UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN PORCENTAJE DE GRASA CON EL COLOR DE LAS ALMENDRAS FERMENTADAS Y SECAS DE CACAO.

SALCAN HERRERA GISELLA ANABEL
INGENIERA AGRÓNOMA

MACHALA
2021

UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN PORCENTAJE DE GRASA CON EL COLOR DE LAS ALMENDRAS FERMENTADAS Y SECAS DE CACAO.

SALCAN HERRERA GISELLA ANABEL
INGENIERA AGRÓNOMA

MACHALA
2021

UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

TRABAJO TITULACIÓN
TRABAJO EXPERIMENTAL

DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN PORCENTAJE DE GRASA CON EL COLOR DE LAS ALMENDRAS FERMENTADAS Y SECAS DE CACAO.

SALCAN HERRERA GISELLA ANABEL
INGENIERA AGRÓNOMA

QUEVEDO GUERRERO JOSE NICASIO

MACHALA, 28 DE ABRIL DE 2021

MACHALA
2021

Tesis Salcan

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%	5%	0%	3%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	docplayer.es Fuente de Internet	2%
2	Submitted to Universidad Técnica de Machala Trabajo del estudiante	2%
3	direct.biostor.org Fuente de Internet	1%
4	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	<1%
5	repositorio.utmachala.edu.ec Fuente de Internet	<1%
6	prezi.com Fuente de Internet	<1%
7	www.scribd.com Fuente de Internet	<1%
8	idoc.pub Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.iaen.edu.ec Fuente de Internet	<1%

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

La que suscribe, SALCAN HERRERA GISELLA ANABEL, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN PORCENTAJE DE GRASA CON EL COLOR DE LAS ALMENDRAS FERMENTADAS Y SECAS DE CACAO., otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

La autora declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las dispociones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

La autora como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 28 de abril de 2021

SALCAN HERRERA GISELLA ANABEL
0705964450

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación le dedico a Dios, por ser quien me brinda fortaleza, me guía para cada paso que doy y por permitirme culminar este preciado trabajo, dándome salud y vida.

A mi amada madre María Herrera, por ser mi fortaleza, por brindarme su apoyo incondicional, por enseñarme a sobresalir ante todo problema, enseñándome que con perseverancia se consigue todo lo nos planteamos.

A mi amado padre Darwin Salcan **(+)** quien siempre estuvo dándome palabras de aliento, quien me enseñó a ser perseverante, gracias por ser mi fortaleza, por eso dedico este trabajo a ese gran hombre y de donde quiera que estés, yo sé que te sentirás bien orgulloso por este logro en mi vida, siempre te amare.

A mis hermanos Darwin, Andrea y Dayanara, a mi sobrino Manuel, a mis abuelos Enrique, Vicenta y Adermo, a los cuales los amo con todo mi corazón, por compartir conmigo grandes momentos, por siempre brindarme su apoyo, por estar conmigo en las buenas y en las malas.

También le dedico este trabajo a una persona muy especial, que ha formado parte de mi vida, que ha estado apoyándome en todo, en los días buenos y malos brindándome sus palabras de aliento para nunca darme por vencida y poder culminar el presente trabajo.

De manera especial le dedico a mi tutor de tesis al Ing. Agro. José Quevedo Guerrero para apoyarme en este proceso de titulación.

Salcan Herrera Gisella Anabel

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios, por mi familia; por haberme permitido llegar hasta esta etapa, por enseñarme a desarrollarme en cada circunstancia, por siempre guiarme por el camino correcto.

Agradezco a mi madre, a mi padre (+) y a mis hermanos por su apoyo incondicional, por siempre creer en mí, a mi sobrino quien es parte fundamental en mi vida, gracias por estar conmigo en las largas noches de trabajo, por todo su inmenso cariño y confianza, el cual me llena de fortaleza y seguridad durante toda mi carrera universitaria, gracias por todo sin su apoyo no lo hubiera logrado sola, los amo mucho.

A mi tutor de este trabajo investigativo, el Ing. José Nicasio Quevedo Guerrero Mg. Sc, en calidad de tutor, quien supo guiarme y confió en mis capacidades para saber desarrollar cada parte de este proyecto, gracias por permitirme adquirir mayores conocimientos.

Al Dr. Julio Enrique Chabla Carrillo PhD por ser parte fundamental en la formación de mis estudios, por inculcarnos valores, sobre todo enseñándome que con mucha responsabilidad salen bien las cosas, a la Dr. Sayda Herrera Reyes, por sus conocimientos académicos, por generar confianza y más que todo por estar presente cuando se la necesita.

A mis amigos Carlos Quezada, Carlos Rios, Jonathan Zhiminaicela y a mis compañeros de aula quienes de alguna u otra forma estuvieron apoyándome durante todo este proceso de investigación haciendo que recuerde que juntos se llega más lejos.

Salcan Herrera Gisella Anabel

DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN PORCENTAJE DE GRASA CON EL COLOR DE LAS ALMENDRAS FERMENTADAS Y SECAS DE CACAO.

Autor

Gisella Anabel Salcan Herrera

Tutor

Ing. Mgs. José Quevedo Guerrero

RESUMEN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es uno de los cultivos más importante a nivel nacional, ya que dentro del país ha generado ingresos y brindado empleos de forma directa e indirecta a varias familias, además de que este cultivo genera buena producción, se destaca sobre la economía del país. Se conoce que el cultivo de cacao, posee buenos atributos, como el aroma, sabor y calidad, los granos de cacao contienen compuestos químicos los cuales son: grasas, materia nitrogenada, agua, además de poseer propiedades físicas como la humedad. La grasa de cacao o también llamada manteca de cacao cambia según la variedad, además de la concentración de grasa, el índice de acidez y los ácidos grasos tiene relación con la época de cosecha, se considera que el contenido de grasa esta entre el 48 y 55%. Esta investigación se realizó en la Granja Santa Inés de la Universidad Técnica de Machala con cacao de tipo Nacional, procedente del mismo lugar. El objetivo de este trabajo fue implementar un método basado en colores para determinar el porcentaje de grasa existente en granos de cacao. El trabajo se desarrolló con cincuenta accesiones de cacao, como primera instancia se distingue de forma directa los grados de madurez, los cuales son 5 grados, se cosecharon las accesiones de las que se hizo una agrupación de acuerdo a la humedad, se conoce que el porcentaje de humedad eficiente para el cacao debe de estar entre el 7% y 8%, para esta medida se utilizó el equipo SAMAP -o- TEST H40, del cual se toman directamente de la almendra de cacao; para determinar el color del polvo de cacao, se molieron al azar diez semillas de cada accesión, de esto se toma una pequeña muestra para encontrar similitud con los colores de la tabla de Munsell, y de esto se toma el código de la misma tabla, para la determinación del porcentaje de grasa de cacao, se tomó el polvo de cacao, se utilizó el reactivo etanol, como disolvente para separar las partículas de grasa de las muestras de cacao. Los datos fueron

analizados en el programa estadístico SPSS versión 25, mediante las tablas de estadísticos descriptivos, pruebas de Tukey con un nivel de significancia de 0,05%. De las variables físicas como: la escala de madurez de la mazorca, color del cotiledón, forma de la semilla, forma del corte transversal, longitud, diámetro, espesor, grados Brix de la semilla, porcentaje de humedad y el color del polvo de cacao, se las midió de forma directa en campo, en cambio el análisis del porcentaje de grasa del grano se realizó en el laboratorio de Química, de la Universidad Técnica de Machala. Los resultados demostraron que; en la interacción entre el porcentaje de humedad del grano y la escala de madurez de la mazorca, hubo varianza en una mínima proporción a las variables analizadas, de acuerdo al mayor porcentaje de grasa, cuya escala de madurez obtuvo un grado de 6 no se registró variación con respecto al color del polvo de cacao, con un porcentaje de 52,84%, con una mínima cantidad de diferencia significativa y con una codificación de color de 3/4 10R, y con respecto a la accesión que tuvo el menor porcentaje de grasa, con una escala de madurez de grado 3, se demostró que no hay variación, obteniendo el 50,80% de grasa, representado por el color 4/6 5YR. Además, se demostró que el nivel de correlación fue de 0,088 siendo denominado como positivo bajo entre el porcentaje de grasa y el color del polvo de cacao. Se concluye que no existe una baja correlación entre el color y el porcentaje de grasa, además se realizó una escala en donde se detalla el porcentaje de cada accesión investigada, junto con el color que se obtuvo del polvo de cacao, esto es de gran importancia ya que conlleva a que los productores se beneficien al momento de realizar su cosecha.

Palabras Claves: Grasas, humedad, accesiones, agrupación, color, similitud, cacao, tabla de Munsell, correlación.

DETERMINATION OF THE CORRELATION BETWEEN FAT PERCENTAGE AND COLOR OF FERMENTED AND DRIED COCOA BEANS.

Author

Gisella Anabel Salcan Herrera

Tutor

Ing. Mgs. José Quevedo Guerrero

ABSTRACT

Cocoa (Theobroma cacao L.) is one of the most important crops at the national level, since within the country it has generated income and provided jobs directly and indirectly to several families, in addition to the fact that this crop generates good production, it stands out on the country's economy. It is known that the cocoa crop has good attributes such as aroma, flavor and quality, cocoa beans contain chemical compounds which are: fats, nitrogenous matter, water, in addition to physical properties such as moisture. Cocoa fat or also called cocoa butter changes according to the variety, in addition to the concentration of fat, the acidity index and fatty acids is related to the time of harvest, it is considered that the fat content is between 48 and 55%. This research was carried out at the Santa Inés Farm of the Technical University of Machala with National type cocoa from the same place. The objective of this work was to implement a color-based method to determine the percentage of fat in cocoa beans. The work was developed with fifty accessions of cocoa, as a first instance is distinguished directly the degrees of maturity, which are 5 degrees, the accessions were harvested from which a grouping was made according to moisture, it is known that the percentage of efficient moisture for cocoa should be between 7% and 8%, for this measure was used the SAMAP -o- TEST H40 equipment, which are taken directly from the cocoa bean; To determine the color of the cocoa powder, ten seeds of each accession were ground at random, from which a small sample was taken to find similarity with the colors of the Munsell table, and from this the code of the same table was taken; to determine the percentage of cocoa fat, the cocoa powder was taken, and the ethanol reagent was used as a solvent to separate the fat particles from the cocoa samples. The data were analyzed in the statistical

program SPSS version 25, using tables of descriptive statistics, Tukey tests with a significance level of 0.05%. Physical variables such as: the scale of maturity of the cob, color of the cotyledon, shape of the seed, shape of the cross section, length, diameter, thickness, Brix degrees of the seed, percentage of moisture and color of the cocoa powder, were measured directly in the field, while the analysis of the percentage of fat in the bean was carried out in the Chemistry laboratory of the Technical University of Machala. The results showed that; In the interaction between the percentage of moisture in the bean and the maturity scale of the cob, there was variance in a minimum proportion to the variables analyzed, according to the highest percentage of fat, whose maturity scale obtained a grade of 6, there was no variation with respect to the color of the cocoa powder, with a percentage of 52.84%, with a minimum amount of significant difference and with a color coding of 3/4 10R, and with respect to the accession that had the lowest percentage of fat, with a maturity scale of grade 3, it was demonstrated that there is no variation, obtaining 50.80% of fat, represented by the color 4/6 5YR. In addition, it was shown that the correlation level was 0.088 being denominated as low positive between the fat percentage and the color of cocoa powder. It is concluded that there is no low correlation between color and fat percentage, also a scale was made where the percentage of each accession investigated is detailed, along with the color that was obtained from the cocoa powder, this is of great importance because it leads to producers to benefit at the time of harvesting.

Keywords: Fats, moisture, accessions, clustering, color, similarity, cocoa, Munsell chart, correlation.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 1
2. REVISIÓN LITERARIA 4
2.1. Origen del cacao 4
2.2. Clasificación taxonómica del cacao. 4
2.3. Botánica del cacao. 5
2.4. Producción de cacao a nivel mundial 5
2.5. Producción de cacao a nivel nacional. 6
2.6. Variedades comunes del cacao. 6
2.6.1. Criollo 6
2.6.2. Trinitario 6
2.6.3. Forastero 7
2.7. Beneficios del cacao 7
2.8. Cosecha del cacao 7
2.9. Operaciones previas para la extracción de grasas 8
2.9.1. Fermentación del cacao 8
2.9.2. Métodos de fermentación 9
2.9.3. Secado del cacao. 10
2.9.4. Métodos de secado. 10
2.9.5. Almacenamiento del grano 11
2.9.6. Triturado o molienda 12
2.9.7. Métodos de extracción de grasa 12
2.10. Grasa en cacao. 13
3. MATERIALES Y MÉTODOS: 15

3.1. Localización del ensayo 15
3.2. Ubicación geográfica 15
3.3. Clima y ecología 16
3.4. Materiales 16
3.4.1. Materiales de campo 16
3.4.2. Material genético 16
3.4.3. Materiales y equipos de laboratorio. 17
3.4.4. Factor evaluado 17
3.5. Metodología 18
3.5.1. Escala de madurez de la mazorca. 18
3.5.2. Color del cotiledón (SCC) 18
3.5.3. Forma de la semilla (SF) 18
3.5.4. Forma del corte transversal (SFCT) 19
3.5.5. Longitud de la semilla (SLG) 19
3.5.6. Diámetro de la semilla (SDA) 20
3.5.7. Espesor de la semilla (SES) 20
3.5.8. Grados Brix (SGB) 20
3.5.9. Color del polvo de cacao (CPC) 21
3.5.10. Porcentaje de grasa del grano (PGG) 22
3.5.11. Porcentaje de humedad del grano (PHG) 24
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES 25
4.1. Color del polvo de cacao (CPC). 25
4.2. Porcentaje de grasa del grano (PGG). 31
4.3. Color del cotiledón (SCC) 36
4.4. Forma de la semilla (SF). 42

4.5. Forma del corte transversal de la semilla (SFCT). 47

4.6. Longitud de la semilla (SLG). 53

4.7. Diámetro de la semilla (SDA). 58

4.8. Espesor de la semilla (SES). 64

4.9. Grados Brix (SGB). 69

4. CONCLUSIONES 80

5. RECOMENDACIONES 81

6. BIBLIOGRAFÍA 82

7. ANEXOS 88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estadísticos descriptivos en el color del polvo de cacao 26
Tabla 2. Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error para el color del polvo de cacao. 26
Tabla 3. Prueba de efectos inter-sujetos en la variable color del polvo de cacao. 27
Tabla 4.Comparaciones múltiples de Tukey para la interacción con el porcentaje de humedad del grano, sobre el color en polvo de cacao. 27
Tabla 5. Comparaciones múltiples de Tukey en la interacción con la escala de madurez de la mazorca, sobre el color en polvo de cacao. 28
Tabla 6. Estadísticos descriptivos para el porcentaje de grasa en el grano. 32
Tabla 7. Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error para el porcentaje de grasa en el grano. 33
Tabla 8. Prueba de efectos inter-sujetos para la variable porcentaje de grasa en el grano. .33
Tabla 9. Comparaciones múltiples con la escala de madurez de la mazorca, para el porcentaje de grasa del grano. 34
Tabla 10. Estadísticos descriptivos para el color del cotiledón de la semilla. 37
Tabla 11. Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error para el color del cotiledón de la semilla. 38
Tabla 12. Prueba de efectos inter-sujetos en el color del cotiledón del grano. 39
Tabla 13. Comparaciones múltiples con la escala de madurez de la mazorca con el color del cotiledón del grano. 39
Tabla 14. Estadísticos descriptivos para la forma de la semilla. 43
Tabla 15. Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error para la forma de la semilla. 44
Tabla 16. Prueba de efectos inter-sujetos en la forma de la semilla. 44
Tabla 17. Comparaciones múltiples con la escala de madurez de la mazorca con la forma de la semilla. 45
Tabla 18. Estadísticos descriptivos para la forma del corte transversal de la semilla. 48
Tabla 19. Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error para la forma del corte transversal de la semilla. 49
Tabla 20. Prueba de efectos inter-sujetos para la forma del corte transversal de la semilla. 49
Tabla 21. Comparaciones múltiples con la escala de madurez de la mazorca con la forma del corte transversal de la semilla. 50
Tabla 22. Estadísticos descriptivos para la longitud de la semilla. 54
Tabla 23. Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error para la longitud de la semilla. 55

Tabla 24. Prueba de efectos inter-sujetos en la longitud de la semilla. 55
Tabla 25. Comparaciones múltiples con la escala de madurez de la mazorca con la longitud de la semilla. 56
Tabla 26. Estadísticos descriptivos para el diámetro de la semilla. 59
Tabla 27. Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error para el diámetro de la semilla. 60
Tabla 28. Prueba de efectos inter-sujetos para el diámetro de la semilla. 60
Tabla 29. Comparaciones múltiples con la escala de madurez de la mazorca y el diámetro de la semilla. 61
Tabla 30. Estadísticos descriptivos para la interacción entre el porcentaje de humedad con la escala de madurez de la mazorca, para el espesor de la semilla. 64
Tabla 31. Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error para el espesor de la semilla. 65
Tabla 32. Prueba de efectos inter-sujetos para el espesor de la semilla. 66
Tabla 33. Comparaciones múltiples con la escala de madurez de la mazorca con el espesor de la semilla. 66
Tabla 34. Estadísticos descriptivos para la interacción del porcentaje de humedad del grano con la escala de madurez de la mazorca, para el grado Brix de la semilla. 70
Tabla 35. Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error para los grados Brix de la semilla. 71
Tabla 36. Prueba de efectos inter-sujetos con los grados Brix de la semilla. 71
Tabla 37. Comparaciones múltiples con la escala de madurez de la mazorca con los grados Brix de la semilla. 72
Tabla 38. Correlación de Pearson, para el color del polvo de cacao y el porcentaje de grasa del grano. 75
Tabla 39. Escala de los porcentajes de grasa del grano en relación con el color del polvo de cacao. 76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del área de investigación. 15
Figura 2. Forma de la semilla de cacao 19
Figura 3. Forma del corte transversal del cacao. 19
Figura 4. Longitud de la semilla de la accesión FCA210. 20
Figura 5. Diámetro de la semilla de la accesión FCA210. 20
Figura 6. Triturado de las semillas de cacao y el polvo de cacao. 21
Figura 7. Tubos de ensayo con el polvo de cacao y sus etiquetas. 21
Figura 8. Relación del color del polvo de cacao con la tabla de Munsell. 22
Figura 9. Analizador de grasas, junto con las muestras de seis accesiones de cacao. 23
Figura 10. Peso de muestra de cacao sin grasa. 23
Figura 11. Polvo de cacao sin grasa de las diferentes accesiones. 24
Figura 12. Medición del contenido de humedad de las semillas de cacao con el equipo electrónico SAMAP -O- TEST H40. 24

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Interacción del color del polvo de cacao entre el porcentaje de humedad y la escala de madurez de la mazorca. 29
Gráfico 2. Interacción entre la escala de madurez de la mazorca con el porcentaje de humedad del grano, para el color del polvo de cacao. 31
Gráfico 3. Interacción del porcentaje de humedad del grano con la escala de madurez de la mazorca, para el porcentaje de grasa en el grano. 35
Gráfico 4 Interacción de la escala de madurez con el porcentaje de humedad del grano, para el porcentaje de grasa en el grano., ... 36
Gráfico 5. Interacción del porcentaje de humedad del grano con la escala de madurez de la mazorca, para el color del cotiledón. 40
Gráfico 6. Interacción de la escala de madurez con el porcentaje de humedad del grano, para el color del cotiledón. 42
Gráfico 7. Interacción del porcentaje de humedad del grano con la escala de madurez de la mazorca, con la forma de la semilla. 46
Gráfico 8. Interacción de la escala de madurez con el porcentaje de humedad del grano, para la forma de la semilla. 47
Gráfico 9. Interacción del porcentaje de humedad del grano con la escala de madurez de la mazorca, para la forma del corte transversal de la semilla. 51
Gráfico 10. Interacción de la escala de madurez con el porcentaje de humedad del grano, para la forma del corte transversal de la semilla. 53
Gráfico 11. Interacción del porcentaje de humedad del grano con la escala de madurez de la mazorca, para la longitud de la semilla. 57
Gráfico 12. Interacción de la escala de madurez con el porcentaje de humedad del grano, para la longitud de la semilla. 58
Gráfico 13. Interacción del porcentaje de humedad del grano con la escala de madurez de la mazorca, para el diámetro de la semilla. 62

Gráfico 14. Interacción de la escala de madurez con el porcentaje de humedad del grano, para el diámetro de la semilla. 63
Gráfico 15. Interacción del porcentaje de humedad del grano con la escala de madurez de la mazorca, para el espesor de la semilla. 67
Gráfico 16. Interacción de la escala de madurez con el porcentaje de humedad del grano, para el espesor del grano. 69
Gráfico 17. Interacción del porcentaje de humedad del grano con la escala de madurez de la mazorca, para el grado Brix de la semilla. 73
Gráfico 18. Interacción de la escala de madurez con el porcentaje de humedad del grano, para el grado Brix de la semilla. 74
Gráfico 19. Diagrama de cajas simples para correlacionar el porcentaje de grasa en el grano y el color del polvo de cacao. 76

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Escala de color para relacionar el color del polvo de cacao con el porcentaje de grasa. 88
Anexo 2. Escala fotográfica de los distintos grados de madurez del cacao. 97
Anexo 3. Cosecha de las accesiones para la investigación. 99
Anexo 4. Fermentación y secado de los granos de cacao. 99
Anexo 5. Almendras de cacao secas y fermentadas; toma de humedad de las mismas. 100
Anexo 6. Triturado y observación de colores similares con la tabla de Munsell. 100
Anexo 7. Proceso de la extracción de grasa de las almendras de cacao, con el uso de Etanol. 101
Anexo 8. Resultado de la muestra de cacao sin grasa. 101
Anexo 9. Muestra de las cincuenta accesiones, comparación con los colores de la tabla de Munsell. 102

1. INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es uno de los cultivos con mayor demanda a nivel mundial, originario de América, se cultiva principalmente en el continente africano el cual representa el 67,1%, continuando el continente americano con el 17,4% de producción, Asia representa el 14,6% y Oceanía con el 0,9% de producción (FAO, 2019).

El cacao o como comúnmente lo llaman la "Pepa de Oro" es un árbol de la zona tropical, el cual pertenece a la familia de la Esterculiaceae, cultivado con fines económicos en la mayoría de los países tropicales, cabe mencionar que el cacao ecuatoriano es apreciado como diferente al de otros países, esto se debe a las condiciones organolépticas y a que posee una gran calidad, lo que lo denomina como el mejor cacao del mundo.

Es uno de los principales productos que se exportan en Ecuador, el cual lo denomina como el país más competitivo de América Latina, ubicándolo en el primer lugar como exportador de cacao en grano y ocupa el cuarto lugar en el mundo, lo cual representa un aumento del 168% en los últimos diez años, el cacao es uno de los principales productos tradicionales de exportación ecuatoriana. La producción de este cultivo se basa generalmente en los pequeños productores los que representan el 70%, continuando con los medianos productores con el 20% y los grandes productores obteniendo aproximadamente el 10% de la producción ecuatoriana de cacao (Anecacao, 2019).

En la actualidad se cultiva el Clon CCN-51, ya que contiene un buen comportamiento agronómico, tolerante a enfermedades y genera buena producción, lo que hace que este clon siga reemplazando miles de hectáreas de cacao, inclusión en terrenos que no se cultiva cacao; sin embargo es cuestionado por no poseer buena calidad, aroma y sabor, por tal motivo la industria trabaja con el cacao de origen Nacional (Boza et al., 2014).

Los métodos de fermentación más utilizados a nivel nacional por los productores son los siguientes: en sacos de yute, montón, cajas de madera de los cuales pueden ser en escaleras o a un nivel, o simplemente con rotores de madera, baldes de plástico. Según Rivera et al., (2012) la etapa de la fermentación del cacao es muy importante en el manejo del grano, ya que por medio de ella se producen los cambios bioquímicos los cuales dan origen a los precursores del sabor y aroma, y además su calidad química y física.

Los compuestos de polifenoles, alcaloides y la acidez volátil, indican la calidad organoléptica del cacao. Los métodos de fermentación cambian de acuerdo a la zona que está produciendo, el tiempo de fermentación, el tipo de fermentador, el tiempo en que se realizó la cosecha y el grado de madurez al momento de su cosecha. Por otra parte el tiempo para una buena fermentación se da entre los dos a cuatro días (Pérez & Freile, 2017).

Según Pérez & Freile, (2017) los granos de cacao contienen compuestos químicos los cuales dependen de varios factores entro los que se puede mencionar: el tipo de cacao, origen, grado de madurez, calidad de la fermentación y el secado. Los principales componentes químicos son: agua, grasa, materia nitrogenada, compuestos fenólicos, almidón y carbohidratos. Su contenido de grasa generalmente varía del 48 al 55% cuando se trata de granos de cacao fermentados y secos, estando constituida principalmente por glicéridos como el ácido oleico, palmítico y esteárico (Castro et al., 2017).

Con todo lo mencionado anteriormente, en la presente investigación se implementará un método por medio de colores, para determinar el porcentaje de grasa existente en los granos, lo cual, se torna una pieza importante para los productores, ya que se enfoca principalmente en que los productores se beneficien al momento de realizar su cosecha.

Objetivo general

- Implementar un método basado en colores para determinar el porcentaje de grasa existente en granos de cacao.

Objetivos específicos

- Determinar el nivel de correlación entre el color de la muestra y el porcentaje de grasa existente en las almendras secas de cacao.
- Generar una escala de colores para determinar el porcentaje de grasa en almendras de cacao basados en la tabla de Munsell para tejidos vegetales.

2. REVISIÓN LITERARIA

2.1. Origen del cacao.

El cacao es originario de América, fundamentalmente de la Amazonía, está altamente distribuido desde el bosque tropical lluvioso de la cuenca del Amazonas en el Sur y al Norte hasta la región mediterránea de México. Se dio inicio con su domesticación, cultivo y consumo en los países de Centroamérica desde los tiempos precolombinos. El cacao fue cultivado por primera vez en los años de 250 a 900 D.C. por las civilizaciones de los Aztecas y los Mayas. *Theobroma cacao* L. ha tenido diversos usos, que empiezan desde la medicina a la moneda (Castillo, 2014).

Según Casteblanco, (2018) Su origen es del noroeste de América del Sur, sin embargo se han encontrado señales de grandes plantaciones de cacao en los territorios ocupados por la civilización Maya, actualmente se cultiva en los países tropicales en lugares con latitudes de 20° al norte y 20° al sur de la línea ecuatorial, por lo cual se encuentra dentro de las zonas de la Costa y el Orientes del territorio ecuatoriano.

2.2. Clasificación taxonómica del cacao.

La sistemática de la especie *Theobroma cacao* L., ha sido relativamente investigada y se detalla que la especie se encuentra claramente delimitada. Aún existen preguntas sobre su relación con la filogenia de los géneros de Theobroma y Herrania, así como en algunos de sus géneros. Theobroma no ha sido aún clasificado completamente (Doster et al., 2012).

Según Rondón & Cumana, (2005) se ha clasificado al cacao de la siguiente forma:

División: Espermatofita

Clase: Angiosperma

Subclase: Dicotiledónea

Orden: Malvales

Suborden: Malvinas

Familia: Esterculiáceas

Tribu: Bitneria

Género: *Theobroma*

Especie: Cacao

2.3. Botánica del cacao.

El científico naturalista Carl Linnaeus fue quien dio origen al nombre botánico del cacao como Theobroma, pertenece a la familia Sterculiaceae, la cual está conformada alrededor de 700 especies y de 68 géneros. En Ecuador se encuentran 10 géneros y 30 especies de cacao. El cacao es un árbol que alcanza una altura de 6 a 12 m, es una especie altamente alógama, sus frutos brotan en el tronco del árbol, los que tienen formas diversas alcanzando los 15 a 30 cm, su semilla está cubierta por el mucílago, se estima que dentro del fruto de cacao se encuentran de 25 a 75 semillas. El tipo de cacao es el que le da el color de los cotiledones (Paladínes, 2020).

2.4. Producción de cacao a nivel mundial.

El comercio mundial de productos primarios, entre ellos el cacao en grano, es de gran importancia, debido a que la producción y el comercio de estos productos establecen la base económica de los países subdesarrollados. La producción mundial del cultivo de cacao en grano es de 5’596.397 toneladas por hectárea, detallando específicamente las toneladas cultivadas por cada región: África tiene el 67,1% dando un total de 3’752.740 toneladas, América tiene el 17,4% con 971.994 toneladas, la región de Asia obtiene el 14.6% con una producción de 819.270 toneladas y la región de Oceanía con el 0.9% produciendo 52.393 toneladas. La superficie cultivada de cacao es de 12 '234.311 hectáreas (FAO, 2019).

2.5. Producción de cacao a nivel nacional.

La producción próxima de cacao en el Ecuador es de 110.000 Toneladas anuales, cuyo volumen varía específicamente en función de los factores de orden climático, en el año de 2019 se registró que Ecuador produce 283.680 toneladas, específicamente teniendo una superficie cultivada de 525.435 hectáreas, de las que el 80% son desarrolladas por los pequeños y medianos productores (FAO, 2019).

2.6. Variedades comunes del cacao.

2.6.1. Criollo

El cacao criollo o también denominado cacao genuino, tiene su origen en Centroamérica, Venezuela y Colombia, esta variedad es conocido por su calidad y poca cantidad de tanino, su mazorca tiene una forma alargada, con punta acentuada en el inferior, tiene un cotiledón es de color marfil y castaño claro, posee un aroma delicado, el cual lo hace único, de esta variedad se produce el cacao de mejor calidad y fino. Esta variedad demanda de tres días para su correcta fermentación (Aldave, 2016).

2.6.2. Trinitario

Según Graziani, Ortíz, Angulo, & Parra, (2002) la variedad de cacao denominado Trinitario nace del cruzamiento entre el cacao Forastero y Criollo. Es originario de Tobago, su mazorca toma diferentes formas y colores, las semillas son grandes comparadas con las del cacao criollo y forastero, poseen un tronco fuerte y sus hojas son grandes. Del cruce de las dos variedades de cacao, el trinitario obtuvo la robustez del cacao forastero y el suave sabor del cacao criollo. De la cual la variedad de cacao trinitario se resalta debido a que al procesarse desborda un sabor pronunciado a chocolate, además de que presenta un sabor sensorial afrutadas (Aldave, 2016).

2.6.3. Forastero

La variedad de cacao Forastero tiene su origen en América del sur, específicamente de la alta Amazonía, este cacao contiene gran cantidad de taninos. Es más cultivado en las regiones de África y Brasil. En África se han desarrollado híbridos de esta variedad. Se caracteriza porque su almendra posee cáscara gruesa, más o menos lisa, resistente y poco aromático, son de color morado y su sabor es amargo. Para equilibrar estas desventajas está almendra requiere mayor tueste, por el cual dan el sabor y aroma a quema a un gran porcentaje de chocolates (Aldave, 2016).

2.7. Beneficios del cacao.

El denominado beneficio del cacao, se da desde el comienzo de la cosecha o recolección de sus mazorcas que sean sanas y maduras, la etapa de la fermentación, el secado de sus almendras, la clasificación y almacenamiento de sus almendras, es decir que es todo el transcurso que se lleva a cabo para la comercialización e industrialización. El beneficio del cacao es el proceso que adquieren las almendras de cacao, las cuales se las coloca en lugares que tengan buenas condiciones, el cual les permitan tener transformaciones físicas y químicos, lo que les permite aumentar su calidad (Bertorelli, y otros, 2015).

2.8. Cosecha del cacao

Se conoce que la mazorca obtiene su buen desarrollo en 5 a 6 meses desde, que la flor es fecundada hasta su madurez, uno de los indicadores de que la mazorca esta apta para la cosecha es el color, en el caso de la variedad forasteros al inicio son de color verde y pasan a ser amarillas, en cambio en los trinitarios pasan de un color verde a amarillo con rasgos purpuras cuando la mazorca llego a su punto de maduración, todo depende de la variedad, su aroma también cambia o simplemente con el sonido que emite la mazorca al golpearlas con los dedos (Quintana et al., 2015).

Según Heredia et al., (2020) la cosecha inadecuada del cultivo de cacao crea tres principales problemas de los cuales se mencionan a continuación:

El primer problema es que reducen las propiedades organolépticas del cacao, ocasionando el mal sabor y olor, incluso si es un cacao de alta calidad por lo que estoy causa que los antioxidantes disminuyen (Yen & Nguyen, 2016). El segundo problema es que incrementa la presencia de oxalatos soluble en la almendra del cacao, el tercer problema se presenta en algunas variedades de cacao de las cuales su mazorca no fue cosechada en el tiempo exacto, ocasionando la germinación de los granos en el interior de la mazorca, produciendo la pérdida completa del producto (Machado Cuellar et al., 2018).

2.9. Operaciones previas para la extracción de grasas

2.9.1. Fermentación del cacao.

La fermentación de las almendras de cacao es una fase que la realiza posteriormente después de la cosecha, la finalidad de realizar esta fase se da a promover las transformaciones bioquímicas dentro de los granos de cacao, los cuales les ayuda a desarrollar el sabor a chocolate, tales como: los azúcares reductores, el aminoácido libre, péptido, los cuales son mezclados al momento de ejecutar el tostado de las almendras, por lo cual este tratamiento es indispensable para que el grano de cacao no sean amargos, ácidos y astringentes (Zapata, et al., 2015).

Según Teneda, (2016), la fermentación de cacao radica en los cambios físicos-químicos, los mismos que desarrollan el sabor y aroma natural a chocolate, esta etapa provoca que las almendras de cacao tengan cambios en la pigmentación interna, pasan del color violeta a marrón claro, alteran los azúcares en alcoholes por las levaduras, durante esta etapa, existe una combinación entre los microorganismos y las variaciones de pH, humedad y la temperatura, y así disminuyen el amargor, en otras teorías la fermentación es la separación de la pulpa que cubren a las almendras.

2.9.2. Métodos de fermentación

Según Zambrano, y otros, (2010) existen diversos métodos de fermentación en cacao, los cuales depende primeramente de la cantidad cosechada y del costo que este genere, de los cuales se detallan los siguientes métodos de fermentación:

- **Fermentación en cajones de madera a un nivel.**

Los cajones se construyen con tablones de madera preferiblemente finas, resistentes a la humedad, cuya madera puede ser de tipo cedro, nogal, entre otros, con el propósito de que estos no liberen sustancias como taninos, ya que afectan de forma directa o indirectamente a los granos. Estos cajones se ubican sobre unas patas de madera a una altura de 0.2 m. Las dimensiones cambian de acuerdo a la cantidad de producción que se obtiene de la cosecha (Vera, 1998).

- **Fermentación en cajones de madera en escalera.**

Este método se forma con repetidas series de tres cajones de madera, ubicados a diferentes elevaciones, dejando a diseño de una escalera. De esta forma al cacao cosechado ubicado al principio del cajón se lo remueve, vertiendo la masa a cajón que le inferior, y así continuamente. Esto genera que haya aireación de la masa, de lo cual se evita que se generen daños y que las almendras continúen con su buen desarrollo de fermentación (Vera, 1998).

- **Fermentación en montón.**

En este método se realiza un tendido de hojas de banano sobre el área, luego se coloca la cosecha a fermentar, posteriormente se cubre a toda la masa con hojas de banano para que se dé el comienzo de la fermentación, como algo adicional se tapa a la masa con sacos de yute, los cuales ayudarán a reducir la pérdida de calor, y la fermentación sea efectiva (Vera, 1998).

- **Fermentación en sacos.**

Este método es común a desarrollarse por los productores, de los cuales se llenan los sacos de yute con el cacao recién cosechado y se los cuelga para facilitar el escurrimiento, se acumulan los sacos en el piso durante un período necesario según la variedad de cacao. Se remueven los sacos para prevenir la aireación. Este método conlleva a gran responsabilidad, ya que su mal manejo genera que las almendras desarrollen un color tipo violeta, dañando en sí la calidad sensorial del cacao (Vera, 1998).

2.9.3. Secado del cacao.

La etapa de secado se lo realiza seguidamente de que termine la fermentación, la cosecha respectiva debe de llevarse al proceso de secado, esto se debe realizar rápido, ya que al dejar la masa en los cajones se corre el riesgo de que haya sobrefermentación que ponga a las almendras vulnerable a cualquier ataque de insectos plaga, además de afectar directamente en el olor (Moreno & Sánchez, 1989).

El secado se lo realiza de forma natural beneficiándose de los rayos solares, el tiempo estimado de secado es de 8 días, esto dependerá de las condiciones climáticas de la zona, el secado genera dos propósitos fundamentales los cuales son: tratar de disminuir la humedad del grano al 7% y complementar el desarrollo del sabor y aroma de chocolate, cabe recalcar que el secado es necesario para tener un buen manejo de almacenamiento, facilitar el transporte y sobre todo en su comercialización (Parra et al., 2012).

2.9.4. Métodos de secado.

Según Tinoco & Ospina, (2010), existen dos alternativas básicas para el proceso de secado del grano de cacao, de los cuales se detallan a continuación:

- **Secado natural:**

La utilización del secado natural conlleva varias dependencias inherentes a los factores climáticos. La falta del sol o inclusive la lluvia en diversas circunstancias suelo incrementarse por un tiempo de varios días consiguientes. Cuando se haya terminado la cosecha del cacao, se lleva a la fermentación inmediatamente y consecutivamente debe ser trasladado al transcurso de secado. Si los factores climáticos no hacen factible el secado, entonces la producción se echa a perder todo el proceso secado (Caballero, Avendaño, González, & López, 2016).

- **Secado artificial:**

Según Tinoco & Ospina, (2010) los sistemas de secado artificial, de uso básicamente industrial, permiten efectuar el proceso de secado de forma independiente a los factores climáticos de la época o temporada. Relativamente existen diversos tipos de secadores automáticos, de los cuales en su mayor parte utilizan la circulación de aire caliente, por medio de cámaras, para así obtener la temperatura requerida para secar el producto que se va a trabajar, además para llevar a cabo el secado artificial se debe considerar que la temperatura no sobrepase los 55°C, y completar un periodo de 30 días, para que su secado sea eficaz (Velásquez et al., 2016).

2.9.5. Almacenamiento del grano

El almacenamiento de los granos de cacao se lo realiza en área ventiladas, con buena luz, el almacenamiento se lo realiza en palletes a una altura de 15 a 20 cm, para evitar que los granos tengan contacto con el suelo, esto evita que sean contaminado por los microorganismos y plagas, además deben de ser almacenados en un lugar apartado de la zona de producción, ya que el grano puede captar aromas de otros productos con gran facilidad. Las condiciones óptimas de almacenamiento es que la humedad relativa esté al 70% y con la temperatura 18-20 °C, esto nos ayuda a almacenar los granos de cacao por un largo periodo sin causar daños. Si la humedad relativa sobrepasa los 75% permitirá el desarrollo de mohos sobre los granos (Liendo & Marín, 2006).

2.9.6. Triturado o molienda.

Para realizar de una forma rápida la extracción de grasas de las semillas de cacao, primero se debe efectuar el triturado de las semillas, diversos estudios detallan que las grasas contienen una infinidad de células, sin embargo, hay estudios de deduce que aun después de una fuerte trituración algunas células no logran romperse, por lo cual crea una dificultad para extraer en su totalidad la grasa de las almendras de cacao (Vinagre, 1997).

2.9.7. Métodos de extracción de grasa

Anticipadamente a la extracción de las grasas se deben ejecutar ciertas operaciones, tanto para el correcto funcionamiento del equipo de extracción como para asegurar la máxima extracción de las grasas (Salvatierra, Azorza, & Paucar, 2019). Las semillas de cacao deben estar limpias y removida su cáscara previamente, después son molidas. Además se menciona que los procesos anticipados para la extracción de grasas dependerá mucho de las características iniciales de la muestra a utilizar y sobre todo del tipo de extracción que se desea desarrollar (Bonilla & Hoyos, 2018).

Existen métodos eficaces para realizar la extracción de grasa, entre los cuales se mencionan los siguientes: Extracción por disolventes y extracción mecánica.

- **Extracción por disolventes.**

Según Romero et al., (2012) para ejecutar este método de extracción primero las semillas deben de estar limpias, descascarilladas y trituradas, lo cual permite homogeneizar las muestras, seguidamente se las pasa por un molino, para obtener una mejor extracción de grasa, donde el disolvente de las materias de grasas impulsa a estas, siendo separadas de la muestra inicial.

Este método de extracción posee algunas ventajas de las cuales se menciona las siguientes: tienen un buen porcentaje de extracción, con rendimientos elevados y la obtención de un aceite libre de impurezas sólidas. Sin embargo, el uso de un disolvente

inflamable y la recolección de trazas del mismo en el aceite final, constituyen las principales limitaciones de este proceso tecnológico Los aceites que se obtienen de forma directa de la extracción se las conoce como aceites crudos, los cuales están formados por mínimas cantidades de compuestos naturales que no son llamados glicéridos (Rojas, 2019).

- **Extracción mecánica**

La extracción de grasa por el método mecánico es elemental la fase de acondicionamiento, asimismo de las características en cuanto a su forma, dimensiones y naturaleza de las semillas, las cuales varían de una especie a otra, esto depende principalmente de la variedad o cultivar, la extracción mecánica se diferencia de la extracción química debido a que la mecánica garantiza que la grasa extraída pueda mantener su identificación original (González et al., 2019).

Luego de moler las semillas se las ubica en un acondicionador creando una muestra homogénea, se las pasa la prensa, las cuales generan una gran presión y de esa manera realizar la extracción de la grasa de la masa a emplearse, de esta forma se obtiene la masa residual, de la cual realizando el mismo procedimiento se logra desengrasar más, utilizando el método de extracción por disolventes (Rojas Ramos, 2019).

2.10. Grasa en cacao.

Según Sol et al., (2017) la grasa de cacao o también denominada manteca de cacao es empleada en productos como repostería, cosmético, industria farmacéutica, confitería y sobre todo en la elaboración de chocolates, cabe recalcar que la almendra de cacao posee gran cantidad de grasa, el cual es un componente importante de la semilla. El contenido de grasa cambia según la variedad de cacao, además de la concentración de grasa, el índice de acidez y los ácidos grasos tiene relación con la época de cosecha (Sánchez et al., 2017).

Según Chang et al. (2014) señala que el contenido de grasa es uno de los indicadores más complementarios, se menciona que: cuando existe mayor contenido de grasa, el grano de cacao demora más en el transcurso de su fermentación. Por lo cual, en cacaos de tipo forasteros, requieren más o menos de seis días de fermentación, en cambio, el cacao fino solo tardará tres días y en el caso más intenso del cacao Arriba, que tiene poco contenido de grasa solo requiere de quince a veinticuatro días de fermentación. La variedad de cacao forastero contiene más del 52% de grasa y los de la variedad de cacaos finos menos del 50% (Larez et al., 2013).

3. MATERIALES Y MÉTODOS:

3.1. Localización del ensayo

El presente trabajo se lo realizó en el área de cacao de la Granja Santa Inés, la cual pertenece a la Facultad de Ciencias Agropecuarias, de la Universidad Técnica de Machala, la cual está en la provincia de El Oro, perteneciente al cantón Machala, de la parroquia El Cambio, referente a la Región 7, ubicada en el km 5,5 de la vía Machala-Pasaje.

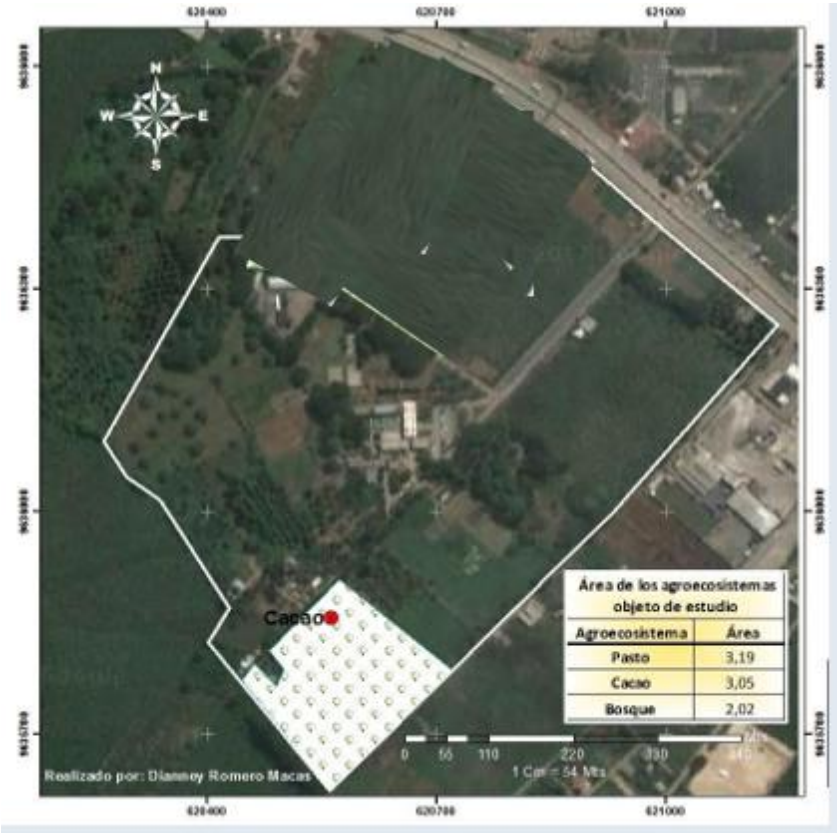


Figura 1. Ubicación geográfica del área de investigación.
Fuente: Google maps.

3.2. Ubicación geográfica

El sitio de estudio se encuentra ubicado entre las siguientes coordenadas geográficas:

Longitud: 79° 54’ 05’’ W

Latitud: 03°17’ 16’’ S

Altitud: 7 msnm

3.3. Clima y ecología

Según Villaseñor, Chabla, & Luna, (2015) el suelo de la Granja “Santa Inés” es un Inceptisol que posee buen drenaje. El sitio de la investigación pertenece a una zona Tropical, con una precipitación media anual de 600 mm, temperatura media anual de 25 º C y 84% de humedad relativa, esto de acuerdo a las zonas de vida natural de Holdridge (bms-T) y el mapa ecológico de Ecuador.

3.4. Materiales

3.4.1. Materiales de campo

- Mazorcas de cacao
- Balanza
- Rotor de madera
- Baldes
- Tijera de podar
- Libreta de campo
- Fundas plásticas
- Navaja
- Pie de rey.

3.4.2. Material genético

Para desarrollar el presente trabajo se seleccionaron cincuenta plantas de cacao nacional, las cuales se encuentran ubicadas en la Granja Santa Inés.

3.4.3. Materiales y equipos de laboratorio.

- Balanza analítica
- Triturador de grano
- Estufa
- Crisoles
- Dedales
- Marcador
- Analizador de grasas (SER 148/6).
- Tubos de ensayo
- Etanol
- Medidor de humedad SAMAP -O- TEST H40
- Tabla Munsell
- Espátulas
- Cámara fotográfica

3.4.4. Factor evaluado

Dentro de la investigación se evaluaron las siguientes variables que se mencionan a continuación:

Variables analizadas

- Escala de madurez de la mazorca (EMM).
- Color del cotiledón (SCC)
- Forma de la semilla (SF)
- Forma del corte transversal (SFCT)
- Longitud de la semilla (SLG)
- Diámetro de la semilla (SDA)
- Espesor de la semilla (SES)
- Grados Brix (SGB)
- Color del polvo de cacao (CPC)

- Porcentaje de grasa del grano (PGG)
- Porcentaje de humedad del grano (PHG)

3.5. Metodología

3.5.1. Escala de madurez de la mazorca.

Se cosechan las mazorcas de cacao de las cincuenta accesiones con las que se va a realizar la investigación, se clasificaron las mazorcas, utilizando la escala de madurez de mazorca (Anexo 2), se determinó que grado tendría cada mazorca de acuerdo a su accesión.

3.5.2. Color del cotiledón (SCC)

Para realizar la evaluación de esta variable se procedió a cortar la semilla con la ayuda de una navaja, al ser un descriptor cualitativo se enumeró de la siguiente forma:

- Púrpura
- Púrpura Intenso
- Púrpura Claro

3.5.3. Forma de la semilla (SF)

Se tomaron diez semillas al azar se elimina la cascarilla del grano, para poder observar la forma de las semillas, de los cuales en la **Figura 2** se detalla cómo es su correcta clasificación:

- Oblonga
- Elíptica
- Ovalada
- Irregular

Figura 2. Forma de la semilla de cacao
Fuente: (Phillips, Arciniegas, Mata, & Motamayor, 2012).

3.5.4. Forma del corte transversal (SFCT)

Al igual que la variable anterior, tomamos diez granos de cacao, se elimina la cascarilla y le hicimos un corte transversal con la ayuda de una navaja, para poder observar las formas que presentan, se las denominó de la siguiente manera (**Figura 3**).

1= Aplanada

2= Intermedia

3= Redondeada

Figura 3. Forma del corte transversal del cacao.
Fuente: (Phillips, Arciniegas, Mata, & Motamayor, 2012)**.**

3.5.5. Longitud de la semilla (SLG)

Para efectuar la siguiente variable de la longitud de la semilla, se utilizó un pie de rey o calibrador, el cual se generan los datos en milímetros, pero para mayor manejo de los datos se los lleva a centímetros.

Figura 4. Longitud de la semilla de la accesión FCA210.
Fuente: El Autor.

3.5.6. Diámetro de la semilla (SDA)

Al igual que la variable anterior, se utilizó un pie de rey para medir el diámetro de diez semillas de cada mazorca tomadas al azar.

Figura 5. Diámetro de la semilla de la accesión FCA210.
Fuente: El Autor.

3.5.7. Espesor de la semilla (SES)

Para medir el espesor de la variable se tomaron en cuenta las diez semillas utilizadas en la variable anterior y con el uso del pie de rey se tomó el dato de cada semilla.

3.5.8. Grados Brix (SGB)

Para efectuar la siguiente variable, se utilizó el Refractómetro manual, de los cuales se insertó sobre los granos fermentados, para que el aparato continúe con la lectura y nos dé a conocer el valor de los grados Brix de ese cacao.

3.5.9. Color del polvo de cacao (CPC)

Para el desarrollo de esta variable se tomaron en cuenta los granos ya fermentados y secos, los cuales se usaron 50 accesiones:

- Como primer punto se procedió a seleccionar al azar diez granos de cacao de cada accesión, para removerle la cascarilla y triturarlas con la ayuda de un molino eléctrico de semillas (Figura 3).

Figura 6. Triturado de las semillas de cacao y el polvo de cacao.

Fuente: El Autor.

- Una vez trituradas las semillas, el polvo se las conserva en los tubos de ensayos etiquetando a cada accesión como se observa en la figura 6.

Figura 7. Tubos de ensayo con el polvo de cacao y sus etiquetas.
Fuente: El Autor.

- Inmediatamente se toma una mínima cantidad, para compararla con los colores de la tabla de Munsell y así tener en cuenta la codificación de ese color.

Figura 8. Relación del color del polvo de cacao con la tabla de Munsell.
Fuente: El autor.

3.5.10. Porcentaje de grasa del grano (PGG)

Para determinar el porcentaje de grasa se utilizó el polvo de cacao antes triturado, de los cuales se pesó 2.5 gramos, con la ayuda de la balanza analítica, se los coloca en los dedales, para tener mayor facilidad de colocar en el analizador de grasa, se le agrega 65 ml de etanol al 99% en los vasos precipitados que son propios del analizador, se coloca el dedal con la muestra dentro del analizador y se la sumerge dentro del vaso con el etanol, activamos el equipo con una temperatura de 210°C, con un tiempo de 140 minutos, prendemos la máquina y por si sola comienza a extraer la grasa de las muestras.

Figura 9. Analizador de grasas, junto con las muestras de seis accesiones de cacao.
Fuente: El Autor.

Al haber transcurrido los minutos programados se deja enfriar la muestra desengrasada por un tiempo de 30 minutos, luego de eso se las ubica en la estufa aproximadamente por 12 horas, para que las muestras se sequen por completo.

Luego pesamos la muestra seca en la balanza analítica.

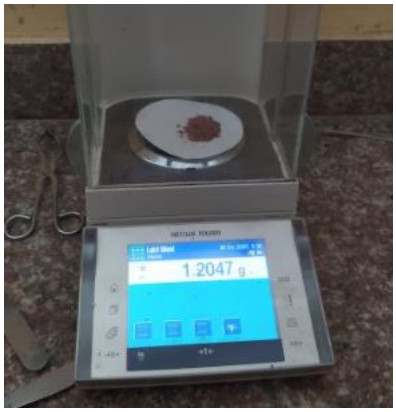


Figura 10. Peso de muestra de cacao sin grasa.
Fuente: El Autor.

Fórmula utilizada para calcular el porcentaje de grasa:

$$\%\ de\ materia\ de\ cacao = \frac{peso\ muestra\ \text{sin}\ grasa\ \times 100}{peso\ de\ muestra\ con\ grasa}$$

$$\%\ de\ grasa\ de\ cacao = 100 - \%\ de\ materia\ de\ cacao$$

Figura 11. Polvo de cacao sin grasa de las diferentes accesiones.
Fuente: El Autor.

3.5.11. Porcentaje de humedad del grano (PHG)

Para medir el porcentaje de humedad del grano de cacao, se utilizó el equipo electrónico de medidor de humedad SAMAP -O- TEST modelo H40, para realizar la lectura se tomó en cuenta que la temperatura se mantenga a 22°C, de forma inmediata, se insertó al azar 50 semillas de cada accesión evaluada, mostrando su respectivo porcentaje de humedad.

Figura 12. Medición del contenido de humedad de las semillas de cacao con el equipo electrónico SAMAP -O- TEST H40.
Fuente: El Autor.

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados presentados en el trabajo experimental son tomados de evaluaciones de trabajos de campo y de laboratorio, los cuales fueron sometidos a un análisis estadístico para su mejor interpretación se elaboraron tablas y gráficos.

4.1. Color del polvo de cacao (CPC).

En la Tabla 1 de estadísticas descriptivas, la humedad al 5% con una escala de madurez de 3, de las 10 accesiones agrupadas, se obtuvo una media de 2,9 o equivalente a 3, el cual presenta una codificación de 3/4 2.5YR y con una desviación estándar de 2,02485 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Cuando la humedad es del 6% con una escala de madurez de 3, de las 10 accesiones agrupadas, sólo dos de ellas poseen una media de 4,5 obteniendo el código 3/4 5R, con una desviación estándar de 3,53553 y ocho están en la escala de madurez de 4, siendo la media 2,7, el cual presenta una codificación de 3/4 y con una desviación estándar de 1,75255 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Cuando la humedad es el 7% con una escala de madurez de 5, de las 10 accesiones agrupadas, todas obtuvieron una media de 4,2 o equivalente a 5, obteniendo el código de color de 3/4 5R, con una desviación estándar de 4,15799 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Con humedad del 8% con una escala de madurez de 5, de las 10 accesiones agrupadas, todas obtuvieron una media de 6,4 o equivalente a 6, obteniendo el código de color de 3/4 10R, con una desviación estándar de 3,37310 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Cuando la humedad es el 9% con una escala de madurez de 6, de las 10 accesiones agrupadas, todas obtuvieron una media de 5,1 o equivalente a 5, obteniendo el código de color de 3/4 5R, con una desviación estándar de 3,14289 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos en el color del polvo de cacao

PHG	EMM	Media	Desv. Desviación
Porcentaje Humedad 5	3,0	2,9000	2,02485
	Total	2,9000	2,02485
Porcentaje Humedad 6	3,0	4,5000	3,53553
	4,0	2,7500	1,75255
	Total	3,1000	2,07900
Porcentaje Humedad 7	5,0	4,2000	4,15799
	Total	4,2000	4,15799
Porcentaje Humedad 8	5,0	6,4000	3,37310
	Total	6,4000	3,37310
Porcentaje Humedad 9	6,0	5,1000	3,14289
	Total	5,1000	3,14289
Total	3,0	3,1667	2,20880
	4,0	2,7500	1,75255
	5,0	5,3000	3,85391
	6,0	5,1000	3,14289
	Total	4,3400	3,21736

Para realizar la comprobación de supuestos de igualdad de varianza en el color del polvo de cacao, utilizamos la prueba de igualdad de Levene de varianzas de error, después de su ejecución, se indica que no existe varianza entre los colores del polvo de cacao, ya que los niveles de significancia son superiores a 0,05, por lo que presenta una heterogeneidad en sus datos, esto se denota en la Tabla 2.

Tabla 2. Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error para el color del polvo de cacao.

Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error[a,b]		
		Sig.
CPC	Se basa en la media	0,252
	Se basa en la mediana	0,777
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0,776
	Se basa en la media recortada	0,377

La prueba de efectos inter-sujetos en la interacción del porcentaje de humedad con el grado de madurez, con respecto al color del polvo de cacao, se aprecia que no existe diferencias significativas entre el porcentaje de humedad y el grado de madurez de la mazorca, caso contrario existe una diferencia significativa entre la intersección de ambas variables de acuerdo estadísticamente a un p-valor.

Tabla 3. Prueba de efectos inter-sujetos en la variable color del polvo de cacao.

Origen	Modelo corregido	Intersección	PHG	EMM	PHG * EMM
Sig.	0,117	0,000	0,235	0,476	-

De lo estadístico de comparaciones múltiples (Tabla 4), cuyo método empleado es de HSD Tukey, en donde se presentan todas las posibles interacciones entre los niveles de la variable Porcentaje de humedad del grano (PHG), la diferencia de las medias de cada grupo, el error típico de esas diferencias y el nivel de significancia asociado a cada diferencia.

Se puede apreciar que entre las interacciones dadas no existe nivel de significancia inferior al p-valor (0,05), es decir, que no existe diferencias significativas estadística entre el porcentaje de humedad del grano con el color en polvo de cacao.

Tabla 4.Comparaciones múltiples de Tukey para la interacción con el porcentaje de humedad del grano, sobre el color en polvo de cacao.

	INTERACCIÓN	Porcentaje de humedad 5	Porcentaje de humedad 6	Porcentaje de humedad 7	Porcentaje de humedad 8	Porcentaje de humedad 9
Sig.	**Porcentaje de humedad 5**	-	1,000	0,878	0,100	0,508
	Porcentaje de humedad 6	1,000	-	0,930	0,136	0,599
	Porcentaje de humedad 7	0,878	0,930	-	0,508	0,965

Porcentaje de humedad 8	0,100	0,136	0,508	-	0,878
Porcentaje de humedad 9	0,508	0,599	0,965	0,878	-

De lo estadístico de comparaciones múltiples (Tabla 5), cuyo método empleado es de HSD Tukey, en donde se presentan todas las posibles interacciones entre los niveles de la variable Escala de madurez de la mazorca (EMM), la diferencia de las medias de cada grupo, el error típico de esas diferencias y el nivel de significancia asociado a cada diferencia.

Se puede apreciar que entre las interacciones dadas no existe nivel de significancia inferior al p-valor (0,05), es decir, que no existe diferencias significativas estadística entre la escala de grado de madurez de la mazorca con el color del polvo de cacao.

Tabla 5. Comparaciones múltiples de Tukey en la interacción con la escala de madurez de la mazorca, sobre el color en polvo de cacao.

EMM	**3**			**4**			**5**			**6**		
	4	**5**	**6**	**3**	**5**	**6**	**3**	**4**	**6**	**3**	**4**	**5**
Sig.	0,991	0.245	0,467	0,991	0,212	0,385	0,245	0,212	0,998	0,467	0,385	0,998

En el Gráfico 1, de la que muestra la interacción entre el porcentaje de humedad del grano con la escala de madurez de la mazorca, para el color en polvo de cacao se estima que: cuando el grano tiene un porcentaje de humedad 5, con una escala de madurez de la mazorca de 3, con respecto al color del polvo de cacao presenta una variación, es decir que el color va estar entre 3 y 5; de los cuales el color número 3 tiene como código 3/4 2.5YR cuando su porcentaje de humedad es 5 y color número 3/4 5R cuando su porcentaje de humedad llegue a 6.

En la siguiente parte de intercesión entre el porcentaje de humedad 6 con la escala de madurez 4, no presenta variación para el color del polvo de cacao, ya que se mantiene dentro del valor 3, el cual se representa con el código 3/4 2.5YR.

Con el porcentaje de humedad 7 cuando la escala de madurez es 5, existe variación con respecto al color del polvo de cacao, ya que se genera dentro de un rango de 4 a 7, cuando contiene un porcentaje de humedad de 7 su color está en el 4 con el código 3/2 5YR, y cambia cuando su grado de humedad llega a 8, representa el 7 con el código 5/4 10R. Y cuando el porcentaje de humedad es 9, con una escala de madurez de 6, no presenta variación en el color del polvo de cacao, ya que se mantiene en el número 5 el cual es representado con el siguiente código 3/4 5R.

En la escala de madurez 5 hay mayor sensibilidad a cambiar el color del grano en función a la humedad y en el porcentaje de humedad 5 también el grano con escala de madurez 3 cambia su color en gran proporción.

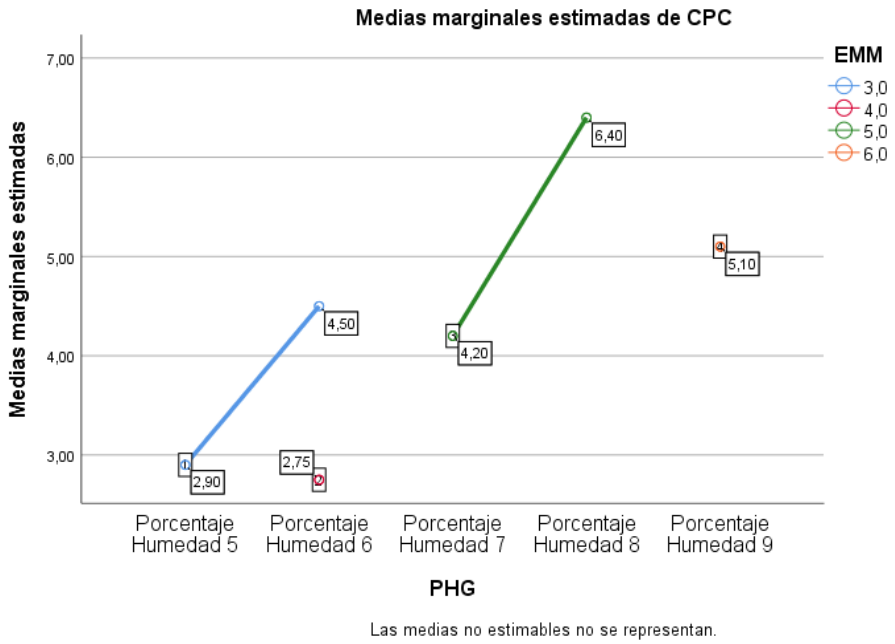


Gráfico 1. Interacción del color del polvo de cacao entre el porcentaje de humedad y la escala de madurez de la mazorca.

En el Gráfico 2, indica que la interacción entre la escala de madurez de la mazorca con el porcentaje de humedad del grano, para el color en polvo de cacao se da

origen que las medias marginales estimadas son: A una escala de madurez de mazorca de 3, con un porcentaje de humedad de 5, indica que no existe variación con respecto al color del polvo de cacao, mostrando que se ubica en el número 3 cuyo código de color es 3/4 2.5YR.

Cuando la escala de madurez está en 4 y el porcentaje de humedad 6, existe variación con el color del polvo de cacao, ubicado en un rango de 3 y 5, cuando su humedad es 6 el color se representa con 3 el cual es 3/4 2.5YR, y con el porcentaje de humedad es de 6 se reduce que su escala de madurez 3, el color incrementa a 5 cuyo código 3/4 5R

En la siguiente parte de intercesión entre la escala de madurez 5 con el porcentaje de humedad 7, no presenta variación para el color del polvo de cacao, ya que se mantiene dentro del valor 4, el cual se representa con el código 3/2 5YR. Al igual que el caso anterior cuando su escala de madurez es 5 y la humedad es 8, no existe variación, ya que el color del polvo de cacao se mantiene dentro de un solo rango, el cual es 6 con el código 3/4 10R.

Cuando la escala de madurez de la mazorca es 6 con el porcentaje de humedad es 9, no presenta variación en el color del polvo de cacao, ya que se mantiene en el número 5 el cual es representado con el siguiente código 3/4 5R.

En el porcentaje de humedad 6 hay mayor sensibilidad a cambiar el porcentaje de grasa del grano en función a la escala de madurez de la mazorca. Afoakwa, (2016) menciona que los granos de cacao a una humedad de 5,5 a 8 tieneden a sufrir cambios en su color, ya que eso influye durante su fermentación.

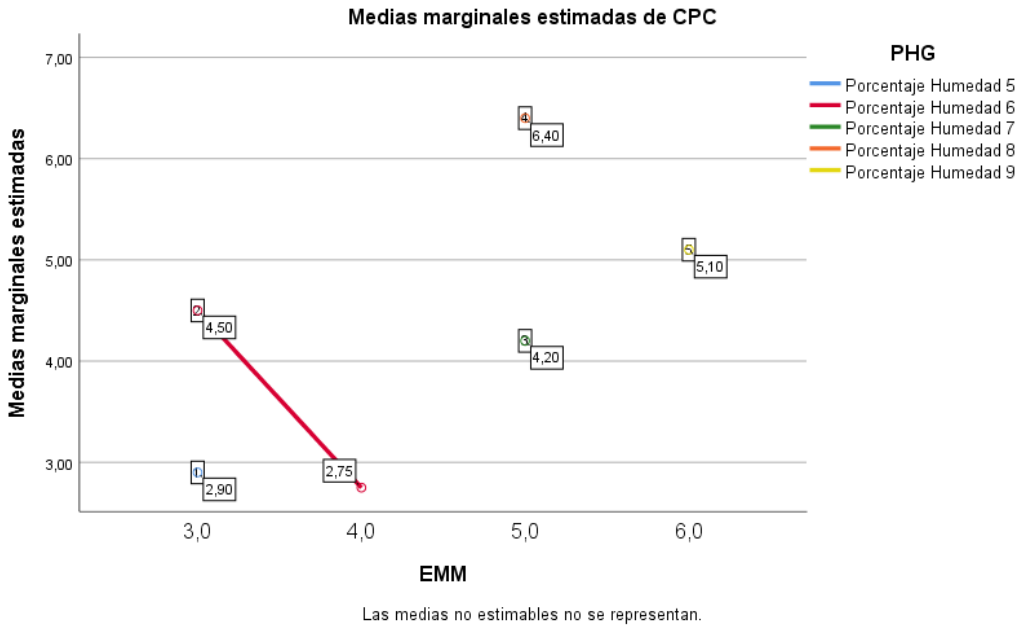


Gráfico 2. Interacción entre la escala de madurez de la mazorca con el porcentaje de humedad del grano, para el color del polvo de cacao.

4.2. Porcentaje de grasa del grano (PGG).

En la Tabla 6 de estadísticos descriptivos, la humedad al 5% con una escala de madurez de 3, de las 10 accesiones agrupadas, se obtuvo una media de 50,80% de grasa en el grano de cacao y con una desviación estándar de 1,83 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Cuando la humedad es del 6% con una escala de madurez de 3, de las 10 accesiones agrupadas, sólo dos de ellas poseen una media de 51,60% de grasa, con una desviación estándar de 1,40 y ocho están en la escala de madurez de 4, siendo la media 52,84% de grasa y con una desviación estándar de 2,71 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Cuando la humedad es el 7% con una escala de madurez de 5, de las 10 accesiones agrupadas, todas obtuvieron una media de 51,86% de grasa y con una desviación estándar de 3,31 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Con humedad del 8% con una escala de madurez de 5, de las 10 accesiones agrupadas, todas obtuvieron una media de 52,11% y con una desviación estándar de 3,93% lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Cuando la humedad es el 9% con una escala de madurez de 6, de las 10 accesiones agrupadas, todas obtuvieron una media de 52,74% de grasas, con una desviación estándar de 3,99 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Tabla 6. Estadísticos descriptivos para el porcentaje de grasa en el grano.

Estadísticos descriptivos

Variable dependiente: PGG

PHG	EMM	Media	Desv. Desviación	N
Porcentaje Humedad 5	3,0	50,8010	1,83422	10
	Total	50,8010	1,83422	10
Porcentaje Humedad 6	3,0	51,6000	1,40007	2
	4,0	52,8438	2,71063	8
	Total	52,5950	2,49149	10
Porcentaje Humedad 7	5,0	51,8630	3,31850	10
	Total	51,8630	3,31850	10
Porcentaje Humedad 8	5,0	52,1110	3,93680	10
	Total	52,1110	3,93680	10
Porcentaje Humedad 9	6,0	52,7460	3,99339	10
	Total	52,7460	3,99339	10
Total	3,0	50,9342	1,74000	12
	4,0	52,8438	2,71063	8
	5,0	51,9870	3,54598	20
	6,0	52,7460	3,99339	10
	Total	52,0232	3,16884	50

Para realizar la comprobación de supuestos de igualdad de varianza en el porcentaje de grasa del grano, utilizamos la prueba de igualdad de Levene de varianzas de error, después de su ejecución, se indica que las varianzas entre los porcentajes de grasa del grano, no tienen diferencias significativas, es decir que no existe varianza, por lo también presente una heterogeneidad en sus datos, esto se denota en la Tabla 7.

Tabla 7. Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error para el porcentaje de grasa en el grano.

Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error[a,b]		
		Sig.
PGG	Se basa en la media	0,162
	Se basa en la mediana	0,316
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0,323
	Se basa en la media recortada	0,170

La prueba de efectos inter-sujetos en la interacción del porcentaje de humedad con el grado de madurez, con respecto al porcentaje de grasa en el grano, se aprecia que no existe diferencias significativas entre el porcentaje de humedad y el grado de madurez de la mazorca, caso contrario existe una diferencia significativa entre la intersección de ambas variables de acuerdo a lo estadístico a un p-valor.

Tabla 8. Prueba de efectos inter-sujetos para la variable porcentaje de grasa en el grano.

Origen	Modelo Corregido	Intersección	PHG	EMM	PHG * EMM
Sig.	0,778	0,000	0,937	0,631	-

De lo estadístico de comparaciones múltiples (Tabla 9), cuyo método empleado es de HSD Tukey, en donde se exponen todas las posibles interacciones entre los niveles de la variable Escala de madurez de la mazorca (EMM), la diferencia de las medias de cada grupo, el error típico de esas diferencias y el nivel de significancia asociado a cada diferencia, como el límite inferior y el superior.

Se puede apreciar que entre las interacciones dadas no existe nivel de significancia inferior al p-valor (0,05), es decir, que no existe diferencias significativas estadística entre la escala de madurez de la mazorca con el porcentaje de grasa del grano.

Tabla 9. Comparaciones múltiples de Tukey con la escala de madurez de la mazorca, para el porcentaje de grasa del grano.

EMM	3			4			5			6		
	4	**5**	**6**	**3**	**5**	**6**	**3**	**4**	**6**	**3**	**4**	**5**
Sig.	0,577	0,812	0,568	0,577	0,922	1,000	0,812	0,922	0,931	0,568	1,000	0,931

En el Gráfico 3, se indica la interacción entre el porcentaje de humedad del grano con la escala de madurez de la mazorca, para el porcentaje de grasa del grano, se estima que: cuando el grano tiene un porcentaje de humedad 5, con una escala de madurez de la mazorca de 3, con respecto al porcentaje de grasas de mantiene en un rango desde 50,80% a 51,60% obteniendo un porcentaje de humedad del 6%.

En la siguiente parte de intercesión entre el porcentaje de humedad 6 con la escala de madurez 4, no presenta variación para el porcentaje de grasa del grano, ya que se mantiene dentro de un mismo rango, obteniendo el 52,84%.

Con el porcentaje de humedad 7 con una escala de madurez de 5, existe variación con respecto al porcentaje de grasa del grano, ya que se genera dentro de un rango de 51,86% a 52,11%, cuando contiene su humedad llega a 8%.

Y cuando el porcentaje de humedad es 9, con una escala de madurez de 6, no presenta variación en el porcentaje de grasa del grano, ya que se mantiene estable dentro del 52,75%.

En la escala de madurez 5 hay mayor sensibilidad a cambiar el porcentaje de grasa en función a la humedad y en el porcentaje de humedad 5 también el grano con escala de madurez 3 cambia su color en gran proporción. Según Castro et al., (2017) indican que el contenido de grasa generalmente varía del 48 al 55% cuando se trata de granos de cacao fermentados y secos.

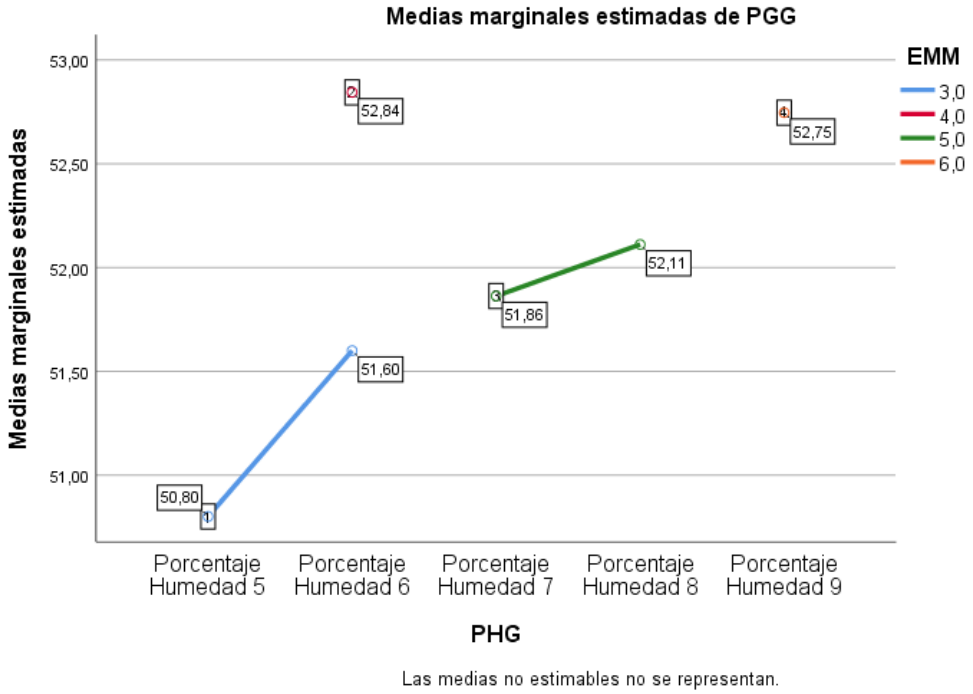


Gráfico 3. Interacción del porcentaje de humedad del grano con la escala de madurez de la mazorca, para el porcentaje de grasa en el grano.

En el Gráfico 4, indica que la interacción entre la escala de madurez de la mazorca con el porcentaje de humedad del grano, para el porcentaje de grasas del grano se da origen que las medias marginales estimadas son: A una escala de madurez de mazorca de 3, con un porcentaje de humedad de 5, indica que no existe variación con respecto al porcentaje de grasa del grano, manteniéndose en 50,80%.

Cuando la escala de madurez está en 4 y el porcentaje de humedad 6, existe variación con porcentaje de grasa del grano, ubicado en un rango de 51,60% cuando su escala de madurez es 3 y a 52,84% cuando su escala de madurez llega a 4.

En la siguiente parte de intercesión entre la escala de madurez 5 con el porcentaje de humedad 7, no presenta variación para el porcentaje de grasas del grano, ya que se mantiene dentro del valor 51,86%, y con la misma escala de madurez de la

mazorca cuando su porcentaje de humedad es 6, alcanza los 52,11% de grasa, la cual indica que tampoco existe variación entre esa intercepción.

Cuando la escala de madurez de la mazorca es 6 con el porcentaje de humedad es 9, no presenta variación en el porcentaje de grasa del grano, ya que se mantiene estable en el 52,75% de la grasa en cacao.

En el porcentaje de humedad 6 hay mayor sensibilidad a cambiar el porcentaje de grasa del grano en función a la escala de madurez de la mazorca.

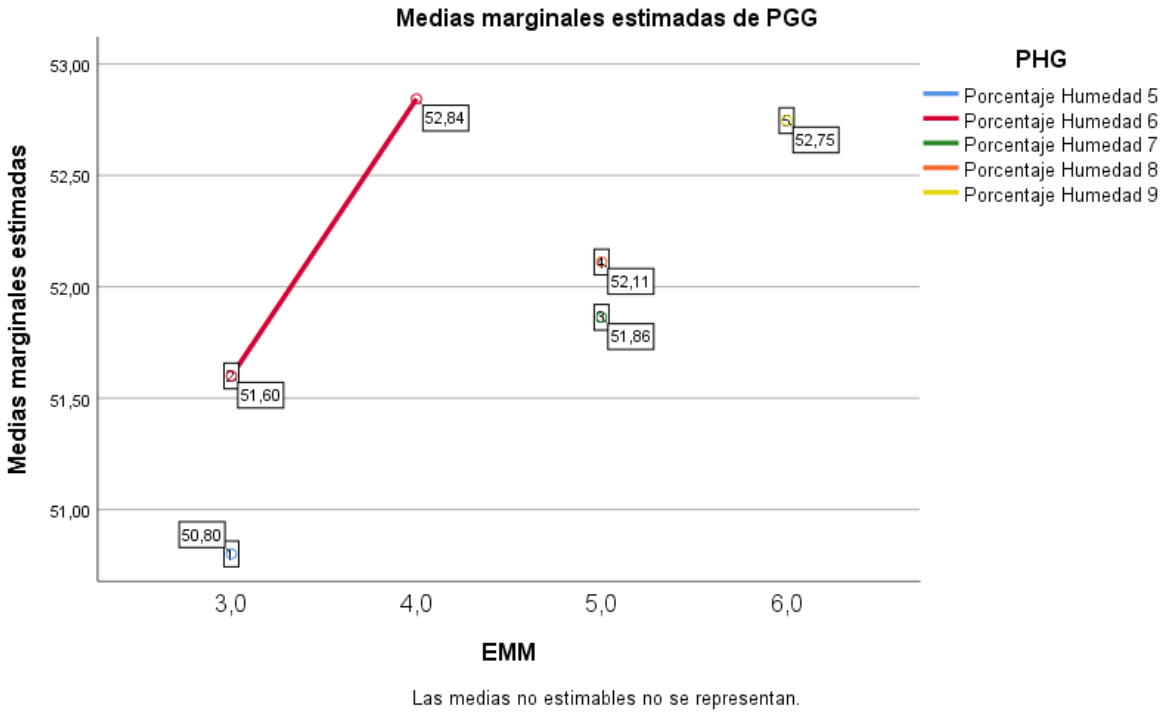


Gráfico 4 Interacción de la escala de madurez con el porcentaje de humedad del grano, para el porcentaje de grasa en el grano.,

4.3. Color del cotiledón (SCC).

En la Tabla 10 de estadísticas descriptivas, la humedad al 5% con una escala de madurez de 3, de las 10 accesiones agrupadas, se obtuvo una media de 2,8 o equivalente a 3, el cual presenta el color púrpura claro y con una desviación estándar de 0,42164 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Cuando la humedad es del 6% con una escala de madurez de 3, de las 10 accesiones agrupadas, sólo dos de ellas poseen una media de 3, el cual presenta el color púrpura claro, con una desviación estándar de 0,0000 y ocho están en la escala de madurez de 4, siendo la media 3 y con una desviación estándar de 0,0000 lo que no existe dispersión entre los datos.

Cuando la humedad es el 7% con una escala de madurez de 5, de las 10 accesiones agrupadas, todas obtuvieron una media de 3, el cual presenta el color púrpura claro, con una desviación estándar de 0,0000 lo que no existe dispersión entre los datos.

Con humedad del 8% con una escala de madurez de 5, de las 10 accesiones agrupadas, todas obtuvieron una media de 3, el cual presenta el color púrpura claro, con una desviación estándar de 0,0000 lo que no existe dispersión entre los datos.

Cuando la humedad es el 9% con una escala de madurez de 6, de las 10 accesiones agrupadas, todas obtuvieron una media de 3, el cual presenta el color púrpura claro, con una desviación estándar de 0,0000 lo que no existe dispersión entre los datos.

Tabla 10. Estadísticos descriptivos para el color del cotiledón de la semilla.

Estadísticos descriptivos

Variable dependiente: SCC

PHG	EMM	Media	Desv. Desviación	N
Porcentaje Humedad 5	3,0	2,8000	,42164	10
	Total	2,8000	,42164	10
Porcentaje Humedad 6	3,0	3,0000	,00000	2
	4,0	3,0000	,00000	8
	Total	3,0000	,00000	10
Porcentaje Humedad 7	5,0	3,0000	,00000	10
	Total	3,0000	,00000	10
Porcentaje Humedad 8	5,0	3,0000	,00000	10
	Total	3,0000	,00000	10
Porcentaje Humedad 9	6,0	3,0000	,00000	10

	Total	3,0000	,00000	10
Total	3,0	2,8333	,38925	12
	4,0	3,0000	,00000	8
	5,0	3,0000	,00000	20
	6,0	3,0000	,00000	10
	Total	2,9600	,19795	50

Para realizar la comprobación de supuestos de igualdad de varianza en el color del cotiledón, utilizamos la prueba de igualdad de Levene de varianzas de error, después de su ejecución, se indica que las varianzas entre los porcentajes de grasa del grano, tienen diferencias significativas, cuando se trata de la media y la media recortada, en cambio en la mediana y la mediana con el gl ajustado no existe diferencia significativa, por lo también presente una heterogeneidad en sus datos, esto se denota en la Tabla 7.

Tabla 11. Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error para el color del cotiledón de la semilla.

Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error[a,b]

		Sig.
SCC	Se basa en la media	0,000
	Se basa en la mediana	0,141
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0,217
	Se basa en la media recortada	0,000

La prueba de efectos inter-sujetos en la interacción del porcentaje de humedad con el grado de madurez, con respecto al color del cotiledón, se aprecia que no existe diferencias significativas entre el porcentaje de humedad y el grado de madurez de la mazorca, caso contrario existe una diferencia significativa entre la intersección de ambas variables de acuerdo a lo estadístico a un p-valor.

Tabla 12. Prueba de efectos inter-sujetos en el color del cotiledón del grano.

Origen	Modelo Corregido	Intersección	PHG	EMM	PHG * EMM
Sig.	0,141	0,000	0,407	1,000	-

De lo estadístico de comparaciones múltiples (Tabla 13), cuyo método empleado es de HSD Tukey, en donde se exponen todas las posibles interacciones entre los niveles de la variable Escala de madurez de la mazorca (EMM), la diferencia de las medias de cada grupo, el error típico de esas diferencias y el nivel de significancia asociado a cada diferencia, como el límite inferior y el superior.

Se puede apreciar que entre las interacciones dadas no existe nivel de significancia inferior al p-valor (0,05), es decir, que no existe diferencias significativas estadística entre la escala de madurez de la mazorca con el color del cotiledón de la semilla.

Tabla 13. Comparaciones múltiples con la escala de madurez de la mazorca con el color del cotiledón del grano.

EMM	3			4			5			6		
	4	**5**	**6**	**3**	**5**	**6**	**3**	**4**	**6**	**3**	**4**	**5**
Sig.	0,237	0,093	0,189	0,237	1,000	1,000	0,093	1,000	1,000	0,189	1,000	1,000

En el Gráfico 5, indica que la interacción entre el porcentaje de humedad del grano con la escala de madurez de la mazorca, para el color del cotiledón se estima que: cuando el grano tiene un porcentaje de humedad 5, con una escala de madurez de la mazorca de 3, con respecto al color del cotiledón presenta una variación, es decir que el color va estar entre 2,8 y 3; de los cuales el color número 2,8 está dentro del color púrpura intenso, cuando su porcentaje de humedad es 5 y con el color púrpura claro cuando su porcentaje de humedad llegue a 6.

En la siguiente parte de intercesión entre el porcentaje de humedad 6 con la escala de madurez 4, no presenta variación para el color del cotiledón, ya que se mantiene dentro del valor 3, el cual se representa con el color púrpura claro.

Con el porcentaje de humedad 7 cuando la escala de madurez es 5, existe variación con respecto al color del cotiledón, pero solo en el porcentaje de humedad, ya que en la escala de madurez se va a la misma dirección, ya que se genera dentro del color 3, con el color púrpura claro, no obstante, solo varia en la humedad del 7% al 8%, manteniendo el mismo color y escala de madurez. Y cuando el porcentaje de humedad es 9, con una escala de madurez de 6, no presenta variación en el color del cotiledón, ya que se mantiene en el número 3 el cual es representado con el color púrpura claro.

En la escala de madurez 5 hay mayor sensibilidad a cambiar el color del cotiledón en función a la humedad y en cambio tiende a variar su porcentaje de humedad cuando la escala de madurez de la mazorca está en grado 3.

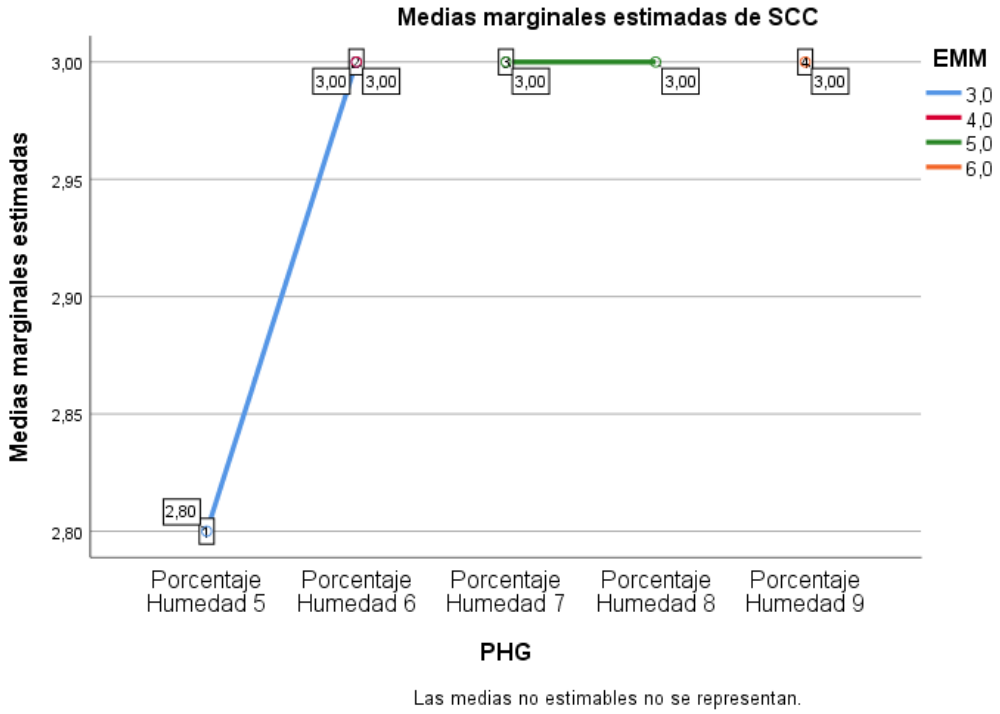


Gráfico 5. Interacción del porcentaje de humedad del grano con la escala de madurez de la mazorca, para el color del cotiledón.

En el Gráfico 6, indica que la interacción entre la escala de madurez de la mazorca con el porcentaje de humedad del grano, para el color en polvo de cacao se da origen que las medias marginales estimadas son: A una escala de madurez de mazorca de 3, con un porcentaje de humedad de 5, indica que no existe variación con respecto al color del cotiledón manteniendo en 3, con el color de púrpura claro.

Cuando la escala de madurez está en 4 y el porcentaje de humedad 6, existe variación con el color de cotiledón, ubicado en un rango 3 cuando su escala de madurez es 3 y 4, lo que indica que el color de su cotiledón es púrpura claro.

En la siguiente parte de intercesión entre la escala de madurez 5 con el porcentaje de humedad 7, no presenta variación para el color del cotiledón, ya que se mantiene dentro del valor 3 con un color de púrpura claro y con la misma escala de madurez de la mazorca cuando su porcentaje de humedad es 7, su color es el misma, manteniéndose en 3, el cual es púrpura claro. Cuando la escala de madurez de la mazorca es 6 con el porcentaje de humedad es 9, no presenta variación en el color del polvo de cacao, ya que se mantiene estable en el 3 indicando que es de color púrpura claro.

En el porcentaje de humedad 6 hay mayor sensibilidad a mantener el color del cotiledón, cuando la escala de madurez varía.

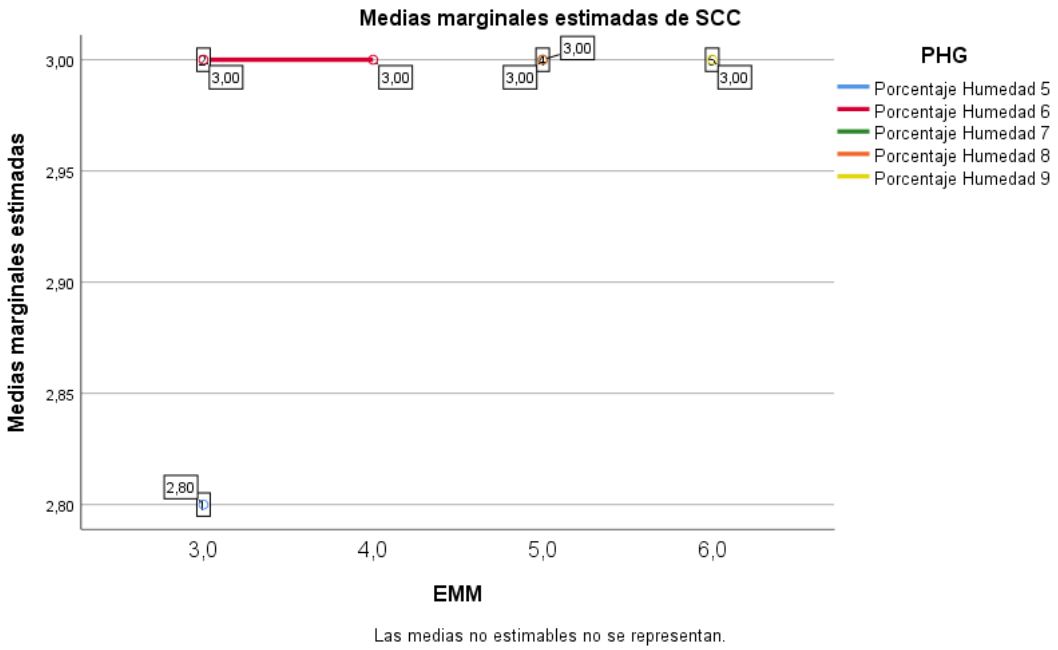


Gráfico 6. Interacción de la escala de madurez con el porcentaje de humedad del grano, para el color del cotiledón.

4.4. Forma de la semilla (SF).

En la Tabla 14 de estadísticas descriptivas, la humedad al 5% con una escala de madurez de 3, de las 10 accesiones agrupadas, se obtuvo una media de 2,3 o equivalente a 2, el cual la semilla presenta una forma elíptica y con una desviación estándar de 0,94868 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Cuando la humedad es del 6% con una escala de madurez de 3, de las 10 accesiones agrupadas, sólo dos de ellas poseen una media de 2,5 obteniendo la forma ovalada, con una desviación estándar de 0,70711 y ocho están en la escala de madurez de 4, siendo la media 2,25, con una forma elíptica y con una desviación estándar de 1,16496 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Cuando la humedad es el 7% con una escala de madurez de 5, de las 10 accesiones agrupadas, todas obtuvieron una media de 2,5 o equivalente a 3, obteniendo la forma ovalada, con una desviación estándar de 1,17851 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Con humedad del 8% con una escala de madurez de 5, de las 10 accesiones agrupadas, todas obtuvieron una media de 2,9 o equivalente a 3, indicando que la forma de la semilla es ovalada, con una desviación estándar de 1,19722 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Cuando la humedad es el 9% con una escala de madurez de 5, de las 10 accesiones agrupadas, todas obtuvieron una media de 2,9 o equivalente a 3, indicando que la forma de la semilla es ovalada, con una desviación estándar de 1,10050 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Tabla 14. Estadísticos descriptivos para la forma de la semilla.

Estadísticos descriptivos

Variable dependiente: SF

PHG	EMM	Media	Desv. Desviación	N
Porcentaje Humedad 5	3,0	2,3000	,94868	10
	Total	2,3000	,94868	10
Porcentaje Humedad 6	3,0	2,5000	,70711	2
	4,0	2,2500	1,16496	8
	Total	2,3000	1,05935	10
Porcentaje Humedad 7	5,0	2,5000	1,17851	10
	Total	2,5000	1,17851	10
Porcentaje Humedad 8	5,0	2,9000	1,19722	10
	Total	2,9000	1,19722	10
Porcentaje Humedad 9	6,0	2,9000	1,10050	10
	Total	2,9000	1,10050	10
Total	3,0	2,3333	,88763	12
	4,0	2,2500	1,16496	8
	5,0	2,7000	1,17429	20
	6,0	2,9000	1,10050	10
	Total	2,5800	1,08965	50

Para realizar la comprobación de supuestos de igualdad de varianza en el color del polvo de cacao, utilizamos la prueba de igualdad de Levene de varianzas de error, después de su ejecución, se indica que las varianzas entre la forma de la semilla tienen

diferencias significativas, por lo también presentan una heterogeneidad en sus datos, esto se denota en la Tabla 15.

Tabla 15. Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error para la forma de la semilla.

Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error[a,b]

		Sig.
SF	Se basa en la media	0,570
	Se basa en la mediana	0,753
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0,753
	Se basa en la media recortada	0,580

La prueba de efectos inter-sujetos en la interacción del porcentaje de humedad con el grado de madurez, con respecto a la forma de la semilla, se aprecia que no existe diferencias significativas entre las variables, caso contrario existe una diferencia significativa entre la intersección de ambas, de acuerdo a lo estadístico a un p-valor.

Tabla 16. Prueba de efectos inter-sujetos en la forma de la semilla.

Origen	Modelo Corregido	Intersección	PHG	EMM	PHG * EMM
Sig.	0,692	0,000	0,706	0,777	-

De lo estadístico de comparaciones múltiples (Tabla 17), cuyo método empleado es de HSD Tukey, en donde se exponen todas las posibles interacciones entre los niveles de la variable Escala de madurez de la mazorca (EMM), la diferencia de las medias de cada grupo, el error típico de esas diferencias y el nivel de significancia asociado a cada diferencia, como el límite inferior y el superior.

Se puede apreciar que entre las interacciones dadas no existe nivel de significancia inferior al p-valor (0,05), es decir, que no existe diferencias significativas estadística entre la escala de madurez de la mazorca con la forma de la semilla.

Tabla 17. Comparaciones múltiples de Tukey con la escala de madurez de la mazorca con la forma de la semilla.

EMM	3			4			5			6		
	4	**5**	**6**	**3**	**5**	**6**	**3**	**4**	**6**	**3**	**4**	**5**
Sig.	0,998	0,803	0,636	0,998	0,768	0,610	0,803	0,768	0,966	0,636	0,610	0,966

En el Gráfico 7, indica que la interacción entre el porcentaje de humedad del grano con la escala de madurez de la mazorca, para el color del cotiledón se estima que: cuando el grano tiene un porcentaje de humedad 5, con una escala de madurez de la mazorca de 3, con respecto a la forma de la semilla presenta una variación, es decir que el color va estar entre 2,3 y 2,5; de los cuales el número 2,3, equivale a 2 está dentro de la forma elíptica, cuando su porcentaje de humedad es 5 y con la forma ovalada cuando su porcentaje de humedad llegue a 6.

En la siguiente parte de intercesión entre el porcentaje de humedad 6 con la escala de madurez 4, no presenta variación para la forma de la semilla, ya que se mantiene dentro del valor 2,25, equivalente a 2 obteniendo una forma elíptica.

Con el porcentaje de humedad 7 cuando la escala de madurez es 5, existe variación con respecto a la forma de la semilla, ya que se genera en el rango 2,50 a 2,90, ambos valores equivalen a la forma 3 cuyo descriptor es ovalada. Y cuando el porcentaje de humedad es 9, con una escala de madurez de 6, no presenta variación en la forma de la semilla, ya que se mantiene en el número 2,9 el cual es representado con la forma ovalada.

En la escala de madurez 3 hay mayor sensibilidad a cambiar la forma de la semilla en función a la humedad y en cambio tiende a variar su porcentaje de humedad cuando la escala de madurez de la mazorca está en grado 5.

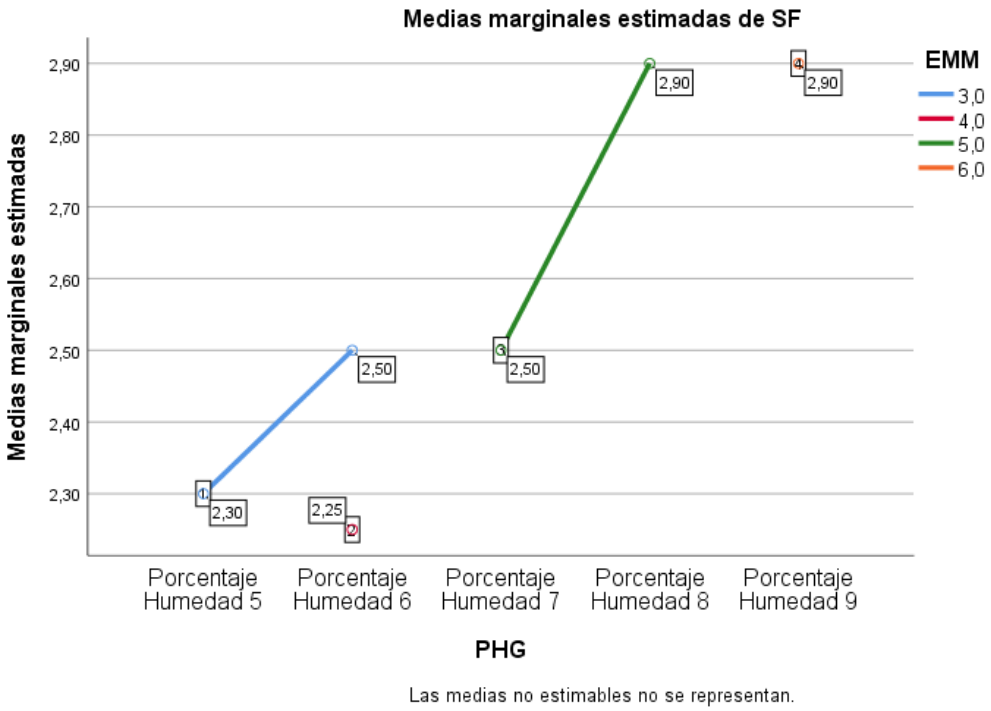


Gráfico 7. Interacción del porcentaje de humedad del grano con la escala de madurez de la mazorca, con la forma de la semilla.

En el Gráfico 8, indica que la interacción entre la escala de madurez de la mazorca con el porcentaje de humedad del grano, para la forma de la semilla, se da origen que las medias marginales estimadas son: A una escala de madurez de mazorca de 3, con un porcentaje de humedad de 5, indica que no existe variación con respecto a la forma de la semilla manteniéndose en 2,3, con la forma elíptica.

Cuando la escala de madurez está en 4 y el porcentaje de humedad 6, existe variación con la forma de la semilla, ubicado en un rango 2,25 a 2,50 cuando su escala de madurez es 3, su forma tiende a ser ovalada y cuando está en su madurez de grado 4 su forma cambia a ovalada.

En la siguiente parte de intercesión entre la escala de madurez 5 con el porcentaje de humedad 7, no presenta variación para la forma de la semilla, ya que se mantiene dentro del valor 2,50 con la forma ovalada y con la misma escala de madurez de la mazorca cuando su porcentaje de humedad es 7, su forma sigue siendo ovalada.

Cuando la escala de madurez de la mazorca es 6 con el porcentaje de humedad es 9, no presenta variación en la forma de la semilla ya que se mantiene estable en el 3 indicando que su forma es ovalada.

En el porcentaje de humedad 6 hay mayor sensibilidad a cambiar el color del cotiledón en función a la escala de madurez de la mazorca.

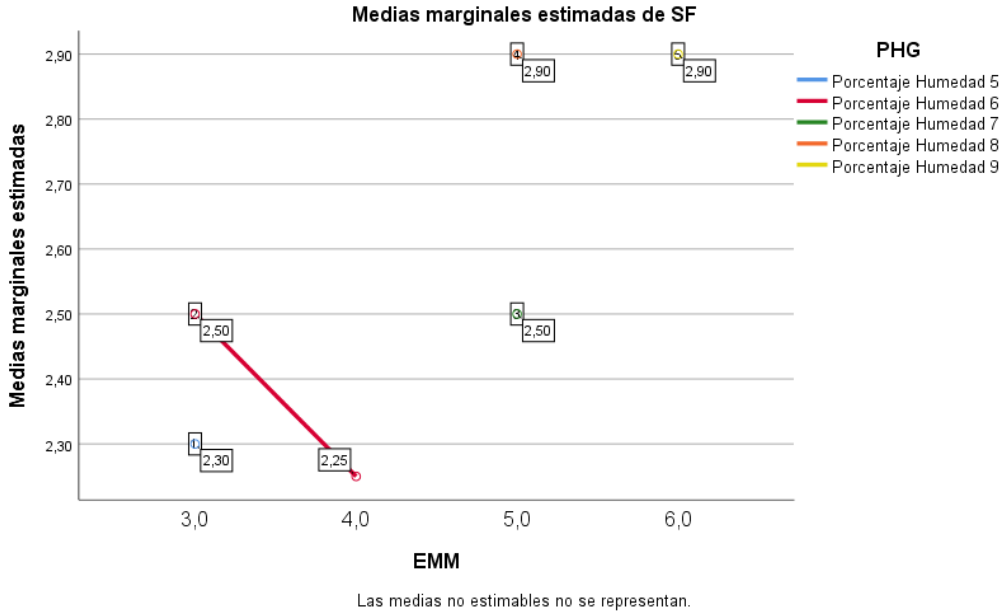


Gráfico 8. Interacción de la escala de madurez con el porcentaje de humedad del grano, para la forma de la semilla.

4.5. Forma del corte transversal de la semilla (SFCT).

En la Tabla 1 de estadísticas descriptivas, la humedad al 5% con una escala de madurez de 3, de las 10 accesiones agrupadas, se obtuvo una media de 2,2 o equivalente a 2, presentado una forma de corte transversal intermedia y con una desviación estándar de 0,78881 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Cuando la humedad es del 6% con una escala de madurez de 3, de las 10 accesiones agrupadas, sólo dos de ellas poseen una media de 2 presentado una forma de corte transversal intermedia, con una desviación estándar de 0,0000, lo que indica que no existe dispersión con respecto a los datos y ocho están en la escala de madurez

de 4, siendo la media 2,5 presentado una forma de corte transversal redondeada y con una desviación estándar de 0,92582 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Cuando la humedad está al 7% con una escala de madurez de 5, de las 10 accesiones agrupadas, se obtuvo una media de 1,6 o equivalente a 2, presentado una forma de corte transversal intermedia y con una desviación estándar de 0,69921 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Con humedad del 8% con una escala de madurez de 5, de las 10 accesiones agrupadas, todas obtuvieron una media de 1,7 o equivalente a 2, presentado una forma de corte transversal intermedia, con una desviación estándar de 0,67495 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Con humedad del 9% con una escala de madurez de 6, de las 10 accesiones agrupadas, todas obtuvieron una media de 2, presentado una forma de corte transversal intermedia, con una desviación estándar de 0,47140 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Tabla 18. Estadísticos descriptivos para la forma del corte transversal de la semilla.

Estadísticos descriptivos

Variable dependiente: SFCT

PHG	EMM	Media	Desv. Desviación	N
Porcentaje Humedad 5	3,0	2,2000	,78881	10
	Total	2,2000	,78881	10
Porcentaje Humedad 6	3,0	2,0000	,00000	2
	4,0	2,5000	,92582	8
	Total	2,4000	,84327	10
Porcentaje Humedad 7	5,0	1,6000	,69921	10
	Total	1,6000	,69921	10
Porcentaje Humedad 8	5,0	1,7000	,67495	10
	Total	1,7000	,67495	10
Porcentaje Humedad 9	6,0	2,0000	,47140	10
	Total	2,0000	,47140	10

Total	3,0	2,1667	,71774	12
	4,0	2,5000	,92582	8
	5,0	1,6500	,67082	20
	6,0	2,0000	,47140	10
	Total	1,9800	,74203	50

Para realizar la comprobación de supuestos de igualdad de varianza en el color del polvo de cacao, utilizamos la prueba de igualdad de Levene de varianzas de error, después de su ejecución, se indica que las varianzas en la forma del corte transversal de la semilla, tienen diferencias significativas, por lo también presente una heterogeneidad en sus datos, esto se denota en la Tabla 19.

Tabla 19. Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error para la forma del corte transversal de la semilla.

Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error[a,b]

		Sig.
SFCT	Se basa en la media	,019
	Se basa en la mediana	,086
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,089
	Se basa en la media recortada	,017

La prueba de efectos inter-sujetos en la interacción del porcentaje de humedad con el grado de madurez, con respecto a la forma del corte transversal de la semilla, se aprecia que no existe diferencias significativas entre el porcentaje de humedad y el grado de madurez de la mazorca, caso contrario existe una diferencia significativa entre la intersección de ambas variables de acuerdo a lo estadístico a un p-valor.

Tabla 20. Prueba de efectos inter-sujetos para la forma del corte transversal de la semilla.

Origen	Modelo Corregido	Intersección	PHG	EMM	PHG * EMM
Sig.	0,106	0,000	0,891	0,377	-

De lo estadístico de comparaciones múltiples (Tabla 21), cuyo método empleado es de HSD Tukey, en donde se exponen todas las posibles interacciones entre los niveles de la variable Escala de madurez de la mazorca (EMM), la diferencia de las medias de cada grupo, el error típico de esas diferencias y el nivel de significancia asociado a cada diferencia, como el límite inferior y el superior.

Se puede apreciar que entre las interacciones dadas no existe nivel de significancia inferior al p-valor (0,05), es decir, que no existe diferencias significativas en casi todos los datos, excepto en la interacción con la escala de madurez en grado 4 con el grado 5, donde el valor es inferior al p-valor 0,05.

Tabla 21. Comparaciones múltiples con la escala de madurez de la mazorca con la forma del corte transversal de la semilla.

EMM	**3**			**4**			**5**			**6**		
	4	**5**	**6**	**3**	**5**	**6**	**3**	**4**	**6**	**3**	**4**	**5**
Sig.	0,733	0,205	0,946	0,733	0,031	0,454	0,205	0,031	0,583	0,946	0,454	0,583

En el Gráfico 9, indica que la interacción entre el porcentaje de humedad del grano con la escala de madurez de la mazorca, para la forma del corte transversal de la semilla se estima que: cuando el grano tiene un porcentaje de humedad 5, con una escala de madurez de la mazorca de 3, con respecto a la forma del corte transversal de la semilla presenta una variación, es decir que el color va estar entre 2 y 2,20; de los cuales ambos valores están dentro del corte intermedio.

En la siguiente parte de intercesión entre el porcentaje de humedad 6 con la escala de madurez 4, no presenta variación para la forma del corte transversal de la semilla, ya que se mantiene dentro del valor 2,5, equivalente al 3 presentando una forma de corte redondeada.

Con el porcentaje de humedad 7 cuando la escala de madurez es 5, existe variación con respecto a la forma del corte transversal de la semilla, ya que cuando

presenta humedad del 7% su media es 1,60 indicando que la forma del corte es intermedia, pero solo en el porcentaje de humedad, ya que en la escala de madurez se va a la misma dirección y cuando está en humedad del 8% con la misma escala de madurez, su forma es igual redondeada.

Y cuando el porcentaje de humedad es 9, con una escala de madurez de 6, no presenta variación en la forma del corte transversal de la semilla, ya que se mantiene en el número 2 el cual es representado por el corte intermedio.

En la escala de madurez 3 y 5, existe una pequeña variación en la forma del corte transversal de la semilla, en función al porcentaje de humedad.

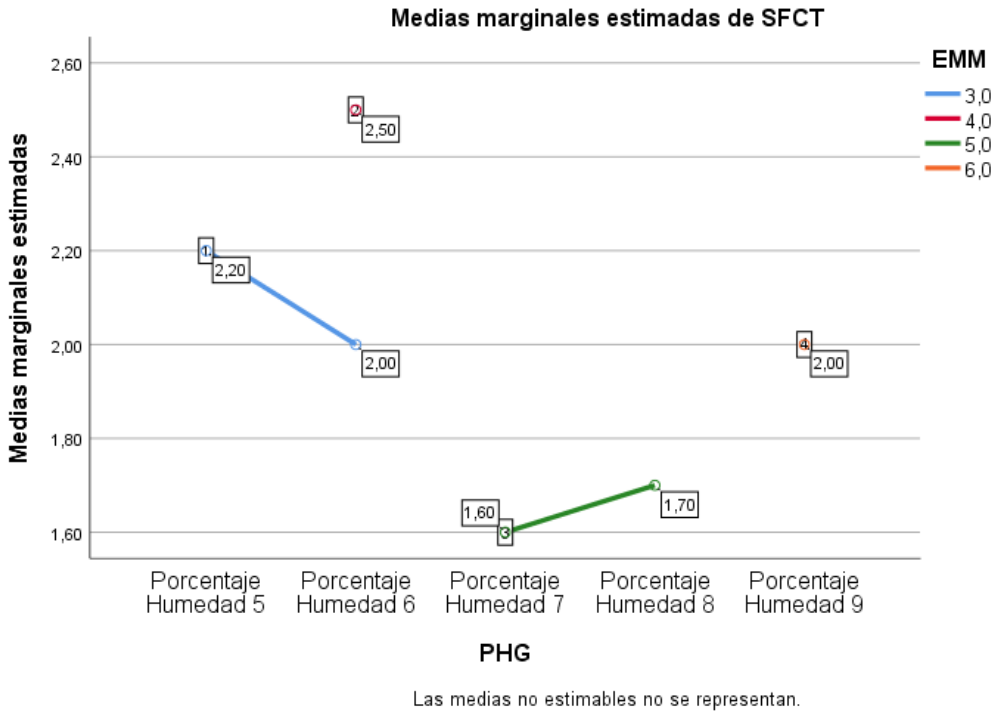


Gráfico 9. Interacción del porcentaje de humedad del grano con la escala de madurez de la mazorca, para la forma del corte transversal de la semilla.

En el Gráfico 10, indica que la interacción entre la escala de madurez de la mazorca con el porcentaje de humedad del grano, para la forma del corte transversal de la semilla el cual da origen que las medias marginales estimadas son: A una escala de madurez de mazorca de 3, con un porcentaje de humedad de 5, indica que existe

variación con respecto a la forma del corte transversal de la semilla, estando en un rango de 2 a 2,5, cuando el porcentaje de humedad es 5, y con la escala de madurez 3 presenta una forma intermedia, en cambio con la misma humedad y con la escala diferente de 4 presenta una forma redondeada.

Cuando la escala de madurez está en 3 y el porcentaje de humedad 6, existe variación con la forma del corte transversal de la semilla, ubicado en un rango 2,20 equivaliendo a 2 presentando una forma intermedia.

En la siguiente parte de intercesión entre la escala de madurez 5 con el porcentaje de humedad 7, no presenta variación para la forma del corte transversal de la semilla, ya que se mantiene dentro del valor 1,60 con un corte intermedio y con la misma escala de madurez de la mazorca cuando su porcentaje de humedad es 8, su forma del corte es la misma, manteniéndose en 1,7, el cual un corte intermedio.

Cuando la escala de madurez de la mazorca es 6 con el porcentaje de humedad es 9, no presenta variación en la forma del corte transversal de la semilla, ya que se mantiene estable en el 2 indicando que se da un corte intermedio.

En el porcentaje de humedad 6 hay mayor sensibilidad a cambiar la forma del corte transversal de la semilla, en función a la escala de madurez de la mazorca.

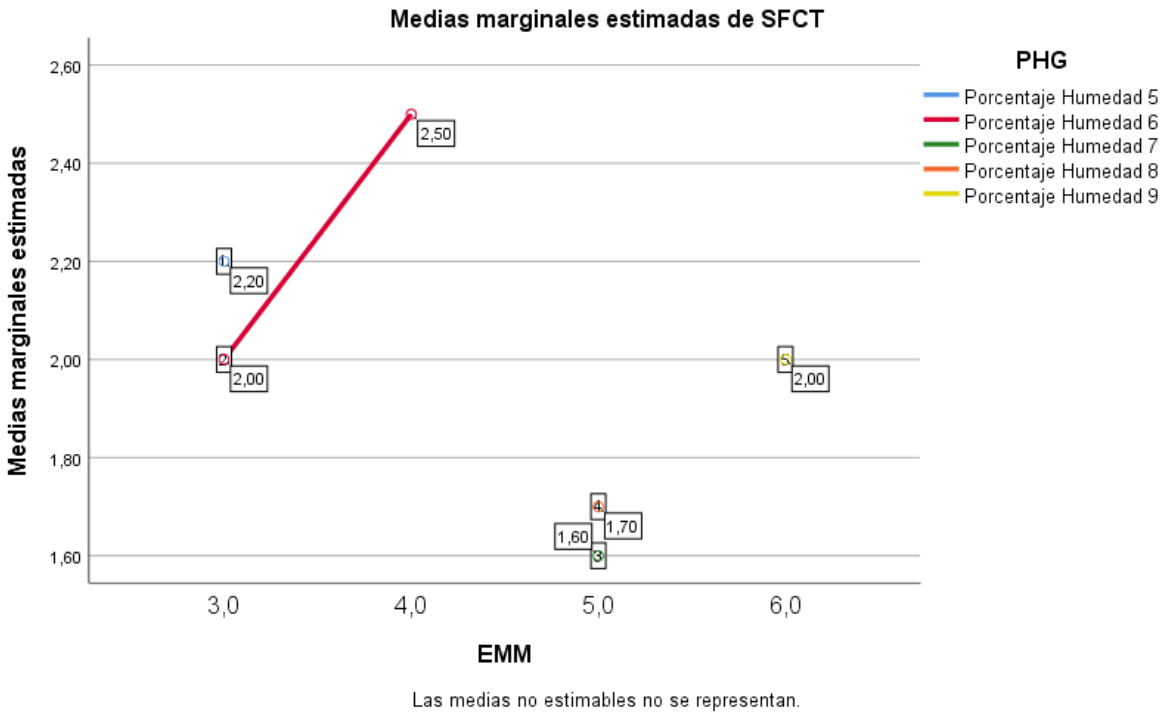


Gráfico 10. Interacción de la escala de madurez con el porcentaje de humedad del grano, para la forma del corte transversal de la semilla.

4.6. Longitud de la semilla (SLG).

En la Tabla 22 de estadísticas descriptivas, la humedad al 5% con una escala de madurez de 3, de las 10 accesiones agrupadas, se obtuvo una media de 2,12 cm que equivale a 2 cm, en la longitud de la semilla y con una desviación estándar de 0,19529 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Cuando la humedad es del 6% con una escala de madurez de 3, de las 10 accesiones agrupadas, sólo dos de ellas poseen una media de 1,91 cm de la longitud de la semilla, con una desviación estándar de 0,19799 y ocho de esas accesiones están en la escala de madurez de 4, siendo la media 2,04 cm y con una desviación estándar de 0,29573 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Cuando la humedad es el 7% con una escala de madurez de 5, de las 10 accesiones agrupadas, todas obtuvieron una media de 2,24 cm, con una desviación estándar de 0,30099 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Con humedad del 8% con una escala de madurez de 5, de las 10 accesiones agrupadas, todas obtuvieron una media de 2,248cm en la longitud de la semilla, con una desviación estándar de 0,38141 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Cuando la humedad es el 9% con una escala de madurez de 6, de las 10 accesiones agrupadas, todas obtuvieron una media de 2,258cm con respecto a la longitud de la semilla, con una desviación estándar de 0,30839 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Tabla 22. Estadísticos descriptivos para la longitud de la semilla.

Estadísticos descriptivos

Variable dependiente: SLG

PHG	EMM	Media	Desv. Desviación	N
Porcentaje Humedad 5	3,0	2,1440	,19529	10
	Total	2,1440	,19529	10
Porcentaje Humedad 6	3,0	1,9100	,19799	2
	4,0	2,0663	,29573	8
	Total	2,0350	,27698	10
Porcentaje Humedad 7	5,0	2,2480	,30099	10
	Total	2,2480	,30099	10
Porcentaje Humedad 8	5,0	2,1440	,38141	10
	Total	2,1440	,38141	10
Porcentaje Humedad 9	6,0	2,2580	,30839	10
	Total	2,2580	,30839	10
Total	3,0	2,1050	,20752	12
	4,0	2,0663	,29573	8
	5,0	2,1960	,33863	20
	6,0	2,2580	,30839	10
	Total	2,1658	,29786	50

Para realizar la comprobación de supuestos de igualdad de varianza en la longitud de la semilla, utilizamos la prueba de igualdad de Levene de varianzas de error, después de su ejecución, se indica que las varianzas los datos de longitud de la

semilla, tienen diferencias significativas, por lo también presente una heterogeneidad en sus datos, esto se denota en la Tabla 23.

Tabla 23. Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error para la longitud de la semilla.

Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error[a,b]

		Sig.
SLG	Se basa en la media	0,348
	Se basa en la mediana	0,383
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0,385
	Se basa en la media recortada	0,352

La prueba de efectos inter-sujetos en la interacción del porcentaje de humedad con el grado de madurez, con respecto a la longitud de la semilla, se aprecia que no existe diferencias significativas entre el porcentaje de humedad y el grado de madurez de la mazorca, caso contrario existe una diferencia significativa entre la intersección de ambas variables de acuerdo a lo estadístico a un p-valor.

Tabla 24. Prueba de efectos inter-sujetos en la longitud de la semilla.

Origen	Modelo Corregido	Intersección	PHG	EMM	PHG * EMM
Sig.	0,539	0,000	0,454	0,514	-

De lo estadístico de comparaciones múltiples (Tabla 17), cuyo método empleado es de HSD Tukey, en donde se exponen todas las posibles interacciones entre los niveles de la variable Escala de madurez de la mazorca (EMM), la diferencia de las medias de cada grupo, el error típico de esas diferencias y el nivel de significancia asociado a cada diferencia, como el límite inferior y el superior.

Se puede apreciar que entre las interacciones dadas no existe nivel de significancia inferior al p-valor (0,05), es decir, que no existe diferencias significativas estadística entre la escala de madurez de la mazorca con la longitud de la semilla.

Tabla 25. Comparaciones múltiples con la escala de madurez de la mazorca con la longitud de la semilla.

EMM	3			4			5			6		
	4	**5**	**6**	**3**	**5**	**6**	**3**	**4**	**6**	**3**	**4**	**5**
Sig.	0,992	0,840	0,637	0,992	0,732	0,540	0,840	0,732	0,951	0,637	0,540	0,951

En el Gráfico 11, indica que la interacción entre el porcentaje de humedad del grano con la escala de madurez de la mazorca, para la longitud de la semilla se estima que: cuando el grano tiene un porcentaje de humedad 5, con una escala de madurez de la mazorca de 3, con respecto la longitud de la semilla presenta una variación, es decir, su media va entre 2,14 cm a 1,91cm; cuando su humedad es 5% su media da 2,14 cm en cambio cuando su humedad está al 6% su longitud reduce a 1,91 cm.

En la siguiente parte de intercesión entre el porcentaje de humedad 6 con la escala de madurez 4, no presenta variación en la longitud de la semilla, ya que se mantiene dentro del valor 2,07 cm.

Con el porcentaje de humedad 7 cuando la escala de madurez es 5, existe variación con respecto a la longitud de la semilla, pero solo en el porcentaje de humedad, ya que en la escala de madurez se rige en el mismo grado, cuando la humedad es 7% su longitud presenta una media de 2,25 cm y cuando la humedad es 8% tiene una media de 2,14 cm de longitud.

Y cuando el porcentaje de humedad es 9, con una escala de madurez de 6, no presenta variación en la longitud de la semilla, ya que se mantiene en la media estimada de 2,26 cm.

En la escala de madurez 3 hay mayor sensibilidad a cambiar la longitud de la semilla en función a la humedad, ocurriendo lo mismo cuando la escala de madurez de la mazorca está en el grado 5.

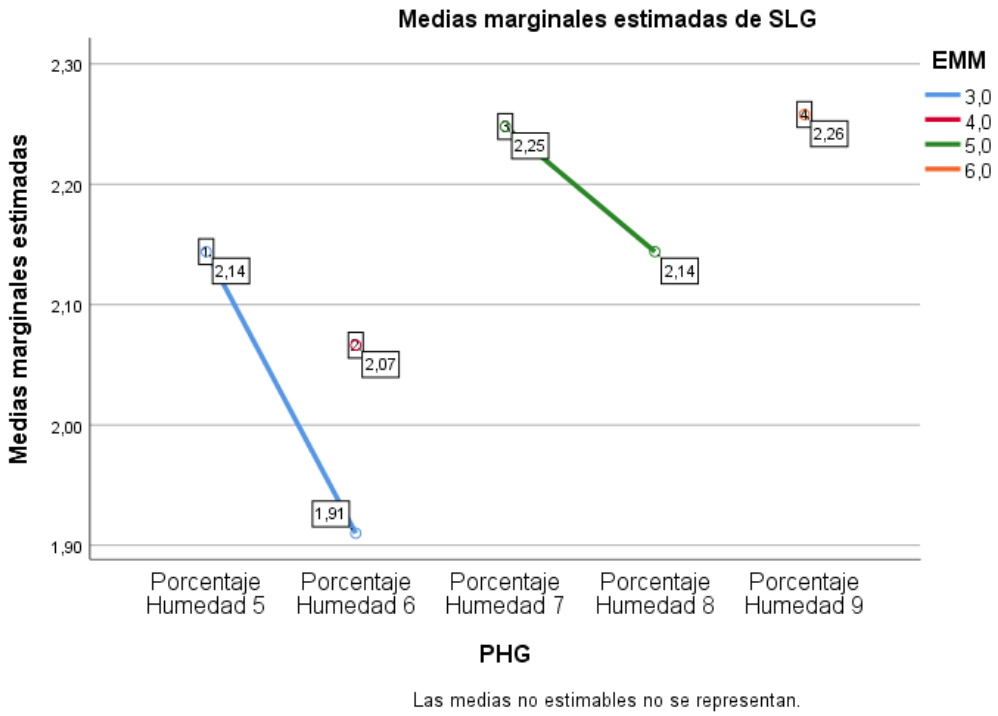


Gráfico 11. Interacción del porcentaje de humedad del grano con la escala de madurez de la mazorca, para la longitud de la semilla.

En el Gráfico 12, indica que la interacción entre la escala de madurez de la mazorca con el porcentaje de humedad del grano, para la longitud de la semilla, se da origen que las medias marginales estimadas son: Cuando la escala de madurez está en 3 y el porcentaje de humedad en 5, no existe variación con las medias de longitud de la semilla, ubicado en 2,14 cm.

A una escala de madurez de mazorca de 3, con un porcentaje de humedad de 5, indica que existe variación con respecto a las medias de la longitud de la semilla, cuyo valor es 1,91cm, cuando la escala de madurez está en grado 3 y cuando está en grado 4 con la misma humedad la media de la longitud de la semilla es 2,07 cm.

En la siguiente parte de intercesión entre la escala de madurez 5 con la humedad al 8%, no presenta variación para la longitud de la semilla, ya que se mantiene dentro del valor 2,25cm; al igual que con la humedad al 8% y con la misma escala de madurez al 5, no presenta variación con una media estable de 2,14 cm.

Cuando la escala de madurez de la mazorca es 6 con el porcentaje de humedad es 9, no presenta variación con la longitud de la semilla, ya que se mantiene estable en el 2,26 cm.

En el porcentaje de humedad 6 hay mayor sensibilidad a cambiar la longitud de la semilla en función a la escala de madurez de la mazorca.

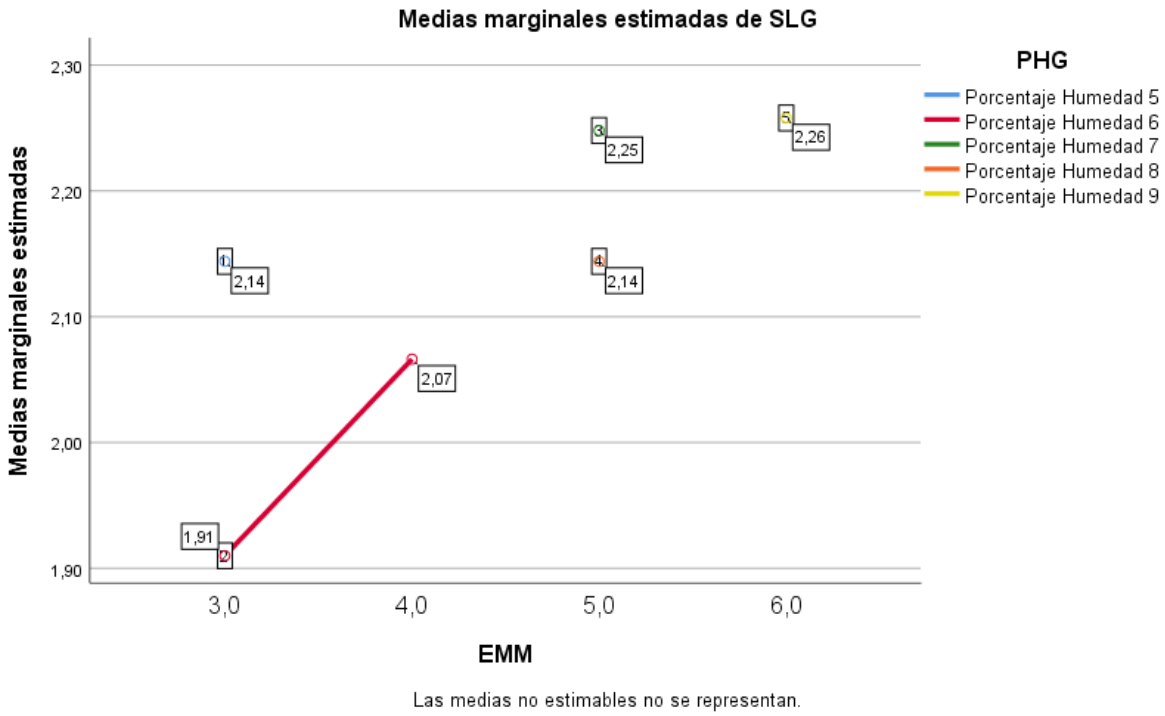


Gráfico 12. Interacción de la escala de madurez con el porcentaje de humedad del grano, para la longitud de la semilla.

4.7. Diámetro de la semilla (SDA).

En la Tabla 26 de estadísticas descriptivas, la humedad al 5% con una escala de madurez de 3, de las 10 accesiones agrupadas, se obtuvo una media de 1,12 cm de diámetro de la semilla y con una desviación estándar de 0,19290 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Cuando la humedad es del 6% con una escala de madurez de 3, de las 10 accesiones agrupadas, sólo dos de ellas poseen una media 1,33 cm de diámetro de la

semilla, con una desviación estándar de 0,14142 y ocho están en la escala de madurez de 4, siendo la media 1,12 cm de diámetro de la semilla y con una desviación estándar de 0,14412 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Cuando la humedad es el 7% con una escala de madurez de 5, de las 10 accesiones agrupadas, todas obtuvieron una media 1,27 cm de diámetro de la semilla, con una desviación estándar de 0,36749 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Con humedad del 8% con una escala de madurez de 5, de las 10 accesiones agrupadas, todas obtuvieron una media de 1,12 cm de diámetro de la semilla, con una desviación estándar de 0,24517 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Cuando la humedad es el 9% con una escala de madurez de 5, de las 10 accesiones agrupadas, todas obtuvieron una media de 1,22 cm de diámetro de la semilla, con una desviación estándar de 0,19401 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Tabla 26. Estadísticos descriptivos para el diámetro de la semilla.

Estadísticos descriptivos

Variable dependiente: SDA

PHG	EMM	Media	Desv. Desviación	N
Porcentaje Humedad 5	3,0	1,1190	,19290	10
	Total	1,1190	,19290	10
Porcentaje Humedad 6	3,0	1,3300	,14142	2
	4,0	1,0063	,14412	8
	Total	1,0710	,19238	10
Porcentaje Humedad 7	5,0	1,2670	,36749	10
	Total	1,2670	,36749	10
Porcentaje Humedad 8	5,0	1,1180	,24517	10
	Total	1,1180	,24517	10
Porcentaje Humedad 9	6,0	1,2180	,19401	10
	Total	1,2180	,19401	10
Total	3,0	1,1542	,19751	12
	4,0	1,0063	,14412	8

	5,0	1,1925	,31350	20
	6,0	1,2180	,19401	10
	Total	1,1586	,24846	50

Para realizar la comprobación de supuestos de igualdad de varianza en el color del polvo de cacao, utilizamos la prueba de igualdad de Levene de varianzas de error, después de su ejecución, se indica que las varianzas para el diámetro de la semilla, tienen diferencias significativas, por lo también presente una heterogeneidad en sus datos, esto se denota en la Tabla 27.

Tabla 27. Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error para el diámetro de la semilla.

Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error[a,b]

		Sig.
SDA	Se basa en la media	0,223
	Se basa en la mediana	0,260
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0,271
	Se basa en la media recortada	0,193

La prueba de efectos inter-sujetos en la interacción del porcentaje de humedad con el grado de madurez, con respecto al diámetro de la semilla, se aprecia que no existe diferencias significativas entre el porcentaje de humedad y el grado de madurez de la mazorca, caso contrario existe una diferencia significativa entre la intersección de ambas variables de acuerdo a lo estadístico a un p-valor.

Tabla 28. Prueba de efectos inter-sujetos para el diámetro de la semilla.

Origen	Modelo Corregido	Intersección	PHG	EMM	PHG * EMM
Sig.	0,224	0,000	0,219	0,099	-

De lo estadístico de comparaciones múltiples (Tabla 29), cuyo método empleado es de HSD Tukey, en donde se exponen todas las posibles interacciones entre

los niveles de la variable Escala de madurez de la mazorca (EMM), la diferencia de las medias de cada grupo y el nivel de significancia asociado a cada diferencia, como el límite inferior y el superior.

Se puede apreciar que entre las interacciones dadas no existe nivel de significancia inferior al p-valor (0,05), es decir, que no existe diferencias significativas estadística entre la escala de madurez de la mazorca con el diámetro de la semilla.

Tabla 29. Comparaciones múltiples con la escala de madurez de la mazorca y el diámetro de la semilla.

EMM	**3**			**4**			**5**			**6**		
	4	**5**	**6**	**3**	**5**	**6**	**3**	**4**	**6**	**3**	**4**	**5**
Sig.	0,547	0,973	0,927	0,547	0,272	0,270	0,973	0,272	0,993	0,927	0,270	0,993

En el Gráfico 13, indica que la interacción entre el porcentaje de humedad del grano con la escala de madurez de la mazorca, para el diámetro de la semilla se estima que: cuando el grano tiene un porcentaje de humedad 5, con una escala de madurez de la mazorca de 3, con respecto al diámetro de la semilla presenta una variación, es decir, su media va entre 1,12 cm a 1,33 cm; cuando su humedad es 5% su media de 1,12 cm, en cambio cuando su humedad está al 6% su diámetro es 1,33 cm.

En la siguiente parte de intercesión entre el porcentaje de humedad 6 con la escala de madurez 4, no presenta variación en el diámetro de la semilla, ya que se mantiene dentro del valor 1,01 cm.

Con el porcentaje de humedad 7 cuando la escala de madurez es 5, existe variación con respecto al diámetro de la semilla, pero solo en el porcentaje de humedad, ya que en la escala de madurez se rige en el mismo grado, cuando la humedad es 7% el diámetro de la semilla presenta una media de 1,27 cm y cuando la humedad es 8% tiene una media de 1,12 cm de diámetro.

Y cuando el porcentaje de humedad es 9, con una escala de madurez de 6, no presenta variación en la longitud de la semilla, ya que se mantiene en la media estimada de 1,22 cm.

En la escala de madurez 3 hay mayor sensibilidad a cambiar el diámetro de la semilla en función a la humedad, ocurriendo lo mismo cuando la escala de madurez de la mazorca está en el grado 5.

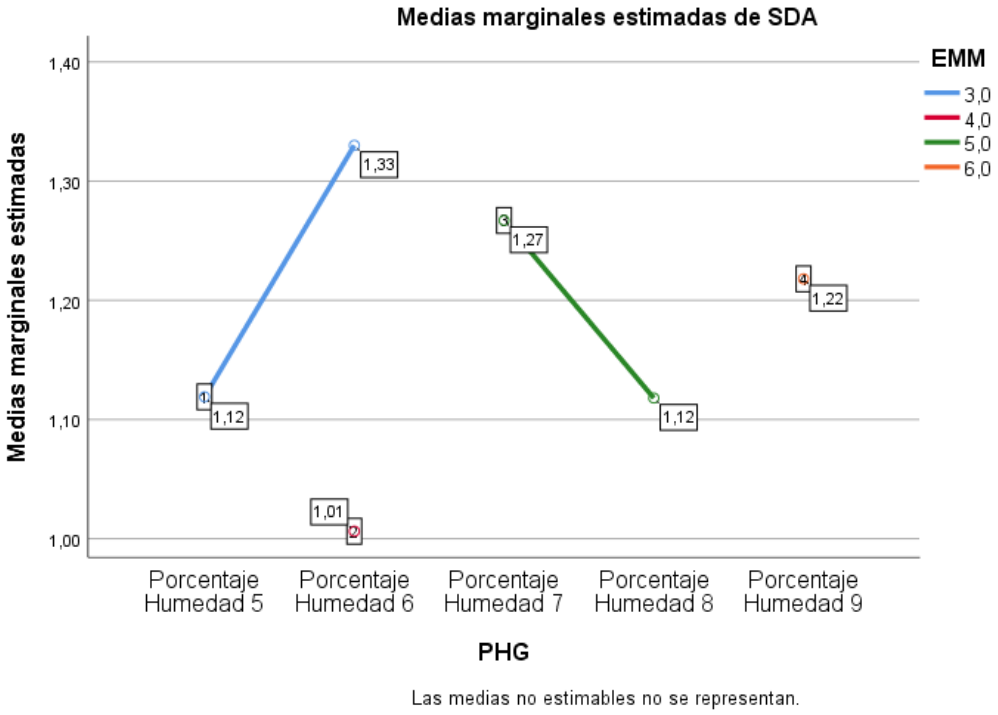


Gráfico 13. Interacción del porcentaje de humedad del grano con la escala de madurez de la mazorca, para el diámetro de la semilla.

En el Gráfico 14, indica que la interacción entre la escala de madurez de la mazorca con el porcentaje de humedad del grano, para el diámetro de la semilla, se da origen que las medias marginales estimadas son: Cuando la escala de madurez está en grado 3 y el porcentaje de humedad en 5, no existe variación con las medias del diámetro de la semilla, ubicado en 1,12 cm.

A una escala de madurez de mazorca de 4, con un porcentaje de humedad de 6, indica que existe variación con respecto a las medias del diámetro de la semilla, cuyo valor es 1,01 cm, cuando la escala de madurez está en grado 4 y con la misma humedad la media del diámetro de la semilla es 1,33 cm.

En la siguiente parte de intercesión entre la escala de madurez 5 con la humedad al 8%, no presenta variación para el diámetro de la semilla, ya que se mantiene dentro del valor 1,27 cm; al igual que con la humedad al 8% y con la misma escala de madurez al 5, no presenta variación con una media estable de 1,12 cm.

Cuando la escala de madurez de la mazorca es 6 con el porcentaje de humedad es 9, no presenta variación con el diámetro de la semilla, ya que se mantiene estable en el 1,22 cm.

Cuando la humedad está al 6% hay mayor sensibilidad a cambiar el diámetro de la semilla en función a la escala de madurez de la mazorca.

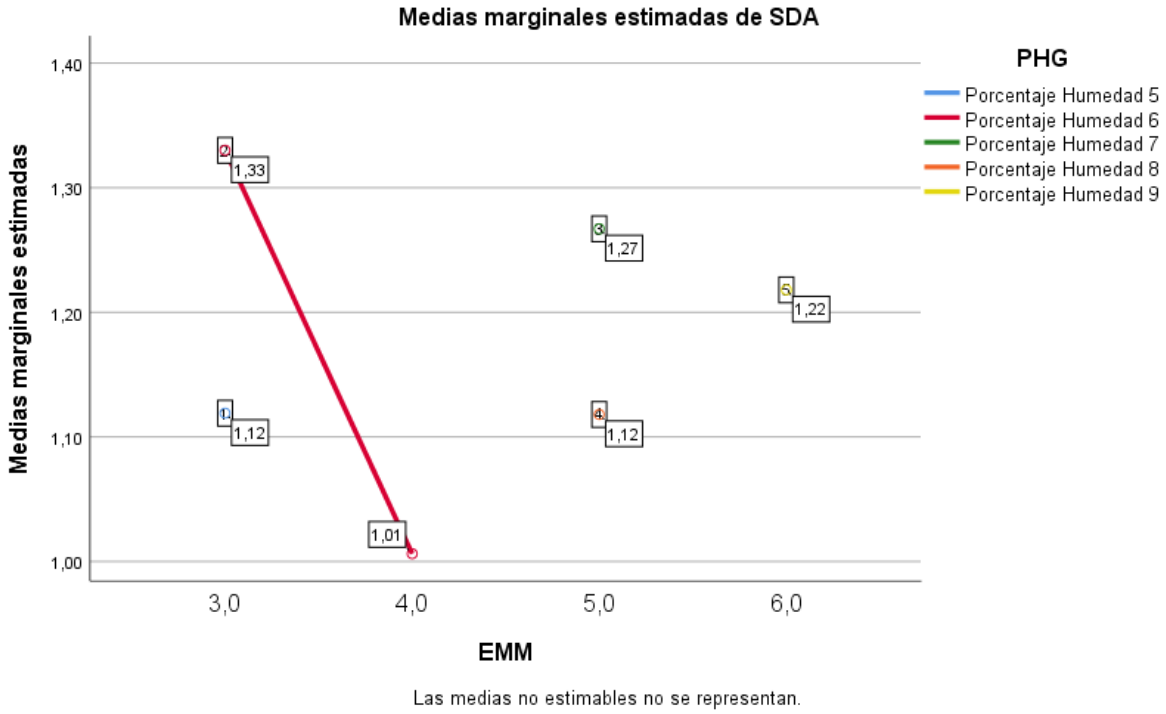


Gráfico 14. Interacción de la escala de madurez con el porcentaje de humedad del grano, para el diámetro de la semilla.

4.8. Espesor de la semilla (SES).

En la Tabla 30 de estadísticas descriptivas, la humedad al 5% con una escala de madurez de 3, de las 10 accesiones agrupadas, se obtuvo una media de 0,76 cm en el espesor de la semilla y con una desviación estándar de 0,21572 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Cuando la humedad es del 6% con una escala de madurez de 3, de las 10 accesiones agrupadas, sólo dos de ellas poseen una media de 4,83 cm, con una desviación estándar de 5,79828 y ocho están en la escala de madurez de 4, siendo la media 0,66 cm en el espesor de la semilla y con una desviación estándar de 0,20625 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Cuando la humedad es el 7% con una escala de madurez de 5, de las 10 accesiones agrupadas, todas obtuvieron una media en su espesor de 0,69 cm, con una desviación estándar de 0,31507 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Con humedad del 8% con una escala de madurez de 5, de las 10 accesiones agrupadas, todas obtuvieron una media de 2,417 cm de espesor en la semilla, con una desviación estándar de 3,40372 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Cuando la humedad es el 9% con una escala de madurez de 6, de las 10 accesiones agrupadas, todas obtuvieron una media de 0,83 cm en el espesor de la semilla, con una desviación estándar de 0,05203 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Tabla 30. Estadísticos descriptivos para la interacción entre el porcentaje de humedad con la escala de madurez de la mazorca, para el espesor de la semilla.

Estadísticos descriptivos

Variable dependiente: SES

PHG	EMM	Media	Desv. Desviación	N
Porcentaje Humedad 5	3,0	,7600	,21572	10
	Total	,7600	,21572	10
Porcentaje Humedad 6	3,0	4,8300	5,79828	2

	4,0	,6638	,20625	8
	Total	1,4970	2,61810	10
Porcentaje Humedad 7	5,0	,6940	,31507	10
	Total	,6940	,31507	10
Porcentaje Humedad 8	5,0	2,4170	3,40372	10
	Total	2,4170	3,40372	10
Porcentaje Humedad 9	6,0	,8320	,05203	10
	Total	,8320	,05203	10
Total	3,0	1,4383	2,36733	12
	4,0	,6638	,20625	8
	5,0	1,5555	2,51317	20
	6,0	,8320	,05203	10
	Total	1,2400	1,96270	50

Para realizar la comprobación de supuestos de igualdad en el espesor de la semilla, se realizó la prueba de Levene de varianzas de error, para verificar si existió significancia para el Espesor de la semilla (SES), cuyos resultados se muestran en la Tabla 31, en donde se observa claramente que existe diferencias significativas en las medias, es decir, que la interacción entre el porcentaje de humedad del grano (PHG) y la escala de madurez del grano (EMM), genera un efecto atribuible sobre el espesor de la semilla.

Tabla 31. Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error para el espesor de la semilla.

Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error[a,b]

		Sig.
SES	Se basa en la media	0,000
	Se basa en la mediana	0,006
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0,038
	Se basa en la media recortada	0,000

Para el análisis de la interacción de las variables independientes de porcentaje de humedad del grano (PGG) y escala de madurez de la mazorca (EMM), se realizó la prueba de efectos inter-sujetos, para verificar si existe diferencias significativas con

respecto al espesor de la semilla, se aprecia en la Tabla 32, que si existe diferencias significativas en todos los análisis, demostrando que la interacción entre el porcentaje de humedad y escala de madurez, genera un efecto atribuible hacia el espesor de la semilla.

Tabla 32. Prueba de efectos inter-sujetos para el espesor de la semilla.

Origen	Modelo Corregido	Intersección	PHG	EMM	PHG * EMM
Sig.	0,017	0,000	0,003	0,005	-

De lo estadístico de comparaciones múltiples (Tabla 33), cuyo método empleado es de HSD Tukey, en donde se exponen todas las posibles interacciones entre los niveles de la variable Escala de madurez de la mazorca (EMM), la diferencia de las medias de cada grupo, el error típico de esas diferencias y el nivel de significancia asociado a cada diferencia, como el límite inferior y el superior.

Se puede apreciar que entre las interacciones dadas no existe nivel de significancia inferior al p-valor (0,05), es decir, que no existe diferencias significativas estadística entre la escala de madurez de la mazorca con el espesor de la semilla.

Tabla 33. Comparaciones múltiples con la escala de madurez de la mazorca con el espesor de la semilla.

EMM	**3**			**4**			**5**			**6**		
	4	**5**	**6**	**3**	**5**	**6**	**3**	**4**	**6**	**3**	**4**	**5**
Sig.	0,776	0,998	0,856	0,776	0,632	0,997	0,998	0,632	0,722	0,856	0,997	0,722

En el Gráfico 15, indica que la interacción entre el porcentaje de humedad del grano con la escala de madurez de la mazorca, para el espesor de la semilla se estima que: cuando el grano tiene un porcentaje de humedad 5, con una escala de madurez de la mazorca de 3, con respecto al espesor de la semilla presenta una variación, es decir,

su media va entre 0,76 cm a 4,83 cm; cuando su humedad es 5% su media de 0,76 cm en cambio cuando su humedad está al 6% del espesor de la 4,83 cm.

En la siguiente parte de intercesión entre el porcentaje de humedad 6 con la escala de madurez 4, no presenta variación en el espesor de la semilla, ya que se mantiene dentro del valor 0,66 cm.

Con el porcentaje de humedad 7 cuando la escala de madurez es 5, existe variación con respecto al espesor de la semilla, pero solo en el porcentaje de humedad, ya que en la escala de madurez se rige en el mismo grado, cuando la humedad es 7% su espesor presenta una media de 0,69 cm y cuando la humedad es 8% tiene una media de 2,42 cm de espesor de la semilla. Y cuando el porcentaje de humedad es 9, con una escala de madurez de 6, no presenta variación en el espesor de la semilla, ya que se mantiene en la media estimada de 0,83 cm.

En la escala de madurez 3 hay mayor sensibilidad a cambiar el espesor de la semilla en función a la humedad, ocurriendo lo mismo cuando la escala de madurez de la mazorca está en el grado 5.

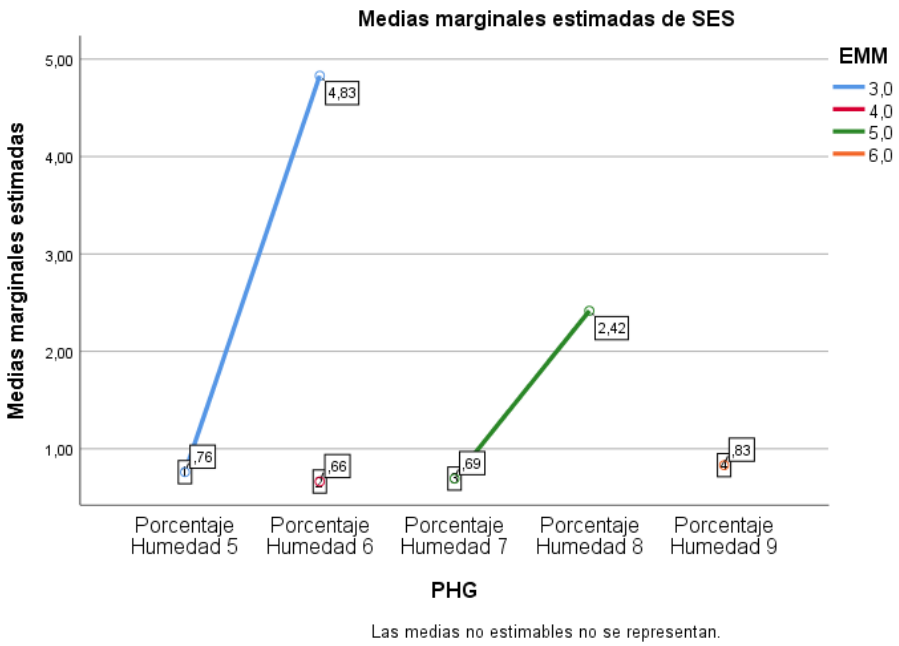


Gráfico 15. Interacción del porcentaje de humedad del grano con la escala de madurez de la mazorca, para el espesor de la semilla.

En el Gráfico 16, indica que la interacción entre la escala de madurez de la mazorca (EMM) con el porcentaje de humedad del grano (PGG), para el espesor de la semilla, se da origen que las medias marginales estimadas son: Cuando la escala de madurez está en 3 y el porcentaje de humedad en 5, no existe variación con las medias del espesor de la semilla, ubicado en 0,76 cm.

A una escala de madurez de mazorca de 4, con un porcentaje de humedad de 6, indica que existe variación con respecto a las medias del espesor de la semilla, cuyo valor es 0,66 cm, cuando la escala de madurez está en grado 4 y cuando está en grado 3 con la misma humedad la media del espesor de la semilla es 4,83 cm.

En la siguiente parte de intercesión entre la escala de madurez 5 con la humedad al 8%, no presenta variación para el espesor de la semilla, ya que se mantiene dentro del valor 0,69 cm; al igual que con la humedad al 8% y con la misma escala de madurez al 5, no presenta variación con una media estable de 2,42 cm. Cuando la escala de madurez de la mazorca es 6 con el porcentaje de humedad es 9, no presenta variación con el espesor de la semilla, ya que se mantiene estable en el 0,83 cm.

En el porcentaje de humedad 6 hay mayor sensibilidad a cambiar la media del espesor de la semilla en función a la escala de madurez de la mazorca.

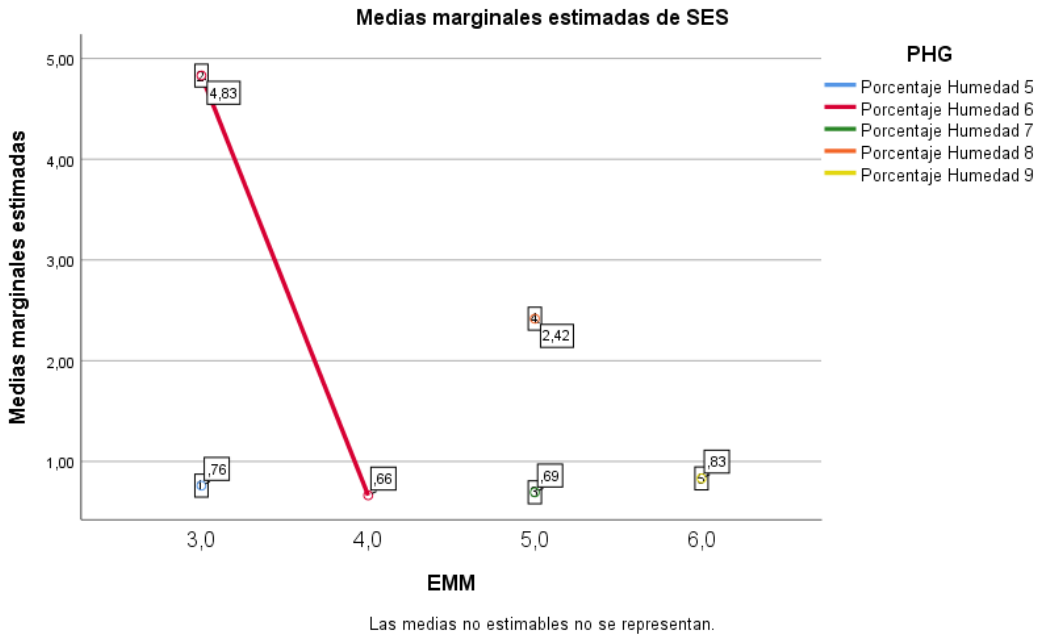


Gráfico 16. Interacción de la escala de madurez con el porcentaje de humedad del grano, para el espesor del grano.

4.9. Grados Brix (SGB).

En la Tabla 34 de estadísticas descriptivas, la humedad al 5% con una escala de madurez de 3, de las 10 accesiones agrupadas, se obtuvo una media de 18,40 de grados Brix y con una desviación estándar de 1,56591 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Cuando la humedad es del 6% con una escala de madurez de 3, de las 10 accesiones agrupadas, sólo dos de ellas poseen una media de 16,06 grados Brix, con una desviación estándar de 0,62225 y ocho están en la escala de madurez de 4, siendo la media 18,65 y con una desviación estándar de 1,31140 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Cuando la humedad es el 7% con una escala de madurez de 5, de las 10 accesiones agrupadas, todas obtuvieron una media de 17,20 grados Brix, con una desviación estándar de 41,13197 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Con humedad del 8% con una escala de madurez de 5, de las 10 accesiones agrupadas, todas obtuvieron una media de 17,20 grados Brix, con una desviación estándar de 1,73322 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Cuando la humedad es el 9% con una escala de madurez de 5, de las 10 accesiones agrupadas, todas obtuvieron una media 17,94 grados Brix, con una desviación estándar de 1,15523 lo que muestra la diferencia que existe entre los datos.

Tabla 34. Estadísticos descriptivos para la interacción del porcentaje de humedad del grano con la escala de madurez de la mazorca, para el grado Brix de la semilla.

Estadísticos descriptivos

Variable dependiente: SGB

PHG	EMM	Media	Desv. Desviación	N
Porcentaje Humedad 5	3,0	18,4040	1,56591	10
	Total	18,4040	1,56591	10
Porcentaje Humedad 6	3,0	16,0600	,62225	2
	4,0	18,6525	1,31140	8
	Total	18,1340	1,60483	10
Porcentaje Humedad 7	5,0	17,2010	1,13197	10
	Total	17,2010	1,13197	10
Porcentaje Humedad 8	5,0	17,2050	1,73322	10
	Total	17,2050	1,73322	10
Porcentaje Humedad 9	6,0	17,9420	1,15523	10
	Total	17,9420	1,15523	10
Total	3,0	18,0133	1,69526	12
	4,0	18,6525	1,31140	8
	5,0	17,2030	1,42476	20
	6,0	17,9420	1,15523	10
	Total	17,7772	1,48389	50

Para realizar la comprobación de supuestos de igualdad de varianza en el grado Brix de la semilla, se realizó la prueba de igualdad de Levene de varianzas de error, para verificar si existió significancia para los grados Brix de la semilla (SGB), cuyos

resultados se muestran en la Tabla 35, en donde se observa claramente que no existe diferencias significativas entre las medias.

Tabla 35. Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error para los grados Brix de la semilla.

Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error[a,b]		
		Sig.
SGB	Se basa en la media	0,479
	Se basa en la mediana	0,767
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0,766
	Se basa en la media recortada	0,517

Para el análisis de la interacción de las variables independientes de porcentaje de humedad del grano (PGG) y escala de madurez de la mazorca (EMM), se realizó la prueba de efectos inter-sujetos, para verificar si existe diferencias significativas con respecto a los grados Brix de la semilla, se aprecia en la tabla 36, que no existe diferencias significativas en casi todos los análisis, demostrando que la interacción entre el porcentaje de grasa y escala de madurez, no genera ningún efecto atribuible para a los valores de los grados Brix, en cambio en la parte de intersección y con respecto a la escala de madurez de la mazorca, existe diferencia significativas, es decir, que la madurez de la mazorca influye en los valores de los grados Brix.

Tabla 36. Prueba de efectos inter-sujetos con los grados Brix de la semilla.

Origen	**Modelo Corregido**	**Intersección**	**PHG**	**EMM**	**PHG * EMM**
Sig.	0,055	0,000	0,105	0,023	-

De lo estadístico de comparaciones múltiples (Tabla 37), cuyo método empleado es de HSD Tukey, en donde se exponen todas las posibles interacciones entre los niveles de la variable Grados Brix de la semilla (SGB), la diferencia de las medias

de cada grupo, la desviación estándar y el nivel de significancia asociado a cada diferencia, como el límite inferior y el superior.

Se puede apreciar que entre las interacciones dadas no existe nivel de significancia inferior al p-valor (0,05), es decir, que no existe diferencias significativas estadística entre la escala de madurez de la mazorca con los grados Brix de la semilla.

Tabla 37. Comparaciones múltiples con la escala de madurez de la mazorca con los grados Brix de la semilla.

EMM	**3**			**4**			**5**			**6**		
	4	**5**	**6**	**3**	**5**	**6**	**3**	**4**	**6**	**3**	**4**	**5**
Sig.	0,746	0,391	0,999	0,746	0,075	0,705	0,391	0,075	0,523	0,999	0,705	0,523

En el Gráfico 17, indica que la interacción entre el porcentaje de humedad del grano con la escala de madurez de la mazorca, para los grados Brix de la semilla se estima que: cuando el grano tiene una humedad del 5%, con una escala de madurez de la mazorca de grado 3, con respecto a los grados Brix de la semilla presenta una variación, es decir, su media va entre 18,40°, cuando está en una humedad del 5%, y con 16,06 cuando la humedad aumenta el 6%.

En la siguiente parte de intercesión entre el porcentaje de humedad 6 con la escala de madurez 4, no presenta variación en los grados Brix de la semilla, ya que se mantiene dentro del valor 18,65°.

Con respecto a las medias marginales de los grados Brix, cuando la escala de madurez de la mazorca está en grado 5, el valor se mantiene estático en 17,20; con el único cambio que presenta es en la humedad al 7 y 8%, cuyo porcentaje está dentro del rango permitido de la humedad del grano de cacao. Y cuando el porcentaje de humedad es 9, con una escala de madurez de 6, no presenta variación en los grados Brix de la semilla, ya que se mantiene en la media estimada de 17,94.

En la escala de madurez 3 hay mayor sensibilidad a cambiar los grados Brix de la semilla en función a la humedad, al igual que cuando se presenta en la escala de grado 5, la media se mantiene, pero influye en el porcentaje de humedad.

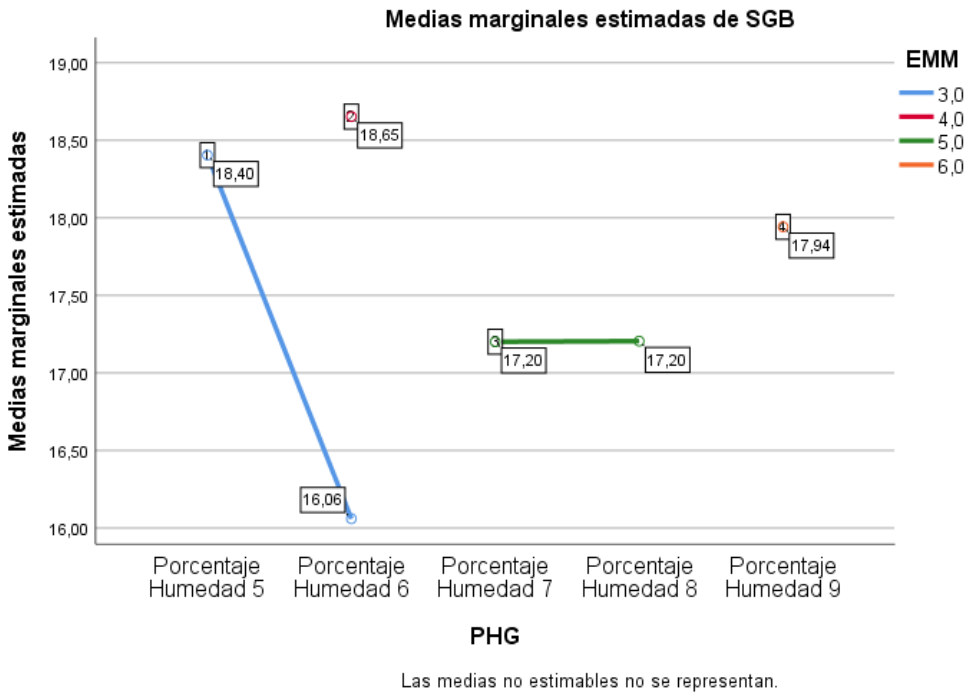


Gráfico 17. Interacción del porcentaje de humedad del grano con la escala de madurez de la mazorca, para el grado Brix de la semilla.

En el Gráfico 18, indica que la interacción entre la escala de madurez de la mazorca (EMM) con el porcentaje de humedad del grano (PGG), para los grados Brix de la semilla, se da origen que las medias marginales estimadas son: Cuando la escala de madurez está en 3 y el porcentaje de humedad en 5, no existe variación con las medias de los grados Brix manteniéndose en 18,40.

A una escala de madurez de mazorca de 3, con un porcentaje de humedad de 6, indica que existe variación con respecto a las medias de los grados Brix de la semilla, cuyo valor es 16,06 y cuando la escala de madurez está en grado 4, con el mismo porcentaje de humedad se obtiene una media de 18,65 grados Brix.

La media de los grados Brix de la semilla cuando la escala de madurez de la mazorca está en 5, presenta un valor estático de 17,20 grado Brix, con una variación en la humedad del 7% y 8%. Cuando la escala de madurez de la mazorca es 6 con el porcentaje de humedad es 9, no presenta variación con el grado Brix de la semilla, ya que se mantiene estable en el 17,94.

En el porcentaje de humedad 6 hay mayor sensibilidad a cambiar la media de los grados Brix de la semilla en función a la escala de madurez de la mazorca. Bertorelli, y otros, (2015) indica que durante el proceso de fermentación que tiene el grano adquiere mayor humedad relativamente, esto hace que las características químicas en los grados Brix varíen.

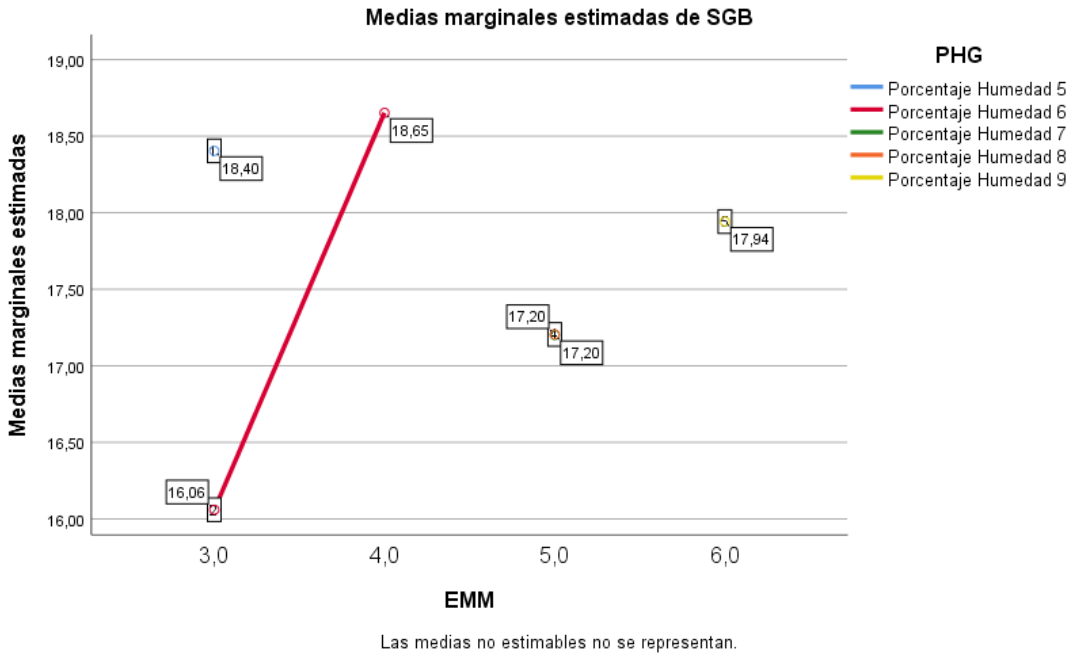


Gráfico 18. Interacción de la escala de madurez con el porcentaje de humedad del grano, para el grado Brix de la semilla.

Para conocer la correlación que existe entre el Porcentaje de Grasa del Grano (PGG) y el color del polvo de cacao (CPC), se realizó aplicó la prueba de Pearson, en

la cual se determina que entre las dos variables existe una correlación de 0,088, indicando que es una correlación buena.

Tabla 38. Correlación de Pearson, para el color del polvo de cacao y el porcentaje de grasa del grano.

Matriz de proximidades

Correlación entre vectores de valores

	Color	**Grasas**
Color	1,000	,088
Grasas	,088	1,000

Esto es una matriz de similaridad.

Del Gráfico 19 del diagrama de caja simple, se evidencia las medias y sus respectivos cuartiles con algunos valores que no cuadran en la distribucción normal, en el primer caso con el color 3/4 5YR, 3/2 10R, 3/4 2.5YR, 3/4 10R y 3/6 2.5YR, presenta una distribución mayor, es decir, que sus valores presenta cierta dispersión, con respecto al color, que por otra parte presenta un porcentaje de grasa mayor que los demás, entrando en un rango de 44 a 59% de grasa.

La correlación más homogénea es con el color 5/4 10R, 4/6 5YR y 4/6 2.5YR, de acuerdo a su distribucción, pero cambian al momento de registrarse su media con respecto al porcentaje de grasa, ya que su rango es de 46 a 53%.

En cambio el color 3/2 5YR y 5/4 5YR, se muestra la caja pequeña, debido a que se tiene una alta concentración de datos, es decir, que el rango entre el cuartil 1 y el 3 es muy pequeño, evidenciando que elestá la media esta en el centro de los valores de porcentajes de grasa, los cuales estan en un rango de 50 a 53%

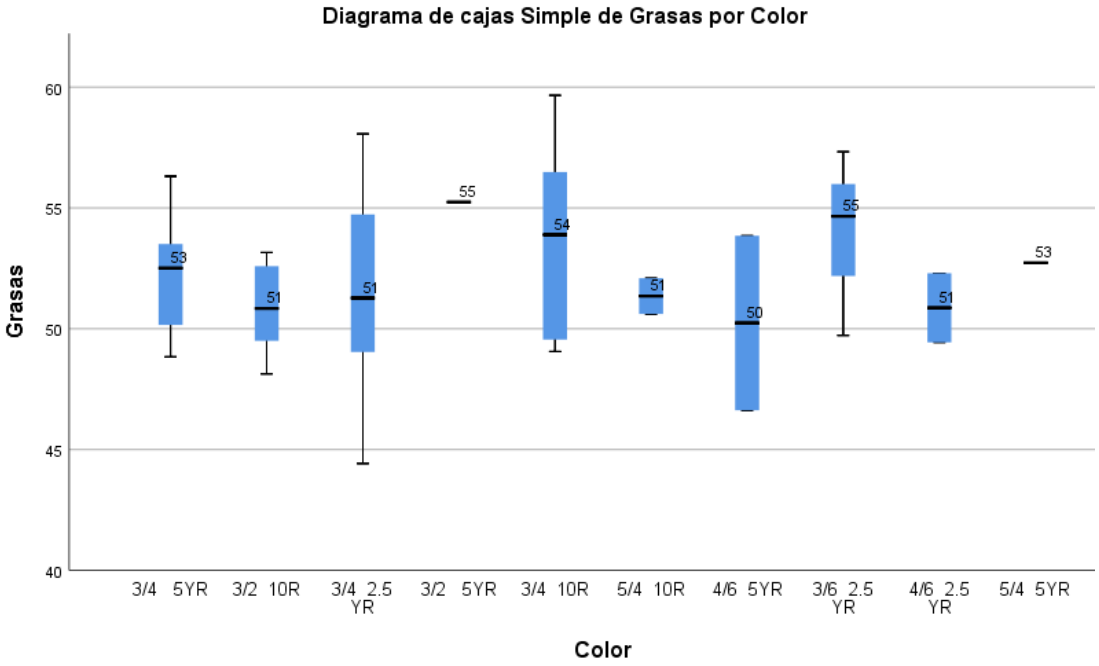


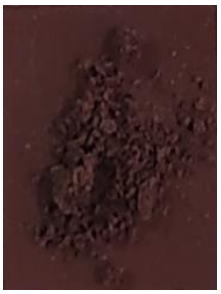
Gráfico 19. Diagrama de cajas simples para correlacionar el porcentaje de grasa en el grano y el color del polvo de cacao.

En la tabla 39 se muestra el color que obtuvo cada accesión de cacao con su respectivo porcentaje de grasa.

Tabla 39. Escala de los porcentajes de grasa del grano en relación con el color del polvo de cacao.

Código del color	# de árbol	Foto de respaldo	Color en polvo de cacao	% de grasa en cacao
1	FCA402		3/4 5YR	48,84
	FCA367			50,07
	FCA06			50,24
	FCA12			51,9
	FCA397			53,12
	FCA243			53,31
	FCA10			53,71
	FCA116			56,31

2	FCA07		3/2 10R	48,13
	FCA156			49,15
	FCA362			49,5
	FCA19			49,58
	FCA23			50,77
	FCA448			50,91
	FCA215			52,16
	FCA147			52,59
	FCA428			53,09
	FCA62			53,16
3	FCA228		3/4 2.5YR	44,42
	FCA315			47,17
	FCA124			48,9
	FCA18			49,18
	FCA35			50,71
	FCA70			50,71
	FCA40			51,84
	FCA52			53,49
	FCA332			54,26
	FCA165			55,2
	FCA238			56,27
	FCA274			58,07
4	FCA33		3/2 5YR	55,24

6	FCA375		3/4 10R	49,06
	FCA75			49,34
	FCA369			49,55
	FCA202			49,69
	FCA427			53,89
	FCA48			55,52
	FCA239			56,49
	FCA416			56,61
	FCA200			59,66
7	FCA84		5/4 10R	50,61
	FCA78			52,09
8	FCA158		4/6 5YR	46,63
	FCA136			53,85
9	FCA176		3/6 2.5YR	49,72
	FCA284			54,65
	FCA261			57,33
12	FCA312		4/6 2.5YR	49,44

	FCA304			52,30
14	FCA365		5/4 5YR	52,73

4. CONCLUSIONES

De la interacción dada entre el porcentaje de humedad del grano y la escala de madurez de la mazorca, con la variable de color en polvo de cacao, porcentaje de grasa del grano, color del cotiledón, forma de la semilla, forma del corte transversal de la semilla, longitud y diámetro del grano, no tuvieron diferencias significativas.

En cambio, para las variables: en el espesor de la semilla, grados Brix del grano, si tienen ciertas diferencias significativas, con respecto a la escala de madurez de la mazorca.

Se obtuvo una correlación de acuerdo a la prueba de Pearson, cambiando las variables cualitativas a cuantitativas, se 0,088 de correlación, la cual es positiva baja o directa, lo que significa que se genera una baja relación entre las dos variables de color y grasa.

Se realizó una escala en donde se detalla el porcentaje de cada accesión investigada, junto con el color que se obtuvo del polvo de cacao, haciendo unas simples comparaciones visuales.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar diversos estudios sobre la correlación existente en la grasa y el color del cacao, mediante el uso de distintos métodos, detallando cada aspecto que este tiene.
- Realizar trabajos de investigación en base al mejor aprovechamiento de la grasa de cacao, para el consumo humano y realizar los respectivos análisis de su composición.
- Adquirir conocimientos sobre los buenos usos de la grasa de cacao, en las diversas áreas de estudio.

6. BIBLIOGRAFÍA

Afoakwa, E. O. (2016). Chocolate Ciencia y Tecnolgía (Second). *Chenical*.

Aldave, G. (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 FACULTAD*, *121*(7), 112.

Anecacao. (2019). *Sector exportador de cacao.* Obtenido de Anecacao: http://www.anecacao.com/uploads/estadistica/cacao-ecuador-2019.pdf

Bertorelli, O. d., Ligia, Fariñas, G. d., Lucía, L, R., & Gervaise. (2015). Influencia de varios factores sobre características del grano de cacao fermentado y secado al sol1. *Agronomía Tropical, 59(2)*, 119-127. Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2009000200001&lng=es&tlng=es

Bonilla, J., & Hoyos, J. L. (2018). Methods of extraction, refining and concentration of fish oil as a source of omega-3 fatty acids. *Corpoica Ciencia y Tecnologia Agropecuaria*, *19*(3), 645–668. http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v19n3/es_0122-8706-ccta-19-03-645.pdf

Boza, E. J., Motamayor, J. C., Amores, F. M., Cedeño-Amador, S., Tondo, C. L., Livingstone, D. S., Schnell, R. J., & Gutiérrez, O. A. (2014). Genetic characterization of the cacao cultivar CCN 51: Its impact and significance on global cacao improvement and production. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *139*(2), 219–229. https://doi.org/10.21273/jashs.139.2.219

Caballero, Avendaño, González, & López. (2016). Influencia del tipo de cacao (Theobroma cacao L.) en las características del fermento y secado. *Agroproductividad*, 9(1), 48-54. Obtenido de https://core.ac.uk/download/pdf/249320493.pdf

Carolina, P. T. A. (2020). *Facultad de ciencias químicas y de la salud carrera de bioquímica y farmacia*. *3*, 3–22.

Casteblanco, J. (2018). *H EAVY METALS REMEDIATION WITH POTENTIAL APPLICATION IN COCOA Javier Andrés Casteblanco*. *27*(1), 21–35. http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/lgr/v27n1/1390-3799-lgr-27-01-00021.pdf

Castillo, C. (2014). *Estudio del contenido de grasa, alcaloides y polifenoles totales en almendras de cacao Nacional fino de aroma en zonas del litoral ecuatoriano para comparar su calidad y facilitar su comercialización*. 62.

Castro, M., Hernández, J. A., Marcilla, S., Córdova, J. S., Solari, F. A., & Chire, G. C. (2017). EFECTO DEL CONTENIDO DE GRASA EN LA CONCENTRACIÓN DE POLIFENOLES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE Theobroma cacao L. "CACAO." *Ciencia e Investigación*, *19*(1), 19–23. https://doi.org/10.15381/ci.v19i1.13623

Chang, J. V., Torres, C. V., Moran, D. P., Rodríguez, W. M., Véliz, J. M., & Remache, R. R. (2014). Atributos físicos-químicos y sensoriAles de lAs AlmendrAs de quince clones de cAcAo nAcionAl. *Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Pichilingue*, *7*(2), 21–34. https://revistas.uteq.edu.ec/index.php/cyt/article/view/139/153

Doster, N., Roque, J., Cano, A., La Torre, M., & Weigend, M. (2012). Hoja botánica: Cacao. *Botconsult GmbH*, 20. http://www.botconsult.com/downloads/Hoja_Botanica_Cacao_2012.pdf

FAO. (2019). *Producción y rendimiento del cultivo de cacao*. Obtenido de http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize

Gonzáles Alejo, Barajas Juan, G. P. (2019). Extracción de compuestos solubles de la cascarilla de cacao con CO2 supercrítico. Caso de metilxantinas y grasa. *CienciaUAT*, *13*(2), 128. https://doi.org/10.29059/cienciauat.v13i2.1073

Graziani, L., Ortíz, L., Angulo, J., & Parra, P. (2002). Características físicas del fruto de cacaos tipos criollo, forastero y trinitario de la localidad de cumboto, venezuela. *Agronomía Tropical*, 52(3), 343-362. Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0002-192X2002000300006&script=sci_arttext&tlng=en

Heredia, J. F., Rueda, J. P., Talero, L. H., Ramírez, J. S., & Coronado, R. A. (2020). Determinación de la madurez de mazorcas de Cacao, haciendo uso de redes neuronales convolucionales en un sistema embebido. *Revista Colombiana de Computación*, *21*(2), 42–55. https://doi.org/10.29375/25392115.4030

Jaime Vera, F. M. (1998). *INIAP - Estación Experimental Pichilingue INIAP - Estación Experimental Pichilingue*. *4*(May), 33–36. https://repositorio.iniap.gob.ec/

Larez, M., Pérez, E., Álvarez, C., Perozo, J., & El Khori, S. (2013). Cambios de las propiedades físico-químicas y perfil de ácidos grasos en cacao de Chuao, durante el beneficio. *Agronomía Tropical*, *63*(1–2), 37–47. http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0002-192X2013000100004&script=sci_arttext&tlng=pt

Liendo, R., & Marín, C. (2006). Prácticas poscosecha y de almacenamiento del cacao (Theobroma cacao) en el estado miranda Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 23(3), 349-363. Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182006000300010&lng=es&tlng=es.

Machado Cuellar, L., Ordoñez Espinosa, C. M., Angel Sánchez, Y. K., Guaca Cruz, L., & Suárez Salazar, J. C. (2018). Evaluación de la calidad organoléptica de Theobroma cacao L. en fincas cacaoteras en el norte de Huila, Colombia. *Acta Agronomica*, *67*, 46–52. http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v67n1/0120-2812-acag-67-01-00046.pdf

Moreno & Sánchez. (1989). Beneficio del cacao. *Fundación Hondureña de Investigaciones Agrícolas*, *Fascículo*(N° 6), 26.

https://www.academia.edu/11178170/Beneficio_del_Cacao

Parra Rosero, P., Saavedra, R., & Ipanaqué, W. (2012). Modelación y Simulación en ambiente Ecosimpro de una Cámara de Secado para Cacao. *Ingenius*, *8*. https://doi.org/10.17163/ings.n8.2012.06

Pérez, G., & Freile, J. (2017). Adaptabilidad de clones promisorios de cacao nacional (Theobroma cacao L.), en el cantón Arosemena Tola de Ecuador. *Centro Agrícola*, *44*(2), 44–51. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852017000200006&nrm=iso

Phillips, W., Arciniegas, A., Mata, A., & Motamayor, J. (2012). *Catálogo de clones de cacao.* Turrialba, Costa Rica Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

Quintana Fuentes, F. L., Gómez Castelblanco, S., García Jerez, A., & Martínez Guerrero, N. (2015). de cacao de los clones CCN51 , ICS60 e ICS 95 , en la montaña santandereana , Colombia Characterization of three indexes of cocoa harvest of the clones CCN51 , ICS60 and ICS 95 in the santandereana mountain , Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, *6*(Volumen 6 Número 1 – enero-junio), 253–266. http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1284/1620

Rivera Fernández, R. D., Barrera Álvarez, A. E., Guzmán Cedeño, Á. M., Medina Quinteros, H. N., Casanova Ferrín, L. M., Peña Galeas, M. M., & Nivela Morante, P. E. (2012). EFECTO DEL TIPO Y TIEMPO DE FERMENTACIÓN EN LA CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DEL CACAO (Theobroma cacao L.) TIPO NACIONAL. *Ciencia y Tecnología*, *5*(1), 7–12. https://doi.org/10.18779/cyt.v5i1.77

Rojas Ramos, K. M. (2019). *Obtención y extracción de aceites vegetales*. 59. http://repositorio.une.edu.pe/bitstream/handle/UNE/1899/T025_46253683T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Romero, Sandra, Rueda, & Quicazán. (2012). VALIDACIÓN DEL MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE GRASA TOTAL EN DERIVADOS DE CACAO (Theobroma cacao L.) MEDIANTE ESPECTROMETRÍA NMR. *Vitae, 19(1)*, S42-S44. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/1698/169823914006.pdf

Rondón , J., & Cumana, L. (2005). Revisión Taxonómica del género Theobroma (Sterculiaceae) en Venezuela. *Acta Botánica Venezuelica*, 28(1), 113-134. Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0084-59062005000100007

Salvatierra, Y., Azorza, M., & Paucar, L. (2019). Optimización de las características nutricionales, texturales y sensoriales de cookies enriquecidas con chía (Salvia hispánica) y aceite extraído de tarwi (Lupinus mutabilis). *Scientia Agropecuaria*, 10(1), 7-17. Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172019000100001&script=sci_arttext

Sol, Á., Naranjo, J. A., Córdova, V., Ávalos de la Cruz, D. A., & Zaldívar, J. M. (2017). Caracterización bromatológica de los productos derivados de cacao (Theobroma cacao L.) en la Chontalpa, Tabasco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *14*, 2817. https://doi.org/10.29312/remexca.v0i14.453

Teneda, W. (2016). Mejoramiento del Proceso de Fermentación del Cacao (Theobroma cacao L.) Variedad Nacional y Variedad CCN51. *Universidad Internacional de Andalucía*, 140. https://core.ac.uk/download/pdf/223061502.pdf

Tinoco, H., & Ospina, D. Y. (2010). Analysis of the Cocoa Dehydration Process for Reducing Drying Time. *Revista EIA*, *13*, 53–63. https://repository.eia.edu.co/bitstream/handle/11190/223/REI00123.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Velásquez, L. M. C., Rodríguez-Sandoval, E., & Chamorro, E. M. C. (2016). Diagnosis of cocoa post-harvest practices in the department of Arauca. *Revista Lasallista de*

Investigacion, *13*(1), 94–104. https://doi.org/10.22507/rli.v13n1a8

Vinagre, J. (1997). Capitulo 13 Calidad De Metodos Analiticos. *Food and Agriculture Organization of the United States*, 137–163.

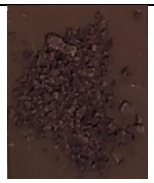
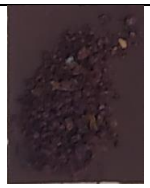
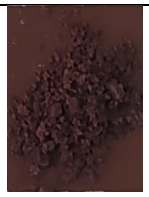
Yen, D., & Nguyen, H. (2016). Effects of maturity stages and fermentation of cocoa beans on total phenolic contents and antioxidant capacities in raw cocoa powder. *Vietnam Journal of Biotechnology*, 14(4): 743-752. Obtenido de http://vjs.ac.vn/index.php/vjbt/article/view/12309/103810381855

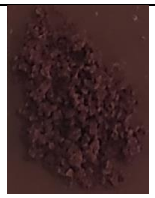
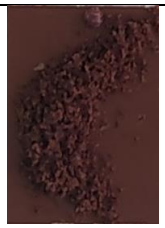
Zambrano, A., Romero, C., Gómez, Á., Ramos, G., Lacruz, C., Brunetto, M., . . . Delgado, Y. (2010). Chemical evaluation of aroma and flavor of precursors of the criollo merideño cocoa during fermentation in two edafoclimatic conditions. *Agronomía Tropical*, 60(2), 211-219. Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0002-192X2010000200010&script=sci_arttext&tlng=en

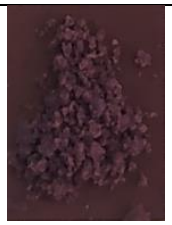
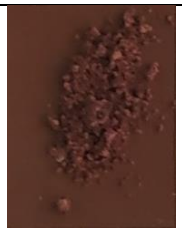
Zapata Bustamante, S., Tamayo Tenorio, A., & Alberto Rojano, B. (2015). Efecto del Tostado Sobre los Metabolitos Secundarios y la Actividad Antioxidante de Clones de Cacao Colombiano. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, *68*(1), 7497–7507. https://doi.org/10.15446/rfnam.v68n1.47836

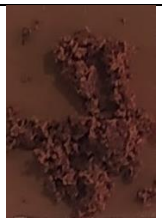
7. ANEXOS

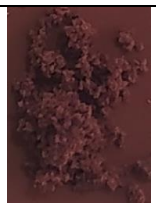
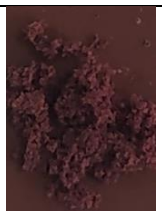
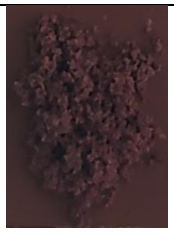
Anexo 1. Escala de color para relacionar el color del polvo de cacao con el porcentaje de grasa.

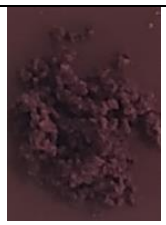
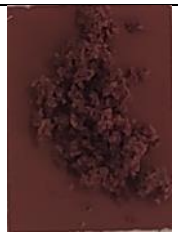
Accesiones	Foto de respaldo	Color en polvo de cacao	% de grasa en cacao
6		3/4 5YR	49,76
7		3/2 10R	51,87
10		3/4 5YR	46,29
12		3/4 5YR	48,10
18		3/4 2.5YR	50,82

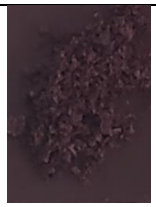
19		3/2 10R	50,42
23		3/2 10R	49,23
33		3/2 5YR	44,76
35		3/4 2.5YR	49,29
40		3/4 2.5YR	48,16
48		3/4 10R	44,48
52		3/4 2.5YR	46,51

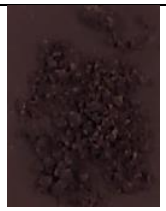
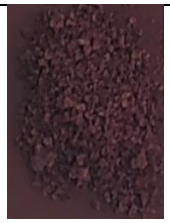
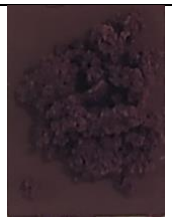
62		3/2 10R	46,84
70		3/4 2.5YR	49,29
75		3/4 10R	50,66
78		5/4 10R	47,91
84		5/4 10R	49,39
116		3/4 5YR	43,69

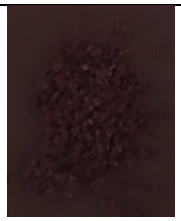
124		3/4 2.5YR	51,10
136		4/6 5YR	46,15
147		3/2 10R	47,41
156		3/2 10R	50,85
158		4/6 5YR	53,37
165		3/4 2.5YR	44,80

176		3/6 2.5YR	50,28
200		3/4 10R	40,34
202		3/4 10R	50,31
215		3/2 10R	47,84
228		3/4 2.5YR	55,58
238		3/4 2.5YR	43,73

239		3/4 10R	43,51
243		3/4 5YR	46,69
261		3/6 2.5YR	42,67
274		3/4 2.5YR	41,93
284		3/6 2.5YR	45,35
304		4/6 2.5YR	47,70

312		4/6 2.5YR	50,56
315		3/4 2.5YR	52,83
332		3/4 2.5YR	45,74
362		3/2 10R	50,50
365		5/4 5YR	47,27
367		34 5YR	49,93

369		3/4 10R	50,45
375		3/4 10R	50,94
397		3/4 5YR	46,88
402		3/4 5YR	51,16
416		3/4 10R	43,39
427		3/4 10R	46,11

428		3/2 10R	46,91
448		3/2 10R	49,09

Anexo 2. Escala fotográfica de los distintos grados de madurez del cacao.

NO COSECHABLE → COSECHABLE

G0		G1		G2		G3		G4		G5	
Índice de mazorca:	15,54	Índice de mazorca	14,23	Índice de mazorca	16,69	Índice de mazorca	14,27	Índice de mazorca	16,2	Índice de mazorca	18,96
Índice de grano	1,447	Índice de grano	1,649	Índice de grano	1,77	Índice de grano	1,61	Índice de grano	1,80	Índice de grano	1,79
% Ferm. Buena	34	% Ferm. Buena	58,33	% Ferm. Buena	73,66	% Ferm. Buena	83	% Ferm. Buena	90,33	% Ferm. Buena	93,66
% Violetas	18,66	% Violetas	15,66	% Violetas	10,66	% Violetas	7,00	% Violetas	4,00	% Violetas	3,00
% Pizarras	12,33	% Pizarras	8,33	% Pizarras	5,00	% Pizarras	3,33	% Pizarras	2,33	% Pizarras	0
Cacao	3.0	Cacao	1.0	Cacao	2.5	Cacao	3.0	Cacao	6.0	Cacao	4.0
Floral	1.0	Floral	0.0	Floral	0.0	Floral	0.0	Floral	0.0	Floral	0.5
Frutal	2.5	Frutal	0.5	Frutal	2.0	Frutal	1.0	Frutal	4.5	Frutal	2.0
Nuez	0.0	Nuez	0.0	Nuez	0.5	Nuez	0.0	Nuez	0.5	Nuez	0.5
Caramelo	0.0	Caramelo	0.0	Caramelo	0.0	Caramelo	0.5	Caramelo	0.5	Caramelo	3.5
Amargor	5.5	Amargor	3.5	Amargor	3.5	Amargor	3.5	Amargor	2.5	Amargor	2.5

CALIDAD ORGANOLÉPTICA

Anexo 3. Cosecha de las accesiones para la investigación.

Anexo 4. Fermentación y secado de los granos de cacao.

Anexo 5. Almendras de cacao secas y fermentadas; toma de humedad de las mismas.

Anexo 6. Triturado y observación de colores similares con la tabla de Munsell.

Anexo 7. Proceso de la extracción de grasa de las almendras de cacao, con el uso de Etanol.

Anexo 8. Resultado de la muestra de cacao sin grasa.

Anexo 9. Muestra de las cincuenta accesiones, comparación con los colores de la tabla de Munsell.