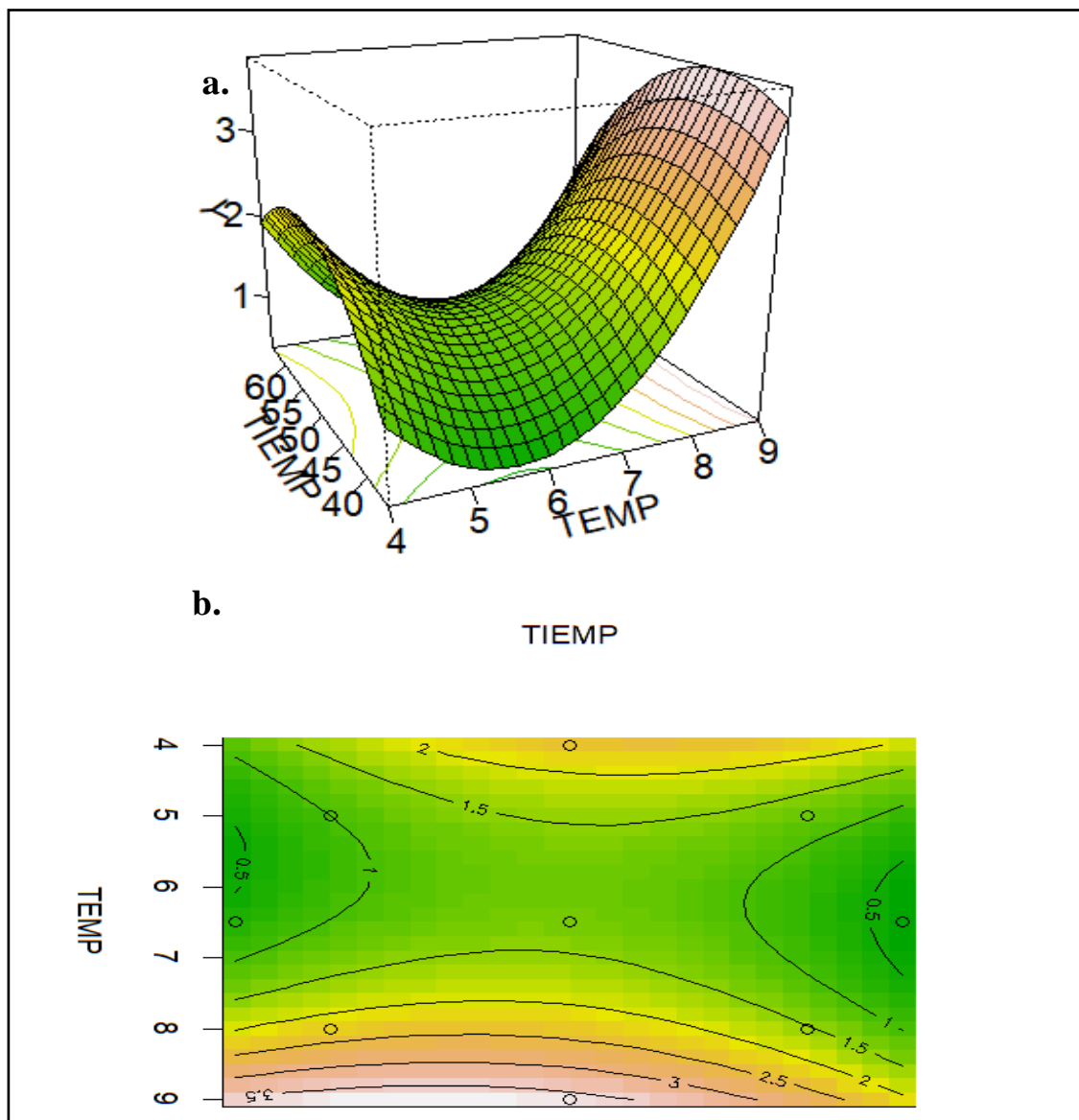


Figura 3. a. Gráficas de la superficie de respuesta. b. Contorno de la superficie de respuesta de análisis de la concentración de Cd en el cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado

En la Figura 4, se observa que el efecto de tiempos de fermentado sobre el sistema no es lineal, en el rango estudiado se observa con respecto al valor de la concentración de cadmio de la variable inicial disminuye hasta una concentración de cadmio 1.2768 mg/Kg en el día 6; luego de esto la concentración de cadmio tiende a incrementarse hasta superar al valor inicial. Este fenómeno sucede debido a que la concentración de cadmio es influenciada a los factores de la contaminación cruzada como lo indica Portillo *et al*, (2007).

En la Figura 4, el efecto de la temperatura de secado sobre el sistema no es lineal. En el rango estudiado se observa inicialmente el incremento de la concentración de cadmio, hasta los 1.3463 mg/Kg de cadmio a una temperatura de secado de 54 °C; luego de esto la concentración de cadmio tiende a disminuir a resultados inferiores a la variable iniciales. Según la Tabla 78, se concluye que la temperatura de secado no influye en la concentración de cadmio en el cotiledón del cacao CCN-51 seco.

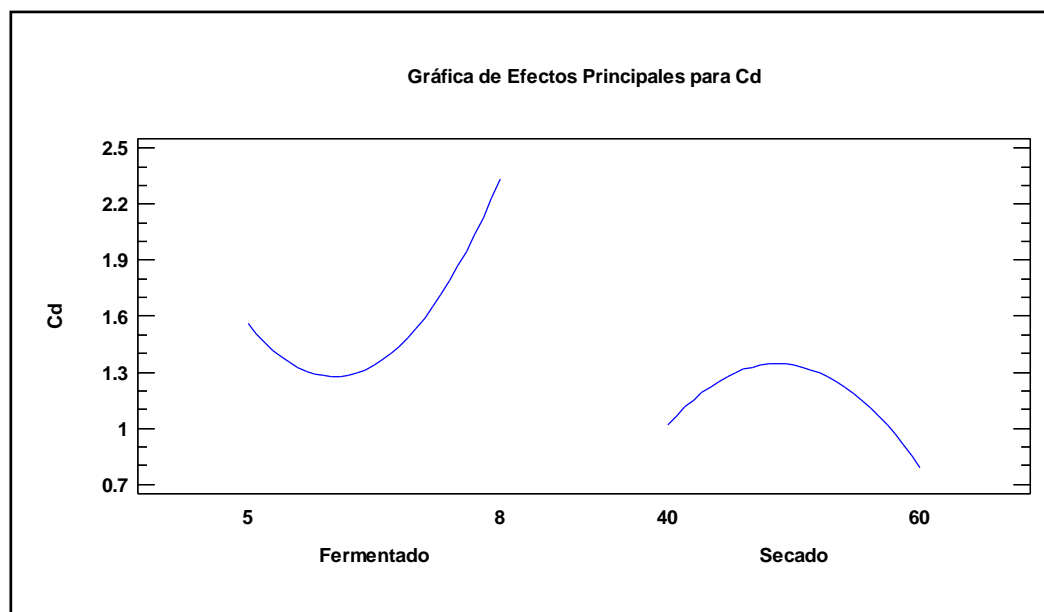


Figura 4. Grafica de efectos principales de los análisis de la concentración del Cd en el cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado

b. Composición física del cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado

b.1. Índice de fermentación del cacao CCN-51 secado

El índice de fermentación del cacao CCN-51 seco, se determinó utilizando la metodología (NTP-ISO-1114:2006). Los resultados del análisis se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20: Resultados del índice de fermentación de cacao CCN-51 secado

Tratamiento	Índice de fermentación (%)
T ₁	62.33 ±2.08 c
T ₂	62.67 ±0.58 c
T ₃	80.33 ±1.53 a
T ₄	80.00 ±1.00 a
T ₅	56.00 ±1.73 d
T ₆	80.67 ±1.16 a
T ₇	73.00 ±2.65 b
T ₈	71.33 ±2.08 b
T ₉	73.67 ±2.52 b
T ₁₀	74.00 ±1.73 b

Los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes, LSD de Fisher ($p < 0.05$).

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para el índice de fermentación, aportó las evidencias estadísticas de un valor $p = 1.8e-12$ mostrado en el Anexo 1 (Tabla 46), el cual es menor que $p < 0.05$; existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de los índices de fermentación entre un nivel de tratamiento y otro, con un nivel del 95.0 por ciento de confianza. La prueba de LSD de Fisher, mostrado en Anexo 1 (Tabla 47), evidencia la no existencia de las diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma letra en una columna. La prueba de LSD de Fisher presenta evidencias estadísticas de una clasificación por grupos, el tratamiento 6 que se encuentra en el grupo «a» con un mayor porcentaje de índice de fermentación presentando una media de 80.67 por ciento, mientras que en el segundo lugar se encuentra tratamiento 3 del grupo «a» con una media de 80.33 por ciento; y en la última posición se encuentra el tratamiento 2 del grupo «c» con una media de 56.00 por ciento, con un menor porcentaje de índice de fermentación en los tratamientos mostrado en la Tabla 20.

La Tabla 20, presenta el índice de fermentación determinado con mayor y menor porcentaje de fermentación obtenido fueron los tratamientos 6 (9 días de fermentado a una temperatura de 50 °C de secado) y 5 (4 días de fermentado a una temperatura de 50 °C de secado) respectivamente son resultados de 81 y 56 por ciento, estos tratamientos conllevan los parámetros de 9 días y 4 días de fermentado, ambos tratamientos usaron el parámetro de secado de 50 °C. Por su parte Camacho (2014), obtuvo porcentajes de fermentado de 64.28 por ciento a 4 días (96 horas) y 78.11 por ciento en 6.5 días (156 horas). Mientras que Vilches (2016), obtuvo un 88.95 por ciento de fermentación en 7 días. Estos resultados difieren por el tipo de fermentación y el lugar del proceso, es decir cada uno de las investigaciones fueron realizadas a diferentes altitudes, épocas del año y la cantidad de muestra.

En la Figura 5, se evidencia que los mayores porcentajes de índice de fermentación se determinó en los tratamientos 3, 4 y 6 debido a que estos comprenden 8 y 9 días de fermentado, mientras que el tratamiento 5 con 4 días son resultados de que la fermentación no se dio adecuadamente.

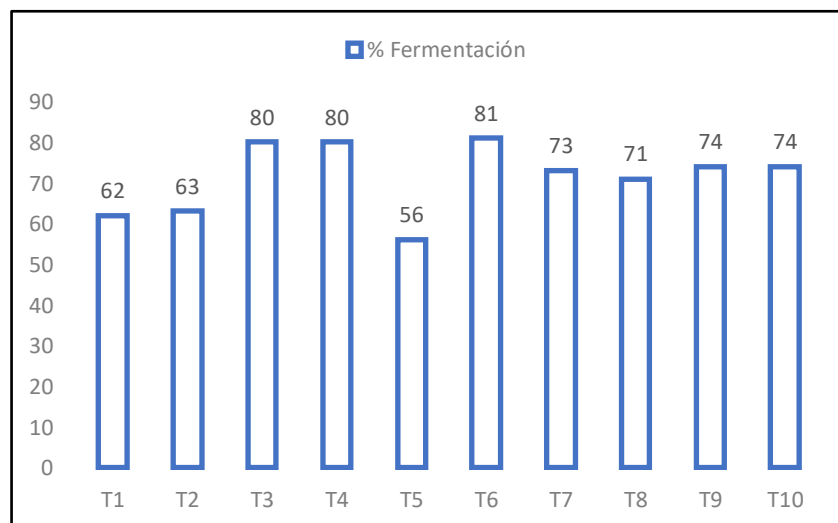


Figura 5. Índice de fermentación del cacao CCN-51 seco

b.2. Humedad del cacao CCN-51 secado

La humedad del cacao CCN-51 seco, se determinó utilizando la metodología AOAC (2005). Los resultados del análisis se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21: Humedad del cacao CCN-51 secado

Tratamiento	% Humedad
T ₁	5.20 ±0.02 b
T ₂	4.68 ±0.02 f
T ₃	4.93 ±0.01 e
T ₄	4.98 ±0.01 d
T ₅	5.27 ±0.01 a
T ₆	5.11 ±0.02 c
T ₇	5.01 ±0.01 d
T ₈	4.70 ±0.02 f
T ₉	5.08 ±0.01 c
T ₁₀	5.08 ±0.01 c

Los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes, LSD de Fisher ($p < 0.05$).

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para el porcentaje de humedad, aportó las evidencias estadísticas de un valor $p = 2e-16$ mostrado en el Anexo 1 (Tabla 44), el cual es menor que $p < 0.05$; existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la humedad entre un nivel de tratamiento y otro, con un nivel del 95.0 por ciento de confianza. La prueba de LSD de Fisher, mostrado en Anexo 1 (Tabla 45), evidencia la no existencia de las diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma letra en una columna. La prueba de LSD de Fisher presenta evidencias estadísticas de una clasificación por grupos, el tratamiento 5 se encuentra en el grupo «a» con un mayor porcentaje de humedad presentando una media de 5.27 por ciento, mientras que en el segundo lugar se encuentra tratamiento 1 del grupo «b» con una media de 5.20 por ciento; y en la última posición se encuentra el tratamiento 2 correspondiente al grupo «f» con una media de 4.68 por ciento, con un menor porcentaje de humedad en los tratamientos mostrado en la Tabla 21.

La humedad del cacao CCN-51 seco que se identificaron, se muestran en la Tabla 21 y la Figura 6, donde podemos observar que el tratamiento 5 (4 días de fermentado a una temperatura de 50 °C de secado) presenta un resultado mayor de 5.27 y el tratamiento 2 (5 días de fermentado a una temperatura de 60 °C de secado) con un resultado menor de

4.68. Del Águila (2017), reportó la humedad de cacao CCN-51 entre 7.05 y 7.34; estas diferencias sugieren que, debido al modo de preparación de la muestra o la zona de toma de datos, en el caso de la investigación fue realizado tanto el secado (estufa) y la toma de datos en la Universidad Nacional de Juliaca de la ciudad de Juliaca a una altura de 3824 msnm, mientras el investigador mencionado lo realizo en Universidad Nacional Agraria de la Selva de Huánuco a 660 m.s.n.m. Los resultados obtenidos de la humedad de ambas investigaciones coinciden o están en el rango (menores a 8.0 por ciento) planteado en la NTP 2292:2019, que menciona que estos parámetros de humedad son las que califican en la calidad del grano de cacao, además agrega Ortiz (2009), que esto facilita el almacenamiento, transporte, manejo y comercialización.

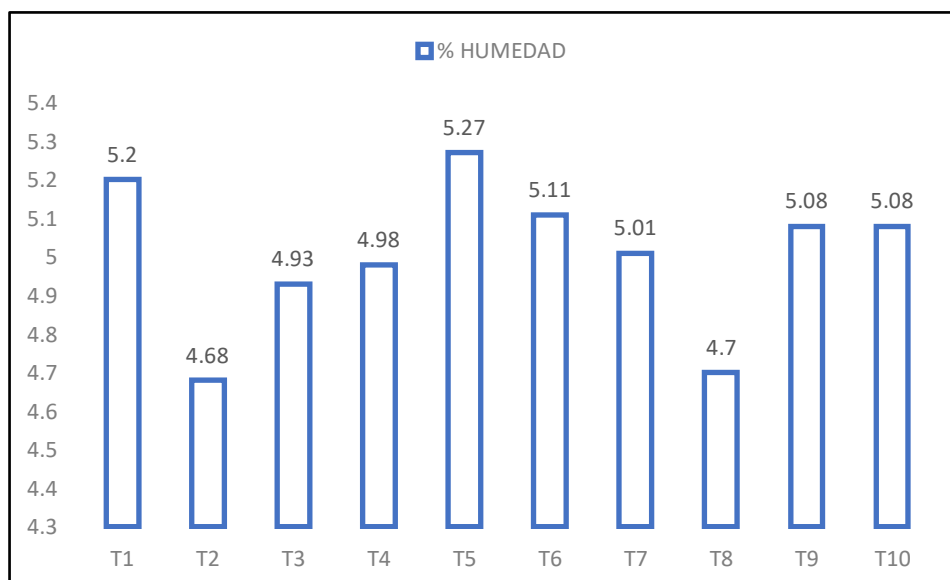


Figura 6. Contenido de humedad del cacao CCN-51 seco

b.3. Acidez, cenizas y pH del cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado

Para la composición proximal del cotiledón del cacao CCN-51 seco, se determinó el porcentaje de acidez, cenizas y pH, utilizando la metodología AOAC (2005). Además, se usaron los tratamientos con parámetros establecidos según la matriz de diseño para un diseño compuesto central rotatable (P=2) de fermentado y secado. Los resultados del análisis se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22: Composición proximal del cotiledón del cacao CCN-51 secado

Tratamiento	Acidez (% ácido cítrico)	% Cenizas	pH
T ₁	0.041 ±0.003 d	2.781 ±0.086 cd	5.20 ±0.02 b
T ₂	0.078 ±0.001 a	2.885 ±0.030 b	4.68 ±0.02 f
T ₃	0.063 ±0.001 bc	2.674 ±0.021 e	4.93 ±0.02 e
T ₄	0.061 ±0.003 cd	2.592 ±0.033 e	4.98 ±0.02 d
T ₅	0.068 ±0.002 ab	3.286 ±0.033 a	5.27 ±0.02 a
T ₆	0.055 ±0.002 c	2.598 ±0.012 e	5.11 ±0.02 c
T ₇	0.080 ±0.012 a	2.693 ±0.010 de	5.01 ±0.02 d
T ₈	0.079 ±0.001 a	2.817 ±0.046 bc	4.70 ±0.02 f
T ₉	0.063 ±0.003 bc	2.846 ±0.025 bc	5.08 ±0.02 c
T ₁₀	0.063 ±0.003 bc	2.846 ±0.025 bc	5.08 ±0.02 c

Los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes, LSD de Fisher ($p < 0.05$).

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para el porcentaje de acidez, aportó las evidencias estadísticas de un valor $p = 8.97e-09$ mostrado en el Anexo 1 (Tabla 32), el cual es menor que $p < 0.05$; existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del porcentaje de acidez entre un nivel de tratamiento y otro, con un nivel del 95.0 por ciento de confianza. La prueba de LSD de Fisher, mostrado en Anexo 1 (Tabla 33), evidencia la no existencia de las diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma letra en una columna. La prueba de LSD de Fisher presenta evidencias estadísticas de una clasificación por grupos, el tratamiento 7 se encuentra en el grupo «a» con un mayor contenido de acidez presentando una media de 0.080 por ciento, mientras que en el segundo lugar se encuentra tratamiento 8 correspondiente al grupo «a» con una media de 0.079 por ciento; y en la última posición se encuentra el tratamiento 1 del grupo «d» con una media de 0.041 por ciento, lo que indica que es el menor contenido de acidez en los tratamientos mostrado en la Tabla 22.

La Tabla 22 y la Figura 7, se muestra resultados del contenido de acidez titulable en ácido cítrico del cotiledón del cacao CCN-51 seco con resultados entre 0.041 y 0.080 por ciento, este último porcentaje corresponde al tratamiento 7 (6.5 días de fermentado y a una temperatura de 36 °C de secado), de la misma manera se encontraron resultados similares

por Vilches (2016) en el contenido de acidez titulable en ácido cítrico 0.099 por ciento con tratamientos de 7 días de fermentado y con el secado a exposición solar, Del Águila (2017), con valores de 0.86 por ciento en ácido acético en condiciones tratamientos tradicionales. Estos resultados son diferentes debido a la disminución de los ácidos volátiles es favorecida cuando el secado se desarrolla lentamente (Nogales *et al.*, 2006). García (2007), menciona que cuando el secado se desarrolla a temperaturas cercanas a 60 °C, el grano retiene altos contenidos de ácido acético, cítrico, propanoico, isobutírico e isovalérico.

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para el porcentaje de cenizas, aportó las evidencias estadísticas de un valor $p= 7.45e-14$ mostrado en el Anexo 1 (Tabla 34), el cual es menor que $p<0.05$; existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Cenizas entre un nivel de tratamiento y otro, con un nivel del 95.0 por ciento de confianza. La prueba de LSD de Fisher, mostrado en Anexo 1 (Tabla 35), evidencia la no existencia de las diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma letra en una columna. La prueba de LSD de Fisher presenta evidencias estadísticas de una clasificación por grupos, el tratamiento 5 se encuentra en el grupo «a» con un mayor contenido de cenizas presentando una media de 3.286 por ciento, mientras que en el segundo lugar se encuentra tratamiento 2 del grupo «b» con una media de 2.885 por ciento; y en la última posición se encuentra el tratamiento 4 del grupo «e» con una media de 2.591 por ciento, con un menor contenido de cenizas en los tratamientos mostrado en la Tabla 22.

En la Tabla 22 y la Figura 7, el contenido de porcentaje de cenizas del cotiledón del cacao CCN-51 seco, los resultados obtenidos oscila entre 2.592 y 2.885 por ciento, correspondiente al tratamiento 2 (5 días de fermentado a una temperatura de 60 °C de secado), presenta mayor contenido de cenizas, Del Águila (2017), reportó el contenido de cenizas superiores a los valores obtenidos de 3.71 a 4.65 por ciento, de la misma manera informo Vilchez (2016), la cantidad de 3.3 por ciento, ambos autores utilizaron tratamientos con parámetros tradicionales; es decir; con 7 días de fermentado y secado a exposición solar. Mientras que Álvarez *et al.* (2010), reportaron resultados entre 2.83 y 3.34 por ciento, con un tratamiento de 5 días de fermentado y con un secado durante 5 días, resultados que, si oscilan dentro los valores obtenidos en esta investigación.

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para el porcentaje de pH, aportó las evidencias estadísticas de un valor $p= 2e-16$ mostrado en el Anexo 1 (Tabla 36), el cual es menor que $p<0.05$; existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del pH entre un nivel de Tratamiento y otro, con un nivel del 95.0 por ciento de confianza. La prueba de LSD de Fisher, mostrado en Anexo 1 (Tabla 37), evidencia la no existencia de las diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma letra en una columna. La prueba de LSD de Fisher presenta evidencias estadísticas de una clasificación por grupos, el tratamiento 5 se encuentra en el grupo «a» con un mayor pH presentando una media de 5.27, mientras que en el segundo lugar se encuentra tratamiento 1 del grupo «b» con una media de 5.20; y en la última posición se encuentra el tratamiento 2 del grupo «f» con una media de 4.68 con un menor pH en los tratamientos mostrado en la Tabla 22.

El pH obtenidos de los diferentes tratamientos se observa en la Tabla 22 y la Figura 7, tiene como valor máximo al tratamiento 5 (4 días de fermentado y a una temperatura de secado a 50 °C) con un pH de 5.27 y al tratamiento 2 (5 días de fermentado a una temperatura de 60 °C de secado) con un pH 4.68 que representa el resultado menor. Estos resultados fueron comparados con los reportados por Vilches (2016), quien determino un pH de 4.77, resultado que no difiere del reportado en esta investigación. Estos los resultados de pH son mayores a 4.5 lo que concluye que la calidad del grano no disminuya, como mencionan Portillo *et al.* (2012), que los valores de pH inferiores a 4.5 en los cotiledones disminuyen el potencial aromático en el cacao.

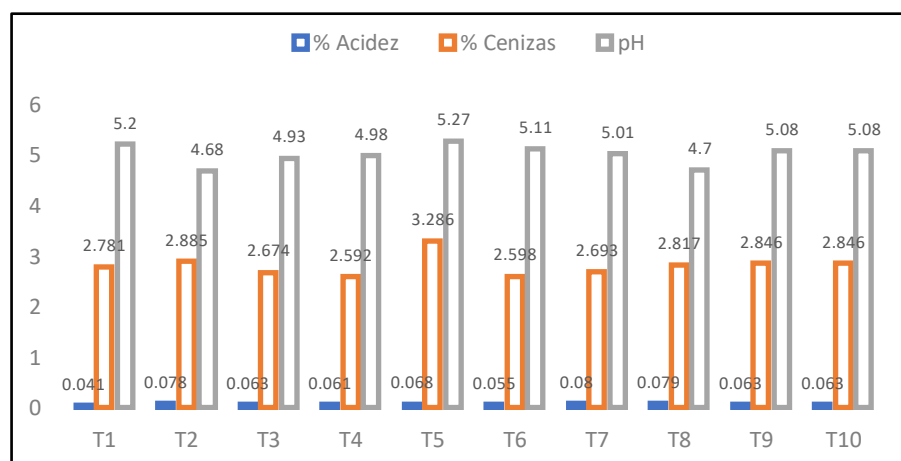


Figura 7. Contenido de % de acidez, % de cenizas y pH del cotiledón del cacao CCN-51 seco

4.3.2. Para la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado

a. Concentración de cadmio en la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado

La determinación del cadmio de la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado se realizó de acuerdo al método (AOAC 999.11 2005). Además, se usaron los tratamientos con parámetros establecidos según la matriz de diseño para un diseño compuesto (P=3) de fermentado y secado. Resultados que se muestran en la Tabla 23.

Tabla 23: *Media y desviación estándar de análisis de la concentración del Cd en la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado*

Tratamiento	Cadmio (mg/Kg)
T ₁	0.6815 ±0.0198 cd
T ₂	0.7378 ±0.0366 c
T ₃	2.0485 ±0.0382 a
T ₄	0.6160 ±0.0171 de
T ₅	0.8817 ±0.0305 b
T ₆	0.6378 ±0.0348 de
T ₇	0.7300 ±0.0088 c
T ₈	0.6177 ±0.0350 de
T ₉	0.5713 ±0.0064 e
T ₁₀	0.5723 ±0.0006 e
T ₁₁	0.5733 ±0.0038 e

Los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes, LSD de Fisher ($p < 0.05$).

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para la concentración de cadmio (Cd), aportó las evidencias estadísticas de un valor $p = 2e-16$ mostrado en el Anexo 1 (Tabla 72), el cual es menor que $p < 0.05$; existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de las concentraciones de Cd entre un nivel de tratamiento y otro, con un nivel del 95.0 por ciento de confianza. La prueba de LSD de Fisher, mostrado en Anexo 1 (Tabla 73), evidencia la no existencia de las diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma letra en una columna. La prueba de LSD de Fisher presenta evidencias estadísticas de una clasificación por grupos, el tratamiento 3 se encuentra en el grupo «a» con una mayor concentración de Cd presentando una media

de 2.0485 mg/Kg, mientras que en el segundo lugar se encuentra tratamiento 5 del grupo «b» con una media de 0.8817 mg/Kg; y en la última posición se encuentra el tratamiento 9 del grupo «e» con una media de 0.5713 mg/Kg, con una menor concentración de Cd en los tratamientos mostrado en la Tabla 23.

Los resultados obtenidos según la Tabla 23, muestran resultados de concentración de cadmio en la cascarilla de cacao CCN-51 seco entre 0.5713 y 2.0485 mg/Kg, correspondiente a los tratamientos 9 y 3 respectivamente, estos resultados son comparados con los reportado por Batallas *et al.* (2021), con un promedio de concentración de Cd 2.61 mg/Kg. Pero Santander *et al.* (2021), reportaron resultados inferiores que oscilan entre 0.012 y 0.056 mg/Kg.

Según el anexo 1 (Tabla 79) el estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 58.19 por ciento de la variabilidad en la concentración de cadmio en la cascarilla del cacao CCN-51 Seco, Puesto que el valor-P =0.3628; es mayor que 5.0 por ciento, lo que indica la existencia de una relación estadísticamente no significativa entre la concentración de cadmio y las variables de tiempo de fermentado y temperatura de secado, con un nivel de significancia del 5.0 por ciento.

En la Figura 8, se observa la relación de la concentración de cadmio frente a los días de fermentado y las temperaturas de secado; mediante la gráfica y contorno de superficie de respuesta se observa que; la relación de la concentración de cadmio y los días de fermentado en la cascarilla del cacao CCN-51 seco, a medida del tiempo tiene una disminución leve de reducción de la concentración de cadmio, pero ya en el transcurso de los días finales de fermentado la concentración de cadmio aumenta considerablemente. En cuanto a la temperatura de secado la relación con la concentración de cadmio, se presenta la reducción de la concentración de cadmio a una temperatura mayor.

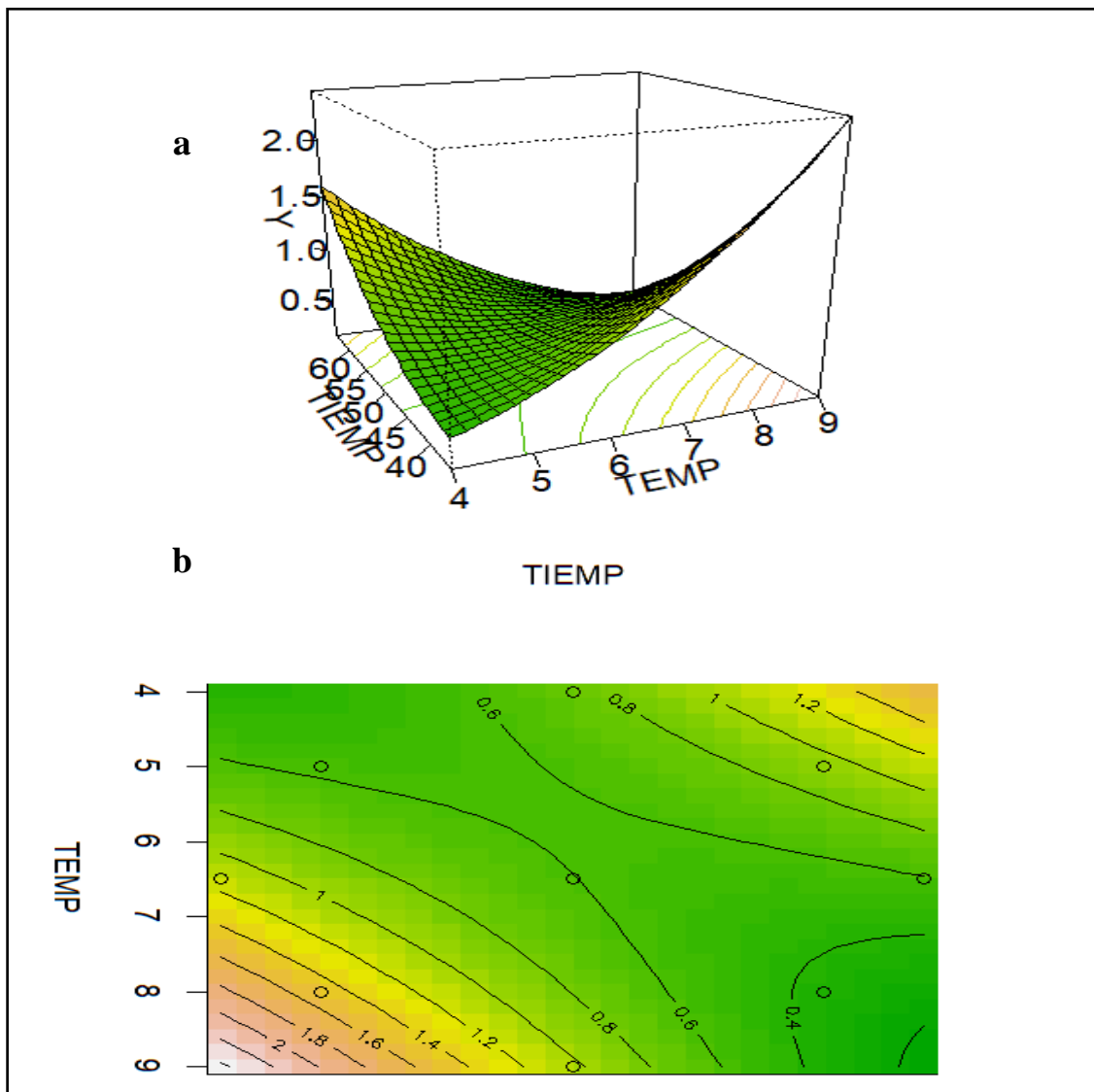


Figura 8. a. Gráficas de la superficie de respuesta. b. Contorno de la superficie de respuesta de análisis de la concentración de Cd en la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado

En la Figura 9, se observa que el efecto de tiempos de fermentado sobre el sistema no es lineal, en el rango estudiado se observa con respecto al valor de la concentración de cadmio en la cascarilla del cacao CCN-51 seco de la variable inicial disminuye hasta una concentración de cadmio 0.5856 mg/Kg en el día 6 de fermentación; luego de esto la concentración de cadmio tiende a incrementar hasta superar al valor inicial. Este fenómeno sucede debido a que la concentración de cadmio es influenciada a los factores de la contaminación cruzada como menciona Portillo *et al*, (2007), y es similar al comportamiento de tiempos de fermentado en el cotiledón del cacao CCN-51 seco.

En la Figura 9, el efecto de la temperatura de secado sobre el sistema no es lineal. En el rango estudiado se observa que a incremento de la temperatura de secado la concentración

de cadmio tiende a disminuir hasta una concentración de 0.5330 mg/Kg a una temperatura de 55 °C a partir de ello tiende a tener a incrementar de manera leve; frente a ello se concluye que la temperatura de secado no influye en la concentración de cadmio en la cascarilla del cacao CCN-51 seco según la Tabla 79.

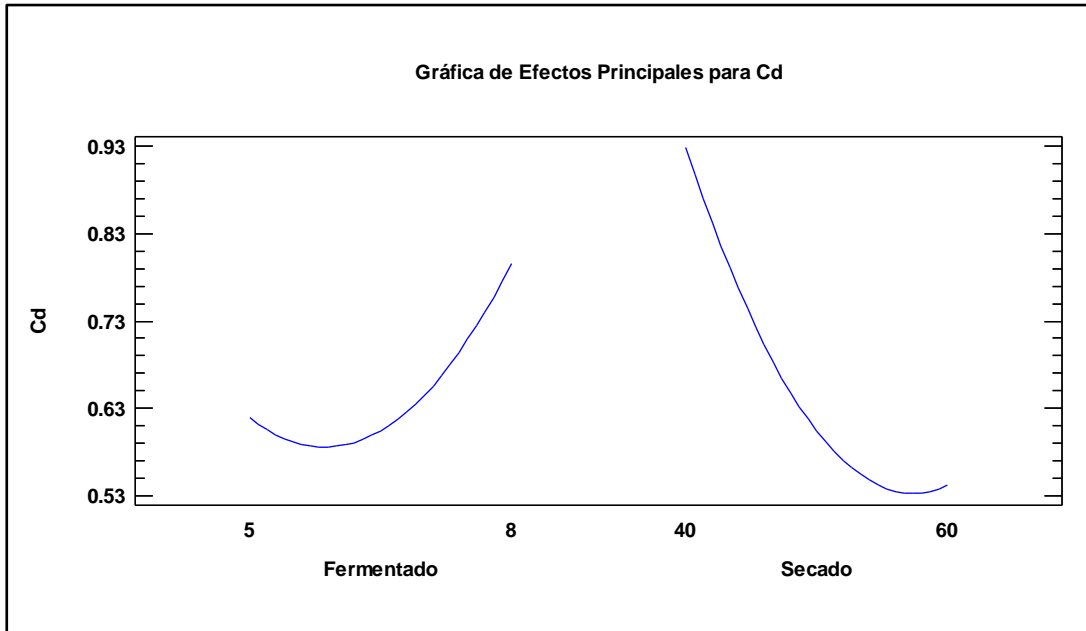


Figura 9. Grafica de efectos principales de los análisis de la concentración del Cd en la cascarilla del cacao CCN-51 seco

b. Composición física de la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado

b.1. Acidez, cenizas y pH de la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado

Para la composición proximal de la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado, se determinó el porcentaje de acidez, cenizas y pH, utilizando la metodología AOAC (2005). Además, se usaron los tratamientos con parámetros establecidos según la matriz de diseño para un diseño compuesto central rotatable ($P=2$) de fermentado y secado. Los resultados del análisis se muestran en la Tabla 24.

Tabla 24: Composición proximal de la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado

Tratamiento	Acidez (% ácido cítrico)	% Cenizas	pH
T ₁	0.081 ±0.007 ab	8.866 ±0.097 b	5.63 ±0.06 d
T ₂	0.089 ±0.005 a	8.321 ±0.192 c	5.27 ±0.04 e
T ₃	0.038 ±0.004 de	9.495 ±0.152 a	6.73 ±0.06 a
T ₄	0.079 ±0.009 ab	9.385 ±0.073 a	5.82 ±0.04 bc
T ₅	0.049 ±0.003 d	7.216 ±0.149 d	5.87 ±0.03 bc
T ₆	0.078 ±0.003 ab	9.205 ±0.170 ab	5.66 ±0.05 d
T ₇	0.037 ±0.004 e	9.537 ±0.094 a	6.73 ±0.04 a
T ₈	0.075 ±0.001 b	9.424 ±0.059 a	5.78 ±0.02 c
T ₉	0.062 ±0.001 c	9.336 ±0.196 a	5.93 ±0.06 b
T ₁₀	0.062 ±0.001 c	9.336 ±0.196 a	5.93 ±0.06 b

Los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes, LSD de Fisher ($p < 0.05$).

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para el porcentaje de acidez, aportó las evidencias estadísticas de un valor $p = 2.45e-11$ mostrado en el Anexo 1 (Tabla 38), el cual es menor que $p < 0.05$; existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la Acidez entre un nivel de tratamiento y otro, con un nivel del 95.0 por ciento de confianza. La prueba de LSD de Fisher, mostrado en Anexo 1 (Tabla 39), evidencia la no existencia de las diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma letra en una columna. La prueba de LSD de Fisher presenta evidencias estadísticas de una clasificación por grupos, el tratamiento 2 se encuentra en el grupo «a» con un mayor contenido de acidez presentando una media de 0.089 por ciento, mientras que en el segundo lugar se encuentra tratamiento 1 del grupo «ab» con una media de 0.081 por ciento; y en la última posición se encuentra el tratamiento 7 del grupo «e» con una media de 0.037 por ciento, con un menor contenido de acidez en los tratamientos mostrado en la Tabla 24.

En la Tabla 24 y la Figura 10, la acidez de la cascarilla del cacao CCN-51 seco, podemos mencionar que los resultados oscilan entre 0.037 y 0.089 por ciento de acidez titulables en ácido cítrico, estos resultados corresponden a los tratamientos 7 (6.5 días y a 36 °C de

temperatura de secado) y 2 (5 días de fermentado a una temperatura de 60 °C de secado) respectivamente. Los reportes de autores como Vivanco *et al.* (2017), reportaron resultados de 0.11 por ciento muestras que fueron tomadas en la provincia de El Oro, Ecuador, resultados inferiores al reportado en esta investigación.

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para el porcentaje de cenizas, aportó las evidencias estadísticas de un valor $p= 2.16e-13$ mostrado en el Anexo 1 (Tabla 40), el cual es menor que $p<0.05$; existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la Cenizas entre un nivel de tratamiento y otro, con un nivel del 95.0 por ciento de confianza. La prueba de LSD de Fisher, mostrado en Anexo 1 (Tabla 41), evidencia la no existencia de las diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma letra en una columna. La prueba de LSD de Fisher presenta evidencias estadísticas de una clasificación por grupos, el tratamiento 7 se encuentra en el grupo «a» con un mayor contenido de cenizas presentando una media de 9.537 por ciento, mientras que en el segundo lugar se encuentra tratamiento 3 del grupo «a» con una media de 9.495 por ciento; y en la última posición se encuentra el tratamiento 5 del grupo «d» con una media de 7.216 por ciento, con un menor contenido de cenizas en los tratamientos mostrado en la Tabla 24.

Tabla 24 y la Figura 10, se observa que los contenidos de cenizas de la cascarilla del cacao CCN-51 seco en la, que los tratamientos 5 (4 días de fermentado y secado una temperatura de 50 °C.) y el tratamiento 7 (6.5 días de fermentado a una temperatura de 36 °C de secado), muestran resultados de 7.216 y 9.537 por ciento respectivamente, dentro de estos resultados están lo reportado por Sangronis *et al.* (2014), reportaron resultados entre 7.51 y 8.09 por ciento y Soto (2012), informo resultado de 7.87 por ciento, estos resultados se encuentran por debajo de los de la investigación. También se encontraron resultados por encima de la investigación como reporta Villamizar y López (2016), con el 11.4 por ciento.

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para el porcentaje de pH, aportó las evidencias estadísticas de un valor $p= 2e-16$ mostrado en el Anexo 1 (Tabla 42), el cual es menor que $p<0.05$; existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del pH entre un nivel de tratamiento y otro, con un nivel del 95.0 por ciento de confianza. La prueba de LSD de Fisher, mostrado en Anexo 1 (Tabla 43), evidencia la no existencia de las diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan

una misma letra en una columna. La prueba de LSD de Fisher presenta evidencias estadísticas de una clasificación por grupos, el tratamiento 3 se encuentra en el grupo «a» con un mayor pH presentando una media de 6.73, mientras que en el segundo lugar se encuentra tratamiento 7 del grupo «a» con una media de 6.73; y en la última posición se encuentra el tratamiento 2 del grupo «e» con una media de 5.27, con un menor pH en los tratamientos mostrado en la Tabla 24.

Los resultados mostrados en la Tabla 24 y la Figura 10, con respecto al pH, se encuentran entre 5.27 y 6.73, correspondiente a los tratamientos 2 (5 días de fermentado a una temperatura de 60 °C de secado) y 7(6.5 días y a 36 °C de temperatura de secado) respectivamente. Estos resultados están de acuerdo a los reportado por Ortiz (2009), que tiene resultados entre 5.75 y 6.16 de pH. También Herrera (2020), tuvo resultado de 5.46 de la misma manera resultados que se encuentran dentro de la investigación.

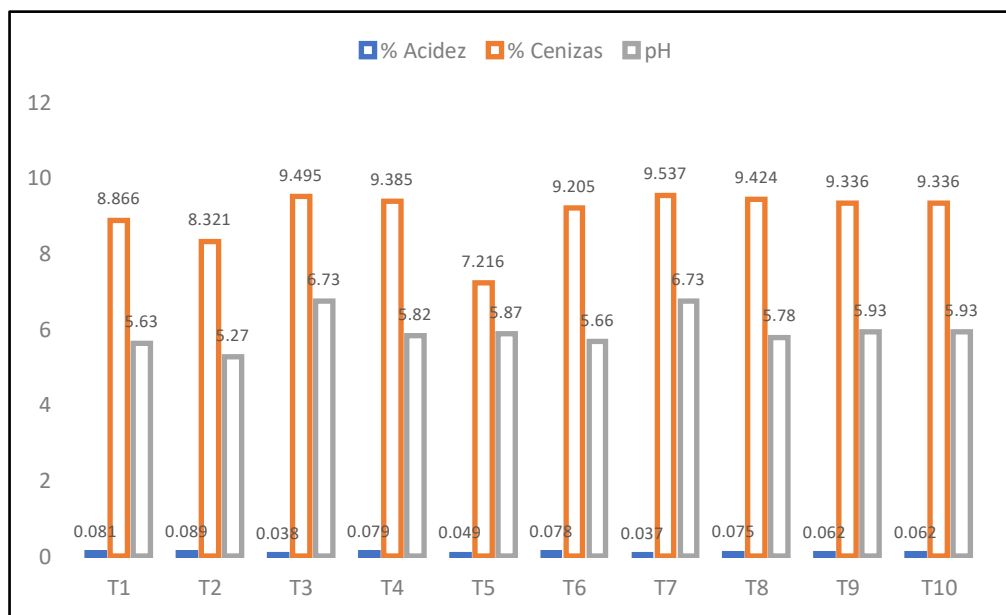


Figura 10. Contenido de % de acidez, % de cenizas y pH de la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado

4.3.3. Curva de secado del cacao CCN-51 secado

Las curvas de secado del cacao CCN-51 se muestran en la Figura 11, donde se observa las mismas; a diferentes temperaturas de secado del cacao CCN-51 establecidos en la investigación.

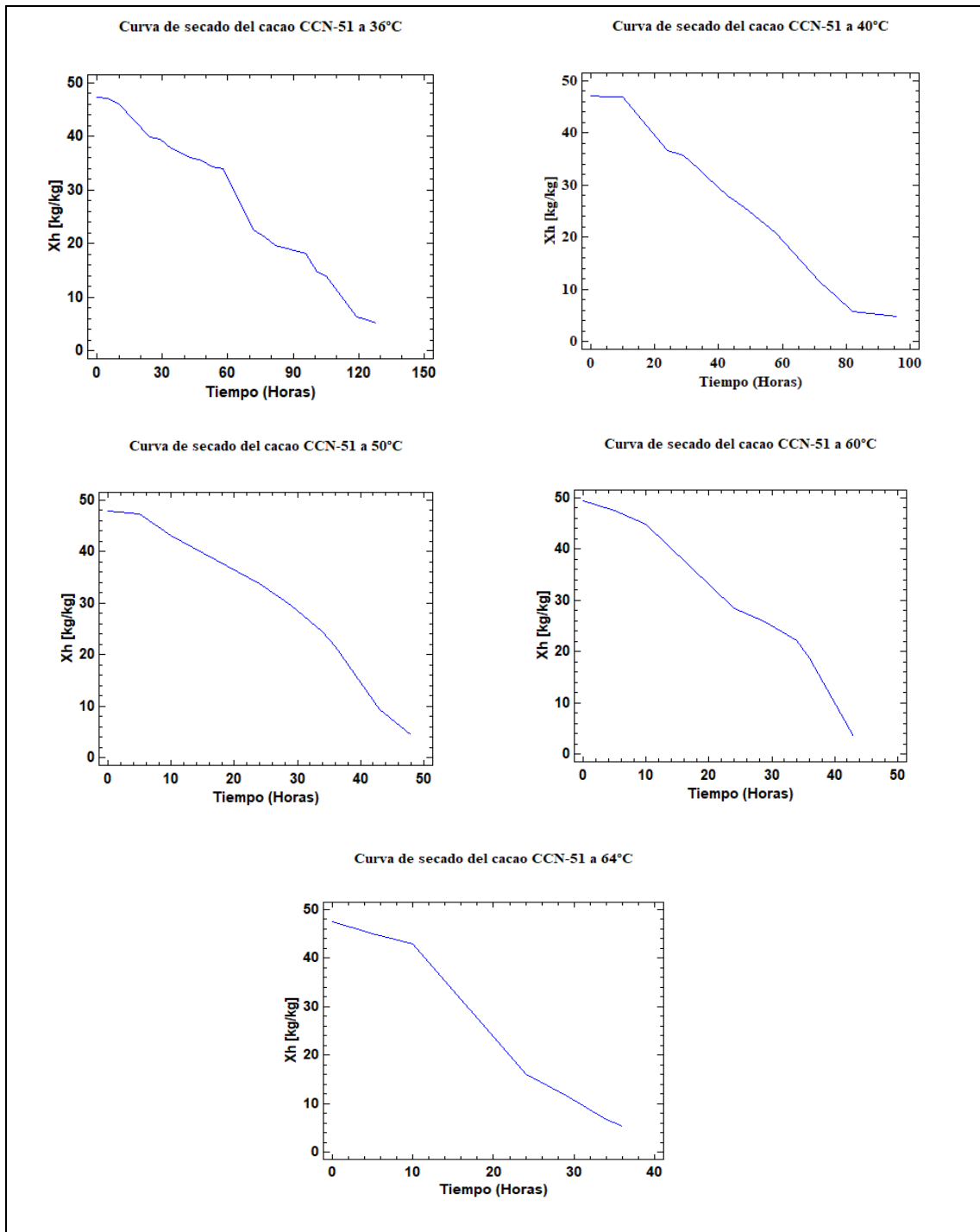


Figura 11. Curva de secado de cacao CCN-51 a temperaturas de secado a 36 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 64 °C

En la Figura 11, se observa que a mayor temperatura de secado menor tiempo de secado. Estos resultados conlleva a un secado en una estufa de secado y esterilización Conterm, analógica, J.P. SELECTA®, donde se puede indicar que a una temperatura de 36 °C el tiempo de secado del cacao CCN-51 es 126 horas, a una temperatura de 40 °C de secado se determinó un aproximado de 96 horas de secado, mientras para una temperatura de 50

°C de secado se reportó 48 horas aproximadamente, para una temperatura de 60 °C se logró secar a 43 horas de secado; y finalmente a una temperatura de 64 °C se determinó el tiempo de 36 horas de secado. En todas las temperaturas de secado se registraron valores inferiores a 7 por ciento de humedad de las muestras de cacao CCN-51, el mismo parámetro que indica que la muestra ya se encuentra en óptimas condiciones de almacenamiento, transporte y comercialización (Ortiz, 2009). En su investigación Villamizar de Borrero y Hernández (1989), realizaron tres experiencias de secado del cacao en capas delgadas, en un túnel secador con las siguientes condiciones de 25 °C de temperatura de secado con 90 horas y 33 °C y 55 °C a un tiempo de 40 horas de secado para ambas temperaturas. A su vez Tinoco y Yomali (2010), reportaron tiempo de secado de 15 horas a una temperatura de 60 °C con una humedad final de 5 por ciento, resultados que fueron desarrollados en un horno de gas con disposición para siete bandejas perforadas de 40x60 cm ubicadas verticalmente.

En otros estudios Parra *et al.* (2012), reportan que el modelo secador cilíndrico rotatorio equicorriente y se considera solamente la cámara de secado con una temperatura de 50 °C se logra una humedad de 12 por ciento con tiempos de secado de 10 horas. Torres y Gonzales (2016), en su investigación determinaron que un secador motorizado con etapas de precalentamiento, se obtiene la extracción de agua favorable en el grano hasta obtener un producto de calidad con 7 por ciento de humedad, y en un tiempo aproximado de 11 horas de secado. También Orna *et al.* (2018), mencionan que una secadora automática para cacao a base de aire caliente tipo rotatorio para una capacidad de 500 Kg logra un secado adecuado del 9 por ciento de humedad en un período de 4 a 5 horas durante el proceso, mejorando así la eficiencia y producción. Y finalmente Naranjo *et al.* (2021), indican que una secadora de cacao rotatorio con calentamiento longitudinal, con capacidad de 4.5 Kg funciona con una potencia calorífica influenciada por GLP, con un motor de 0.5 HP y a una relación de transmisión de 50 rpm en el tanque rotatorio, conducida por una banda trapezoidal tipo A #29, con un tiempo de exposición al calor recomendado es de 40 a 45 minutos en una temperatura de 80 °C a 70 °C, alcanzando estándares de humedad requerido en un valor de 8 a 6 por ciento. Los mencionados resultados de los autores citados acerca del tiempo de secado son inferiores a los reportados en esta investigación; esto debido a que el secado artificial realizado en una estufa Conterm, analógica, J.P. SELECTA®, la misma que no cuenta con elementos o características a los secadores utilizados por los investigadores mencionados. Es decir,

otros tipos de secadores como el de túnel, que se beneficia al manejar el espacio al utilizar bandejas en serie como otras ventajas más FAO (2006).

4.4. CONCENTRACIÓN DE CADMIO Y COMPOSICIÓN FÍSICA DEL CACAO CCN-51 TOSTADO

4.4.1. Para el cotiledón del cacao CCN-51 tostado

a. Concentración de cadmio en el cotiledón del cacao CCN-51 tostado

La determinación del cadmio en el cotiledón del cacao CCN-51 tostado, se realizó de acuerdo al método (AOAC 999.11 2005). Además, se usaron los tratamientos con parámetros establecidos según la matriz de diseño para un diseño compuesto (P=3) de tostado. Resultados que se muestran en la Tabla 25.

Tabla 25: *Media y desviación estándar de análisis de la concentración de Cd en el cotiledón del cacao CCN-51 tostado*

Tratamiento	Cadmio (mg/Kg)
T ₁	0.0381 ±0.0021 e
T ₂	0.8000 ±0.0650 a
T ₃	0.7478 ±0.0146 a
T ₄	0.2022 ±0.0064 d
T ₅	0.3442 ±0.0090 b
T ₆	0.2545 ±0.0264 cd
T ₇	0.2547 ±0.0076 cd
T ₈	0.3287 ±0.0140 b
T ₉	0.2880 ±0.0060 bc
T ₁₀	0.2890 ±0.0020 bc
T ₁₁	0.2900 ±0.0020 bc

Los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes, LSD de Fisher ($p < 0.05$).

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para la concentración de cadmio (Cd), aportó las evidencias estadísticas de un valor $p = 2e-16$ mostrado en el Anexo 1 (Tabla 74), el cual es menor que $p < 0.05$; existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de las concentraciones de Cd entre un nivel de tratamiento y otro, con un nivel del

95.0 por ciento de confianza. La prueba de LSD de Fisher, mostrado en Anexo 1 (Tabla 75), evidencia la no existencia de las diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma letra en una columna. La prueba de LSD de Fisher presenta evidencias estadísticas de una clasificación por grupos, el tratamiento 2 se encuentra en el grupo «a» con una mayor concentración de Cd presentando una media de 0.8000 mg/Kg, mientras que en el segundo lugar se encuentra tratamiento 3 del grupo «a» con una media de 0.7478 mg/Kg; y en la última posición se encuentra el tratamiento 1 del grupo «e» con una media de 0.0381 mg/Kg, con una menor concentración de Cd en los tratamientos mostrado en la Tabla 25.

Los resultados determinados en la Tabla 25 de la concentración de cadmio en el cotiledón del cacao CCN-51 tostado, se puede observar que los tratamientos 2 con parámetros de tostado de 40 minutos a una temperatura de 120 °C y 1 con parámetros de tostado de 30 minutos a una temperatura de 120 °C presentan resultados de 0.8000 y 0.0381 mg/Kg respectivamente, estos resultados son comparados respecto al licor de cacao obtenido por Santander *et al.* (2021), a partir de los granos fermentados y secos de cacao de las 05 localidades y 02 provincias de la región San Martín, encontraron niveles mínimos de cadmio de 0.089 mg/Kg y máximos de 0.210 mg/Kg. Por otra parte, Del Águila (2017), reportó niveles bajos de concentración de cadmio en su investigación, estos resultados son en la marca Oro 0.11 mg/Kg, al igual que Sol de oro de la COOPAIN 0.10 mg/Kg seguido a Chocolate Pangoa de CAC Pangoa 0.04 mg/Kg.

Según el anexo 1 (Tabla 80) el estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 89.50 por ciento de la variabilidad en la concentración de cadmio en el cotiledón del cacao CCN-51 Tostado, Puesto que el valor-P =0.01728; es menor que 5.0 por ciento, lo que indica la existencia de una relación estadísticamente significativa entre la concentración de cadmio y las variables del tostado (temperatura y tiempo), con un nivel de significancia del 5.0 por ciento.

En la Figura 12, se observa la relación de la concentración de cadmio frente las variables del tostado (temperatura y tiempo); mediante la gráfica y contorno de superficie de respuesta se observa que; la relación de la concentración de cadmio y las temperaturas de tostado en el cotiledón del cacao CCN-51 tostado, son inversamente proporcional, hasta llegar a una temperatura de 125 °C, luego de esto opta por ascender la concentración de

cadmio. Mientras que el tiempo de tostado la relación con la concentración de cadmio, presenta la incrementación de la concentración de cadmio a un tiempo mayor.

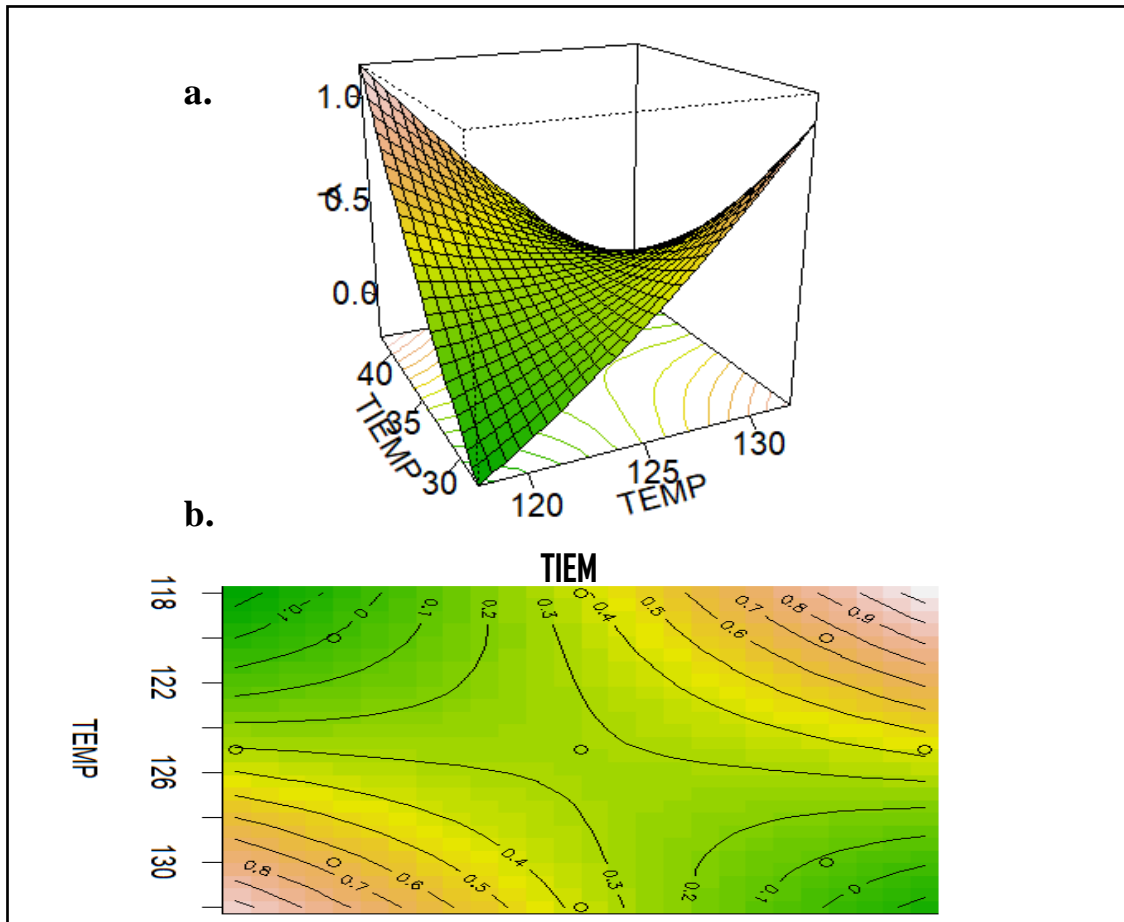


Figura 12. a. Gráficas de la superficie de respuesta. b. Contorno de la superficie de respuesta de análisis de contenido de Cd en el cotiledón del cacao CCN-51 tostado

En la Figura 13, se observa que el efecto de temperatura de tostado sobre el sistema no es lineal, en el rango estudiado se observa con respecto al valor de la concentración de cadmio en el cotiledón del cacao CCN-51 tostado de la variable inicial disminuye hasta una concentración de cadmio de 0.2869 mg/Kg a una temperatura de tostado de 124 °C; luego de esto la concentración de cadmio tiende a incrementar hasta valores aproximados a la inicial. Con este comportamiento del cadmio frente a la temperatura de tostado, se concluye según la Tabla 80 y diagrama de efectos de la Figura 13; que la temperatura de tostado no influye en la concentración de cadmio en el cotiledón del cacao CCN-51 tostado.

En la Figura 13, el efecto del tiempo de tostado sobre el sistema no es lineal. En el rango estudiado se observa inicialmente que un aumento en el valor de esta variable produce una mayor concentración de cadmio. Esta influencia es debido a la contaminación cruzada

según Portillo *et al.* (2007), y la Tabla 80, lo que genera que la concentración de cadmio en el cotiledón del cacao CCN-51 tostado se incremente a disposición del tiempo.

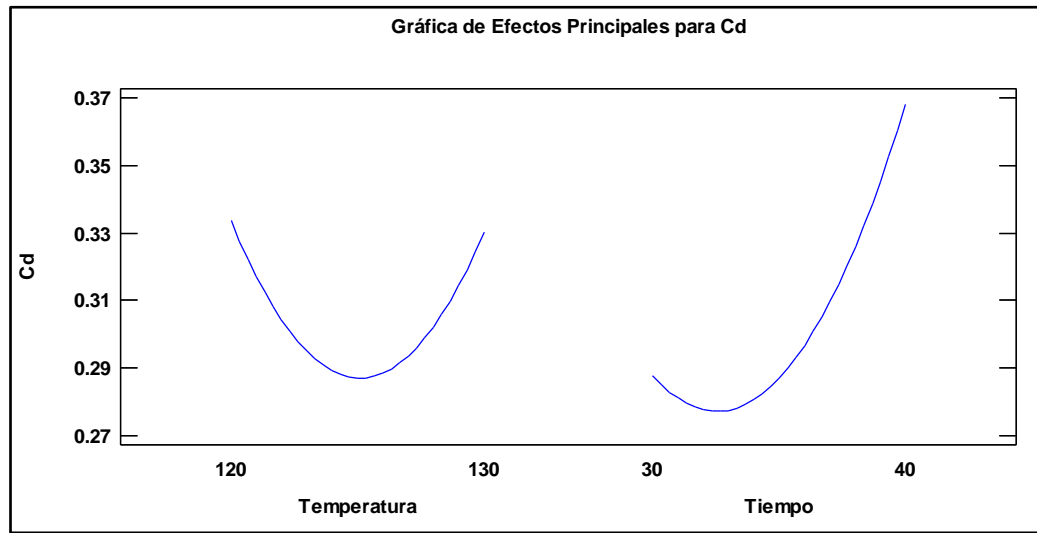


Figura 13. Grafica de efectos principales de los análisis de la concentración del Cd en el cotiledón del cacao CCN-51 tostado

b. Composición física del cotiledón del cacao CCN-51 tostado

b.1. Acidez, cenizas y pH del cotiledón del cacao CCN-51 tostado

Para la composición física del cotiledón del cacao CCN-51 tostado, se determinó el porcentaje de acidez, cenizas y pH, utilizando la metodología AOAC (2005). Además, se usaron los tratamientos con parámetros establecidos según la matriz de diseño para un diseño compuesto (P=2) de tostado. Los resultados del análisis se muestran en la Tabla 26.

Tabla 26: Composición proximal del cotiledón del cacao CCN-51 tostado

Tratamiento	Acidez (% ácido cítrico)	% Cenizas	pH
T ₁	0.093 ±0.010 c	2.690 ±0.050 e	4.40 ±0.02 b
T ₂	0.108 ±0.004 a	2.871 ±0.038 cd	4.31 ±0.02 c
T ₃	0.094 ±0.005 bc	2.961 ±0.024 bc	4.40 ±0.02 b
T ₄	0.088 ±0.004 cd	2.767 ±0.016 de	4.37 ±0.01 b
T ₅	0.079 ±0.003 d	2.973 ±0.026 bc	4.50 ±0.03 a
T ₆	0.084 ±0.003 cd	3.258 ±0.018 a	4.40 ±0.01 b
T ₇	0.107 ±0.001 ab	2.816 ±0.046 d	4.38 ±0.02 b

<<Continuación>>			
T ₈	0.092 ±0.003 cd	3.061 ±0.053 b	4.30 ±0.03 c
T ₉	0.092 ±0.003 cd	2.942 ±0.056 c	4.26 ±0.02 c
T ₁₀	0.092 ±0.003 cd	2.942 ±0.056 c	4.27 ±0.02 c

Los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes, LSD de Fisher ($p < 0.05$).

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para el porcentaje de acidez, aportó las evidencias estadísticas de un valor $p = 2.81e-06$ mostrado en el Anexo 1 (Tabla 48), el cual es menor que $p < 0.05$; existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Acidez entre un nivel de tratamiento y otro, con un nivel del 95.0 por ciento de confianza. La prueba de LSD de Fisher, mostrado en Anexo 1 (Tabla 49), evidencia la no existencia de las diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma letra en una columna. La prueba de LSD de Fisher presenta evidencias estadísticas de una clasificación por grupos, el tratamiento 2 se encuentra en el grupo «a» con un mayor contenido de acidez presentando una media de 0.108 por ciento, mientras que en el segundo lugar se encuentra tratamiento 7 del grupo «ab» con una media de 0.107 por ciento; y en la última posición se encuentra el tratamiento 5 del grupo «d» con una media de 0.079 por ciento, con un menor contenido de acidez en los tratamientos mostrado en la Tabla 26.

En la Tabla 26 y la Figura 14, se observa que los tratamientos que presentan el mayor y menor contenido de acidez titulable en ácido cítrico son el 2 (tostado a 40 minutos y a una temperatura de 120 °C) y 5 (tostado a 35 minutos y a una temperatura de 118 °C), con resultados de 0.108 y 0.079 respectivamente. Estos resultados son inferiores a los obtenidos en la investigación por los resultados de Del Águila (2017), que mostraron fue de 1.68 y 0.98 de acidez titulable. De la misma manera Lares *et al.* (2012), determinaron la acidez titulable en su trabajo de investigación 1.13 a 1.22 por ciento con parámetros de tostado de 20 minutos a una temperatura de 120 °C.

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para el porcentaje de cenizas, aportó las evidencias estadísticas de un valor $p = 2.64e-11$ mostrado en el Anexo 1 (Tabla 50), el cual es menor que $p < 0.05$: existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del porcentaje de cenizas entre un nivel de tratamiento y otro, con un nivel del 95.0

por ciento de confianza. La prueba de LSD de Fisher, mostrado en Anexo 1 (Tabla 51), evidencia la no existencia de las diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma letra en una columna. La prueba de LSD de Fisher presenta evidencias estadísticas de una clasificación por grupos, el tratamiento 6 se encuentra en el grupo «a» con un mayor contenido de cenizas presentando una media de 3.258 por ciento, mientras que en el segundo lugar se encuentra tratamiento 8 del grupo «b» con una media de 3.061 por ciento; y en la última posición se encuentra el tratamiento 1 del grupo «e» con una media de 2.690 por ciento, con un menor contenido de cenizas en los tratamientos mostrado en la Tabla 26.

Según la Tabla 26 y la Figura 14, se muestra los porcentaje de cenizas del cacao tostado en el cotiledón con resultados que oscilan entre 3.258 por ciento del tostado a 35 minutos y a una temperatura de 132 °C y 2.690 por ciento del tostado a 30 minutos y a una temperatura de 120 °C, de la misma manera determino Lares (2012), con 3,06 y 2,96 por ciento con parámetros de tostado de 20 minutos a una temperatura de 120 °C, a su vez Álava (2016), reportó 3.05 por ciento con parámetros de tostado de 35 minutos a una temperatura de 115 °C. Por su parte Aldave (2016), con 2,85 por ciento en promedio los mismos que fueron sometidos al tostado con tiempos de 30 y 40 minutos y a temperaturas de 120 y 130 °C, resultados superiores obtuvo Del Águila (2017), con 4.28 y 3.55 por ciento de cenizas.

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para el porcentaje de pH, aportó las evidencias estadísticas de un valor $p= 1.16e-11$ mostrado en el Anexo 1 (Tabla 52), el cual es menor que $p<0.05$; existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del pH entre un nivel de tratamiento y otro, con un nivel del 95.0 por ciento de confianza. La prueba de LSD de Fisher, mostrado en Anexo 1 (Tabla 53), evidencia la no existencia de las diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma letra en una columna. La prueba de LSD de Fisher presenta evidencias estadísticas de una clasificación por grupos, el tratamiento 5 se encuentra en el grupo «a» con un mayor pH presentando una media de 4.50, mientras que en el segundo lugar se encuentra tratamiento 1 del grupo «b» con una media de 4.40; y en la última posición se encuentra el tratamiento 9 del grupo «c» con una media de 4.26 con un menor pH en los tratamientos mostrado en la Tabla 26.

En el pH determinado al cotiledón del cacao CCN-51 tostado se observa resultados en la Tabla 26 y la Figura 14, de 4.26 a 4.40, resultados inferiores a los obtenidos por Lares (2012), con 4.68 a 4.82 de pH.

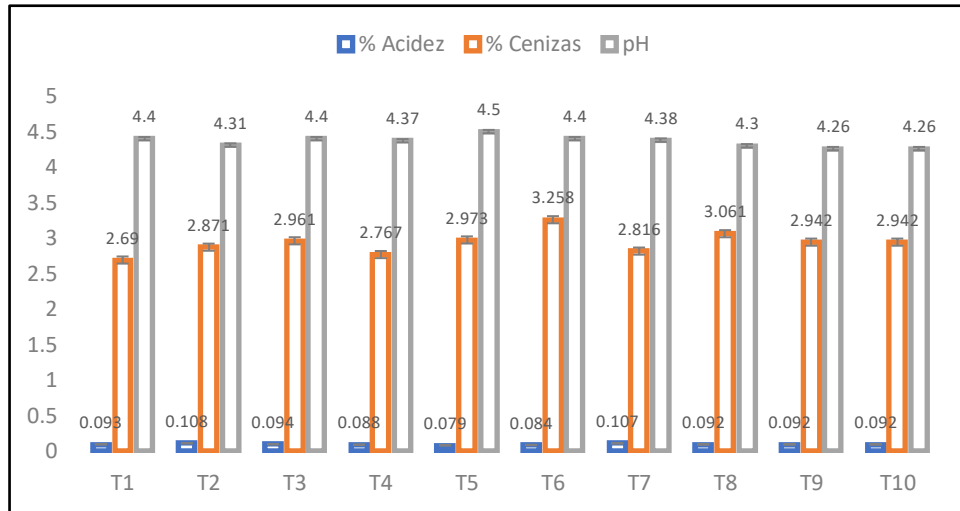


Figura 14. Contenido de % de acidez, % de cenizas y pH del cotiledón del cacao CCN-51 tostado

4.4.2. Para la cascarilla del cacao CCN-51 tostado

a. Concentración de cadmio en la cascarilla del cacao CCN-51 tostado

La determinación del cadmio en la cascarilla del cacao CCN-51 tostado se realizó de acuerdo al método (AOAC 999.11 2005). Además, se usaron los tratamientos con parámetros establecidos según la matriz de diseño para un diseño compuesto (P=3) de tostado. Resultados que se muestran en la Tabla 27.

Tabla 27: Media y desviación estándar de análisis de la concentración de Cd de la cascarilla del cacao CCN-51 tostado

Tratamiento	Cadmio (mg/Kg)
T ₁	0.6837 ±0.0182 c
T ₂	0.5723 ±0.0135 ef
T ₃	0.5980 ±0.0140 de
T ₄	0.6228 ±0.0134 d
T ₅	1.1635 ±0.0084 a
T ₆	0.5063 ±0.0227 g
T ₇	0.7843 ±0.0006 b

<<Continuación>>

T ₈	0.7218 ±0.0339 c
T ₉	0.5537 ±0.0203 f
T ₁₀	0.5547 ±0.0032 f
T ₁₁	0.5520 ±0.0030 f

Los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes, LSD de Fisher ($p < 0.05$).

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para la concentración de cadmio (Cd), aportó las evidencias estadísticas de un valor $p = 2e-16$ mostrado en el Anexo 1 (Tabla 76), el cual es menor que $p < 0.05$; existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de las concentraciones de Cd entre un nivel de tratamiento y otro, con un nivel del 95.0 por ciento de confianza. La prueba de LSD de Fisher, mostrado en Anexo 1 (Tabla 77), evidencia la no existencia de las diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma letra en una columna. La prueba de LSD de Fisher presenta evidencias estadísticas de una clasificación por grupos, el tratamiento 5 se encuentra en el grupo «a» con una mayor concentración de Cd presentando una media de 1.1635 mg/Kg, mientras que en el segundo lugar se encuentra tratamiento 7 del grupo «b» con una media de 0.7843 mg/Kg; y en la última posición se encuentra el tratamiento 6 del grupo «g» con una media de 0.5063 mg/Kg, con una menor concentración de Cd en los tratamientos mostrado en la Tabla 27.

La concentración de cadmio obtenidos en la cascarilla de cacao CCN-51 tostado como se muestran en la Tabla 27, el tratamiento con mayor concentración de cadmio es el tratamiento 5 con parámetros de tostado de 35 minutos a una temperatura de 118 °C con 1.1635 mg/Kg, y la concentración menor está representada por el tratamiento 11 con parámetros de tostado de 35 minutos a una temperatura de 125 °C con 0.5520 mg/Kg. Estos resultados encontrados son similares a los establecido por El Salous y Pascual (2018), quienes reportaron concentraciones de Cd en harina proveniente de las cascarillas del cacao CCN-51 de 0.54 mg/Kg y en harina proveniente de las cascarillas del cacao Nacional Arriba con 1.11 mg/Kg en el Ecuador.

Según el anexo 1 (Tabla 81) el estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 52.19 por ciento de la variabilidad en la concentración de cadmio en la cascarilla

del cacao CCN-51 tostado, puesto que el valor- $P = 0.4628$; es mayor que 5.0 por ciento, lo que indica la existencia de una relación estadísticamente no significativa entre la concentración de cadmio y las variables del tostado (temperatura y tiempo), con un nivel de significancia del 5.0 por ciento.

En la Figura 15, se observa la relación de la concentración de cadmio frente las variables del tostado (temperatura y tiempo); mediante la gráfica y contorno de superficie de respuesta se observa que; la relación de la concentración de cadmio y las temperaturas de tostado en la cascarilla del cacao CCN-51 tostado, se observa que la concentración de cadmio disminuye a mayor temperatura de proceso; mientras la relación de la concentración de cadmio y tiempo de tostado es inversamente proporcional, hasta llegar a un tiempo de 35 minutos de tostado, luego de esto opta por ascender la concentración de cadmio.

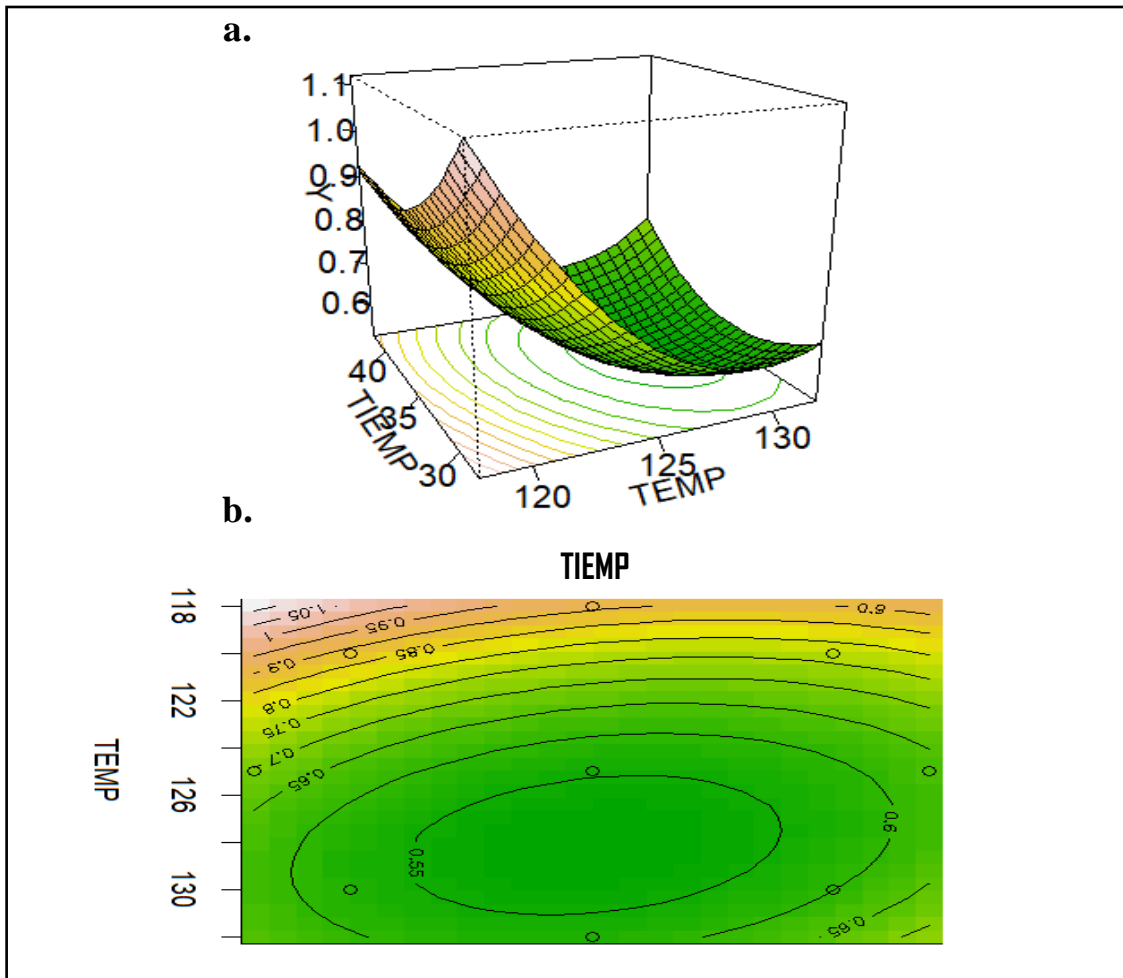


Figura 15. a. Gráficas de la superficie de respuesta. b. Contorno de la superficie de respuesta de análisis de la concentración de Cd en la cascarilla del cacao CCN-51 tostado

En la Figura 16, se observa que el efecto de temperatura de tostado sobre el sistema no es lineal, en el rango estudiado se observa con respecto al valor de la concentración de cadmio en la cascarilla del cacao CCN-51 tostado, a medida que la temperatura de tostado aumenta la concentración de cadmio en la cascarilla del cacao CCN-51 tostado disminuye considerablemente, esto debido a que la muestra al ser sometido a temperatura tiende a desprender partículas de la misma hasta llegar a una concentración de cadmio de 05180 mg/Kg en una temperatura de 128 °C de tostado luego de esto la concentración de cadmio tiende a tener un leve incremento; frente a ello se concluye según la Tabla 81 y la Figura 16; que la temperatura de tostado no influye en la concentración de cadmio en la cascarilla de cacao CCN-51.

En la Figura 16, el efecto del tiempo de tostado sobre el sistema no es lineal. En el rango estudiado se observa inicialmente una disminución en el valor de esta variable, el mismo que tiende a incrementar hasta valores aproximados a la inicial. En tal efecto el tiempo de tostado no influye en la concentración de cadmio en la cascarilla de cacao CCN-51 según la Tabla 81 y Figura 16.

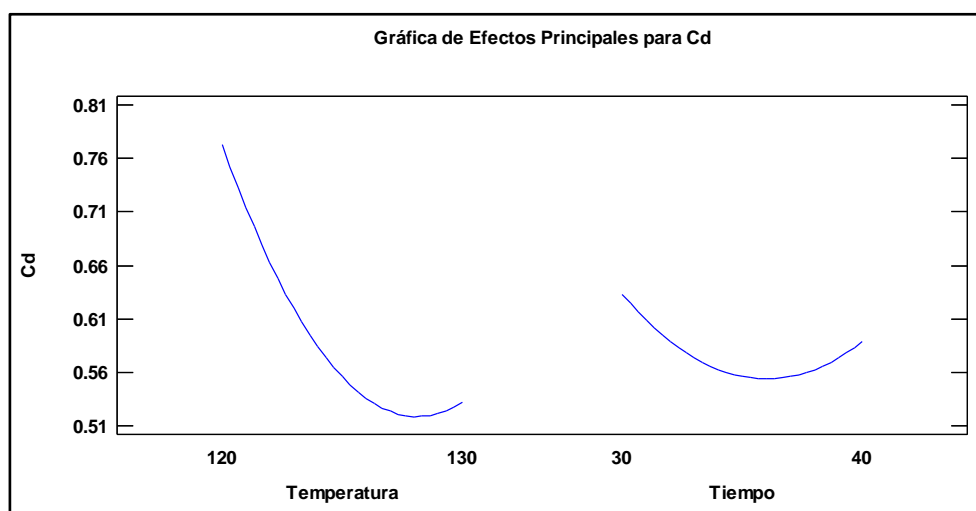


Figura 16. Grafica de efectos principales de los análisis de la concentración del Cd en la cascarilla del cacao CCN-51 tostado

b. Composición física de la cascarilla del cacao CCN-51 tostado

b.1. Acidez, cenizas y pH de la cascarilla del cacao CCN-51 tostado

Para la composición proximal de la cascarilla del cacao CCN-51 tostado, se determinó el porcentaje de acidez, cenizas y pH, utilizando la metodología AOAC (2005). Además, se usaron los tratamientos con parámetros establecidos según la matriz de diseño para un

diseño compuesto (P=2) de tostado. Los resultados del análisis se muestran en la Tabla 28.

Tabla 28: Composición proximal de la cascarilla del cacao CCN-51 Tostado

Tratamiento	Acidez (% ácido cítrico)	% Cenizas	pH
T ₁	0.111 ±0.024 abc	9.970 ±0.140 cd	5.17 ±0.01 cde
T ₂	0.137 ±0.010 a	9.876 ±0.084 d	5.13 ±0.02 e
T ₃	0.130 ±0.007 ab	10.131 ±0.140 cd	5.21 ±0.03 bc
T ₄	0.117 ±0.001 abc	10.338 ±0.132 bc	5.15 ±0.01 de
T ₅	0.108 ±0.004 bc	10.272 ±0.063 bcd	5.23 ±0.01 b
T ₆	0.114 ±0.012 abc	9.921 ±0.334 cd	5.19 ±0.02 bcd
T ₇	0.078 ±0.001 d	10.632 ±0.256 b	5.18 ±0.03 cde
T ₈	0.090 ±0.001 cd	11.537 ±0.113 a	5.15 ±0.01 de
T ₉	0.091 ±0.005 cd	11.300 ±0.042 a	5.30 ±0.00 a
T ₁₀	0.091 ±0.005 cd	11.300 ±0.042 a	5.30 ±0.00 a

Los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes, LSD de Fisher ($p < 0.05$).

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para el porcentaje de acidez, aportó las evidencias estadísticas de un valor $p = 4.14e-06$ mostrado en el Anexo 1 (Tabla 54), el cual es menor que $p < 0.05$; existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Acidez entre un nivel de tratamiento y otro, con un nivel del 95.0 por ciento de confianza. La prueba de LSD de Fisher, mostrado en Anexo 1 (Tabla 55), evidencia la no existencia de las diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma letra en una columna. La prueba de LSD de Fisher presenta evidencias estadísticas de una clasificación por grupos, el tratamiento 2 se encuentra en el grupo «a» con un mayor contenido de acidez presentando una media de 0.137 por ciento, mientras que en el segundo lugar se encuentra tratamiento 3 del grupo «ab» con una media de 0.130 por ciento; y en la última posición se encuentra el tratamiento 7 del grupo «d» con una media de 0.078 por ciento, con un menor contenido de acidez en los tratamientos mostrado en la Tabla 28.

La Tabla 28 y la Figura 17, muestra que los resultados obtenidos de acidez titulable de la cascarilla del cacao CCN-51 tostado, con mayor indicador en el tratamiento 2 (tostado a

40 minutos y a una temperatura de 120 °C) con 0.137 por ciento y el menor le corresponde al tratamiento 7 (tostado a 28 minutos y a una temperatura de 125 °C) con 0.078 por ciento. A estos resultados Vivanco *et al.* (2017), reportaron 0.11 de acidez titulable para cascarillas de cacao recolectados en el Ecuador; pero Garay (2019), reportó resultados superiores a los obtenidos en esta investigación 1.75 por ciento con tratamiento de tostado de la cascarilla a 120°C por 10 minutos; y 1.10 por ciento con el tratamiento de tostado de 140 °C por 10 minutos. Por su parte Tapia (2015), informo resultados por debajo de los de la investigación con 0.01 y 0.02 por ciento con tratamientos del tostado a 140 °C durante una hora una estufa marca GEMMY Modelo YCO.

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para el porcentaje de cenizas, aportó las evidencias estadísticas de un valor $p= 2.09e-11$ mostrado en el Anexo 1 (Tabla 56), el cual es menor que $p<0.05$; existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Cenizas entre un nivel de tratamiento y otro, con un nivel del 95.0 por ciento de confianza. La prueba de LSD de Fisher, mostrado en Anexo 1 (Tabla 57), evidencia la no existencia de las diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma letra en una columna. La prueba de LSD de Fisher presenta evidencias estadísticas de una clasificación por grupos, el tratamiento 8 se encuentra en el grupo «a» con un mayor contenido de cenizas presentando una media de 11.537 por ciento, mientras que en el segundo lugar se encuentra tratamiento 10 del grupo «a» con una media de 11.300 por ciento; y en la última posición se encuentra el tratamiento 2 del grupo «d» con una media de 9.876 por ciento, con un menor contenido de cenizas en los tratamientos mostrado en la Tabla 28.

Para la composición del porcentaje de ceniza, según la Tabla 28 y la Figura 17, podemos mencionar que el tratamiento 8 (tostado a 42 minutos y a una temperatura de 125 °C) muestra resultado de 11.537 y el tratamiento 2 (tostado a 40 minutos y a una temperatura de 120 °C) con un resultado de 9.876 por ciento, resultados que son superiores a los que reportaron Cardona (2012), reportó resultados de 7.90 por ciento de cenizas y Zhong y Nsor-Atindana (2012), con 5.96 obtenido de Jiangsu Linzhi Shanyan Group Co. Ltd.

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para el porcentaje de pH, aportó las evidencias estadísticas de un valor $p= 1.87e-10$ mostrado en el Anexo 1 (Tabla 58), el cual es menor que $p<0.05$; existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del pH entre un nivel de tratamiento y otro, con un nivel del 95.0 por ciento de

confianza. La prueba de LSD de Fisher, mostrado en Anexo 1 (Tabla 59), evidencia la no existencia de las diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma letra en una columna. La prueba de LSD de Fisher presenta evidencias estadísticas de una clasificación por grupos, el tratamiento 10 se encuentra en el grupo «a» con un mayor pH presentando una media de 5.30, mientras que en el segundo lugar se encuentra tratamiento 9 del grupo «a» con una media de 5.30; y en la última posición se encuentra el tratamiento 2 del grupo «e» con una media de 5.13 con un menor pH en los tratamientos mostrado en la Tabla 28.

Con respecto al pH de la cascarilla del cacao tostado se determinaron 5.13 a 5.30, resultados que son superiores a los reportados por Garay (2017), 4.69 a 4.91 con tratamiento de tostado de la cascarilla a 120°C por 10 minutos; y 1.10 por ciento con el tratamiento de tostado de 140 °C por 10 minutos respectivamente.

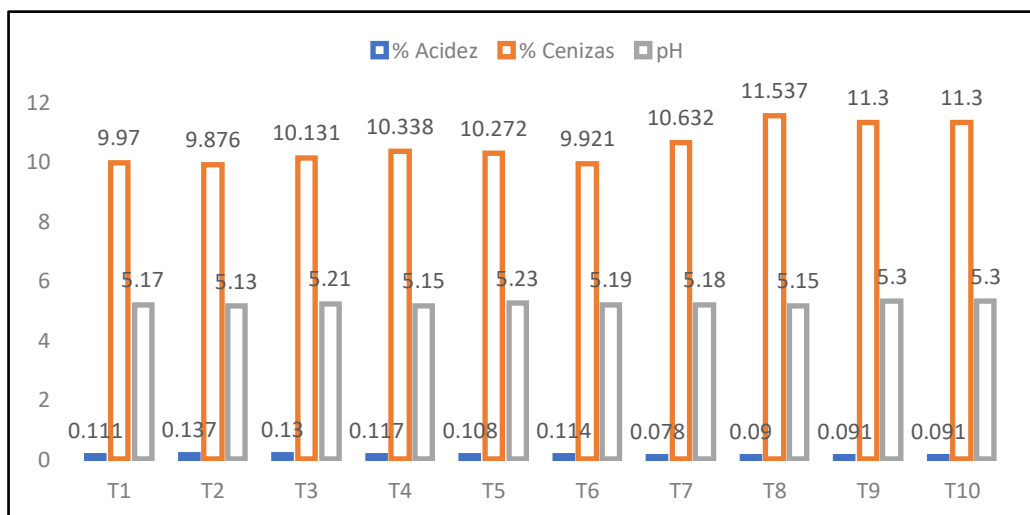


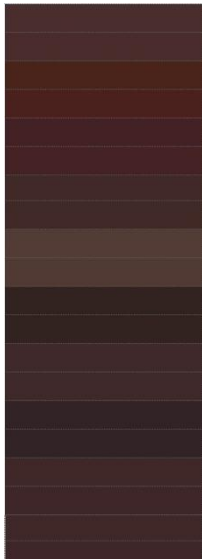
Figura 17. Contenido de % de acidez, % de cenizas y pH de la cascarilla del cacao CCN-51 tostado

4.4.3. Análisis del color en el espacio CIELab del cacao CCN-51 tostado

Para la determinar el color del cacao CCN-51 tostado, El método considerado como más fiable para la reproducción real del color de un objeto iluminado por la luz del día es el sistema CIELab. Además, se usaron los tratamientos con parámetros establecidos según la matriz de diseño para un diseño compuesto (P=2) de tostado. Los resultados del análisis se muestran en la Tabla 29.

a. Análisis de las coordenadas L*, a* y b*

Tabla 29: Coordenadas de los colores del cacao CCN-51 en el espacio CIELab

Tratamiento	Coordenadas de color			Pseudo color
	L*	a*	b*	
T ₁	29.50 ±0.76 ab	8.54 ±2.28	4.31 ±0.20 ab	
T ₂	26.91 ±0.16 bc	10.25 ±2.56	5.69 ±1.69 a	
T ₃	27.53 ±0.25 bc	10.36 ±2.83	5.37 ±1.73 a	
T ₄	26.41 ±0.48 c	10.05 ±2.52	3.41 ±0.06 abc	
T ₅	31.21 ±2.56 a	8.96 ±3.75	5.71 ±1.65 a	
T ₆	25.18 ±0.86 c	5.03 ±0.98	2.59 ±0.10 a	
T ₇	27.79 ±0.98 bc	7.36 ±0.62	3.29 ±1.16 abc	
T ₈	25.27 ±0.74 c	5.55 ±1.58	0.90 ±0.92 c	
T ₉	26.86 ±0.20 bc	6.97 ±1.92	1.93 ±0.36 bc	
T ₁₀	26.86 ±0.20 bc	6.97 ±1.92	1.93 ±0.36 bc	

Los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes, LSD de Fisher ($p < 0.05$).

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para la Luminosidad L*, aportó las evidencias estadísticas de un valor $p = 8.85e-06$ mostrado en el Anexo 1 (Tabla 60), el cual es menor que $p < 0.05$; existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la Luminosidad L* entre un nivel de tratamiento y otro, con un nivel del 95.0 por ciento de confianza. La prueba de LSD de Fisher, mostrado en Anexo 1 (Tabla 61), evidencia la no existencia de las diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma letra en una columna. La prueba de LSD de Fisher presenta evidencias estadísticas de una clasificación por grupos, el tratamiento 5 se encuentra en el grupo «a» con una mayor Luminosidad L* presentando una media de 31.21, mientras que en el segundo lugar se encuentra tratamiento 1 del grupo «ab» con una media de 29.50; y en la última posición se encuentra el tratamiento 4 del grupo «c» con una media de 25.18 con una menor Luminosidad L* en los tratamientos mostrado en la Tabla 29.

La Tabla 29 y; Figura 18 y 19, presentan la luminosidad L*, determinada en la investigación oscilan de 25.18 a 31.21; estos resultados corresponden a los tratamientos del tostado del cacao CCN-51 con un tiempo de 40 minutos a una temperatura de 130 °C

y con un tiempo de 35 minutos a una temperatura de 118 °C respectivamente. Estas Luminosidades L^* encontradas son influidas al tiempo y la temperatura de tostados, mientras que se incrementa estos parámetros, la Luminosidad L^* tiende a disminuir. Estos resultados son contrastados con los reportados por Bonilla (2019), quien obtuvo una Luminosidad L^* de 25.32 para el cacao clon FEAR 5; TCS 06 25.07 y 28.89 del clon FSV 41, los mismos que fueron sometidos a tratamientos de tostado a 115 °C de temperatura por 15 minutos. Por su parte Chire (2019), optimizó la mezcla de dos cacaos CCN 51 e ICS 6 obteniendo una Luminosidad de L^* 26.37; de la misma manera Alegría (2015) determinó Luminosidad L^* de 28.64 a 25.50 con tratamientos de tostado de 40 minutos a una temperatura de 150 °C. Estos resultados se encuentran dentro de los valores obtenidos en la investigación, estos efectos son planteados por Ramli *et al.* (2006), quienes sustentan el proceso de tostado, es un proceso donde participan múltiples reacciones como oxidaciones y polimerizaciones de polifenoles, degradaciones de proteína y reacciones de Maillard y la degradación de Strecker.

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para la Cromaticidad a^* , aportó las evidencias estadísticas de un valor $p= 0.072$ mostrado en el Anexo 1 (Tabla 62), el cual es mayor que $p<0.05$; no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la Cromaticidad a^* entre un nivel de tratamiento y otro, con un nivel del 95.0 por ciento de confianza.

Para la Cromaticidad a^* según la Tabla 29 y; Figura 18 y 19, los resultados obtenidos son 5.03 a 10.36, correspondientes a los tratamientos de tostado con un tiempo de 32 minutos a una temperatura de 132 °C y a un tiempo de 30 minutos a una temperatura de 130 °C respectivamente, los mismos que son inferiores a los obtenidos por Alegría (2015), con resultados de 11.66 a 13.89 a tiempos de 40 minutos y temperaturas de 150 °C de tostado; por su parte Bonilla (2019), para la Cromaticidad a^* encontró resultados muy inferiores a la investigación realizada con 5.58 para el cacao clon FEAR 5; TCS 06 5.71 y 6.52 del clon FSV 41, los mismos que fueron sometidos a tratamientos de tostado a 115 °C de temperatura por 15 minutos. Y Colin (2014), con resultados de 7.5 a 10.31 de Cromaticidad b^* con tratamientos de tostado de 15 a 20 minutos a una temperatura de 130 °C los mismos que son similares a los obtenidos.

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para la Cromaticidad b^* , aportó las evidencias estadísticas de un valor $p= 6.27e-05$ mostrado en el Anexo 1 (Tabla 64), el

cual es menor que $p < 0.05$; existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la Cromaticidad b^* entre un nivel de tratamiento y otro, con un nivel del 95.0 por ciento de confianza. La prueba de LSD de Fisher, mostrado en Anexo 1 (Tabla 65), evidencia la no existencia de las diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma letra en una columna. La prueba de LSD de Fisher presenta evidencias estadísticas de una clasificación por grupos, el tratamiento 5 se encuentra en el grupo «a» con una mayor Cromaticidad b^* presentando una media de 5.71, mientras que en el segundo lugar se encuentra tratamiento 2 del grupo «a» con una media de 5.69; y en la última posición se encuentra el tratamiento 8 del grupo «c» con una media de 0.90 con una menor Cromaticidad b^* en los tratamientos mostrado en la Tabla 29.

Para la Cromaticidad b^* se determinó según la Tabla 29 y; Figura 18 y 19. Resultados de 0.90 a 5.7, los que corresponden a los tratamientos 8 y 5 respectivamente, estos resultados son contrastados por los obtenidos por Bonilla (2019), para la Cromaticidad b^* con 53.37 para el cacao clon FEAR 5; TCS 06 3.62 y 4.18 del clon FSV 41 los mismos que fueron sometidos a tratamientos de tostado a 115 °C de temperatura por 15 minutos. Pero Alegría (2015), obtuvo resultados superiores de Cromaticidad b^* con 7.78 a 9.52 a tiempos de 40 minutos y temperaturas de 150 °C de tostado.

b. Análisis de la tonalidad H^* y cromaticidad (pureza) C^*

Las medias y desviaciones de la tonalidad y la cromaticidad de pureza se observan en la Tabla 30.

Tabla 30: Tonalidad H^* y pureza C^* del cacao CCN-51 tostado

Tratamiento	Tonalidad	Croma
	H^*	C^*
T ₁	27.89 ±0.15 ab	9.63 ±1.89 ab
T ₂	28.85 ±0.02 ab	11.72 ±3.06 a
T ₃	27.10 ±0.03 ab	11.67 ±3.31 a
T ₄	19.54 ±0.10 ab	10.64 ±2.34 ab
T ₅	34.96 ±0.29 a	10.95 ±2.49 ab
T ₆	27.75 ±0.09 ab	5.67 ±0.84 c
T ₇	23.58 ±0.09 ab	8.09 ±1.06 abc

<<Continuación>>		
T ₈	8.05 ±0.10 ab	5.64 ±1.72 c
T ₉	15.77 ±0.03 b	7.24 ±1.94 bc
T ₁₀	15.77 ±0.03 ab	7.24 ±1.94 bc

Los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes, LSD de Fisher ($p < 0.05$).

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para la Tonalidad H*, aportó las evidencias estadísticas de un valor $p = 0.00397$ mostrado en el Anexo 1 (Tabla 66), el cual es menor que $p < 0.05$; existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la Tonalidad H* entre un nivel de tratamiento y otro, con un nivel del 95.0 por ciento de confianza. La prueba de LSD de Fisher, mostrado en Anexo 1 (Tabla 67), evidencia la no existencia de las diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma letra en una columna. La prueba de LSD de Fisher presenta evidencias estadísticas de una clasificación por grupos, el tratamiento 5 se encuentra en el grupo «a» con una mayor Tonalidad H* presentando una media de 0.61, mientras que en el segundo lugar se encuentra tratamiento 2 del grupo «ab» con una media de 0.50; y en la última posición se encuentra el tratamiento 8 del grupo «ab» con una media de 0.14 con una menor Tonalidad H* en los tratamientos mostrado en la Tabla 30.

La Tonalidad H* tuvo comportamiento de 0.14 a 0.61 los que corresponden a los tratamientos de tostado con tiempo de 42 minutos a una temperatura de 125 °C y tiempo de tostado de 35 minutos y a una temperatura de 118 °C según detalla la Tabla 30.

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para la Cromaticidad C*, aportó las evidencias estadísticas de un valor $p = 0.00397$ mostrado en el Anexo 1 (Tabla 68), el cual es menor que $p < 0.05$; existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la Cromaticidad C* entre un nivel de tratamiento y otro, con un nivel del 95.0 por ciento de confianza. La prueba de LSD de Fisher, mostrado en Anexo 1 (Tabla 69), evidencia la no existencia de las diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma letra en una columna. La prueba de LSD de Fisher presenta evidencias estadísticas de una clasificación por grupos, el tratamiento 2 se encuentra en el grupo «a» con una mayor Cromaticidad C* presentando una media de 11.72, mientras que en el segundo lugar se encuentra tratamiento 3 del grupo «a» con una

media de 11.67; y en la última posición se encuentra el tratamiento 8 del grupo «c» con una media de 5.64 con una menor Cromaticidad C^* en los tratamientos mostrado en la Tabla 30.

La Cromaticidad C^* tuvo comportamiento de 5.64 a 11.72 los que corresponden a los tratamientos de tostado con tiempo de 42 minutos a una temperatura de 125 °C y tiempo de tostado de 35 minutos y a una temperatura de 118 °C según detalla la Tabla 30.

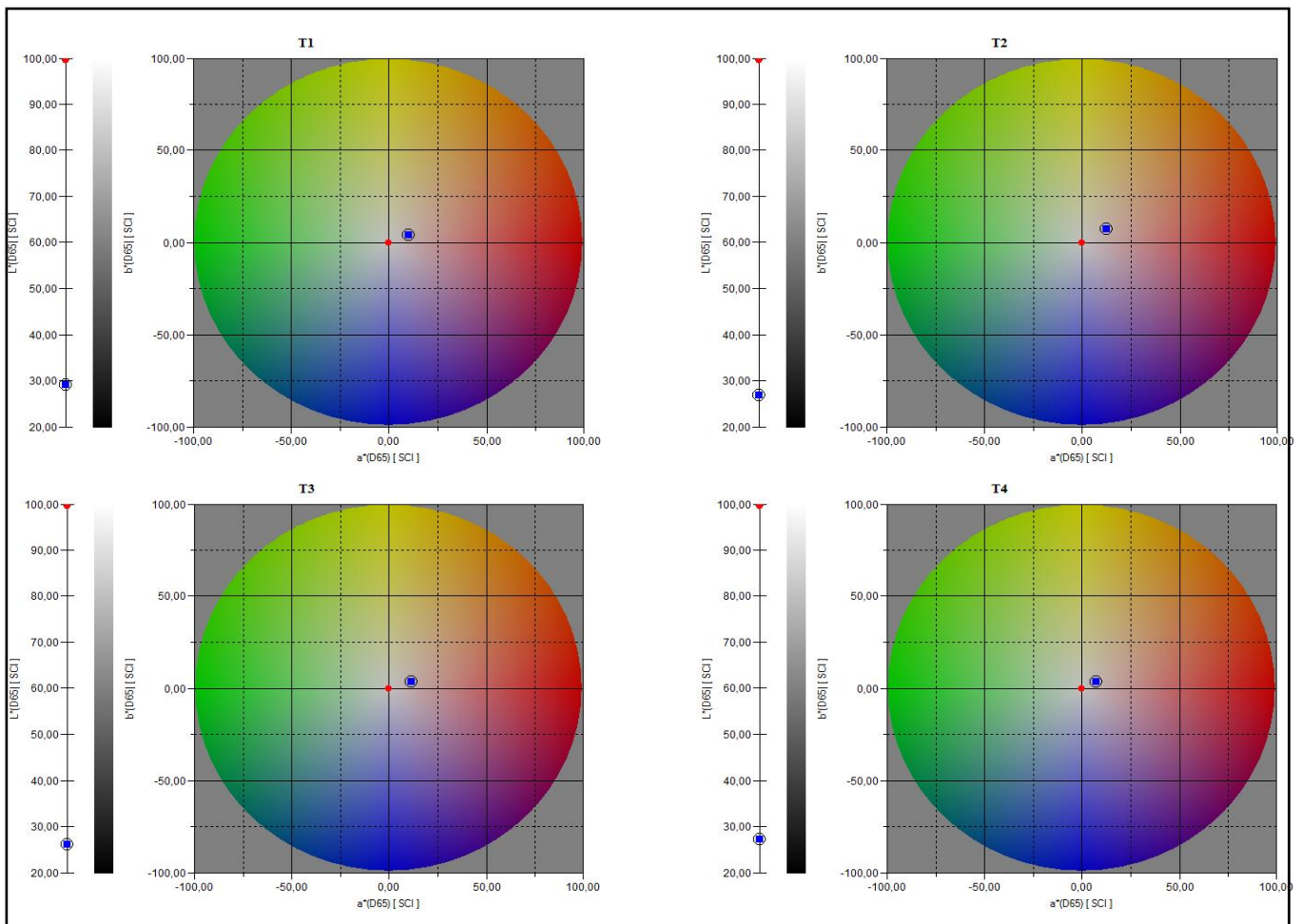


Figura 18. Ubicación de L^* ; a^* y b^* de los tratamientos T1, T2, T3 y T4 de los colores en el espacio CIELab

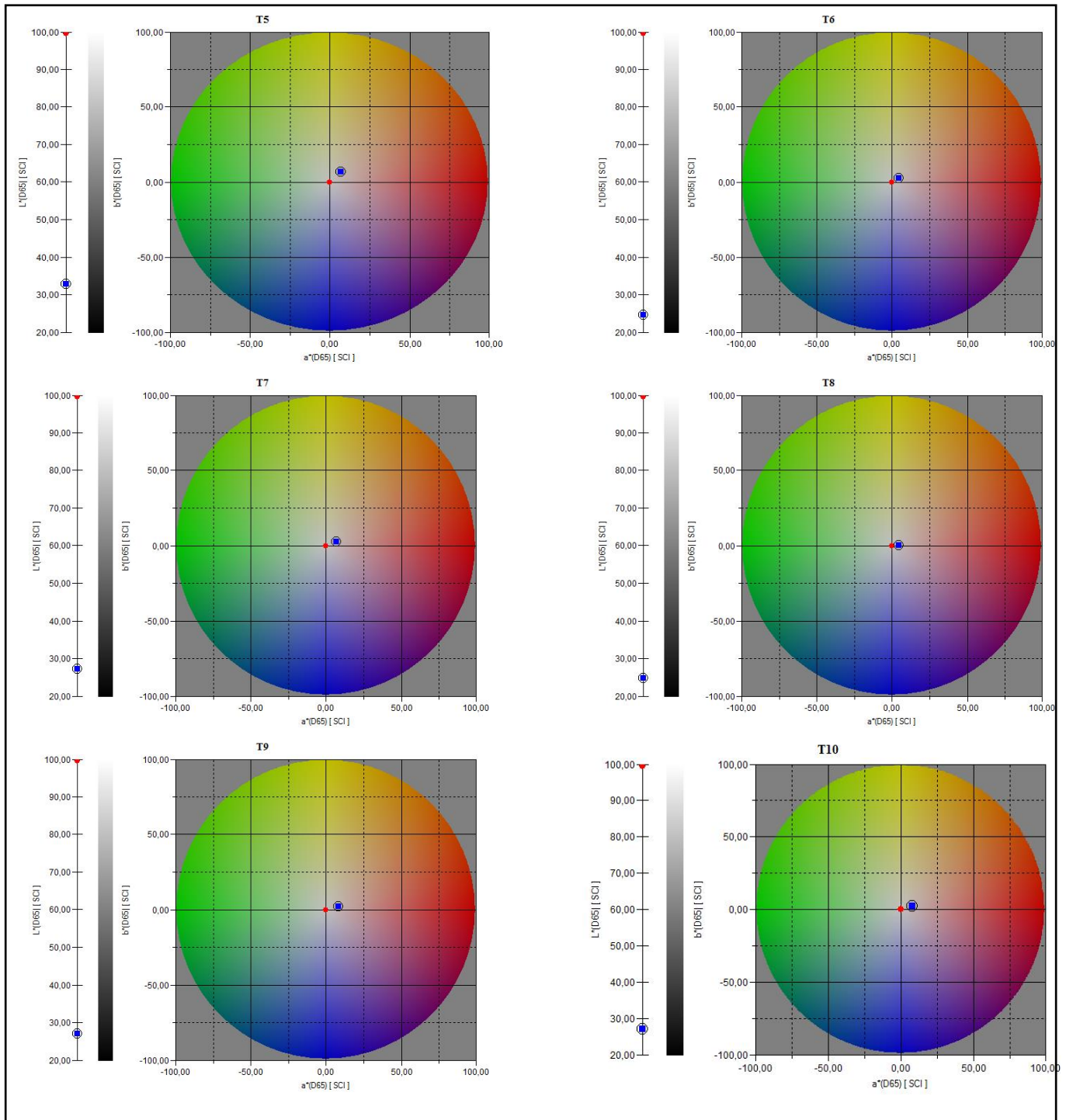


Figura 19. Ubicación de L^* ; a^* y b^* de los tratamientos T5, T6, T7, T8, T9 y T10 de los colores en el espacio CIELab

c. Análisis de delta E*ab entre tratamientos

Cada uno de los tratamientos fueron sometidos a comparación de colores; determinado el Delta E, mismos resultados se observa en la Tabla 31.

Tabla 31: Comparación de colores entre diferentes tratamientos, ΔE^*

Tratamientos	ΔE^*	Tratamientos	ΔE^*	Tratamientos	ΔE^*
T1 - T10	3.89	T10 - T8	2.37	T4 - T5	5.44
T1 - T2	3.39	T10 - T9	0.00	T4 - T6	5.24
T1 - T3	2.88	T2 - T3	0.71	T4 - T7	3.02
T1 - T4	3.55	T2 - T4	2.35	T4 - T8	5.28
T1 - T5	2.25	T2 - T5	4.49	T4 - T9	3.44
T1 - T6	5.83	T2 - T6	6.32	T5 - T6	7.85
T1 - T7	2.32	T2 - T7	3.86	T5 - T7	4.49
T1 - T8	6.20	T2 - T8	6.91	T5 - T8	8.37
T1 - T9	3.89	T2 - T9	4.99	T5 - T9	6.10
T10 - T2	4.99	T3 - T4	2.28	T6 - T7	3.57
T10 - T3	4.87	T3 - T5	3.95	T6 - T8	1.77
T10 - T4	3.44	T3 - T6	6.46	T6 - T9	2.65
T10 - T5	6.10	T3 - T7	3.66	T7 - T8	3.91
T10 - T6	2.65	T3 - T8	6.94	T7 - T9	1.69
T10 - T7	1.69	T3 - T9	4.87	T8 - T9	2.37

$\Delta E^* > \pm 5.00$ = perceptibles; $\Delta E^* < \pm 3.00$ = no perceptibles

La Tabla 31 presenta resultados y descripciones como Δ representa una diferencia y E es la letra inicial de Empfindung del alemán, lo cual significa sensación (Francis y Clydesdale, 1975). Por lo tanto, define la cuantificación de un cambio en el color. En la Tabla 28 podemos observar ΔE^* 0.71 a 8.37; es decir que los resultados $\Delta E^* > \pm 5.00$ son perceptibles por el ser humano y los $\Delta E^* < \pm 3.00$ los colores son ligeramente diferentes, que son difíciles a diferenciar por la persona. De la misma manera señala la Figura 20.

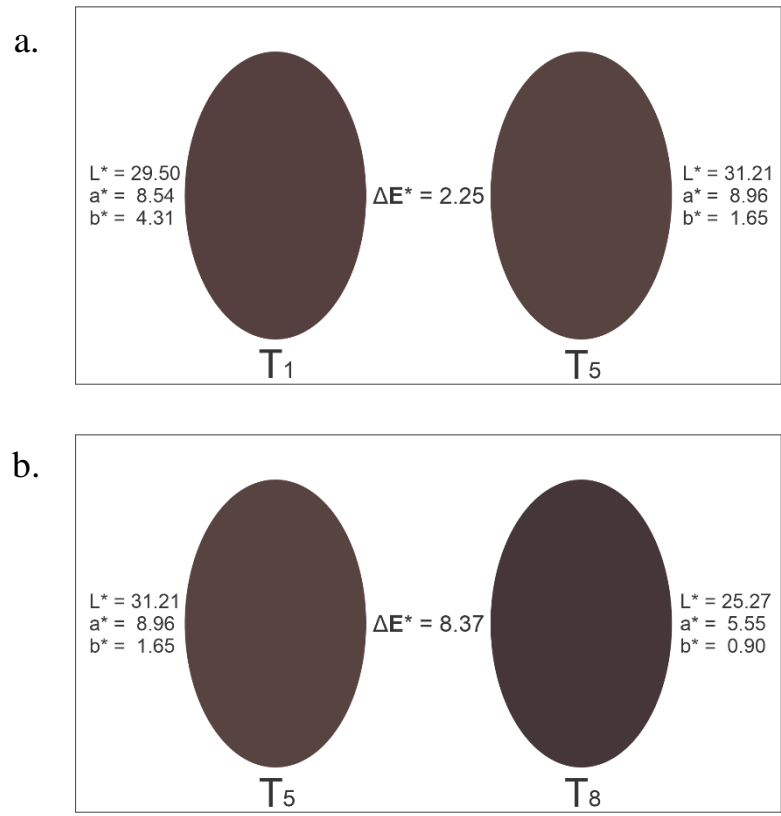


Figura 20. Comparación de tratamientos de los colores en el espacio CIELab

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.2. CONCLUSIONES

La concentración de cadmio tanto en el cotiledón y cascarilla del cacao CCN-51 no dependen de los procesos de fermentado y secados, los tratamientos evaluados son estadísticamente iguales, es decir no encontrándose puntos óptimos de fermentado y secado en la concentración de cadmio. Frente a esto se observa tratamientos que contienen concentraciones menores de cadmio, para el cotiledón del cacao CCN-51, con 5 días de fermentado y secado a una temperatura de 40 °C (tratamiento 1) se tiene una concentración de cadmio 0.2635 ± 0.0115 mg/Kg; y para la cascarilla del cacao CCN-51, con 6.5 días de fermentado y secado a una temperatura de 50 °C (los tratamientos 9) donde se tiene una concentración de cadmio 0.5710 ± 0.0061 mg/Kg.

Los efectos del tiempo y temperatura de tostado del cacao CCN-51 influyen en la concentración de cadmio en el cotiledón del cacao CCN-51 tostado, teniendo al tratamiento 1 como el óptimo, el mismo que opera con parámetros de tiempo de tostado de 30 minutos a una temperatura de 120 °C. En caso de la cascarilla del cacao CC-51 tostado, los efectos de tiempo y temperatura de tostado del cacao CCN-51 no influyen en la concentración de cadmio, es decir no se logró determinar el punto óptimo, ya que cada uno de los tratamientos evaluados son estadísticamente iguales, frente a ello se observa tratamiento que contiene una concentración menor de cadmio, para la cascarilla del cacao CCN-51 tostado, con parámetros de tiempo de tostado de 35 minutos a una temperatura de 132 °C se tiene una concentración de cadmio 0.5063 ± 0.0227 mg/Kg.

5.2. RECOMENDACIONES

Investigar la concentración de cadmio en los productos elaborados a base del cacao CCN-51 en el distrito de San Gabán o en alguna empresa que tenga como materia prima el cacao de esta zona.

Realizar investigaciones del comportamiento de los metales pesados no estudiados aun, en los diversos procesos de poscosecha de los granos de cacao de San Gabán.

Realizar investigaciones del comportamiento de los metales pesados, en los diversos procesos de poscosecha de los diferentes plantas y frutales que se encuentren en el distrito de San Gabán.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, L. S., y Pozo, P. P. (2013). Determinación de cadmio en la almendra de cacao (*Theobroma cacao* L.) de cinco fincas ubicadas en la vía santo domingo - esmeraldas, mediante espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito. *Infoanalítica*, 1(1), 69-82.
- Álava, M.G. (2016) *Efecto tiempo - temperatura de tostado del cacao fino de aroma, en sus características fisicoquímicas y organolépticas* (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta, Ecuador.
- Aldave, P. G. J. (2016). Efecto de la temperatura y tiempo de tostado en los caracteres sensoriales y en las propiedades químicas de granos de cacao (*Theobroma cacao* L.) procedente de Uchiza, San Martín – Perú para la obtención de NIBS (Tesis de maestría). Universidad Nacional Mayo de San Marcos, Lima, Perú.
- Alegria V.E.A. (2015) Evaluación de tratamientos previos al proceso de tostado de semillas de cacao para el diseño del área de producción de pasta de cacao (*Theobroma cacao* L.) (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Al-Hossainy, Ahmed F. Adila E. y Mohamed, F. (2017). Determination of cadmium and lead in perch fish samples by differential pulse anodic stripping voltammetry and furnace atomic absorption spectrometry. *Arabian Journal of Chemistry*, 10(1), S347–S354.
- Álvarez, A. J. R. (2018). *Acumulación de metales pesados (Pb y Cd) en almendras de cacao durante el proceso de fermentación y secado* (Tesis de maestría). Escuela Superior de Turismo E Tecnología Do Mar, Ecuador.
- Álvarez, C., Tovar, L., García, H., Morillo, F., Sánchez, P., Girón, C. y De Farias, A. (2010) Evaluación de la calidad comercial del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.) usando dos tipos de Fermentadores. *Revista 76 Científica UDO Agrícola*, 10 (1), 76-87.
- Alvarez, M. G. L. (2014). *Caracterización de la manteca de cacao de tres variedades*

trinitario (CCN-51), nacional (EET-103) y forastero (IMC-67) (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador.

Amores, F. (2012). Cadmio en suelos, almendras de chocolates: implicaciones para exportación del cacao. *Instituto Nacional Autónomo de Investigación Agropecuaria*. Quevedo, Ecuador.

Ana Paula Oliveira, A.P., Milani, A.F., Melo, L., Efraim, P., Morgano, M.A. y Tfouni, S. (2019) Cádmio e chumbo em amêndoas de cacau do Brasil. *Em: Anais do 13º Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos*; Campinas.São Paulo.Brasil. Campinas: Galoá 4:112031.

Antoine M.R., L. A., Hoo Fung L. y Charles N. G. (2017). Assessment of the potential health risks associated with the aluminium, arsenic, cadmium and lead content in selected fruits and vegetables grown in Jamaica. *Toxicology*, 2017, 29(4), 181-187.

AOAC. (2005). Official Method 999.11: Determination of Lead, Cadmium, Copper, Iron, and Zinc in Foods. AOAC, USA, 2005.

Aprotosoia, A. C., Luca, S. V., y Miron, A. (2016). Flavor Chemistry of Cocoa and Cocoa Products-An Overview. *Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(1), 73–91.

Araujo, A. L. (2016). *Verificación del método analítico de espectroscopia de absorción atómica con horno de grafito para la cuantificación de cadmio en almendra de cacao (Theobroma cacao L.)* (Tesis de pregrado). Universidad Politecnica Salesiana Sede Quito, Quito, Ecuador.

Arévalo, G., E., Arévalo, C. O., Baligar, V. C., y He, Z. L. (2017). Heavy metal accumulation in leaves and beans of cacao (*Theobroma cacao* L.) in major cacao growing regions in Peru. *The Science of the total environment*, 605(606),792–800.

Argüello, D., Chavez, E., Lauryssen, F., Vanderschueren, R., Smolders, E. y Montalvo, D. (2019) Soil properties and agronomic factors affecting cadmium concentrations in cacao beans: A nationwide survey in Ecuador. *Science of The Total Environment*, 649(1), 120-127.

- Baptista, L. (2009). *Guía técnica el cultivo de cacao de la republica dominicana. Centro para el desarrollo agropecuario y forestal CEDAF*. Santo Domingo, República Dominicana: Ingráfica C.
- Barraza, F., Moore, R., Rehkämper, M., Schrecka, E., Lefeuvre, G., Kreissig, K., Coles, B. y Maurice, L. (2019) Fraccionamiento de isótopos de cadmio en el suelo – sistemas de cacao de Ecuador: un estudio de campo piloto. *RSC Advances*, 9(1), 34011–34022
- Barraza, F., Schreck, E., Lévêque, T., Uzu, G., López, F., Ruales, J., Prunier, J., Marquet, A. y Maurice, L. (2017) Cadmium bioaccumulation and gastric bioaccessibility in cacao: A field study in areas impacted by oil activities in Ecuador. *Environmental Pollution*, 229(1), 950-963.
- Barrueta, S. (2013). *Guía de métodos de detección y análisis de Cadmio en cacao (Theobroma cacao L.)*. Lima, Perú: DEVIDA
- Batallas, V. M., Preciado, A. M., y Pesantez, F. F. (2021). Evaluación de cadmio y plomo en almendras de cacao por espectroscopia de absorción atómica. *Ciencia UNEMI*, 14(37), 49-59.
- Beltran, I. E. (2017). *Determinación de cadmio en chocolate de mesa comercializado en la zona metropolitana de San Salvador* (Tesis de pregrado). Universidad del Salvador, Ciudad Universitaria, EL Salvador.
- Bravo N., Mingo, F. y Vicente A. (2011). *Valoración de tres métodos de fermentación y secado para mejorar la calidad y rentabilidad del cacao fino de aroma (Theobroma cacao L.) en la parroquia Panguitza del Cantón Centinela del Cóndor, provincia de Zamora Chinchipe* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.
- Calderon, L. (2002). *Evaluación de los compuestos fenólicos del cacao (Theobroma cacao L.) de tipo fino y ordinario de producción nacional durante la fermentación en relación a la calidad* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica Del Ecuador, Quevedo, Ecuador.

- Calla, Y. (2021). *Evaluación de la concentración de cadmio en el suelo y su relación con los órganos vegetales de cacao (Theobroma cacao L.) en San Gabán, Carabaya, Puno* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca, Juliaca, Perú.
- Camacho, S.C. (2014) *Influencia del porcentaje del clon CCN51 en las características fisicoquímicas y organolépticas del licor de cacao procedente de Pucacaca y Hujingoyacu* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú.
- Campoverde, M. (2010). *Días de fermentación y frecuencia de remoción de semillas de cacao (Theobroma cacao L.) en el genotipo nacional y clon CCN-51*(Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Cardona, M. G., Sorza, J. D., Posada, S. L., Carmona, J., Ayala, S. A., y Alvarez, O. L. (2016). Establecimiento de una base de datos para la elaboración de tablas de contenido nutricional de alimentos para animales. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 15(2), 240–246.
- Castillo, J. (2019). *Diseño de un fermentador orientado a mejorar el proceso de fermentación del cacao criollo blanco de Piura* (Tesis de maestría). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería, Piura, Perú.
- Chavez, E., He, Z.L., Stoffella, P.J., Mylavarapu, R.S., Li, Y.C., Moyano, B. y Baligar, V.C. (2015) Concentration of cadmium in cacao beans and its relationship with soil cadmium in southern Ecuador. *Science of The Total Environment*, 533(1), 205-214.
- Chávez, V. H. (2015). *Caracterización físico-químico y sensorial de treinta materiales élites de cacao (Theobroma cacao L.)* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo Facultad de Ciencia de Ingeniería, Quevedo, Ecuador.
- Chire, G.C., Ureña, M.O, García, S.M, y Hartel, R.W. (2019). Optimización de la formulación de chocolate amargo a partir de la mezcla de granos de cacao y contenido de cacao aplicando el método de respuesta superficial. *Enfoque UTE*, 10(3), 42-54.
- Cros, E. (2006). Efectos de algunos factores postcosecha sobre la calidad sensorial del

- cacao criollo porcelana (*Theobroma cacao* L.). *Revista Digital de La Facultad de Agronomía*, 23(1), 51-59.
- Cubillos, G., J., Merizalde G., y Correa E. (2008). *Manual de beneficio del cacao*. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- Del Aguila, M. E. A. (2017). *Determinación de cadmio y plomo en granos de cacao, frescos, secos y en licor de cacao (Theobroma cacao L.)* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria de La Selva, Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Tingo Maria, Peru.
- Díaz, A. C. (2013). *Caracterización física de calidad en almendras de plantas de cacao (Theobroma cacao L.) en Huehuetán, Chiapas* (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Chiapas, México.
- Díaz, C. I. (2013). *Caracterización y Evaluación de Pasta de Cacao (Theobroma Cacao L.) Semi-Refinado de 20 Híbridos Interclonales para Quevedo* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo Facultad de Ciencia de Ingeniería, Quevedo, Ecuador.
- Díaz, U. L., Mendoza, H. E., Bravo, B. M., y Dominguez, V. N. (2018). Determinación de Cadmio y Plomo en almendras de cacao (*Theobroma cacao* L.), proveniente de fincas de productores orgánicos del cantón Vinces. *Espirales Revista Multidisciplinaria de Investigación*, 2(15), 77-92.
- DRA-Puno. (2017). Dirección Regional Agraria-Puno. Recuperado de https://www.agropuno.gob.pe/files/estadistica/sintesis/sintesis_agrario_11_2017.pdf
- El Salous, A., y Pascual, A. (2018). Determinación de cadmio, plomo y ocratoxina en la harina proveniente de las cascarillas de dos variedades de cacao en Ecuador. *I+D Tecnológico*, 14(1), 49-53.
- Elika. (2014). Cadmio: Fundación Vasca para la seguridad agroalimentaria-Wiki-Elika. Recuperado de <http://wiki.elika.net/index.php/Cadmio>.
- Ellehorn, M. (1996). *Ellehorn Medical Toxicology: Diagnosis and Treatment of*

- Enríquez, G. (2004). *Cacao orgánico, guía para productores ecuatorianos*. INIAP. Manual N° 54. Quito, Ecuador.
- FAO/OMS. (2021). Anteproyecto de niveles máximos para el cadmio en el chocolate y productos derivados de cacao. Comisión del Codex Alimentarius 2014. Recuperado <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/resources/circular-letters/es/>
- Florida Rofner, N., Paucar García, J., Jacobo Salinas, S. S. y Escobar-Mamani, F. (2019). Efecto de compost y NPK sobre los niveles de microorganismos y cadmio en suelo y almendra de cacao. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 21(4), 264–273.
- Florida, R. N., y Jacobo, S. S. (2018). Comportamiento del cadmio y otros indicadores en suelo y almendra de cacao (*Theobroma cacao* L.) , bajo aplicación de compost y npk behavior of cadmium and other indicators in soil and almonds of cocoa (*Theobroma cacao* L.) , under application of compos. *Revista Del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana*, 27 (2), 193-202
- Forsyth, W., y Quesnel, V. (1963). *The mecanism of cacao curing*. Fordham University, New York, USA; F.F. Nord
- Ganiveth, M. P., Sanchez, E. Valverde, M., y Castillo, E. . (2008). Bioacumulación de cadmio en ostras de la bahía de Cartagena. *Revista de Ingeniería Universidad de Medellín*, 7(13), 11-20.
- García, M. (2007) Moisture, acidity and temperature evolution during cacao drying. *Journal of Food Engineering* 79(1), 1159-1165.
- Gramlich, A., Tandy, S., Gauggel, C., López, M., Perla, D., Gonzalez, V. y Schulin, R. (2018) Soil cadmium uptake by cocoa in Honduras. *Science of The Total Environment*, 612(1), 370-378.
- Guardia, K. (2018). Cadmio en cacao. *Diario Gestion*, 2018. Recuperado de <https://gestion.pe/economia/cacao-peruano-tasa-crecimiento-exportaciones-caeria-18-6-normas-ue-262224-noticia/>

- Gutierrez, D.M. (2017). *Plan de negocios para comercializar insumos a partir de cacao fino de aroma en Nilo – Cundinamarca* (Tesis de pregrado). Universidad De La Salle, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Bogotá, Colombia.
- Herrera-Rengifo JD, Villa-Prieto L, Olaya-Cabrera AC, y García-Alzate LS. (2020) Extracción de almidón de cáscara de cacao *Theobroma cacao* L. como alternativa de bioprospección. *Rev. Ion*, 33(2), 25-34.
- Jiménez, J. C. (2008). Prácticas del beneficio del cacao y su calidad organoléptica. *INIAP, Estación Experimental Tropical Pichelingue*. Quevedo, Ecuador.
- Kido T, S. Z. (1991). response relationship between urinary cadmium and metallothionein in a Japanese population environmentally exposed to cadmium. *Toxicology*, 65(3), 325-332.
- Lanza, J. G., Churrion, P. C., Liendo, N. J., y Lopez, V. H. (2016). Evaluacion del contenido de metales pesados en cacao (*Theobroma cacao* L.) de Santa Bárbara del Zulia, Venezuela. *Saber*, 28(1), 106-115.
- Lara, Z. V. (2017). *Evaluacion del contenido de cadmio en dos variedades de cacao (Theobroma cacao L.) considerando distintos metodos de secado en la localidad de Luz de America* (Tesis de pregrado). Universidad de Las Fuerzas Armadas Ingenieria, Santo Domingo, Ecuador.
- Lares, A. M., Gutierrez, R., Perez, E. y Alvarez, 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.
- Liendo, R.J., y Marín R., C. (2006). Prácticas poscosecha y de almacenamiento del cacao (*Theobroma cacao* L.) en el estado miranda Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 23(3), 349-363.
- Llactas, F. M. (2016). *Influencia de la dosis de aplicacion de mita en la concentracion de cadmio en las almendras de cacao en las parcelas de la COOPAIN* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria de La Selva de Recursos Naturales Renovable, Tingo Maria, Perú.

- Mendoza, L. K., Mostacero, L. J., López, M. A., Gil-Rivero, J., De La Cruz, C. y Villena, Z. (2021) Cadmio en plantaciones de *Theobroma cacao* L. cacao en la región San Martín (Lamas), Perú. *Manglar*, 18(2), 169-173.
- Mera, O. L., y Ruiz, M. (2014). *Evaluación Física, Sensorial Y Bromatológica Del Licor De Cacao En Variedades Clonales Eet-19, Eet-48, Eet-62, Eet-95, Eet-96, Eet-103 En La Espam* (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta, Ecuador.
- Mite, F., M. Carrillo y W. Durango (2010). Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas en Ecuador. *Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias INIAP*, 1(1), 1-21.
- Montgomery, D.C. y R.H. Myers, (1995) *Response surface methodology: Process and product optimization using designed experiments*. New York, USA: John Wiley & Sons,
- Mosquera, J. A. N., Escobar, K. Y. R., Morejon, J. P. A., y Llaguno, S. S. (2020). Métodos de fermentación del cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) y su influencia en las características físico-químicas, contenido de cadmio y perfiles sensoriales. *Alternativas*, 21(3), 42-48.
- Motamayor JC, Risterucci AM, Lopez PA, Ortiz C.F., Moreno, A., y Lanaud C. (2002) Cacao domestication I: The origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity*, 89(1), 380–386
- Mounicou, S., Szpunar, J., Andrey, D., Blake, C., y Loninski, R. (2003). Concentrations and bioavailability of cadmium and lead in cocoa powder and related products. *International Journal of Environmental Health Research*, 0(0), 1-16.
- Naranjo, V. E., Moyano, A. J., Zamora, S.Y. y Balseca, S. O. (2021) Optimización del tiempo de secado a través del diseño de una secadora de cacao con movimiento rotatorio. Polo del Conocimiento: *Revista científico profesional*, 6(5), 864-878.
- Navas, C. y Méndez M. (2011). efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Neurocien*, 16(3), 140-147.

- Niño, B. I. D. (2015). *Cuantificación de cadmio en cacao proveniente del occidente de Boyacá por la técnica analítica de voltamperometría* (Tesis de pregrado). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Escuela de Ciencia Químicas, Tunja, Colombia.
- Nogales, J., Graziani de Fariñas, N., y Ortiz de Bertorelli, L. (2006). Cambios físicos y químicos durante el secado al sol del grano de cacao fermentado en dos diseños de cajones de madera. *Agronomía Trop.*, 56(1), 5-20.
- NTP-ISO 1114. (2016). Granos de cacao. Prueba de corte. (EQV. ISO 1114:1977). Recuperado https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_1114.pdf
- NTP-ISO 2292. (2019) NTP-ISO 2292:2019 Granos de cacao. Muestreo. 5ª Edición
- Orcés, A. A. N. y, y Piedra, N. V. P. (2012). *Mejoramiento de las Características Sensoriales del Cacao CCN51 a través de la Adición de Enzimas durante el Proceso de Fermentación* (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2006). Secado de la semilla. EE.UU. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/006/q2180s/Q2180S11.htm>
- Orna, J. E., Chuquín, N., Saquina, L., y Cueva, O. (2018). Design and construction of an automatic dryer for cacao a rotating type of hot air base for a capacity of 500 Kg. *Enfoque UTE*, 9(2), 159-174.
- Ortiz D, L.; Graziani De Fariñas, y.; Gervaise, G. (2009) Evaluación de varios factores sobre características químicas del grano de cacao en fermentación. *Revista Agronomía Tropical*, 59(1), 73-79.
- Ortiz de Bertorelli, L., Rovedas L. y Graziani de Fariñas, L. (2009). Influencia de varios factores sobre índices físicos del grano de cacao en fermentación. *Agronomía Tropical*, 59(1), 81-88.
- Ortiz, L., Graziani, L., y Rovedas, L. (2009). Influencia de varios factores sobre

características del grano de cacao fermentado y secado al sol. *Agronomía Tropical*, 59(2), 119-127.

- Palacios, G. J. A. (2016). *Efecto de la temperatura y tiempo de tostado en los caracteres sensoriales y en las propiedades químicas de granos de cacao (Theobroma cacao L.) procedente de Uchiza, San Martín – Perú para la obtención de NIBS* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Parra, P.; Saavedra, R. y Ipanaqué, W. (2012). Modelación y simulación en ambiente Ecosimpro de una cámara de secado para Cacao. *Ingenius*, 8(1), 54-60.
- Passos, M. D., Silva, A., Lopez, C., y Guimaraes, W. (1984). Characterization and Distribution of Lactic Acid Bacteria from Traditional Cocoa Bean Fermentations in Bahia. *Food Science*, 49(1), 205 – 207.
- Pedraza, E. T. (2017). *Distribucion del contenido de cadmio en los diferentes órganos del cacao CCN-51 en suelo aluvial y residual* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo Maria, Perú.
- Piotrowski, JK, C. (1990). *Environmental Hazards of Heavy Metals: Summary Evaluation of Pb, Cd and Hg*. Chelsea College, University of London, England.
- Plúa, J. (2008). *Diseño de una línea procesadora de pasta de cacao artesanal* (Tesis de pregrado). Escuela superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Ponce, S. L. D., y Chang, M. H. P. (2012). *Análisis de las características organolépticas del chocolate a partir de cacao CCN51 tratado enzimáticamente y tostado a diferentes temperaturas* (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Portillo, E., Graziani De Farinas, L., y Betancourt, E. (2007) Análisis químico del cacao criollo porcelana (*Theobroma cacao* L.) en el Sur del Lago de Maracaibo. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, 24(3), 522-546.
- Portillo, L. A. B. (2012). Efecto del tratamiento poscosecha sobre el desarrollo de las características fisicoquímicas del cacao (*Theobroma cacao* L.) criollo porcelana. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 23(1), 51-59.

- Poveda, J. P. (2006). *Diseño y simulación de un secador de granos de cacao con colectores solares planos mediante convención forzada para una capacidad de 500 Kg.* (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador.
- PROMSA., I.-. (2003). Determinación de metales contaminantes en cultivos de exportación y su repercusión sobre la calidad de los mismos. (Informe Técnico). Quevedo, Los Ríos, Ecuador.
- Ramírez, A. (2002). Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *Anales de la Facultad de Medicina*, 63(1), 51-64.
- Ramírez, D. C. B. (2010). *Evaluación físicoquímica del comportamiento de almendras de cacao (Theobroma cacao L) de seis clones: ICS -1 (Imperial Collage Selection), ICS – 95 (Imperial Collage Selection), UF – 613 (United Fruit), IMC – 67 (Iquitos Marañón Colección), TSH – 565* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú.
- Ramírez, M. J. B., y Romero, J. M. V. (2019). Características físicoquímicas y colorimétricas de licores de cacao obtenidos de los clones TCS 06, FEAR 5 Y FSV 41. @Limentech *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 17(1), 40-59.
- Ramli, N.; Hassan, O.; Said, M.; Samsudin, W.; y Idris, N. A. (2006). Influencia de las condiciones de tostado en el sabor volátil de tostar los granos de cacao de Malasia. *Diario. Diario de Procesamiento y Conservación de Alimentos*, 30(1), 280-298.
- Rimache, M. (2008). *Cultivo del Cacao. Colección de Cultivo Tropicales*. Perú: Macro.
- RJ N°010-2016-ANA. (2016). Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales. *Elaborada Por La Autoridad Nacional del Agua del Ministerio de Agricultura y Riego*.
- RM N°0451-MINAGRI. (2018). Lineamiento de muestreo para la determinación de niveles de cadmio en Suelos, Hojas, granos y productos derivados de cacao. *De La Dirección General Agrícola. Informe Legal N°884-2018-MINAGRI-SG/OGAJ*. Lima-Perú.

- Rodriguez, C. J. (2011). *Estudio de los compuestos volátiles de Theobroma cacao L., durante el proceso tradicional de fermentación, secado y tostado* (Tesis de doctorado). Instituto Politécnico Nacional Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Ciudad de México, México.
- Rojas, S.J (2020). *Caracterización morfológica del cacao (Theobroma cacao L.) tipo Cv. CCN-51 en zonas de producción de los cantones Babahoyo, Montalvo y Ventanas de la Provincia de Los Ríos, Ecuador* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Babahoyo, Los Rios, Ecuador.
- Romero, E.D., Yáñez, Simbaña, F.K. y Navarrete, H. (2019) Content and the relationship between cadmium, nickel, and lead concentrations in Ecuadorian cocoa beans from nine provinces. *Food Control*, 106 (1), 1-27.
- Sanchez, A. E. (2017). *Efecto de tipos de secado del cacao (Theobroma cacao L.) CCN-51 en la preservación de polifenoles totales y antocianinas* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín-Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Tarapoto, Peru.
- Sánchez, J. G. S. (2015). *Extracción y cuantificación de teobromina existente en las semillas de cuatro variedades de cacao (Theobroma cacao L) Producidas en la Provincia de El Oro* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador.
- Sánchez, N., N. S. y Rivero C. (2005). Determinación de la adsorción de cadmio mediante isothermas de adsorción en suelos agrícolas venezolanas. *Acta Agronómica*, 60(2), 190-197.
- Sanchez, R. Z. (2016). *Evaluación de propiedades fisicoquímicas, morfológicas y sensoriales de microencapsulados de cacao obtenidos por spray drying* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Sánchez, S. J. (2015). *Extracción y Cuantificación de Teobromina Existente en las Semillas de Cuatro Variedades de Cacao (Theobroma Cacao L) Producidas en la Provincia De El Oro, 2014* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Machala Unidad Académica de Ciencias Químicas y de la Salud Carrera de Ingeniería en Alimentos, Machala, Ecuador.

- Sanchez, V. (2007). *Caracterización organoléptica del cacao (Theobroma cacao L.), para la selección de árboles con perfiles de sabor de interés comercial* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Las Ríos, Ecuador.
- Sangronis, E., Soto, M. J., Valero, Y. y Buscema, I. (2014). Cascarilla de cacao venezolano como materia prima de infusiones. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición Alan*, 64(2), 123-130.
- Santander, R.W., Garay, M.R., Verde, G.C. y Mendieta, T.O, (2021) Determinación del contenido de cadmio en suelos, frutos, granos fermentados y secos, licor de cacao y chocolate en zonas productoras de la región San Martín. *Revista de la Sociedad Química del Perú* 87(1), 39-49.
- Schwan, R. F., y Wheals, A. E. (2004). The microbiology of cocoa fermentation and its role in chocolate quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(4), 205–221.
- Serra Bonvehí, J. (2005). Investigation of aromatic compounds in roasted cocoa powder. *European Food Research and Technology*, 221(1–2), 19–29.
- Soto, M. (2012). *Desarrollo del proceso de producción de cascarilla de semilla de cacao en polvo destinada al consumo humano* (Tesis de grado). Universidad de Simón Bolívar, Sartenejas, Venezuela.
- Tantalean, P. E. y Huauya, R. MÁ., (2017) Distribución del contenido de cadmio en los diferentes órganos del cacao CCN-51 en suelo aluvial y residual en las localidades de Jacintillo y Ramal de Aspuzana. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 1(2): 69-78.
- Tapia, Y.C. (2015) *Aprovechamiento de residuos agroindustriales, cascarilla de cacao (Theobroma cacao L.) variedad arriba y CCN51 para la elaboración de una infusión* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Teneda, L. W. (2016). *Mejoramiento del Proceso de Fermentación del Cacao (Theobroma cacao L.) Variedad Nacional y Variedad CCN51*. Universidad Internacional de Andalucía, España.

- Thompson SS, y Miller KB, L. A. (2001). *Cocoa and coffee*. In: Doyle MP, Beuchat. *Food Microbiology, Fundamentals and Frontiers*. Washington, DC: American Society for Microbiology.
- Tinoco, H. A, y Yomali, O. D. (2010). Análisis del proceso de deshidratación de cacao para la disminución del tiempo de secado. *Revista EIA*, 13(1), 53-63.
- Torres, T.A. y Gonzalez, G. C. (2016) *Diseño de un secador motorizado con varias etapas de precalentamiento, para el cultivo de cacao en el recinto «los ángeles», provincia de los ríos* (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Vázquez, A., Ovando, I., Adriano, L., Betancur, D., y Salvador, M. (2016). Alcaloides y polifenoles del cacao, mecanismos que regulan su biosíntesis y sus implicaciones en el sabor y aroma. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 66(3), 239–254.
- Vega, P. F., Rodriguez, C. F., Escalona, B. H., y Lugo, C. E. (2016). Optimización del proceso de tostado de Theobroma cacao var. Criollo en función del perfil cromatográfico. *Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química I*(1), 181-186.
- Velazque, L. M. (2017). *Determinacion de arsenico, cadmio y plomo en barras de chocolate adquiridas en el centro comercial polvos azules de lima metropolitana en el periodo enero – febrero 2016* (Tesis de pregrado). Universidad Wiener-Facultad de Farmacia y Bioquímica, Lima, Perú.
- Vílchez, V.N. (2016) *Efecto del material del fermentador, en el grado de fermentación de granos de Cacao (Theobroma Cacao L, Clon: CCN - 51)* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú.
- Villamizar de Borrero, F y Hernández H., J. (1989). *Determinacion de parámetros y simulación matemática del proceso de secado de cacao (Theobroma cacao L.)* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Villamizar-Jaimes, A. R., y López-Giraldo, L. J. (2017). Cáscara de cacao fuente de polifenoles y fibra: simulación de una planta piloto para su extracción. *Respuestas*, 22(1), 75–83.

- Vivanco, C.E., Matute, C.E. y Campo F.M. (2017) Caracterización físico-química de la cascarilla de *Theobroma cacao* L, variedades Nacional y CCN-5 *Conference Proceedings*, 2(1), 213-222.
- Vizcarra, M. C. (2013). *Uso de la cascarilla y exudado de mucílago de la almendra de cacao fino de aroma para la elaboración de vino* (Tesis de pregrado). Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador.
- Wakao, H. (2002). *Estudio de la variación del contenido de alcaloides en cacao (Theobroma cacao L.) de producción nacional durante el proceso de beneficio* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ciencias Exactas, Quito, Ecuador.
- Zahouli, G. I., Guehi, S. T., Fae, A. M., Ban-Koffi, L., y Nemlin, J. . (2010). Efecto de los métodos de secado sobre los rasgos de calidad química de la materia prima del cacao. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 2(4), 184-190.
- Zhong, F; Nsor-Atindana. (2012) Quantification of Total Polyphenolic Content and Antimicrobial Activity of Cocoa (*Theobroma cacao* L.) Bean Shells. *Pakistan Journal of Nutrition* 11(7): 574–579.
- Zug, K.L.M., Huamaní, H.A., y Meyberg, F. (2019) Acumulación de Cadmio en el Cacao Peruano (*Theobroma cacao* L.) y Oportunidades de Mitigación. *Agua Aire Suelo Water Air Soil Pollution*, 230(3), 72-80.

ANEXOS

ANEXO 01. Análisis de varianza (ANOVA) y prueba LSD de los datos obtenidos de las distintas pruebas.

Análisis proximal del cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado.

Análisis ANOVA y prueba LSD Acidez del cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado

Tabla 32: Análisis de ANOVA acidez del cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado

```
##          Df  Sum Sq  Mean Sq F value  Pr(>F)
## Tratamiento  9 0.003797 0.0004219   23.66 8.97e-09 ***
## Residuals   20 0.000357 0.0000178
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Tabla 33: Prueba LSD acidez del cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado

```
## LSD t Test for Acidez
## P value adjustment method: hommel
## Mean Square Error: 1.783125e-05
## Alpha: 0.05 ; DF Error: 20
## Critical Value of t: 2.085963
## Minimum Significant Difference: 0.007192038
## Treatments with the same letter are not significantly different.
##
##          Acidez groups
## T7 0.07957333      a
## T8 0.07850667      a
## T2 0.07765333      a
## T5 0.06826667     ab
## T10 0.06314667     bc
## T3 0.06314667     bc
## T9 0.06314667     bc
## T4 0.06144000     bc
## T6 0.05504000      c
## T1 0.04096000      d
```

Análisis ANOVA y prueba LSD Cenizas del cotiledón del cacao CCN-51 seco

Tabla 34: Análisis de ANOVA cenizas del cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado

```
##          Df Sum Sq Mean Sq F value  Pr(>F)
## Tratamiento  9  1.080 0.11998   82.83 7.45e-14 ***
## Residuals   20  0.029 0.00145
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Tabla 35: Prueba LSD cenizas del cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado

```
## LSD t Test for Ceniza
## P value adjustment method: hommel
## Mean Square Error: 0.001448447
## Alpha: 0.05 ; DF Error: 20
## Critical Value of t: 2.085963
## Minimum Significant Difference: 0.0648205
## Treatments with the same letter are not significantly different.
##
##          Ceniza groups
## T5  3.286171      a
## T2  2.885496      b
## T10 2.846094     bc
## T9  2.846094     bc
## T8  2.817069     bc
## T1  2.780981     cd
## T7  2.693016     de
## T3  2.673945     e
## T6  2.598037     e
## T4  2.591953     e
```

Análisis ANOVA y prueba LSD pH del cotiledón del cacao CCN-51 seco

Tabla 36: Análisis de ANOVA pH del cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado

```
##          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Tratamiento  9 1.0110 0.11234  648.1 <2e-16 ***
## Residuals   20 0.0035 0.00017
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Tabla 37: Prueba LSD pH del cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado

```
## LSD t Test for pH
## P value adjustment method: hommel
## Mean Square Error: 0.0001733333
## Alpha: 0.05 ; DF Error: 20
## Critical Value of t: 2.085963
## Minimum Significant Difference: 0.02242343
## Treatments with the same letter are not significantly different.
##
##          pH groups
## T5  5.273333      a
## T1  5.200000      b
## T6  5.106667      c
## T10 5.080000      c
## T9  5.080000      c
## T7  5.006667      d
## T4  4.983333      d
## T3  4.926667      e
## T8  4.703333      f
## T2  4.676667      f
```

Análisis proximal de la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado.

Análisis ANOVA y prueba LSD Acidez de la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado

Tabla 38: Análisis de ANOVA acidez de la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado

```
##           Df  Sum Sq  Mean Sq F value  Pr(>F)
## Tratamiento  9 0.009162 0.0010180    45.1 2.45e-11 ***
## Residuals   20 0.000451 0.0000226
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Tabla 39: Prueba LSD acidez de la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado

```
## Study: model ~ "Tratamiento"
## LSD t Test for Acidez
## P value adjustment method: hommel
## Mean Square Error: 2.257351e-05
## Tratamiento, means and individual ( 95 %) CI
## Alpha: 0.05 ; DF Error: 20
## Critical Value of t: 2.085963
## Minimum Significant Difference: 0.008092088
## Treatments with the same letter are not significantly different.
##
##           Acidez groups
## T2  0.08874667      a
## T1  0.08106667     ab
## T4  0.07936000     ab
## T6  0.07765333     ab
## T8  0.07509333      b
## T10 0.06229333     c
## T9  0.06229333     c
## T5  0.04949333     d
## T3  0.03840000    de
## T7  0.03669333     e
```

Análisis ANOVA y prueba LSD ceniza la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado

Tabla 40: Análisis de ANOVA ceniza de la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado

```
##           Df Sum Sq Mean Sq F value  Pr(>F)
## Tratamiento  9  14.36  1.5960   74.18 2.16e-13 ***
## Residuals   20   0.43  0.0215
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Tabla 41: Prueba LSD ceniza del cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado

```
## LSD t Test for Ceniza
## P value adjustment method: hommel
## Mean Square Error: 0.02151493
## Alpha: 0.05 ; DF Error: 20
## Critical Value of t: 2.085963
## Minimum Significant Difference: 0.2498222
## Treatments with the same letter are not significantly different.
##      Ceniza groups
## T7  9.537187      a
## T3  9.495011      a
## T8  9.423759      a
## T4  9.384766      a
## T10 9.335942      a
## T9  9.335942      a
## T6  9.204837     ab
## T1  8.865980      b
## T2  8.320952      c
## T5  7.216342      d
```

Análisis ANOVA y prueba LSD pH de la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado

Tabla 42: Análisis de ANOVA pH de la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado

```
##      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Tratamiento  9  5.768  0.6409   286.5 <2e-16 ***
## Residuals   20  0.045  0.0022
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Tabla 43: Prueba LSD pH del cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado

```
## LSD t Test for pH
## P value adjustment method: hommel
## Mean Square Error: 0.002236667
## Alpha: 0.05 ; DF Error: 20
## Critical Value of t: 2.085963
## Minimum Significant Difference: 0.08054929
## Treatments with the same letter are not significantly different.
##
##      pH groups
## T3  6.733333      a
## T7  6.733333      a
## T10 5.930000      b
## T9  5.930000      b
## T5  5.866667     bc
## T4  5.816667     bc
## T8  5.783333      c
## T6  5.656667      d
## T1  5.633333      d
## T2  5.273333      e
```

Humedad del cacao CCN-51 seco

Análisis ANOVA y prueba LSD humedad del cacao CCN-51 seco

Tabla 44: Análisis de ANOVA humedad del cacao CCN-51 seco

```
##           Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Tratamiento  9 1.0110  0.11234   648.1 <2e-16 ***
## Residuals   20 0.0035  0.00017
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Tabla 45: Prueba LSD humedad del cacao CCN-51 seco

```
## LSD t Test for Humedad
## P value adjustment method: hommel
## Mean Square Error:  0.0001733333
## Alpha: 0.05 ; DF Error: 20
## Critical Value of t: 2.085963
## Minimum Significant Difference: 0.02242343
## Treatments with the same letter are not significantly different.
##
## Humedad groups
## T5  5.273333      a
## T1  5.200000      b
## T6  5.106667      c
## T10 5.080000      c
## T9  5.080000      c
## T7  5.006667      d
## T4  4.983333      d
## T3  4.926667      e
## T8  4.703333      f
## T2  4.676667      f
```

Índice de Fermentación del cacao CCN-51 seco

Análisis ANOVA y prueba LSD índice de fermentación del cacao CCN-51 seco

Tabla 46: Análisis de ANOVA índice de fermentación del cacao CCN-51 seco

```
##           Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Tratamiento  9 1944.3  216.04   59.45 1.8e-12 ***
## Residuals   20  72.7    3.63
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Tabla 47: Prueba LSD índice de fermentación del cacao CCN-51 seco

```
## LSD t Test for Fermentacion
## P value adjustment method: hommel
## Mean Square Error:  3.63367
## Alpha: 0.05 ; DF Error: 20
## Critical Value of t: 2.085963
## Minimum Significant Difference: 3.246638
## Treatments with the same letter are not significantly different.
##
```

```
## Fermentacion groups
## T6 80.66667 a
## T3 80.33333 a
## T4 80.00000 a
## T9 73.67000 b
## T10 74.00000 b
## T7 73.00000 b
## T8 71.33333 b
## T2 62.66667 c
## T1 62.33333 c
## T5 56.00000 d
```

Análisis proximal del cotiledón del cacao CCN-51 tostado

Análisis ANOVA y prueba LSD acidez del cotiledón del cacao CCN-51 tostado

Tabla 48: Análisis de ANOVA acidez del cotiledón del cacao CCN-51 tostado

```
## Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Tratamiento 9 0.0021723 2.414e-04 11.98 2.81e-06 ***
## Residuals 20 0.0004028 2.014e-05
## ---
## Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Tabla 49: Prueba LSD acidez del cotiledón del cacao CCN-51 tostado

```
## Study: model ~ "Tratamiento"
##
## LSD t Test for Acidez
## P value adjustment method: hommel
## Mean Square Error: 2.01417e-05
## Alpha: 0.05 ; DF Error: 20
## Critical Value of t: 2.085963
## Minimum Significant Difference: 0.007643797
## Treatments with the same letter are not significantly different.
##
## Acidez groups
## T2 0.10837333 a
## T7 0.10659556 ab
## T3 0.09386667 bc
## T1 0.09329778 c
## T10 0.09216000 cd
## T8 0.09216000 cd
## T9 0.09216000 cd
## T4 0.08789333 cd
## T6 0.08362667 cd
## T5 0.07936000 d
```

Análisis ANOVA y prueba LSD cenizas del cotiledón del cacao CCN-51 tostado

Tabla 50: Análisis de ANOVA cenizas del cotiledón del cacao CCN-51 tostado

```
##              Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
## Tratamiento  9 0.6867 0.07630   44.74 2.64e-11 ***
## Residuals   20 0.0341 0.00171
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Tabla 51: Prueba LSD cenizas del cotiledón del cacao CCN-51 tostado

```
## LSD t Test for Ceniza
## P value adjustment method: hommel
## Mean Square Error: 0.001705278
## Alpha: 0.05 ; DF Error: 20
## Critical Value of t: 2.085963
## Minimum Significant Difference: 0.07033292
## Treatments with the same letter are not significantly different.
##
##          Ceniza groups
## T6  3.258472      a
## T8  3.061192      b
## T5  2.973353     bc
## T3  2.961209     bc
## T10 2.941829      c
## T9  2.941829      c
## T2  2.870691     cd
## T7  2.816110      d
## T4  2.766996     de
## T1  2.689926      e
```

Análisis ANOVA y prueba LSD pH del cotiledón del cacao CCN-51 tostado

Tabla 52: Análisis de ANOVA pH del cotiledón del cacao CCN-51 tostado

```
##              Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
## Tratamiento  9 0.1494 0.01660   48.82 1.16e-11 ***
## Residuals   20 0.0068 0.00034
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Tabla 53: Prueba LSD pH del cotiledón del cacao CCN-51 tostado

```
## LSD t Test for pH
## P value adjustment method: hommel
## Mean Square Error: 0.00034
## Alpha: 0.05 ; DF Error: 20
## Critical Value of t: 2.085963
## Minimum Significant Difference: 0.03140512
## Treatments with the same letter are not significantly different.
##
##          pH groups
## T5  4.500000      a
```

```

## T1 4.403333 b
## T3 4.403333 b
## T6 4.400000 b
## T7 4.376667 b
## T4 4.370000 b
## T2 4.313333 c
## T8 4.300000 c
## T10 4.273333 c
## T9 4.263333 c

```

Análisis proximal de la cascarilla del cacao CCN-51 tostado

Análisis ANOVA y prueba LSD acidez de la cascarilla del cacao CCN-51 tostado

Tabla 54: Análisis de ANOVA acidez de la cascarilla del cacao CCN-51 tostado

```

##          Df  Sum Sq  Mean Sq F value  Pr(>F)
## Tratamiento  9 0.009636 0.0010707   11.41 4.14e-06 ***
## Residuals   20 0.001877 0.0000938
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Tabla 55: Prueba LSD acidez de la cascarilla del cacao CCN-51 tostado

```

## LSD t Test for Acidez
## P value adjustment method: hommel
## Mean Square Error: 9.383936e-05
## Alpha: 0.05 ; DF Error: 20
## Critical Value of t: 2.085963
## Minimum Significant Difference: 0.01649885
## Treatments with the same letter are not significantly different.
##
##          Acidez groups
## T2 0.13653333 a
## T3 0.13034667 ab
## T4 0.11690667 abc
## T6 0.11434667 abc
## T1 0.11093333 abc
## T5 0.10752000 bc
## T10 0.09130667 cd
## T9 0.09130667 cd
## T8 0.09045333 cd
## T7 0.07765333 d

```

Análisis ANOVA y prueba LSD ceniza la cascarilla del cacao CCN-51 tostado

Tabla 56: Análisis de ANOVA ceniza de la cascarilla del cacao CCN-51 tostado

```

##          Df Sum Sq Mean Sq F value  Pr(>F)
## Tratamiento  9 10.759 1.1955 45.88 2.09e-11 ***
## Residuals   20 0.521 0.0261

```

```
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Tabla 57: Prueba LSD ceniza del cotiledón del cacao CCN-51 tostado

```
## LSD t Test for Ceniza
## P value adjustment method: hommel
## Mean Square Error:  0.02605919
## Alpha: 0.05 ; DF Error: 20
## Critical Value of t: 2.085963
## Minimum Significant Difference: 0.2749423
## Treatments with the same letter are not significantly different.
##
##          Ceniza groups
## T8  11.536992      a
## T10 11.300815      a
## T9   11.300432      a
## T7   10.632068      b
## T4   10.337912     bc
## T5   10.272265     bcd
## T3   10.131134     cd
## T1    9.970429     cd
## T6    9.920575     cd
## T2    9.875786     d
```

Análisis ANOVA y prueba LSD pH de la cascarilla del cacao CCN-51 tostado

Tabla 58: Análisis de ANOVA pH de la cascarilla del cacao CCN-51 tostado

```
##          Df  Sum Sq  Mean Sq F value  Pr(>F)
## Tratamiento  9 0.09681 0.010757  36.26 1.87e-10 ***
## Residuals   20 0.00593 0.000297
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Tabla 59: Prueba LSD pH de la cascarilla del cacao CCN-51 tostado

```
## LSD t Test for pH
## P value adjustment method: hommel
## Mean Square Error:  0.0002966667
## Alpha: 0.05 ; DF Error: 20
## Critical Value of t: 2.085963
## Minimum Significant Difference: 0.02933563
## Treatments with the same letter are not significantly different.
##
##          pH groups
## T10 5.300000      a
## T9   5.300000      a
## T5   5.230000      b
## T3   5.210000     bc
## T6   5.193333     bcd
## T7   5.180000     cde
## T1   5.173333     cde
```

```
## T4 5.146667 de
## T8 5.146667 de
## T2 5.133333 e
```

Análisis ANOVA y prueba LSD del color en el cacao CCN-51 tostado

Análisis ANOVA y prueba LSD de las coordenadas de color L* del cacao CCN-51 tostado

Tabla 60: Análisis de ANOVA de las coordenadas de color L* del cacao CCN-51 tostado

```
##          Df Sum Sq Mean Sq F value  Pr(>F)
## Tratamiento  9  91.07  10.119   10.35 8.85e-06 ***
## Residuals   20  19.56   0.978
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Tabla 61: Prueba LSD de las coordenadas de color L* del cacao CCN-51 tostado

```
## LSD t Test for L
## P value adjustment method: hommel
## Mean Square Error: 0.9779367
## Alpha: 0.05 ; DF Error: 20
## Critical Value of t: 2.085963
## Minimum Significant Difference: 1.684288
## Treatments with the same letter are not significantly different.
##
##          L groups
## T5 31.21333 a
## T1 29.49667 ab
## T7 27.78667 bc
## T3 27.53333 bc
## T2 26.91000 bc
## T10 26.85667 bc
## T9 26.85667 bc
## T4 26.41000 c
## T8 25.27333 c
## T6 25.17667 c
```

Análisis ANOVA y prueba LSD de las coordenadas de color a* del cacao CCN-51 tostado

Tabla 62: Análisis de ANOVA de las coordenadas de color a* del cacao CCN-51 tostado

```
##          Df Sum Sq Mean Sq F value  Pr(>F)
## Tratamiento  9  100.3  11.140   2.166 0.072 .
## Residuals   20  102.9   5.143
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Tabla 63: Prueba LSD de las coordenadas de color a* del cacao CCN-51 tostado

```
## LSD t Test for a
## P value adjustment method: hommel
```

```

## Mean Square Error: 5.14333
## Alpha: 0.05 ; DF Error: 20
## Critical Value of t: 2.085963
## Minimum Significant Difference: 3.862631
## Treatments with the same letter are not significantly different.
##
##          a groups
## T3  10.363333    a
## T2  10.246667    a
## T4  10.050000    a
## T5   8.956667    a
## T1   8.543333    a
## T7   7.363333    a
## T10  6.973333    a
## T9   6.973333    a
## T8   5.546667    a
## T6   5.026667    a

```

Análisis ANOVA y prueba LSD de las coordenadas de color b* del cacao CCN-51 tostado

Tabla 64: Análisis de ANOVA de las coordenadas de color b* del cacao CCN-51 tostado

```

##          Df Sum Sq Mean Sq F value  Pr(>F)
## Tratamiento  9  79.18   8.798   7.948 6.27e-05 ***
## Residuals   20  22.14   1.107
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Tabla 65: Prueba LSD de las coordenadas de color b* del cacao CCN-51 tostado

```

## LSD t Test for b
## P value adjustment method: hommel
## Mean Square Error: 1.10698
## Alpha: 0.05 ; DF Error: 20
## Critical Value of t: 2.085963
## Minimum Significant Difference: 1.791971
## Treatments with the same letter are not significantly different.
##
##          b groups
## T5  5.7100000    a
## T2  5.6933333    a
## T3  5.3666667    a
## T1  4.3133333    ab
## T4  3.4066667    abc
## T7  3.2866667    abc
## T6  2.5900000    abc
## T10 1.9300000    bc
## T9  1.9300000    bc
## T8  0.9033333    c

```

Análisis ANOVA y prueba LSD de la tonalidad H* del cacao CCN-51 tostado

Tabla 66: Análisis de ANOVA de la tonalidad H* del cacao CCN-51 tostado

```
##           Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Tratamiento  9 0.5311 0.05901  4.129 0.00397 **
## Residuals   20 0.2858 0.01429
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Tabla 67: Prueba LSD de la tonalidad H* del cacao CCN-51 tostado

```
## LSD t Test for H
## P value adjustment method: hommel
## Mean Square Error: 0.01429215
## Alpha: 0.05 ; DF Error: 20
## Critical Value of t: 2.085963
## Minimum Significant Difference: 0.203615
## Treatments with the same letter are not significantly different.
##
##           H groups
## T5 0.6102164      a
## T2 0.5036054     ab
## T1 0.4868012     ab
## T6 0.4843621     ab
## T3 0.4730240     ab
## T7 0.4116317     ab
## T4 0.3410235     ab
## T10 0.2752325    ab
## T9 0.2752325    ab
## T8 0.1404541     b
```

Análisis ANOVA y prueba LSD de la cromaticidad C* del cacao CCN-51 tostado

Tabla 68: Análisis de ANOVA de la cromaticidad C* del cacao CCN-51 tostado

```
##           Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Tratamiento  9 151.88 16.876  3.526 0.00907 **
## Residuals   20  95.73  4.787
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Tabla 69: Prueba LSD de la cromaticidad C* del cacao CCN-51 tostado

```
## LSD t Test for C
## P value adjustment method: hommel
## Mean Square Error: 4.786607
## Alpha: 0.05 ; DF Error: 20
## Critical Value of t: 2.085963
## Minimum Significant Difference: 3.726275
## Treatments with the same letter are not significantly different.
##
##           C groups
## T2 11.724397      a
```

```
## T3 11.672441 a
## T5 10.949138 ab
## T4 10.639409 ab
## T1 9.629016 ab
## T7 8.088976 abc
## T10 7.237177 bc
## T9 7.237177 bc
## T6 5.670086 c
## T8 5.642239 c
```

Concentración metal pesado cadmio (Cd) en el cacao CCN-51

Análisis ANOVA y prueba LSD cadmio (Cd) en el cacao CCN-51 fermentado y secado

Análisis ANOVA y prueba LSD cadmio (Cd) en el cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado

Tabla 70: Análisis de ANOVA del Contenido de cadmio (Cd) en el cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado

```
##          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Tratamiento 10  47.10   4.710   2610 <2e-16 ***
## Residuals  22   0.04   0.002
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Tabla 71: Prueba LSD del Contenido de cadmio (Cd) en el cotiledón del cacao CCN-51 fermentado y secado

```
## LSD t Test for Cadmio
## P value adjustment method: hommel
## Mean Square Error: 0.001804091
## Alpha: 0.05 ; DF Error: 22
## Critical Value of t: 2.073873
## Minimum Significant Difference: 0.07192266
## Treatments with the same letter are not significantly different.
##
##          Cadmio groups
## T6 4.5698333 a
## T5 2.9000000 b
## T7 1.5385000 c
## T11 1.5076667 c
## T9 1.5070000 c
## T10 1.5056667 c
## T8 1.4433333 c
## T3 1.1963333 d
## T2 0.3436667 e
## T4 0.3235000 e
## T1 0.2635000 e
```

Análisis ANOVA y prueba LSD cadmio (Cd) en la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado

Tabla 72: Análisis de ANOVA del contenido de cadmio (Cd) en la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado

```
##           Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Tratamiento 10  5.507  0.5507   867.3 <2e-16 ***
## Residuals   22  0.014  0.0006
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Tabla 73: Prueba LSD del contenido de cadmio (Cd) en la cascarilla del cacao CCN-51 fermentado y secado

```
## LSD t Test for Cadmio
## P value adjustment method: hommel
## Mean Square Error: 0.0006349394
## Alpha: 0.05 ; DF Error: 22
## Critical Value of t: 2.073873
## Minimum Significant Difference: 0.04266804
## Treatments with the same letter are not significantly different.
##
##           Cadmio groups
## T3  2.0485000      a
## T5  0.8816667      b
## T2  0.7378333      c
## T7  0.7300000      c
## T1  0.6815000     cd
## T6  0.6378333     de
## T8  0.6176667     de
## T4  0.6160000     de
## T11 0.5733333      e
## T10 0.5723333      e
## T9  0.5713333      e
```

Análisis ANOVA y prueba LSD cadmio (Cd) en el cacao CCN-51 tostado

Análisis ANOVA y prueba LSD cadmio (Cd) en el cotiledón del cacao CCN-51 tostado

Tabla 74: Análisis de ANOVA del contenido de cadmio (Cd) en el cotiledón del cacao CCN-51 tostado

```
##           Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Tratamiento 10  1.5293  0.15293   302.7 <2e-16 ***
## Residuals   22  0.0111  0.00051
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Tabla 75: Prueba LSD del contenido de cadmio (Cd) en el cotiledón del cacao CCN-51 tostado

```
## LSD t Test for Cadmio
## P value adjustment method: hommel
```

```

## Mean Square Error: 0.0005052954
## Alpha: 0.05 ; DF Error: 22
## Critical Value of t: 2.073873
## Minimum Significant Difference: 0.03806354
## Treatments with the same letter are not significantly different.
##
##          Cadmio groups
## T2 0.8000000 a
## T3 0.7478333 a
## T5 0.3441667 b
## T8 0.3286667 b
## T11 0.2900000 bc
## T10 0.2890000 bc
## T9 0.2880000 bc
## T7 0.2546667 cd
## T6 0.2545000 cd
## T4 0.2021667 d
## T1 0.0380600 e

```

Análisis ANOVA y prueba LSD cadmio (Cd) en la cascarilla del cacao CCN-51 tostado

Tabla 76: Análisis de ANOVA del contenido de cadmio (Cd) en la cascarilla del cacao CCN-51 tostado

```

##          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Tratamiento 10 1.0311 0.10311 371.3 <2e-16 ***
## Residuals 22 0.0061 0.00028
## ---
## Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Tabla 77: Prueba LSD del contenido de cadmio (Cd) en la cascarilla del cacao CCN-51 tostado

```

## LSD t Test for Cadmio
## P value adjustment method: hommel
## Mean Square Error: 0.000277697
## Alpha: 0.05 ; DF Error: 22
## Critical Value of t: 2.073873
## Minimum Significant Difference: 0.02821773
## Treatments with the same letter are not significantly different.
##
##          Cadmio groups
## T5 1.1635000 a
## T7 0.7843333 b
## T8 0.7218333 c
## T1 0.6836667 c
## T4 0.6228333 d
## T3 0.5980000 de
## T2 0.5723333 ef
## T10 0.5546667 f

```

```
## T9 0.5536667 f
## T11 0.5520000 f
## T6 0.5063333 g
```

Análisis de varianza de la optimización en la concentración de Cd en el cacao CCN-51 seco mediante metodología de superficie de respuesta

Regresión de superficie de respuesta: Concentración de Cd versus Fermentación y Secado del cotiledón del cacao CCN-51 Seco

Tabla 78: Análisis de la varianza de la superficie de respuesta de [Cd vs fermentación y secado – cacao CCN-51 seco cotiledón

```
## rsm(formula = YSE ~ SO(TIEMP, TEMP), data = data1)
##
##           Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
##(Intercept) -4.2952910  21.1233681  -0.2033  0.8469
##TIEMP      -2.4657886   2.9942199  -0.8235  0.4477
##TEMP       0.5240135   0.5857676   0.8946  0.4120
##TIEMP:TEMP -0.0158833   0.0399226  -0.3979  0.7072
##TIEMP^2    0.2705991   0.1705212   1.5869  0.1734
##TEMP^2    -0.0043246   0.0052343  -0.8262  0.4463
##
##Multiple R-squared:  0.5431,    Adjusted R-squared:  0.08625
##F-statistic: 1.189 on 5 and 5 DF,  p-value: 0.4271
##
##Stationary point of response surface:
##   TIEMP   TEMP
## 6.010313 49.547643
##
##Yst = b0+t(XS)%*%b+t(XS)%*%mB%*%XS
##Yst = 1.276445 es el óptimo o punto estacionario.
##
##Eigenanalysis:
##eigen() decomposition
##$values
## [1] 0.270828278 -0.004553841
##
##$vectors
##           [,1]      [,2]
##TIEMP -0.99958373 -0.02885073
##TEMP  0.02885073 -0.99958373
```

Regresión de superficie de respuesta: Concentración de Cd versus Fermentación y Secado de la cascarilla del cacao CCN-51 Seco

Tabla 79: Análisis de la varianza de la superficie de respuesta de [Cd vs fermentación y secado – cacao CCN-51 seco cascarilla

```
##rsm(formula = YSC ~ SO(TIEMP, TEMP), data = data1)
##
##           Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
##(Intercept) -1.6594714  6.9095881  -0.2402  0.8197
##TIEMP      0.7013884  0.9794284   0.7161  0.5060
```

```

##TEMP      0.0111100  0.1916083  0.0580  0.9560
##TIEMP:TEMP -0.0248133  0.0130589 -1.9001  0.1158
##TIEMP^2    0.0459840  0.0557786  0.8244  0.4472
##TEMP^2     0.0013082  0.0017122  0.7640  0.4793
##
##Multiple R-squared:  0.5819,    Adjusted R-squared:  0.1639
##F-statistic: 1.392 on 5 and 5 DF,  p-value: 0.3628
##
##Stationary point of response surface:
##      TIEMP      TEMP
## 5.627319 49.123664
##
##Yst = b0+t(XS)%*%b+t(XS)%*%mB%*%XS
##Yst = 0.5868775 es el punto estacionario para la variable dependiente
##
##Eigenanalysis:
##eigen() decomposition
##$values
## [1]  0.04919816 -0.00190599
##
##$vectors
##           [,1]      [,2]
##TIEMP -0.9680424 -0.2507867
##TEMP  0.2507867 -0.9680424

```

Análisis de varianza de la optimización en la concentración de Cd en el cacao CCN-51 Tostado mediante metodología de superficie de respuesta

Regresión de superficie de respuesta: concentración de Cd versus tostado (tiempo y temperatura) del cotiledón del cacao CCN-51 tostado

Tabla 80: *Análisis de la varianza de la superficie de respuesta de [Cd vs tiempo y temperatura (tostado) – cacao CCN-51 tostado cotiledón*

```

## rsm(formula = YCO ~ SO(TEMP, TIEMP), data = data1)
##
##           Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
##(Intercept) -27.0806847  29.6647884 -0.9129 0.403171
##TEMP        0.0082252   0.4473166  0.0184 0.986041
##TIEMP       1.5276466   0.2867744  5.3270 0.003122 **
##TEMP:TIEMP  -0.0130750   0.0020694 -6.3182 0.001463 **
##TEMP^2      0.0017962   0.0017654  1.0175 0.355617
##TIEMP^2     0.0016401   0.0017654  0.9290 0.395520
##---
##Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
##Multiple R-squared:  0.895, Adjusted R-squared:  0.79
##F-statistic: 8.522 on 5 and 5 DF,  p-value: 0.01728
##
##Stationary point of response surface:
##      TEMP      TIEMP
##125.65646  35.15395
##

```

```

##Punto estacionario general: >
##Yst = b0+t(XS)%*%b+t(XS)%*%mB%*%XS
##Yst = 0.2874912
##
##Eigenanalysis:
##eigen() decomposition
##$values
## [1] 0.008256122 -0.004819810
##
##$vectors
##           [,1]      [,2]
##TEMP -0.7113156 -0.7028728
##TIEMP 0.7028728 -0.7113156

```

Regresión de superficie de respuesta: Concentración de Cd versus tostado (tiempo y temperatura) de la cascarilla del cacao CCN-51 Tostado

Tabla 81: Análisis de la varianza de la superficie de respuesta de [Cd vs tiempo y temperatura (tostado) – cacao CCN-51 tostado cascarilla

```

##rsm(formula = YCA ~ SO(TEMP, TIEMP), data = data1)
##
##           Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
##(Intercept) 72.7129573 51.9703472  1.3991  0.2207
##TEMP      -1.0373024  0.7836631 -1.3237  0.2429
##TIEMP      -0.3280605  0.5024059 -0.6530  0.5426
##TEMP:TIEMP  0.0013620  0.0036255  0.3757  0.7226
##TEMP^2      0.0038620  0.0030929  1.2487  0.2671
##TIEMP^2     0.0021916  0.0030929  0.7086  0.5102
##
##Multiple R-squared:  0.5219, Adjusted R-squared:  0.04389
##F-statistic: 1.092 on 5 and 5 DF,  p-value: 0.4628
##
##Stationary point of response surface:
##      TEMP      TIEMP
##128.11705 35.03446 ÒPTIMOS PARA CADA VARIABLE.
##> Yst = b0+t(XS)%*%b+t(XS)%*%mB%*%XS
##Yst = 0.5181889 es el punto estacionario u óptimo.
##
##Eigenanalysis:
##eigen() decomposition
##$values
## [1] 0.004104481 0.001949184
##
##$vectors
##           [,1]      [,2]
##TEMP -0.9420787  0.3353920
##TIEMP -0.3353920 -0.9420787

```

ANEXO 02. Matriz de Consistencia

Tabla 82: Matriz de consistencia

Problema	DISEÑO TEÓRICO Objetivos	Hipótesis	Operacionalización de variables			DISEÑO METODOLÓGICO	
			Variables	Indicadores	Val. Escalar	Método	Equipo / Instrumento
General ¿De qué manera influirá los procesos de fermentación, secado, tostado en el contenido de cadmio del cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)?	General Optimizar los parámetros de fermentado, secado y tostado del cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) en la concentración de cadmio.	General Los procesos de fermentado, secado, tostado afectan el comportamiento del cadmio en el cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.).					
¿De qué manera influirá el tiempo de fermentación y la temperatura de secado en el contenido de cadmio del cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) del distrito de San Gabán?	Específico 1 Evaluar la concentración del cadmio en el cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.), después de los procesos de fermentado y secado.	La concentración de cadmio durante los procesos de fermentado disminuye y por el proceso de secado del cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) aumenta.	VI: Θ fermentación: 5; y 8 DIAS T° de secado: 40 y 60°C VD: -Concentración de Cd - Composición fisicoquímico (% de fermentación, humedad, pH, cenizas, acidez)	mg/K g	0.001- 3.00	-AOAC 999.11:2005 -NTP-ISO 1114:2016 -AOAC 950.27:2005 -AOAC 981.12:2005 -AOAC 942.15:2005 -AOAC 940.26:2005	-ICP-OES -Estufa -Potenciómetro -Guillotina -Higrómetro
¿Cuál será el efecto del tiempo y la temperatura de tostado en el contenido de cadmio del cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) del distrito de San Gabán?	Específico 2 Evaluar la concentración de cadmio en el cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.), después del proceso de tostado	El contenido de cadmio no es afectado por el proceso de tostado del cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.).	VI: -Θ: 40 y 50 min -T°: 120; 130 y 150°C VD: -Concentración de Cd -Color -Composición fisicoquímico (humedad, pH, cenizas, acidez)	mg/K g	0.001- 3.00	-AOAC 999.11:2005 -AOAC 950.27:2005 -AOAC 981.12:2005 -AOAC 942.15:2005 -AOAC 940.26:2005	-ICP-OES -Estufa -Potenciómetro -Mufla -Colorímetro SC20 -Higrómetro

ANEXO 03. Fotografías del proceso de fermentado, secado y tostado del cacao CCN-51

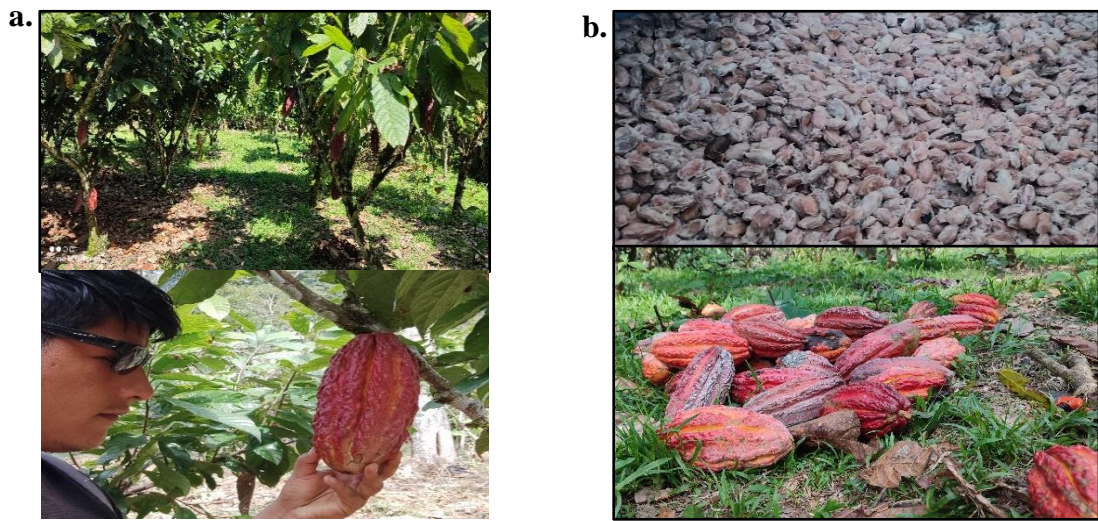


Figura 21. a. Identificación de la muestra b. Extracción del *mucilago de cacao*



Figura 22. a. Acondicionamiento de la muestra b. Fermentación del cacao

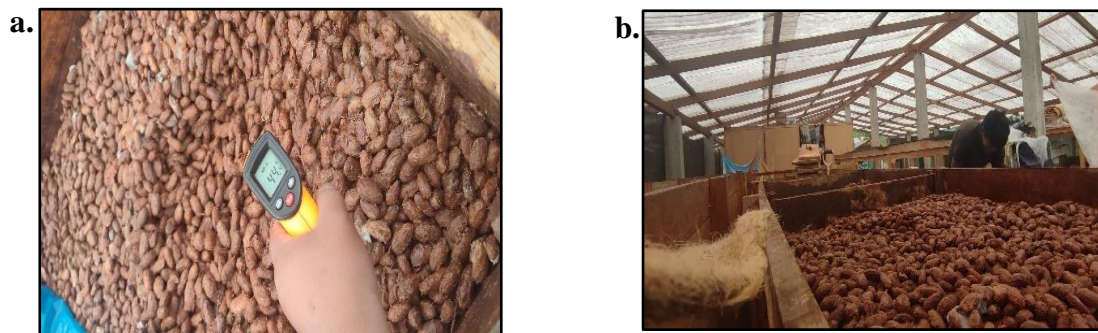


Figura 23. a. Toma de temperatura del cacao fermentando b. Remoción de las muestras de cacao fermentando

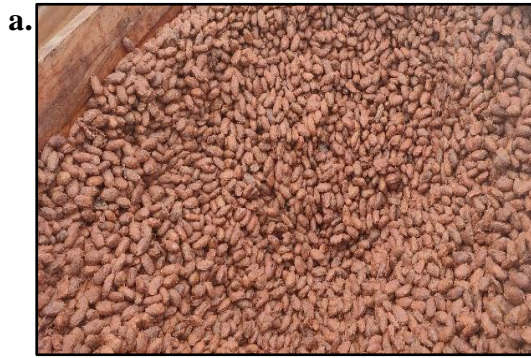


Figura 24. a. Cacao fermentado b. Acondicionamiento para el secado



Figura 25. a. Secado en estufa b. Control de tiempo y temperatura en el secado



Figura 26. a. Cacao seco b. Tostado del cacao



Figura 27. a. Control de tiempo y temperatura b. Cacao tostado

ANEXO 04. Preparación de las muestras de cacao, suelo y agua



Figura 28. a. Muestras secas de cacao b. Muestras tostadas de cacao c. Muestras de agua y suelo

ANEXO 05. Fotografía de los análisis proximales



Figura 29. Toma de muestra de suelo y agua



Figura 30. Identificación de mazorcas de cacao y cacao fresco



Figura 31. Preparación de muestras para los análisis de acidez, ceniza y pH (trituración)



Figura 32. Análisis de cenizas



Figura 33. Filtración de muestras para los análisis de acidez y pH



Figura 34. Análisis de Acidez



Figura 35. Análisis de pH

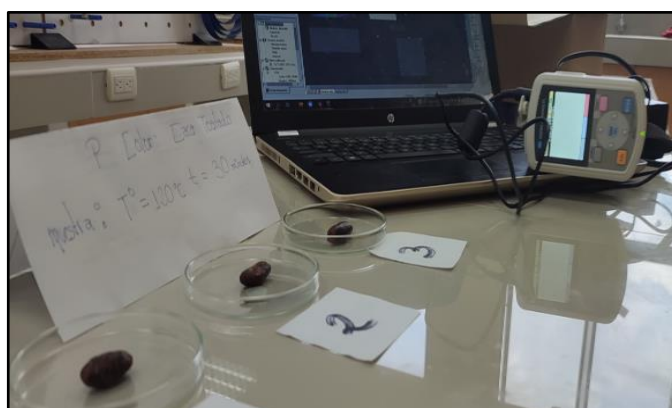


Figura 36. Preparación de muestras para tomas del color



Figura 37. Equipo ICP OES



Figura 38. a. Índice de fermentación b. Equipos para determinación de humedad

ANEXO 06. Ficha técnica de la caja fermentadora

FICHA TÉCNICA

CAJA FERMENTADORA

<u>NOMBRE DEL EQUIPO</u>	<u>Caja fermentadora</u>
<u>DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO</u>	Equipo para el proceso de fermentación del cacao, dispone con patas de madera para estar libre del suelo.

<u>CAPACIDAD MÁXIMA</u>	650 Kg/Bach
<u>CAPACIDAD MÍNIMA</u>	20 Kg/Bach
<u>DIMENSIONES</u>	1.0m*1.0m*1.0m
<u>PESO</u>	45 Kg
<u>SISTEMA DE CARGA Y DESCARGA</u>	Manual
<u>MATERIAL</u>	Madera tornillo



ANEXO 07. Análisis de laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

TINGO MARIA

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN



ANÁLISIS

SOLICITANTE Phocco Cuchuyrumi, Yoel

DEPARTAMENTO: Puno

PROVINCIA: Carabaya

DISTRITO San Gaban

Muestra: Fresco, Patrones, Suelo y Agua

N°	COD. LAB	DATOS DE LA MUESTRA				Cd
		Cultivo	Muestra	Etiqueta	Repetición	mg/kg
67	ICP 108	Cacao	Cotiledon	MC fresco	R 1	1.477
68	ICP 109	Cacao	Cotiledon	MC fresco	R 2	1.471
69	ICP 110	Cacao	Cotiledon	MC fresco	R 3	1.476
70	ICP 111	Cacao	Cotiledon	MC-CAI T	R 1	1.557
71	ICP 112	Cacao	Cotiledon	MC-CAI T	R 2	1.510
72	ICP 113	Cacao	Cotiledon	MC-CAI T	R 3	1.527
73	ICP 114	Cacao	Cotiledon	MC-CAI S	R 1	2.110
74	ICP 115	Cacao	Cotiledon	MC-CAI S	R 2	2.102
75	ICP 116	Cacao	Cotiledon	MC-CAI S	R 3	2.159
76	ICP 117	Cacao	Cascarilla	MC fresco	R 1	0.313
77	ICP 118	Cacao	Cascarilla	MC fresco	R 2	0.335
78	ICP 119	Cacao	Cascarilla	MC fresco	R 3	0.431
79	ICP 120	Cacao	Cascarilla	MC-CAI T	R 1	0.513
80	ICP 121	Cacao	Cascarilla	MC-CAI T	R 2	0.524
81	ICP 122	Cacao	Cascarilla	MC-CAI T	R 3	0.522
82	ICP 123	Cacao	Cascarilla	MC-CAI S	R 1	0.670
83	ICP 124	Cacao	Cascarilla	MC-CAI S	R 2	0.716
84	ICP 125	Cacao	Cascarilla	MC-CAI S	R 3	0.672

N°	COD. LAB	DATOS DE LA MUESTRA				Cd	Cd
		Cultivo	Muestra	Etiqueta	Fracción	mg/kg	mg/l
85	ICP 126	Cacao	Suelo	M 1	Disponibile	0.187	----
86	ICP 127	Cacao	Suelo	M 1	Total	0.688	----
87	ICP 128	Cacao	Suelo	M 2	Disponibile	0.176	----
88	ICP 129	Cacao	Suelo	M 2	Total	0.702	----
89	ICP 130	Cacao	Agua	M 1	Total	----	0.002

Equipo: Espectrofotometro de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP OES) /HORIBA-Ultima expert

Factura: 001-00000956


 Ing. Sanchez Rodriguez Igual
 ESPECIALISTA AREA ICP OES



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

TINGO MARIA
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION

LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN

ANÁLISIS



SOLICITANTE Phocco Cuchuyrumi, Yoel

DEPARTAMENTO: Puno

PROVINCIA: Carabaya

DISTRITO San Gaban

Muestra: Fermentado y Secado

N°	COD. LAB	DATOS DE LA MUESTRA				Cd mg/kg
		Cultivo	Muestra	Etiqueta	Repeticion	
90	ICP 131	Cacao	Cotiledon	1-MC 1	R 1	0.266
91	ICP 132	Cacao	Cotiledon	1-MC 1	R 2	0.274
92	ICP 133	Cacao	Cotiledon	1-MC 1	R 3	0.251
93	ICP 134	Cacao	Cotiledon	1-MC 2	R 1	0.350
94	ICP 135	Cacao	Cotiledon	1-MC 2	R 2	0.346
95	ICP 136	Cacao	Cotiledon	1-MC 2	R 3	0.336
96	ICP 137	Cacao	Cotiledon	1-MC 3	R 1	1.174
97	ICP 138	Cacao	Cotiledon	1-MC 3	R 2	1.192
98	ICP 139	Cacao	Cotiledon	1-MC 3	R 3	1.224
99	ICP 140	Cacao	Cotiledon	1-MC 4	R 1	0.313
100	ICP 141	Cacao	Cotiledon	1-MC 4	R 2	0.339
101	ICP 142	Cacao	Cotiledon	1-MC 4	R 3	0.319
102	ICP 143	Cacao	Cotiledon	1-MC 5	R 1	2.988
103	ICP 144	Cacao	Cotiledon	1-MC 5	R 2	2.777
104	ICP 145	Cacao	Cotiledon	1-MC 5	R 3	2.936
105	ICP 146	Cacao	Cotiledon	1-MC 6	R 1	4.486
106	ICP 147	Cacao	Cotiledon	1-MC 6	R 2	4.615
107	ICP 148	Cacao	Cotiledon	1-MC 6	R 3	4.609
108	ICP 149	Cacao	Cotiledon	1-MC 7	R 1	1.547
109	ICP 150	Cacao	Cotiledon	1-MC 7	R 2	1.500
110	ICP 151	Cacao	Cotiledon	1-MC 7	R 3	1.569
111	ICP 152	Cacao	Cotiledon	1-MC 8	R 1	1.457
112	ICP 153	Cacao	Cotiledon	1-MC 8	R 2	1.429
113	ICP 154	Cacao	Cotiledon	1-MC 8	R 3	1.445
114	ICP 155	Cacao	Cotiledon	1-MC 9	R 1	1.507
115	ICP 156	Cacao	Cotiledon	1-MC 9	R 2	1.504
116	ICP 157	Cacao	Cotiledon	1-MC 9	R 3	1.510
117	ICP 158	Cacao	Cotiledon	1-MC 10	R 1	1.508
118	ICP 159	Cacao	Cotiledon	1-MC 10	R 2	1.506
119	ICP 160	Cacao	Cotiledon	1-MC 10	R 3	1.503
120	ICP 161	Cacao	Cotiledon	1-MC 11	R 1	1.505
121	ICP 162	Cacao	Cotiledon	1-MC 11	R 2	1.510
122	ICP 163	Cacao	Cotiledon	1-MC 11	R 3	1.508
123	ICP 164	Cacao	Cascarilla	1-MC 1	R 1	0.698
124	ICP 165	Cacao	Cascarilla	1-MC 1	R 2	0.687
125	ICP 166	Cacao	Cascarilla	1-MC 1	R 3	0.660
126	ICP 167	Cacao	Cascarilla	1-MC 2	R 1	0.698
127	ICP 168	Cacao	Cascarilla	1-MC 2	R 2	0.769
128	ICP 169	Cacao	Cascarilla	1-MC 2	R 3	0.747
129	ICP 170	Cacao	Cascarilla	1-MC 3	R 1	2.017
130	ICP 171	Cacao	Cascarilla	1-MC 3	R 2	2.091
131	ICP 172	Cacao	Cascarilla	1-MC 3	R 3	2.038
132	ICP 173	Cacao	Cascarilla	1-MC 4	R 1	0.597
133	ICP 174	Cacao	Cascarilla	1-MC 4	R 2	0.623
134	ICP 175	Cacao	Cascarilla	1-MC 4	R 3	0.629
135	ICP 176	Cacao	Cascarilla	1-MC 5	R 1	0.899
136	ICP 177	Cacao	Cascarilla	1-MC 5	R 2	0.900
137	ICP 178	Cacao	Cascarilla	1-MC 5	R 3	0.847
138	ICP 179	Cacao	Cascarilla	1-MC 6	R 1	0.678
139	ICP 180	Cacao	Cascarilla	1-MC 6	R 2	0.620
140	ICP 181	Cacao	Cascarilla	1-MC 6	R 3	0.616
141	ICP 182	Cacao	Cascarilla	1-MC 7	R 1	0.731
142	ICP 183	Cacao	Cascarilla	1-MC 7	R 2	0.721
143	ICP 184	Cacao	Cascarilla	1-MC 7	R 3	0.739
144	ICP 185	Cacao	Cascarilla	1-MC 8	R 1	0.656
145	ICP 186	Cacao	Cascarilla	1-MC 8	R 2	0.611
146	ICP 187	Cacao	Cascarilla	1-MC 8	R 3	0.587
147	ICP 188	Cacao	Cascarilla	1-MC 9	R 1	0.574
148	ICP 189	Cacao	Cascarilla	1-MC 9	R 2	0.564
149	ICP 190	Cacao	Cascarilla	1-MC 9	R 3	0.576
150	ICP 191	Cacao	Cascarilla	1-MC 10	R 1	0.572
151	ICP 192	Cacao	Cascarilla	1-MC 10	R 2	0.573
152	ICP 193	Cacao	Cascarilla	1-MC 10	R 3	0.572
153	ICP 194	Cacao	Cascarilla	1-MC 11	R 1	0.576
154	ICP 195	Cacao	Cascarilla	1-MC 11	R 2	0.575
155	ICP 196	Cacao	Cascarilla	1-MC 11	R 3	0.569

Equipo: Espectrofotometro de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP OES) / HORIBA-Ultima expert

Factura: 001-00000956



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

TINGO MARIA
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION

LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN

ANALISIS



SOLICITANTE Phocco Cuchuyrumi, Yoel

DEPARTAMENTO: Puno

PROVINCIA: Carabaya

DISTRITO San Gaban

Muestra: Tostado

N°	COD. LAB	DATOS DE LA MUESTRA				Cd mg/kg
		Cultivo	Muestra	Etiqueta	Repeticion	
1	ICP 42	Cacao	Cotiledon	MCT 1	R 1	0.038
2	ICP 43	Cacao	Cotiledon	MCT 1	R 2	0.036
3	ICP 44	Cacao	Cotiledon	MCT 1	R 3	0.040
4	ICP 45	Cacao	Cotiledon	MCT 2	R 1	0.771
5	ICP 46	Cacao	Cotiledon	MCT 2	R 2	0.875
6	ICP 47	Cacao	Cotiledon	MCT 2	R 3	0.755
7	ICP 48	Cacao	Cotiledon	MCT 3	R 1	0.733
8	ICP 49	Cacao	Cotiledon	MCT 3	R 2	0.750
9	ICP 50	Cacao	Cotiledon	MCT 3	R 3	0.762
10	ICP 51	Cacao	Cotiledon	MCT 4	R 1	0.200
11	ICP 52	Cacao	Cotiledon	MCT 4	R 2	0.210
12	ICP 53	Cacao	Cotiledon	MCT 4	R 3	0.198
13	ICP 54	Cacao	Cotiledon	MCT 5	R 1	0.334
14	ICP 55	Cacao	Cotiledon	MCT 5	R 2	0.351
15	ICP 56	Cacao	Cotiledon	MCT 5	R 3	0.348
16	ICP 57	Cacao	Cotiledon	MCT 6	R 1	0.233
17	ICP 58	Cacao	Cotiledon	MCT 6	R 2	0.284
18	ICP 59	Cacao	Cotiledon	MCT 6	R 3	0.247
19	ICP 60	Cacao	Cotiledon	MCT 7	R 1	0.248
20	ICP 61	Cacao	Cotiledon	MCT 7	R 2	0.263
21	ICP 62	Cacao	Cotiledon	MCT 7	R 3	0.253
22	ICP 63	Cacao	Cotiledon	MCT 8	R 1	0.315
23	ICP 64	Cacao	Cotiledon	MCT 8	R 2	0.343
24	ICP 65	Cacao	Cotiledon	MCT 8	R 3	0.329
25	ICP 66	Cacao	Cotiledon	MCT 9	R 1	0.288
26	ICP 67	Cacao	Cotiledon	MCT 9	R 2	0.294
27	ICP 68	Cacao	Cotiledon	MCT 9	R 3	0.282
28	ICP 69	Cacao	Cotiledon	MCT 10	R 1	0.289
29	ICP 70	Cacao	Cotiledon	MCT 10	R 2	0.291
30	ICP 71	Cacao	Cotiledon	MCT 10	R 3	0.287
31	ICP 72	Cacao	Cotiledon	MCT 11	R 1	0.290
32	ICP 73	Cacao	Cotiledon	MCT 11	R 2	0.288
33	ICP 74	Cacao	Cotiledon	MCT 11	R 3	0.292
34	ICP 75	Cacao	Cascarilla	MCT 1	R 1	0.671
35	ICP 76	Cacao	Cascarilla	MCT 1	R 2	0.705
36	ICP 77	Cacao	Cascarilla	MCT 1	R 3	0.676
37	ICP 78	Cacao	Cascarilla	MCT 2	R 1	0.558
38	ICP 79	Cacao	Cascarilla	MCT 2	R 2	0.576
39	ICP 80	Cacao	Cascarilla	MCT 2	R 3	0.584
40	ICP 81	Cacao	Cascarilla	MCT 3	R 1	0.608
41	ICP 82	Cacao	Cascarilla	MCT 3	R 2	0.582
42	ICP 83	Cacao	Cascarilla	MCT 3	R 3	0.604
43	ICP 84	Cacao	Cascarilla	MCT 4	R 1	0.635
44	ICP 85	Cacao	Cascarilla	MCT 4	R 2	0.625
45	ICP 86	Cacao	Cascarilla	MCT 4	R 3	0.609
46	ICP 87	Cacao	Cascarilla	MCT 5	R 1	1.155
47	ICP 88	Cacao	Cascarilla	MCT 5	R 2	1.171
48	ICP 89	Cacao	Cascarilla	MCT 5	R 3	1.165
49	ICP 90	Cacao	Cascarilla	MCT 6	R 1	0.526
50	ICP 91	Cacao	Cascarilla	MCT 6	R 2	0.512
51	ICP 92	Cacao	Cascarilla	MCT 6	R 3	0.482
52	ICP 93	Cacao	Cascarilla	MCT 7	R 1	0.784
53	ICP 94	Cacao	Cascarilla	MCT 7	R 2	0.785
54	ICP 95	Cacao	Cascarilla	MCT 7	R 3	0.784
55	ICP 96	Cacao	Cascarilla	MCT 8	R 1	0.746
56	ICP 97	Cacao	Cascarilla	MCT 8	R 2	0.737
57	ICP 98	Cacao	Cascarilla	MCT 8	R 3	0.683
58	ICP 99	Cacao	Cascarilla	MCT 9	R 1	0.577
59	ICP 100	Cacao	Cascarilla	MCT 9	R 2	0.544
60	ICP 101	Cacao	Cascarilla	MCT 9	R 3	0.540
61	ICP 102	Cacao	Cascarilla	MCT 10	R 1	0.551
62	ICP 103	Cacao	Cascarilla	MCT 10	R 2	0.556
63	ICP 104	Cacao	Cascarilla	MCT 10	R 3	0.557
64	ICP 105	Cacao	Cascarilla	MCT 11	R 1	0.549
65	ICP 106	Cacao	Cascarilla	MCT 11	R 2	0.552
66	ICP 107	Cacao	Cascarilla	MCT 11	R 3	0.555

Equipo: Espectrofotometro de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP OES) HORIBA-Ultima expert

Factura: 001-0000984

Ing. Sanchez Rodriguez Miguel
ESPECIALISTA AREA ICP OES

ANALISIS DE HUMEDAD Y INDICE DE FERMENTACION EN MUESTRAS DE CACAO

DPTO: PUNO PROVINCIA: CARABAYA DISTRITO: SAN GABAN

EJECUTANTE: PHOCCO CUCHUYRUMI YOEL

DATOS DE LA MUESTRA		
Cultivo	Muestra	ANALISIS
Cacao Seco	Collidon+cascañilla	% Humedad

X_1	X_2	Fermentado Tiempo (Dias)	Secado Temperatura (°C)	Etiqueta	Repetición			
					R 1	R 2	R 3	
-1	-1	5	40	1-MC 1	5.18	5.20	5.22	
-1	1	5	60	1-MC 2	4.68	4.66	4.69	
1	-1	8	40	1-MC 3	4.94	4.92	4.92	
1	1	8	60	1-MC 4	4.99	4.98	4.98	
-1.41421	0	4	50	1-MC 5	5.28	5.27	5.27	
1.41421	0	9	50	1-MC 6	5.12	5.09	5.11	
0	-1.41421	6.5	36	1-MC 7	5.01	5.00	5.01	
0	1.41421	6.5	64	1-MC 8	4.68	4.71	4.72	
0	0	6.5	50	1-MC 9	5.08	5.09	5.07	
0	0	6.5	50	1-MC 10	5.08	5.07	5.08	
					CAI	7.80	8.20	7.50
					Fresco	6.37	6.38	6.38

DATOS DE LA MUESTRA		
Cultivo	Muestra	ANALISIS
Cacao Seco	Collidon+cascañilla	Indice de fermentacion

X_1	X_2	Fermentado Tiempo (Dias)	Secado Temperatura (°C)	Etiqueta	Repetición			
					R 1	R 2	R 3	
-1	-1	5	40	1-MC 1	63.00	60.00	64.00	
-1	1	5	60	1-MC 2	62.00	63.00	63.00	
1	-1	8	40	1-MC 3	80.00	82.00	79.00	
1	1	8	60	1-MC 4	79.00	80.00	81.00	
-1.41421	0	4	50	1-MC 5	58.00	55.00	55.00	
1.41421	0	9	50	1-MC 6	82.00	80.00	80.00	
0	-1.41421	6.5	36	1-MC 7	75.00	74.00	70.00	
0	1.41421	6.5	64	1-MC 8	69.00	73.00	72.00	
0	0	6.5	50	1-MC 9	76.00	74.00	71.00	
0	0	6.5	50	1-MC 10	75.00	75.00	72.00	
					CAI	78.00	80.00	79.00
					Fresco	0.00	0.00	0.00

ANALISIS DE ACIDEZ EN MUESTRAS DE CACAO

DPTO: PUNO PROVINCIA: CARABAYA DISTRITO: SAN GABAN

EJECUTANTE: PHOCCO CUCHUYRUMI YOEL

DATOS DE LA MUESTRA		
Cultivo	Muestra	Metal
Cacao Tostado	Collodon	Acidez

X ₁	X ₂	Tostado		Etiqueta	Repeticion		
		Temperatura (°C)	Tiempo (Minutos)		R 1	R 2	R 3
-1	-1	120	30	MCT 1	0.105	0.085	0.090
-1	1	120	40	MCT 2	0.113	0.108	0.105
1	-1	130	30	MCT 3	0.100	0.092	0.090
1	1	130	40	MCT 4	0.092	0.087	0.084
-1.41421	0	118	35	MCT 5	0.082	0.077	0.079
1.41421	0	132	35	MCT 6	0.082	0.082	0.087
0	-1.41421	125	28	MCT 7	0.108	0.107	0.106
0	1.41421	125	42	MCT 8	0.092	0.095	0.090
0	0	125	35	MCT 9	0.095	0.092	0.090
0	0	125	35	MCT 10	0.095	0.092	0.089
CAI					0.041	0.036	0.033

DATOS DE LA MUESTRA		
Cultivo	Muestra	Metal
Cacao Seco	Collodon	Acidez

X ₁	X ₂	Fermentado	Secado	Etiqueta	Repeticion		
		Tiempo (Dias)	Temperatura (°C)		R 1	R 2	R 3
-1	-1	5	40	1-MC 1	0.041	0.038	0.044
-1	1	5	60	1-MC 2	0.079	0.077	0.077
1	-1	8	40	1-MC 3	0.064	0.064	0.061
1	1	8	60	1-MC 4	0.064	0.059	0.061
-1.41421	0	4	50	1-MC 5	0.070	0.067	0.067
1.41421	0	9	50	1-MC 6	0.058	0.054	0.054
0	-1.41421	6.5	36	1-MC 7	0.093	0.074	0.072
0	1.41421	6.5	64	1-MC 8	0.079	0.079	0.077
0	0	6.5	50	1-MC 9	0.067	0.061	0.061
0	0	6.5	50	1-MC 10	0.066	0.062	0.063
CAI					0.045	0.046	0.051
Fresco					0.054	0.058	0.051

DATOS DE LA MUESTRA		
Cultivo	Muestra	Metal
Cacao Tostado	Cascarilla	Acidez

X ₁	X ₂	Tostado		Etiqueta	Repeticion		
		Temperatura (°C)	Tiempo (Minutos)		R 1	R 2	R 3
-1	-1	120	30	MCT 1	0.084	0.131	0.118
-1	1	120	40	MCT 2	0.125	0.146	0.138
1	-1	130	30	MCT 3	0.128	0.138	0.125
1	1	130	40	MCT 4	0.118	0.115	0.118
-1.41421	0	118	35	MCT 5	0.110	0.102	0.110
1.41421	0	132	35	MCT 6	0.102	0.125	0.115
0	-1.41421	125	28	MCT 7	0.077	0.079	0.077
0	1.41421	125	42	MCT 8	0.090	0.092	0.090
0	0	125	35	MCT 9	0.097	0.087	0.090
0	0	125	35	MCT 10	0.097	0.087	0.090
CAI					0.042	0.036	0.038

DATOS DE LA MUESTRA		
Cultivo	Muestra	Metal
Cacao Seco	Cascarilla	Acidez

X ₁	X ₂	Fermentado	Secado	Etiqueta	Repeticion		
		Tiempo (Dias)	Temperatura (°C)		R 1	R 2	R 3
-1	-1	5	40	1-MC 1	0.077	0.077	0.090
-1	1	5	60	1-MC 2	0.095	0.087	0.084
1	-1	8	40	1-MC 3	0.043	0.038	0.034
1	1	8	60	1-MC 4	0.069	0.087	0.082
-1.41421	0	4	50	1-MC 5	0.051	0.046	0.051
1.41421	0	9	50	1-MC 6	0.079	0.074	0.079
0	-1.41421	6.5	36	1-MC 7	0.041	0.036	0.033
0	1.41421	6.5	64	1-MC 8	0.074	0.077	0.074
0	0	6.5	50	1-MC 9	0.061	0.064	0.061
0	0	6.5	50	1-MC 10	0.061	0.064	0.062
CAI					0.033	0.032	0.043
Fresco					0.205	0.207	0.207

ANÁLISIS DE CENIZAS EN MUESTRAS DE CACAO

DPTO: PUNO PROVINCIA: CARABAYA DISTRITO: SAN GABAN

EJECUTANTE: PHOCCO CUCHUYRUMI YOEL

DATOS DE LA MUESTRA		
Cultivo	Muestra	ANÁLISIS
Cacao Tostado	Collodon	Cenizas

X ₁	X ₂	Tostado		Etiqueta	Repetición		
		Temperatura (°C)	Tiempo (Minutos)		R 1	R 2	R 3
-1	-1	120	30	MCT 1	2.747	2.660	2.662
-1	1	120	40	MCT 2	2.899	2.885	2.827
1	-1	130	30	MCT 3	2.965	2.983	2.936
1	1	130	40	MCT 4	2.781	2.770	2.750
-1.41421	0	118	35	MCT 5	2.983	2.944	2.994
1.41421	0	132	35	MCT 6	3.270	3.268	3.238
0	-1.41421	125	28	MCT 7	2.811	2.773	2.864
0	1.41421	125	42	MCT 8	3.095	3.000	3.088
0	0	125	35	MCT 9	2.973	2.976	2.877
0	0	125	35	MCT 10	2.973	2.976	2.877
CAI					3.100	3.106	3.054

DATOS DE LA MUESTRA		
Cultivo	Muestra	ANÁLISIS
Cacao Seco	Collodon	Cenizas

X ₁	X ₂	Fermentado	Secado	Etiqueta	Repetición		
		Tiempo (Dias)	Temperatura (°C)		R 1	R 2	R 3
-1	-1	5	40	1-MC 1	2.759	2.708	2.875
-1	1	5	60	1-MC 2	2.908	2.851	2.897
1	-1	8	40	1-MC 3	2.697	2.657	2.668
1	1	8	60	1-MC 4	2.554	2.610	2.612
-1.41421	0	4	50	1-MC 5	3.323	3.260	3.275
1.41421	0	9	50	1-MC 6	2.589	2.593	2.612
0	-1.41421	6.5	36	1-MC 7	2.685	2.690	2.704
0	1.41421	6.5	64	1-MC 8	2.767	2.859	2.825
0	0	6.5	50	1-MC 9	2.818	2.853	2.867
0	0	6.5	50	1-MC 10	2.818	2.853	2.867
CAI					2.997	2.953	2.985
Fresco					3.587	3.588	3.455

DATOS DE LA MUESTRA		
Cultivo	Muestra	ANÁLISIS
Cacao Tostado	Cascarilla	Cenizas

X ₁	X ₂	Tostado		Etiqueta	Repetición		
		Temperatura (°C)	Tiempo (Minutos)		R 1	R 2	R 3
-1	-1	120	30	MCT 1	10.084	9.814	10.013
-1	1	120	40	MCT 2	9.905	9.942	9.781
1	-1	130	30	MCT 3	10.115	10.000	10.278
1	1	130	40	MCT 4	10.474	10.211	10.329
-1.41421	0	118	35	MCT 5	10.321	10.202	10.294
1.41421	0	132	35	MCT 6	9.601	9.894	10.266
0	-1.41421	125	28	MCT 7	10.454	10.925	10.518
0	1.41421	125	42	MCT 8	11.566	11.412	11.633
0	0	125	35	MCT 9	11.257	11.303	11.341
0	0	125	35	MCT 10	11.258	11.304	11.341
CAI					10.330	10.496	10.846
Fresco					11.258	11.304	11.341

DATOS DE LA MUESTRA		
Cultivo	Muestra	ANÁLISIS
Cacao Seco	Cascarilla	Cenizas

X ₁	X ₂	Fermentado	Secado	Etiqueta	Repetición		
		Tiempo (Dias)	Temperatura (°C)		R 1	R 2	R 3
-1	-1	5	40	1-MC 1	8.965	8.862	8.772
-1	1	5	60	1-MC 2	8.224	8.197	8.542
1	-1	8	40	1-MC 3	9.667	9.441	9.377
1	1	8	60	1-MC 4	9.306	9.450	9.398
-1.41421	0	4	50	1-MC 5	7.053	7.343	7.253
1.41421	0	9	50	1-MC 6	9.329	9.275	9.011
0	-1.41421	6.5	36	1-MC 7	9.431	9.608	9.572
0	1.41421	6.5	64	1-MC 8	9.360	9.433	9.478
0	0	6.5	50	1-MC 9	9.114	9.405	9.489
0	0	6.5	50	1-MC 10	9.114	9.405	9.489
CAI					9.392	9.383	9.540
Fresco					2.578	2.620	2.508

ANALISIS DE pH EN MUESTRAS DE CACAO

DPTO: PUNO PROVINCIA: CARABAYA DISTRITO: SAN GABAN

EJECUTANTE: PHOCCO CUCHUYRUMI YOEL

DATOS DE LA MUESTRA		
Cultivo	Muestra	ANALISIS
Cacao Tostado	Collledon	pH

X ₁	X ₂	Tostado		Etiqueta	Repetición		
		Temperatura (°C)	Tiempo (Minutos)		R 1	R 2	R 3
-1	-1	120	30	MCT 1	4.42	4.39	4.40
-1	1	120	40	MCT 2	4.33	4.29	4.32
1	-1	130	30	MCT 3	4.38	4.42	4.41
1	1	130	40	MCT 4	4.37	4.38	4.36
-1.41421	0	118	35	MCT 5	4.51	4.47	4.52
1.41421	0	132	35	MCT 6	4.41	4.40	4.39
0	-1.41421	125	28	MCT 7	4.39	4.38	4.36
0	1.41421	125	42	MCT 8	4.33	4.28	4.29
0	0	125	35	MCT 9	4.28	4.25	4.26
0	0	125	35	MCT 10	4.29	4.26	4.27
CAI					4.86	4.86	4.87

DATOS DE LA MUESTRA		
Cultivo	Muestra	ANALISIS
Cacao Seco	Collledon	pH

X ₁	X ₂	Fermentado	Secado	Etiqueta	Repetición		
		Tiempo (Dias)	Temperatura (°C)		R 1	R 2	R 3
-1	-1	5	40	1-MC 1	5.18	5.20	5.22
-1	1	5	60	1-MC 2	4.68	4.66	4.69
1	-1	8	40	1-MC 3	4.94	4.92	4.92
1	1	8	60	1-MC 4	4.99	4.98	4.98
-1.41421	0	4	50	1-MC 5	5.28	5.27	5.27
1.41421	0	9	50	1-MC 6	5.12	5.09	5.11
0	-1.41421	6.5	36	1-MC 7	5.01	5.00	5.01
0	1.41421	6.5	64	1-MC 8	4.68	4.71	4.72
0	0	6.5	50	1-MC 9	5.08	5.09	5.07
0	0	6.5	50	1-MC 10	5.08	5.09	5.07
CAI					5.65	5.71	5.71
Fresco					6.37	6.38	6.38

DATOS DE LA MUESTRA		
Cultivo	Muestra	ANALISIS
Cacao Tostado	Cascarilla	pH

X ₁	X ₂	Tostado		Etiqueta	Repetición		
		Temperatura (°C)	Tiempo (Minutos)		R 1	R 2	R 3
-1	-1	120	30	MCT 1	5.18	5.17	5.17
-1	1	120	40	MCT 2	5.13	5.15	5.12
1	-1	130	30	MCT 3	5.25	5.19	5.19
1	1	130	40	MCT 4	5.14	5.16	5.14
-1.41421	0	118	35	MCT 5	5.22	5.24	5.23
1.41421	0	132	35	MCT 6	5.21	5.18	5.19
0	-1.41421	125	28	MCT 7	5.21	5.15	5.18
0	1.41421	125	42	MCT 8	5.14	5.16	5.14
0	0	125	35	MCT 9	5.30	5.30	5.30
0	0	125	35	MCT 10	5.30	5.30	5.30
CAI					6.40	6.40	6.40

DATOS DE LA MUESTRA		
Cultivo	Muestra	ANALISIS
Cacao Seco	Cascarilla	pH

X ₁	X ₂	Fermentado	Secado	Etiqueta	Repetición		
		Tiempo (Dias)	Temperatura (°C)		R 1	R 2	R 3
-1	-1	5	40	1-MC 1	5.70	5.60	5.60
-1	1	5	60	1-MC 2	5.30	5.29	5.23
1	-1	8	40	1-MC 3	6.70	6.80	6.70
1	1	8	60	1-MC 4	5.80	5.86	5.79
-1.41421	0	4	50	1-MC 5	5.90	5.85	5.85
1.41421	0	9	50	1-MC 6	5.60	5.70	5.67
0	-1.41421	6.5	36	1-MC 7	6.70	6.72	6.78
0	1.41421	6.5	64	1-MC 8	5.80	5.77	5.78
0	0	6.5	50	1-MC 9	6.00	5.90	5.89
0	0	6.5	50	1-MC 10	6.00	5.90	5.89
CAI					6.40	6.48	6.42
Fresco					3.80	3.78	3.81

ANALISIS DE COLOR EN MUESTRAS DE CACAO

DPTO: PUNO PROVINCIA: CARABAYA DISTRITO: SAN GABAN

EJECUTANTE: PHOCCO CUCHUYRUMI YOEL

Cultivo		DATOS DE LA MUESTRA		ANALISIS				
Cacao Tostado		Muestra		Color L*(D65)				
		Cotiledon+cascarrilla						
X ₁	X ₂	Tostado		Etiqueta	Repeticion			
		Temperatura (°C)	Tiempo (Minutos)		R 1	R 2	R 3	
-1	-1	120	30	1-MC 1	29.19	28.94	30.36	
-1	1	120	40	1-MC 2	26.75	26.92	27.06	
1	-1	130	30	1-MC 3	27.28	27.78	27.54	
1	1	130	40	1-MC 4	26.21	26.06	26.96	
-1.41421	0	118	35	1-MC 5	32.92	32.45	28.27	
1.41421	0	132	35	1-MC 6	26.17	24.66	24.7	
0	-1.41421	125	28	1-MC 7	27.3	27.14	28.92	
0	1.41421	125	42	1-MC 8	26.12	24.92	24.78	
0	0	125	35	1-MC 9	26.93	27.01	26.63	
0	0	125	35	1-MC 10	26.93	27.01	26.63	
CAI					21.6	21.56	25.21	

Cultivo		DATOS DE LA MUESTRA		ANALISIS				
Cacao Tostado		Muestra		Color a*(D65)				
		Cotiledon+cascarrilla						
X ₁	X ₂	Tostado		Etiqueta	Repeticion			
		Temperatura (°C)	Tiempo (Minutos)		R 1	R 2	R 3	
-1	-1	120	30	1-MC 1	9.84	9.88	5.91	
-1	1	120	40	1-MC 2	10.81	12.48	7.45	
1	-1	130	30	1-MC 3	7.09	12	12	
1	1	130	40	1-MC 4	11.51	11.5	7.14	
-1.41421	0	118	35	1-MC 5	6.75	6.83	13.29	
1.41421	0	132	35	1-MC 6	6.16	4.49	4.43	
0	-1.41421	125	28	1-MC 7	6.98	7.03	8.08	
0	1.41421	125	42	1-MC 8	7.37	4.63	4.64	
0	0	125	35	1-MC 9	4.76	8.03	8.13	
0	0	125	35	1-MC 10	4.76	8.03	8.13	
CAI					7.12	7.14	7.83	

Cultivo		DATOS DE LA MUESTRA		ANALISIS				
Cacao Tostado		Muestra		Color b*(D65)				
		Cotiledon+cascarrilla						
X ₁	X ₂	Tostado		Etiqueta	Repeticion			
		Temperatura (°C)	Tiempo (Minutos)		R 1	R 2	R 3	
-1	-1	120	30	1-MC 1	4.17	4.23	4.54	
-1	1	120	40	1-MC 2	5.82	7.32	3.94	
1	-1	130	30	1-MC 3	3.37	6.34	6.39	
1	1	130	40	1-MC 4	3.35	3.4	3.47	
-1.41421	0	118	35	1-MC 5	6.61	6.71	3.81	
1.41421	0	132	35	1-MC 6	2.49	2.6	2.68	
0	-1.41421	125	28	1-MC 7	2.59	2.64	4.63	
0	1.41421	125	42	1-MC 8	1.96	0.34	0.41	
0	0	125	35	1-MC 9	1.52	2.09	2.18	
0	0	125	35	1-MC 10	1.52	2.09	2.18	
CAI					4.6	4.51	4.33	





UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA