

**EVALUACION DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y FACTORES DE  
CONVERSIÓN DE CAFÉ VARIEDAD CASTILLO Y COLOMBIA (*Coffea arabica*  
L.) DURANTE EL PROCESO DE BENEFICIO Y TRILLA, A DIFERENTES  
ALTURAS SOBRE EL NIVEL DEL MAR EN FINCAS CAFETERAS DEL  
MUNICIPIO DE COLON, DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

**DONNY FABIAN MUÑOZ MORENO  
MARIO NOGUERA ORTIZ**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD  
ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE  
PROGRAMA DE INGENIERIA AGROFORESTAL  
CEAD SAN JUAN DE PASTO  
2016**

**EVALUACION DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y FACTORES DE  
CONVERSIÓN DE CAFÉ VARIEDAD CASTILLO Y COLOMBIA (*Coffea arabica*  
L.) DURANTE EL PROCESO DE BENEFICIO Y TRILLA, A DIFERENTES  
ALTURAS SOBRE EL NIVEL DEL MAR EN FINCAS CAFETERAS DEL  
MUNICIPIO DE COLON, DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

**DONNY FABIAN MUÑOZ MORENO  
C.C. No. 1.085.660.084  
MARIO NOGUERA ORTIZ  
C.C. No. 5.230.927**

**Trabajo de Grado, presentado como requisito parcial para optar al título de  
Ingeniero Agroforestal**

**Director de tesis  
JAMES ALBERTO CASTILLO RODRIGUEZ**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD  
ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE  
PROGRAMA DE INGENIERIA AGROFORESTAL  
CEAD SAN JUAN DE PASTO  
2016**

Nota de Aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Presidente del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

San Juan de Pasto, Octubre de 2016.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION.....	15
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	19
JUSTIFICACIÓN.....	20
1. OBJETIVOS.....	22
1.2.OBJETIVO GENERAL.....	22
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	22
2. MARCO REFERENCIAL.....	23
2.1 MARCO TEORICO .....	23
2.1.1 GENERALIDADES. ....	23
2.2 MARCO CONTEXTUAL .....	26
3. METODOLOGÍA .....	27
3.1 MUESTREO.....	27
3.2 LOCALIZACIÓN.....	27
3.3 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN. ....	27
3.4 SELECCIÓN DE ALTURAS.....	28
3.5 SELECCIÓN DE FINCAS. ....	28
3.5.1 Fincas seleccionadas objeto de estudio ubicadas a diferentes alturas.....	29
3.6 DISEÑO DE EXPERIMENTOS.....	32
3.6.1 Tipo de diseño a seguir o metodología. ....	33

3.6.2 Matriz de experimentos:.....	34
3.7 OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS DE CAFÉ ( <i>Coffea arabica</i> L.).....	35
3.7.1 Obtención de Información.....	35
3.7.2 Obtención materia prima.....	35
3.7.3 Beneficio y Secado. ....	35
3.7.4 Recepción del café cereza.....	36
3.7.5 Análisis físico: .....	39
3.7.6 Análisis de Resultados.....	41
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	42
4.1 CARACTERÍSTICAS DEL CAFÉ COSECHADO.....	42
4.2 PROPIEDADES FÍSICAS DEL CAFÉ ( <i>Coffea arabica</i> L.) .....	42
4.2.1 Densidad aparente.....	42
4.2.2 Peso, diámetro polar y diámetro ecuatorial de los granos en los diferentes estados de beneficio. ....	44
4.2.2.1 Variedad Colombia ( <i>Coffea arabica</i> L.):.....	44
4.2.2.2 Variedad Castillo ( <i>Coffea arabica</i> L.): .....	58
4.2.3 Análisis granulométrico del café almendra:.....	72
4.2.3.1 Variedad Colombia ( <i>Coffea arabica</i> L.).....	72
4.2.3.2 Variedad Castillo ( <i>Coffea arabica</i> L.) .....	77
4.3 RELACIONES DE CONVERSIÓN.....	83
5. CONCLUSIONES .....	86

6.RECOMENDACIONES.....	88
BIBLIOGRAFÍA.....	90
NETGRAFIA.....	92

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Identificación de variable y sus niveles .....	33
Tabla 2. Matriz propiedades físicas.....	34
Tabla 3. Matriz factores de conversion.....	35
Tabla 4. Características de la masa de café cereza cosechada.....	42
Tabla 5. Densidad aparente (Kg/m <sup>3</sup> ) entre los estados del grano de café en variedad Colombia y Castillo ( <i>Coffea arabica</i> L.).....	43
Tabla 6. Propiedades físicas del café cereza variedad Colombia ( <i>Coffea arabica</i> L.) .....	44
Tabla 7. Propiedades físicas del café baba variedad Colombia ( <i>Coffea arabica</i> L.) .....	48
Tabla 8. Propiedades físicas del café lavado variedad Colombia ( <i>Coffea arabica</i> L.) .....	511
Tabla 9. Peso del café pergamino variedad Colombia ( <i>Coffea arabica</i> L.).....	555
Tabla 10. Peso del café almendra variedad Colombia ( <i>Coffea arabica</i> L.).....	566
Tabla 11. Propiedades físicas del café cereza variedad Castillo ( <i>Coffea arabica</i> L.) .....	588
Tabla 12. Propiedades físicas del café baba variedad Castillo ( <i>Coffea arabica</i> L.) .....	611
Tabla 13. Propiedades físicas del café lavado variedad Castillo ( <i>Coffea arabica</i> L.) .....	655
Tabla 14. Peso del café pergamino variedad Castillo ( <i>Coffea arabica</i> L.) .....	68
Tabla 15. Peso del café almendra variedad Castillo ( <i>Coffea arabica</i> L.) .....	700
Tabla 16. Pomedio e intervalos para el peso de un grano de café variedad Colombia	

y Castillo ( <i>Coffea arabica</i> L.) en los diferentes estados. ....	711
Tabla 17. Descripción de las características físicas del grano variedad Colombia ( <i>Coffea arabica</i> L.) por cada finca objeto de estudio en esta investigación. ....	733
Tabla 18. Descripción de las características físicas del grano variedad Castillo ( <i>Coffea arabica</i> L.) por cada finca objeto de estudio en esta investigación. ....	79
Tabla 19. Factores de conversión en relación a café cereza variedad Colombia ( <i>Coffea arabica</i> L.). ....	833
Tabla 20. Factores de conversión en relación a café cereza variedad Castillo ( <i>Coffea arabica</i> L.). ....	833
Tabla 21. Relaciones de conversión para café variedad Colombia y Castillo ( <i>Coffea arabica</i> L.). ....	844
Tabla 22. Factores de conversión para realizar transformaciones entre los estados del grano de café en variedad Colombia y Castillo ( <i>Coffea arabica</i> L.).	855



## LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Peso café cereza variedad Colombia ( <i>Coffea arabica</i> L.) versus altura (m.s.n.m.).....	45
Figura 2. Diámetro polar café cereza variedad Colombia ( <i>Coffea arabica</i> L.) versus altura (m.s.n.m.).....	46
Figura 3. Diámetro ecuatorial café cereza variedad Colombia ( <i>Coffea arabica</i> L.) versus altura (m.s.n.m.) .....	47
Figura 4. Peso café baba variedad Colombia ( <i>Coffea arabica</i> L.) versus altura (m.s.n.m.).....	48
Figura 5. Diámetro polar café baba variedad Colombia ( <i>Coffea arabica</i> L.) versus altura (m.s.n.m.).....	49
Figura 6. Diámetro ecuatorial café baba variedad Colombia ( <i>Coffea arabica</i> L.) versus altura (m.s.n.m.) .....	50
Figura 7. Peso café lavado variedad Colombia ( <i>Coffea arabica</i> L.) versus altura (m.s.n.m.).....	52
Figura 8. Diámetro polar café lavado variedad Colombia ( <i>Coffea arabica</i> L.) versus altura (m.s.n.m.).....	53
Figura 9. Diámetro ecuatorial café lavado variedad Colombia ( <i>Coffea arabica</i> L.) versus altura (m.s.n.m.) .....	54
Figura 10. Peso café pergamino variedad Colombia ( <i>Coffea arabica</i> L.) versus altura (m.s.n.m.).....	55
Figura 11. Peso café almendra variedad Colombia ( <i>Coffea arabica</i> L.) versus altura (m.s.n.m.).....	57
Figura 12. Peso café cereza variedad Castillo ( <i>Coffea arabica</i> L.) versus altura (m.s.n.m.).....	58
Figura 13. Diámetro polar café cereza variedad Castillo ( <i>Coffea arabica</i> L.) versus altura (m.s.n.m.).....	59
Figura 14. Diámetro ecuatorial café cereza variedad Castillo ( <i>Coffea arabica</i> L.)	

versus altura (m.s.n.m.) .....	60
Figura 15. Peso café baba variedad Castillo ( <i>Coffea arabica</i> L.) versus altura (m.s.n.m.).....	62
Figura 16. Diámetro polar café baba variedad Castillo ( <i>Coffea arabica</i> L.) versus altura (m.s.n.m.).....	63
Figura 17. Diámetro ecuatorial café baba variedad Castillo ( <i>Coffea arabica</i> L.) versus altura (m.s.n.m.).....	64
Figura 18. Peso café lavado variedad Castillo ( <i>Coffea arabica</i> L.) versus altura (m.s.n.m.).....	65
Figura 19. Diámetro polar café lavado variedad Castillo ( <i>Coffea arabica</i> L.) versus altura (m.s.n.m.).....	66
Figura 20. Diámetro polar café lavado variedad Castillo ( <i>Coffea arabica</i> L.) versus altura (m.s.n.m.).....	67
Figura 21. Peso café pergamino variedad Castillo ( <i>Coffea arabica</i> L.) versus altura (m.s.n.m.).....	69
Figura 22. Peso café almendra variedad Castillo ( <i>Coffea arabica</i> L.) versus altura (m.s.n.m.).....	70
Figura 23. Porcentaje de almendra retenida en las mallas 17 y 18 variedad Colombia ( <i>Coffea arabica</i> L.) versus altura (m.s.n.m.).....	74
Figura 24. Porcentaje de merma variedad Colombia ( <i>Coffea arabica</i> L.) versus altura (m.s.n.m.).....	75
Figura 25. Diagrama de media e intervalos al 95 % de la LSD de Fisher para la variable Porcentaje de merma variedad Colombia ( <i>Coffea arabica</i> L.).....	76
Figura 26. Porcentaje de pulpa variedad Colombia ( <i>Coffea arabica</i> L.) versus altura (m.s.n.m.).....	76
Figura 27. Diagrama de media e intervalos al 95 % de la LSD de Fisher para la variable Porcentaje de pulpa variedad Colombia ( <i>Coffea arabica</i> L.) .....	77
Figura 28. Porcentaje de almendra retenida en las mallas 17 y 18 variedad Colombia ( <i>Coffea arabica</i> L.) versus altura (m.s.n.m.).....	80
Figura 29. Porcentaje de merma variedad Castillo ( <i>Coffea arabica</i> L.) versus altura	

(m.s.n.m.).....	80
Figura 30. Diagrama de media e intervalos al 95 % de la LSD de Fisher para la variable Porcentaje de merma variedad Castillo ( <i>Coffea arabica</i> L.) .....	81
Figura 31. Porcentaje de pulpa variedad Castillo ( <i>Coffea arabica</i> L.) versus altura (m.s.n.m.).....	82
Figura 32. Diagrama de media e intervalos al 95 % de la LSD de Fisher para la variable Porcentaje de pulpa variedad Castillo ( <i>Coffea arabica</i> L.).....	83

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

	<b>Pág.</b>
Fotografía 1. Ubicación geográfica del municipio de Colón Departamento de Nariño .....	27
Fotografía 2. Selección de fincas-ubicación geográfica.....	28
Fotografía 3. Recepción del café cereza en tolva – Medición diámetros.....	36
Fotografía 4. Despulpado del café cereza. ....	37
Fotografía 5. Lavado y escurrido del café.....	38
Fotografía 6. Secado del café.....	38
Fotografía 7. Trilla del café pergamino seco.....	39
Fotografía 8. Registro de humedad del café almendra.....	40
Fotografía 9. Homogenización y granulometría del café almendra.....	40

## RESUMEN

El presente estudio se realizó en fincas cafeteras del Municipio de Colón, Departamento de Nariño, el objetivo fue determinar las propiedades físicas y factores de conversión del café variedad Castillo y Colombia (*Coffea arabica* L.), en el proceso de beneficio húmedo y trilla, a diferente altitud m.s.n.m., se utilizó un diseño en bloques en tres niveles de alturas diferentes de 1350 m.s.n.m. a 1600 m.s.n.m., de 1600 m.s.n.m a 1800 m.s.n.m, de 1800 m.s.n.m a 2200 (dos fincas por rango de altura y variedad), con el fin de determinar el efecto de la altura y la variedad, sobre las variables de respuesta: peso, diámetros (polar y ecuatorial), densidad aparente, relaciones de conversión, porcentaje de merma y rendimiento en trilla. Se tomó una muestra de café cereza sin seleccionar; para cada muestra se tomaron submuestras que se procesaron mediante el sistema de beneficio húmedo y secado solar en parabólico. Se utilizó el análisis de varianza para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes muestras. Respecto a la densidad aparente se obtuvo mayores resultados para café variedad Castillo,  $712 \text{ kg/m}^3$  para café cereza,  $873,9 \text{ kg/m}^3$  para el café en baba,  $766,6 \text{ kg/m}^3$  para el café lavado,  $484,6 \text{ kg/m}^3$  para el café pergamino seco y  $814 \text{ kg/m}^3$  para el café almendra, se determinó diferencia estadísticamente significativa respecto al porcentaje de merma, en promedio para el café variedad Castillo de solo 17,46%, a diferencia de la variedad Colombia de 18,156%. Se encontró diferencia estadísticamente significativa entre el peso, diámetro polar y diámetro ecuatorial con respecto a la altura, a medida que aumento la altura disminuye el peso y los diámetros del grano, siendo estos mayores para el café variedad Castillo en todos los estados del café. Al final se obtuvo unos mejores resultados para la variedad Castillo y se determinó que la altura tiene una influencia predominante sobre las propiedades físicas y factores de conversión del café.

**PALABRAS CLAVES:** *Coffea arabica*, peso, diámetro, densidad, factores de conversión, Variedad.

## ABSTRAC

The objective of this study was to determine the physical properties and conversion factors of the coffee variety Castillo and Colombia (*Coffea arabica* L.), in the process of humid and threshing benefit, at the coffee farms of the Municipality of Colón, Department of Nariño. Different altitude msnm, a block design was used in three levels of different heights of 1350 msnm At 1600 masl, from 1600 masl to 1800 masl, from 1800 masl to 2200 (two estates per height range and variety), in order to determine the effect of height and variety, on the response variables: weight, diameters (Polar and equatorial), apparent density, conversion ratios, shrinkage percentage and threshing performance. A sample of cherry coffee was taken without selecting; For each sample, sub samples were taken and processed by means of the wet profit and solar parabolic drying system. The analysis of variance was used to determine if there are statistically significant differences between the different samples. Regarding the apparent density, the results were higher for Castillo variety, 712 kg / m<sup>3</sup> for cherry coffee, 873.9 kg / m<sup>3</sup> for coffee in drool, 766.6 kg / m<sup>3</sup> for washed coffee, 484.6 kg / M<sup>3</sup> for dry parchment coffee and 814 kg / m<sup>3</sup> for almond coffee, a statistically significant difference was determined with respect to the percentage of reduction, in average for the Castillo variety coffee of only 17.46%, unlike the Colombia variety of 18.156%. There was a statistically significant difference between the weight, the polar diameter and the equatorial diameter with respect to the height. As the height increased, the weight and diameter of the grain were reduced, being higher for the Castillo variety coffee in all coffee states. In the end, better results were obtained for the Castillo variety and it was determined that the height has a predominant influence on the physical properties and coffee conversion factors.

**KEY WORDS:** *Coffea arabica*, weight, diameter, density, conversion factors, Variety.

## INTRODUCCION

“Las constantes físicas del café son las relaciones físicas existentes entre el peso y el volumen, el contenido de humedad y otras características del fruto del café, teniendo en cuenta los diferentes estados en que se puede transformar el producto desde cereza madura hasta café almendra”. Uribe (1977).

Las propiedades físicas y los factores de conversión en café que se tienen actualmente como referencia, fueron publicados hace más de dos décadas y aún siguen siendo utilizados en toda la cadena productiva del café. Sin embargo, en el municipio de Colón departamento de Nariño no se han desarrollado este tipo de investigaciones. “Recordemos que el café en el departamento de Nariño se constituye como uno de los principales renglones económicos, El 40% del suelo de la zona cafetera nariñense se encuentra cultivado con café. El restante 60% cuenta con cultivos de caña, maíz, frijol, plátano, reservas forestales y pastos no tecnificados”. Federación de cafeteros (2008). De este cultivo se benefician dos actores de una parte están los productores y del otro están los comercializadores de café en grano o café pergamino.

“La principal actividad económica del municipio de Colón es la agricultura y uno de los principales productos del municipio es el café”. Alcaldía Colón - Nariño. (2016). Por esta razón es de gran importancia conocer estas constantes para evaluar el sistema productivo de la finca cafetera, facilitando las operaciones comerciales y el diseño de los beneficiaderos, así como el diseño y calibración de los diferentes dispositivos y máquinas empleados en el proceso de beneficio del café. Los factores de conversión son importantes en la economía cafetera pues los caficultores basan sus decisiones comerciales en tales factores.

Adicionalmente, otros factores como la llegada de la roya (*Hemileia vastatrix*) y la broca (*Hypothena mushampeï*), en los últimos años han provocado alteraciones que afectan el rendimiento del proceso productivo del café. Aunque se han actualizado

algunas propiedades físicas y factores de conversión, éstos no han sido recopilados ni adecuados a las condiciones actuales de la caficultura colombiana, lo que puede conducir a imprecisiones en la comercialización y en el sistema de calificación de la calidad.

Teniendo en cuenta lo anterior, el presente trabajo llevo a cabo un estudio que permitió identificar las propiedades físicas y factores de conversión en el café variedad Castillo y Colombia (*Coffea arabica* L.), cultivadas en el municipio de Colón, lo cual permitió obtener unos resultados más cercanos de la producción real de la finca, ayudando a los caficultores en la planeación del presupuesto que realmente requiere el sostenimiento de la finca.



## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El municipio de Colón no posee en la actualidad un estudio donde se haya determinado las propiedades físicas y los factores de conversión del café, los datos utilizados como referencia son de hace muchos años realizados en municipios del eje cafetero, donde las condiciones agroclimáticas son diferentes a los municipios del norte de Nariño y particularmente el de Colón.

No obstante, cuando se formularon estas constantes no se discriminaron las posibles diferencias por factores propios del proceso de producción como son la proporción de los componentes del fruto de café y sus características físicas que sufren modificaciones tanto en la etapa del cultivo como en el beneficio, reflejándose en las relaciones de rendimiento del café.

Los rendimientos y la composición química del grano de café pueden modificarse por factores como la variedad, la naturaleza y la fertilidad del suelo, las condiciones atmosféricas y ambientales, el manejo agronómico como la densidad de siembra, el manejo de podas, fertilización, sombrero, la edad de la plantación plagas y enfermedades. De igual manera, el período y distribución de la cosecha, los métodos y calidad de la recolección, influyen en los rendimientos y las características del grano. Así mismo, un café cultivado técnicamente y recolectado eficientemente, puede perder sus cualidades como consecuencia de un beneficio inadecuado. En las condiciones climáticas de la zona cafetera colombiana el café presenta alta desuniformidad de maduración, observándose en una misma rama frutos en diferentes estados de desarrollo y en varios grados de madurez. “La cosecha de los frutos de café se hace habitualmente con el criterio empírico sobre el color de la cereza, la cual al madurar presenta una mezcla de tonalidades verdes, amarillas y rojas; como resultado, se cosecha una mezcla que incluye frutos verdes, pintones, maduros, sobremaduros y secos”. Roa (1999). Cada uno de estos tipos presenta características físicas y químicas específicas, que el caficultor debe conocer, basándose en los factores de conversión y propiedades físicas que cada

tipo de café presenta, para determinar la cantidad y calidad del producto obtenido durante los procesos de beneficio, trilla, almacenamiento y preparación de la bebida.

“En Colombia, se comercializa el café en el estado de pergamino seco, el cual puede recibir calificaciones desde tipo Federación hasta pasilla, según los porcentajes de defectos como grano pelado, guayabas y media cara” Chamorro (1991), pero el precio a pagar por el café depende del factor de rendimiento en trilla, el cual corresponde a la relación entre la cantidad de café pergamino seco requerido para obtener un saco de café excelso; teniendo en cuenta los defectos de las almendras, y el tamaño de éstas, con una tolerancia del 1,5% sobre la malla 12. “Tanto la presencia de defectos como el tamaño de las almendras dependen en un amplio grado de la proporción de estados de madurez de los frutos en la masa cosechada”. Puerta (2000).

Además los caficultores de la región se han caracterizado por no llevar acabo un registro que les permita obtener información de la rentabilidad de su finca, como compra de insumos, pagos de trabajadores y venta de café, por lo cual el caficultor se dedica a recibir el pago de su café pergamino seco, sin tener en cuenta todos los gastos necesarios para poder obtenerlo, por lo que el productor no puede determinar si su producción fue rentable o si por el contrario sus gastos fueron mayores que sus ingresos.

Actualmente la decisión de compra del café, se toma a partir de un análisis de laboratorio donde se replican las condiciones del proceso industrial, estimando las cantidades de café excelso, subproductos y merma que se van a obtener. De esta manera si el rendimiento es catalogado como “aceptable” o satisfactorio por quien toma la decisión, es el precio pagado al caficultor.

## DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En los municipios cafeteros del Norte de Nariño y particularmente Colón, gran parte de la actividad económica se encuentra alrededor de los ingresos generados por el cultivo del Café. Es mundialmente conocido que los precios del grano son altamente inestables, con el agravante que en los últimos años los volúmenes de producción en la zona han decrecido por factores asociados a malas condiciones climáticas, envejecimiento de cafetales y disminución de la fertilidad del suelo, consecuentemente la población es altamente dependiente y vulnerable al obtener sus ingresos exclusivamente del café. Por esta razón las propiedades físicas y factores de conversión son de vital importancia cuando se trata evaluar el sistema productivo de la finca cafetera, facilitan las operaciones comerciales y el diseño de los beneficiaderos, así como el diseño y calibración de los diferentes dispositivos y máquinas empleados en el proceso de beneficio del café, para poder llevar una planeación del presupuesto que realmente requiere el sostenimiento de la finca.

En tal sentido la presente investigación pretende determinar la influencia de la altura a la cual se encuentran ubicadas las fincas cafeteras, sobre las propiedades físicas y factores de conversión del café variedad Castillo y Colombia (*Coffea arabica* L.), de tal forma que permita, estimar valores aproximados en la región, para determinar la cantidad y calidad del producto obtenido durante los procesos de beneficio, trilla, para su posterior comercialización.

## JUSTIFICACIÓN

Se considera que el actual sistema de conversiones en café es susceptible de mejorar y ajustar a las nuevas condiciones de la industria cafetera colombiana. Además, es necesario conocer claramente la metodología y documentar los procedimientos empleados para su estimación, con el fin de permitir la reproducibilidad y estandarización en las metodologías utilizadas. Los resultados obtenidos serán una guía útil para la toma de decisiones en toda la cadena productiva del café y para futuros estudios de caracterización de la calidad física del grano.

“Durante años, Colombia ha dado valor agregado a su café siguiendo un proceso semi-industrial llamado beneficio de café, el cual es determinante en la producción del grano y ha garantizado en el transcurso del tiempo la calidad, ya que el 80% de los defectos que se presentan en el grano pueden ocurrir debido a inconvenientes en el proceso”. Aristizabal (2005). Un beneficio adecuado genera un margen de ganancia al productor por la venta de café que no depende solamente de la manera cómo se realiza el proceso sino también del uso racional de los recursos y los insumos empleados, por esto la necesidad de que el caficultor conozca las propiedades físicas y factores de conversión en el proceso de beneficio.

Así mismo, el diseño del beneficiadero puede comprometer la sostenibilidad de la finca, casi todos los productores de café colombianos poseen al menos el equipamiento mínimo para el proceso de beneficio. Los pequeños caficultores realizan el beneficio de café en sus propias parcelas con la ayuda de sus familias y no recurren a particulares para que efectúen el proceso y, por lo general, cuentan con una infraestructura simple. Graaff (1986).

“Otro gran número de caficultores ha realizado grandes inversiones en la construcción de beneficiaderos que no guardan la proporción con sus requerimientos, por ello resulta muy costoso llevar el café a beneficiar a otro lugar,

con la ayuda de las propiedades físicas y los factores de conversión se diseñan los beneficiaderos, así como el diseño y calibración de los diferentes dispositivos y máquinas empleados en este proceso, debido a los elevados volúmenes de producción algunos caficultores prefieren construir los beneficiaderos con una apropiada asesoría que les permita el logro de economías de escala” Aristizabal y Duque (2006), siendo muy eficientes en la ejecución de esta actividad, sin tener en cuenta que dichas propiedades físicas y factores de conversión fueron obtenidos hace varios años en condiciones agronómicas diferentes y sin tener en cuenta condiciones muy importantes como: la variedad, la naturaleza y la fertilidad del suelo, las condiciones atmosféricas y ambientales, densidad de siembra, planes de fertilización, sombrero, la edad de la plantación, las cuales presenta el municipio de Colon. Es aquí donde el proyecto de EVALUACION DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y FACTORES DE CONVERSIÓN DE CAFÉ (*coffea arabica* L.) VARIEDAD CASTILLO Y COLOMBIA DURANTE EL PROCESO DE BENEFICIO Y TRILLA, A DIFERENTES ALTURAS SOBRE EL NIVEL DEL MAR EN FINCAS CAFETERAS DEL MUNICIPIO DE COLON GENOVA, DEPARTAMENTO DE NARIÑO, adquiere relevancia, por permitir satisfacer las necesidades de los caficultores, al ofrecerles la oportunidad de tener acceso a una información propia de su región para facilitarles las operaciones comerciales y el diseño de los beneficiaderos, equipos y calibración de los mismos.

## 1. OBJETIVOS

### 1.2. Objetivo general.

Evaluar las propiedades físicas y factores de conversión de café variedad castillo y Colombia (*Coffea arabica* L.) durante el proceso de beneficio y trilla, a diferentes alturas sobre el nivel del mar en fincas cafeteras del municipio de Colón Génova, Departamento de Nariño.

### 1.3. Objetivos específicos:

- Identificar mediante técnica de muestreo estratificado completamente al azar las fincas objeto de estudio.
- Determinar la densidad aparente, peso, diámetros y contenido de humedad del pergamino seco y grano almendra.
- Obtener el peso y porcentaje de café retenido en cada tamiz, porcentaje de merma en trilla y rendimiento en trilla.
- Establecer las relaciones café cereza:café pergamino, café baba:café pergamino, café lavado:café pergamino, café cereza:café almendra, café baba:café almendra, café lavado:café almendra y café pergamino:café almendra.

## 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1 MARCO TEORICO

**2.1.1 Generalidades.** A continuación, se realiza una contextualización de los conceptos básicos sobre los cuales se trabaja en esta investigación.

**El café (*Coffea arabica* L.).** “El café es una semilla procedente del árbol del cafeto, perteneciente a la familia de las Rubiáceas y al género Coffea, el arbusto posee una altura de 3 a 6 metros, aunque puede alcanzar los 15 metros”. Clarke (1985). “El fruto tiene la apariencia de una cereza pequeña y en su interior lleva dos semillas rodeadas de una pulpa amarillenta, que son los granos de café, de color verde, inicialmente, para luego volverse amarillo y posteriormente rojo y carmesí cuando alcanza la madurez”. La planta de café (2015).

**Variedad Castillo (*Coffea arabica* L.).** La variedad Castillo se obtuvo a partir del cruzamiento de la variedad Caturra x Híbrido de Timor. Después de sucesivas generaciones de selección hasta la generación F5, las mejores líneas (componentes) fueron propagadas y su semilla mezclada para la obtención de esta variedad. “Las últimas evaluaciones se realizaron en diferentes lugares de la zona cafetera nacional. La variedad Castillo es una variedad compuesta de porte bajo, ligeramente mayor que Caturra, de ramas largas, hojas grandes, vigorosa, de grano grande, excelente calidad en taza, producción superior a la de la variedad Caturra y resistente a la roya del cafeto”. Café colombiano (2009).

**Variedad Colombia (*Coffea arabica* L.).** “Esta variedad por su variedad genética, posee una resistencia durable al ataque de la roya del cafeto, la producción es igual o superior a la Caturra, el tipo de grano y la calidad de la bebida son similares a las otras variedades de café arábigo”. Café colombiano (2009).

**Beneficio del café (*Coffea arabica* L.).** “El beneficio del café consiste en el proceso de transformación del grano de café cereza en pergamino seco. En el proceso se separan las partes del fruto y se seca el grano para su conservación”. Puerta (2000).

**Beneficio Húmedo.** El beneficio por vía húmeda es el que más se acostumbra a realizarse en Colombia. Consiste en la eliminación mecánica del exocarpio en presencia de agua, eliminación de todo el mesocarpio por fermentación seguido por secado para la producción de un café pergamino.

**Despulpado.** El despulpado consiste en retirar la pulpa o exocarpio que está al rededor del fruto por medio de presión, este procedimiento se realiza con una despulpadora por la cual pasa el café cereza a través de una tolva hacia un tambor el cual al rotar lleva el café hacia un punto donde la presión ejercida hace salir de la pulpa el fruto, gracias a la baba o mucilago que contiene el café maduro.

**Fermentación.** “Es un proceso catabólico de oxidación de sustancias orgánicas para producir otros compuestos orgánicos y energía. Los procesos de fermentación son realizados por levaduras y bacterias en ausencia de oxígeno”. Puerta (2010). La fermentación natural consiste en dejar al fruto en un tanque de fermentación donde cae luego del despulpado, con poca agua durante un periodo de 12 a 18 horas donde se homogeniza lentamente, el mucílago se desprende naturalmente del grano.

**Secado.** “Al culminar el proceso de lavado, debe realizarse la operación de secado, con la que se disminuye la humedad del grano hasta un 10 a 12%, de tal forma que se pueda almacenar en óptimas condiciones, ya que en esta etapa se corre el mayor peligro de deterioro de la calidad del grano. El café seco, recibe el nombre de café pergamino, el cual se empaca en costales y se almacena hasta el momento de la trilla”. Puerta (2000).



**Proceso de trilla.** “La trilla de café pergamino consiste en retirar mecánicamente la cascara (pergamino) que cubre la almendra de café (denominada cisco en la trilla), seleccionando la almendra por tamaños y retirando todo tipo de impurezas y granos defectuosos para obtener así una variedad de productos y subproductos con diferentes destinos”. Calidad del café (2016).

**Características físicas del grano de café (*Coffea arabica* L.).** “Entre las características físicas se encuentran: tamaño, aspecto del café en oro y tostado, El tamaño de grano (granulometría) se determina utilizando tamices con diferentes diámetros” Centro de Comercio Internacional CCI (1992). Este se expresa en porcentaje de grano verde por clase de tamiz. “Se consideran granos con defectos aquellos que presenten al menos una de las siguientes condiciones: negros, decolorados, mal formados, aplastados, inmaduros (verde), mordido, picado por insectos, fermentados, manchados, entre otros. Los defectos pueden expresarse tanto en porcentaje o en cantidad” Marín, Arcilla, Montoya y Oliveros (2003).

**Relación cereza: café pergamino.** Cantidad de café cereza requerido para obtener 1 kg de café pergamino seco (c.p.s.) tipo Federación.

**Relación café baba: café pergamino.** Cantidad de café en baba o despulpado requerido para obtener 1 kg de café pergamino seco (c.p.s.) tipo Federación.

**Relación café lavado: café pergamino.** Cantidad de café lavado inmediatamente después de la fermentación requerido para obtener 1 kg de café pergamino seco (c.p.s.) tipo Federación.

**Relación café cereza: café almendra.** Cantidad de café cereza requerido para obtener 1 kg de café almendra (trillado).

**Relación café pergamino: café almendra.** Cantidad de café pergamino seco (c.p.s.) requerido para obtener 1 kg de café almendra (trillado).

## **2.2 MARCO CONTEXTUAL**

“El café es cultivado en casi 80 países tropicales y subtropicales del mundo” Clay (2004), “se constituye en uno de los productos más valiosos del comercio mundial” León (2000), las dos especies más cultivadas en el mundo son *Coffea arabica* L. y *Coffea canephora*; las cuales presentan marcadas diferencias a nivel sensorial, rendimientos, factores de conversión, propiedades físicas.

Según la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, citado por Puerta (2000). En Colombia la calidad del café se origina en las variedades de la especie *Coffea arabica* L., sumado a esta la localización geográfica, el clima de la zona cafetera de Colombia, el manejo del cultivo, la cosecha de granos maduros y el beneficio húmedo, igualmente este cultivo se localiza en las laderas de las cordilleras, estos suelos ricos en materia orgánica son ideales para el café. “En general el suelo debe tener una profundidad de 80 cm para permitir la penetración de las raíces” Prieto (2002).

Respecto a Nariño, la ubicación del departamento en Colombia hace de su zona cafetera un lugar sin duda especial. Estas condiciones hacen que en la Zona de Producción de Café de Nariño se presente una combinación de factores, tales como la radiación solar de 1666 horas en promedio durante el año, los ciclos de lluvia de 1866 milímetros al año, y los suelos con alto contenido de materia orgánica que hacen posible el cultivo del café a grandes alturas y temperaturas en promedio de 19.9 °C, con valores promedio máximo de 25.9 y mínima de 16°C. Café de Colombia (2011).

### 3. METODOLOGÍA

**3.1 MUESTREO.** Se realizó un muestreo estratificado completamente al azar mediante el cual se pueda definir el rango de alturas y dentro de este las fincas cafeteras objeto de estudio.

**3.2 LOCALIZACIÓN.** “La investigación se llevó a cabo a nivel experimental en el municipio de Colón situado al Norte del departamento de Nariño sur occidente de Colombia, Se localiza entre los 1° 38' 12" latitud Norte y los 76° 58' 0" de longitud al Oeste del Meridiano de Greenwich, en tierras de la cordillera centro oriental. El municipio hace parte de un sistema montañoso, fuertemente quebrado a muy escarpado, Colon Génova está ubicado a una altura entre 1.400 y 2.800 m.s.n.m., con temperaturas promedias de 16°C.” Colón Nariño (s.f.).

Fotografía 1. Ubicación geográfica del municipio de Colón Departamento de Nariño



**3.3 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.** Se emplearon fuentes primarias y secundarias para la recolección de la información que permita identificar veredas y

dentro de estas, fincas cafeteras productoras de café variedad Castillo y Colombia (*Coffea arabica* L.), dentro de las fuentes primarias se encuentran las salidas al campo y para el caso de las fuentes secundarias se encuentran los registros con los que cuenta la Federación Nacional de Cafeteros zona norte de Nariño, mediante el sistema de información cafetero (SICA).

**3.4 SELECCIÓN DE ALTURAS.** De acuerdo a la información recopilada en la base de datos, se seleccionaron doce fincas, ubicadas a tres alturas diferentes sobre el nivel del mar; zona alta (1.800 a 2.200 m.s.n.m), media (1.600 a 1.800 m.s.n.m) y baja (1.350 a 1.600 m.s.n.m).

**3.5 SELECCIÓN DE FINCAS.** Una vez seleccionadas las alturas, se empleó la técnica de muestreo estratificado completamente al azar mediante el cual se tomó 2 fincas cafeteras para cada variedad de café, y para cada rango de altura, se utilizó un equipo GPS para corroborar las coordenadas y altura de estas fincas.

Fotografía 2. Selección de fincas-ubicación geográfica



Finca: La esperanza  
Vdad: Castillo (*Coffea arabica* L.)  
Altura: 2.101 m.s.n.m



Finca: Charco Verde  
Vdad: Castillo (*Coffea arabica* L.)  
Altura: 1.756 m.s.n.m



Finca: San Mateo  
Vdad: Castillo (*Coffea arabica* L.)  
Altura: 1.493 m.s.n.m



Finca: El Guaico  
Vdad: Colombia (*Coffea arabica* L.)  
Altura: 1.929 m.s.n.m



Finca: La Falda  
Vdad: Colombia (*Coffea arabica* L.)  
Altura: 1.709 m.s.n.m



Finca: El Mayo  
Vdad: Colombia (*Coffea arabica* L.)  
Altura: 1.479 m.s.n.m

### 3.5.1 Fincas seleccionadas objeto de estudio ubicadas a diferentes alturas.

Las fincas objeto de estudio fueron seleccionadas de la base de datos del comité de cafeteros de Nariño, mediante técnica de muestreo estratificado completamente al azar.

#### ➤ ALTURA 1.800 a 2.200 m.s.n.m

#### VARIEDA CASTILLO

##### **FINCA No. 1**

**Vereda:** David Alto

**Finca:** La Esperanza

**Área:** 3 hectáreas

**Varietal:** Castillo (*Coffea arabica* L.)

**Propietario:** Ricardo Bolaños

**Coordenadas:** N: 1005047 W: 0672250

**Altura:** 2.101 m.s.n.m

**To:** 17°C

**Edades del café:** 6 y 7 años

##### **FINCA No. 2**

**Vereda:** David Bajo

**Finca:** La Planada

**Área:** 1 ha.

**Varietal:** Castillo (*Coffea arabica* L.)

**Propietario:** Oldimar Bolaños

**Coordenadas:** N: 1006141 W: 0673113

**Altura:** 1974 m.s.n.m

**To:** 18 °c  
**Edades del café:** 3 años

VARIEDA COLOMBIA

**FINCA No. 1**

**Vereda:** La Victoria  
**Finca:** El Alto  
**Área:** 1.5 has.  
**Variedad:** Colombia (*Coffea arabica* L.)  
**Propietario:** Carlos Sánchez  
**Coordenadas:** N: 1005641 W: 0672497  
**Altura:** 2035 m.s.n.m  
**To:** 17 °c  
**Edades del café:** 5 años

**FINCA No. 2**

**Vereda:** Sección Pueblo  
**Finca:** El Guaico  
**Área:** 2 ha.  
**Variedad:** Colombia (*Coffea arabica* L.)  
**Propietario:** Adrián Bolaños  
**Coordenadas:** N: 1005935 W: 0673406  
**Altura:** 1929 m.s.n.m  
**To:** 16 °c  
**Edades del café:** 4 años

➤ **ALTURA 1.600 a 1.800 m.s.n.m**

VARIEDAD CASTILLO

**FINCA No. 1**

**Vereda:** Guiatarilla  
**Finca:** El Hueco  
**Área:** 2 hectáreas  
**Variedad:** Castillo (*Coffea arabica* L.)  
**Propietario:** Marino Muñoz  
**Coordenadas:** N: 1004285 W: 0676015  
**Altura:** 1.698 m.s.n.m  
**To:** 22°c  
**Edades del café:** 4 y 5 años

**FINCA No. 2**

**Vereda:** La Primavera  
**Finca:** Charco Verde  
**Área:** 1 ha.  
**Variedad:** Castilla  
**Propietario:** Fabián David  
**Coordenadas:** N: 1005346 W: 0675392  
**Altura:** 1756 m.s.n.m  
**To:** 20 °c  
**Edades del café:** 6 años

#### VARIEDA COLOMBIA

**FINCA No. 1**  
**Vereda:** La primavera  
**Finca:** La Falda  
**Área:** 3.5 has.  
**Variedad:** Colombia (*Coffea arabica* L.)  
**Propietario:** Omar Muñoz  
**Coordenadas:** N: 1004744 W: 0675988  
**Altura:** 1709 m.s.n.m  
**To:** 20 °c  
**Edades del café:** 5 años

**FINCA No. 2**  
**Vereda:** Guaitarilla  
**Finca:** El Guayabillo  
**Área:** 1.3 has.  
**Variedad:** Colombia (*Coffea arabica* L.)  
**Propietario:** Griselda Ortiz  
**Coordenadas:** N: 1003998 W: 0676172  
**Altura:** 1688 m.s.n.m  
**To:** 22 °c  
**Edades del café:** 4 ½ años

➤ **ALTURA 1.350 a 1.600 m.s.n.m**

#### VARIEDAD CASTILLO

**FINCA No. 1**  
**Municipio Colon Génova Nariño**  
**Vereda:** Buesaco  
**Finca:** San Mateo  
**Área:** 2 hectáreas  
**Variedad:** Castillo (*Coffea arabica* L.)

**Propietario:** Antidio Ortiz  
**Coordenadas:** N: 1001451 W: 0675510  
**Altura:** 1.493 m.s.n.m  
**To:** 26°C  
**Edades del café:** 5 y 6 años

**FINCA No. 2**  
**Vereda:** Bellavista  
**Finca:** El Cañaveral  
**Área:** 1 ha.  
**Variedad:** Castillo (*Coffea arabica* L.)  
**Propietario:** Abel Benítez  
**Coordenadas:** N: 1002841 W: 0676037  
**Altura:** 1558 m.s.n.m  
**To:** 24 °C  
**Edades del café:** 5 años  
VARIEDA COLOMBIA

**FINCA No. 1**  
**Vereda:** Bellavista  
**Finca:** La quebrada  
**Área:** 1.7 has.  
**Variedad:** Colombia (*Coffea arabica* L.)  
**Propietario:** Bolívar Muñoz  
**Coordenadas:** N: 1002597 W: 0675664  
**Altura:** 1538 m.s.n.m  
**To:** 24 °C  
**Edades del café:** 4 años

**FINCA No. 2**  
**Vereda:** El Llano  
**Finca:** El Mayo  
**Área:** 2.5 has  
**Variedad:** Colombia (*Coffea arabica* L.)  
**Propietario:** Ferney Gamboa  
**Coordenadas:** N: 1002597 W: 0675664  
**Altura:** 1479 m.s.n.m  
**To:** 26 °C  
**Edades del café:** 6 años

### **3.6 DISEÑO DE EXPERIMENTOS**

Basándose en el hecho de que el factor variedad de café influye directamente en la



variable de respuesta propiedades físicas, factores de conversión, se opta por tomarlo como factor de estudio, asimismo el factor altura influye en las variables de respuesta lo cual lo convierte en el factor bloque. Para lo siguiente el beneficio, lavado, secado, y trilla serán trabajados bajo las mismas condiciones.

El tipo de diseño experimental utilizado fue un diseño experimental en bloque completamente al azar. El procedimiento para formular el diseño experimental fue el siguiente:

- Evaluación del sistema: VARIEDAD CASTILLO, VARIEDAD COLOMBIA (*Coffea arabica* L.).
- Identificación de respuestas a obtener: PROPIEDADES FISICAS, FACTORES DE CONVERSION.
- Identificación de variables o factores a considerar y niveles a aplicar: las variables y sus niveles se indican en la tabla 1.

Tabla 1. Identificación de variable y sus niveles

FACTOR VARIABLE “VARIEDAD DE CAFÉ ( <i>Coffea arabica</i> L.)”	NIVELES (RANGO ALTITUDINAL)
CASTILLO	1.800 a 2.200 m.s.n.m
	1.600 a 1.800 m.s.n.m
	1.350 a 1.600 m.s.n.m
COLOMBIA	1.800 a 2.200 m.s.n.m
	1.600 a 1.800 m.s.n.m
	1.350 1.600 m.s.n.m

**3.6.1 Tipo de diseño a seguir o metodología.** Completamente al azar, modelo del

tipo:

$$Y_i = \mu + \tau_i + \varepsilon_i$$

Para el cual planteamos las hipótesis.

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_a \neq \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$$

Donde  $\mu$ : es el promedio de valor de la variable de respuesta.

### 3.6.2 Matriz de experimentos:

**Condiciones:** características contrastantes en cuanto a la oferta ambiental, densidad de siembra y manejo agronómico (cultivo a sol o sombra, fertilización); además, se tendrá en cuenta edad del cultivo, control de plagas, enfermedades y arvenses.

Tabla 2. Matriz propiedades físicas.

ALTURA	VARIEDAD DE CAFÉ																	
	CASTILLO									COLOMBIA								
	Densidad aparente			Peso			Diámetros			Densidad aparente			Peso			Diámetros		
1.800 a 2.200 m.s.n.m	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1.600 a 1.800 m.s.n.m	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1.350 a 1.600 m.s.n.m	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

**Dónde:** X es la variable respuesta.

Tabla 3. Matriz factores de conversión

ALTUR A...	VARIEDAD DE CAFÉ																												
	CASTILLO															COLOMBIA													
	Cereza			Pergamino			Baba			Almendra			Húmedo			Cereza			Pergamino			Baba			Almendra			Húmedo	
1.800 a 2.200 m.s.n.m	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1.600 a 1.800 m.s.n.m	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1.350 a 1.600 m.s.n.m	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Dónde: X es la variable respuesta.

### 3.7 OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.)

Teniendo en cuenta características contrastantes en cuanto a la oferta ambiental, densidad de siembra y manejo agronómico (cultivo a sol o sombra, fertilización); además, se tendrá en cuenta edad del cultivo, control de plagas, enfermedades y arvenses.

**3.7.1 Obtención de Información.** La revisión de bibliografía puede ser considerada como una herramienta mediante la cual se hace una búsqueda de información sobre estudios o investigaciones que sean llevados a cabo respecto al tema que se está investigando de tal forma que permite adquirir conocimientos que posteriormente serán utilizados como parámetros o niveles.

**3.7.2 Obtención materia prima.** La materia prima utilizada en esta investigación fue café de la variedad Castillo y Colombia (*Coffea arabica* L.) adquirida en las fincas que han sido seleccionadas dentro del municipio de Colon (N), Se recogió de cada finca, 20 kg de café cereza directamente de la tolva del beneficiadero de cada finca.

**3.7.3 Beneficio y Secado.** Basándose en el proceso de beneficio del café y partiendo de las principales operaciones que intervienen en este, con sus respectivas variables, se tomó la decisión que el éxito del estudio esta principalmente en mantener constantes todas las operaciones realizadas a las

muestras en el proceso de beneficio, por tal razón el proceso de beneficio de las muestras se desarrolló en la finca del señor Marino Muñoz de la vereda Guaitarilla.

**3.7.4 Recepción del café cereza.** Se tomó una muestra de la tolva de 1 kg, con esta se determinará la densidad aparente, basados en la Norma Técnica NTC 4607 Café verde y tostado, determinación de la densidad a granel por caída libre de los granos enteros (método de rutina). ICONTEC (1999). En 140 frutos, tomados de la muestra de 1 kg, se midieron en cada uno de ellos los diámetros polar y ecuatorial (largo y ancho), y el peso.

Las *variables* de interés en esta etapa del beneficio fueron: densidad aparente, peso y diámetros de café cereza.

Fotografía 3. Recepción del café cereza en tolva – Medición diámetros



Recepción del café cereza recolectado en las 12 fincas seleccionadas a diferentes alturas (m.s.n.m.), correspondiente a la variedad Castillo y Colombia (*Coffea arabica* L.), para proceder a tomar la muestra de 1 kg y realizar las diferentes mediciones (diámetro polar y ecuatorial, peso, densidad aparente).

**Despulpado:** Del café cereza despulpado se determinó el peso del café baba y la pulpa obtenida, el café despulpado se toma una muestra de 1 kg para determinar la densidad aparente, el peso, los diámetros.

Las *variables* de interés para esta etapa del beneficio fueron: porcentaje de pulpa fresca, densidad aparente del grano en baba, peso, ancho y largo del grano en baba y la relación café cereza: café baba.

Fotografía 4. Despulpado del café cereza.



Despulpado del café cereza y toma de muestra de 1 kg para la realización de las diferentes mediciones (Diámetro polar y ecuatorial, peso, densidad aparente).

**Fermentación:** El café en baba, tal como se muestra en la Fotografía anterior se deja sin agua durante 14 horas a temperatura ambiente en las condiciones de beneficio, para fermentar el mucílago.

**Lavado y escurrido:** “Finalizado el proceso de fermentación, se separa el grano y el mucílago con cuatro enjuagues sucesivos” Zambrano e Isaza (1994); así mismo, se separa los flotes y el café lavado obtenido y se registra el peso de cada uno. Los flotes se eliminan del proceso.

Cuando el café está lavado se toma una muestra compuesta de 1 kg y se aplican los procedimientos descritos para determinar la densidad aparente, el peso y el ancho y largo del grano.

Las *variables* de interés para esta etapa son: densidad aparente, peso, ancho y largo del grano lavado y las relaciones café cereza: café lavado y café baba: café lavado.

Fotografía 5. Lavado y escurrido del café.



Lavado y escurrido del café luego del proceso de fermentación y toma de muestra de 1 kg para la realización de las diferentes mediciones (diámetro polar y ecuatorial, peso, densidad aparente).

**Secado:** El café escurrido se deposita en secador parabólico, hasta llegar a humedad entre el 10y 12%. Después se utiliza un medidor Quantik para registrar la humedad. En el café en pergamino seco se registra el peso y se toma una muestra compuesta de 1 kg, a la cual se le aplica los procedimientos para determinar la densidad aparente, el peso y el ancho y largo del grano.

“El análisis físico del café pergamino seco y del café almendra se realiza bajo los estándares de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia para la comercialización de café pergamino seco”. Federación Nacional de Cafeteros (1988).

Para medir la humedad del café pergamino se pesan 300 gramos de café, después se utiliza un medidor Quantik para registrar la humedad.

Imagen 6. Secado del café



Secado del café lavado utilizando un secador parabólico para obtener una humedad aproximada de 10 a 12%, se toma una muestra de 1 kg para la realización de las diferentes mediciones (diámetro polar y ecuatorial, peso, densidad aparente).

### 3.7.5 Análisis físico:

**Trilla:** El café pergamino obtenido se trilla para obtener café almendra, y se registra su peso. Del café almendra se toma una muestra, y se le aplica los procedimientos para determinar la densidad aparente, el peso, los diámetros.

Para el proceso de trilla primero se pesan 250 gramos de café pergamino seco, y se trillan en la trilladora Quantik, se pesan los granos de café almendra obtenidos, para sacar el porcentaje de merma.

Fotografía 7. Trilla del café pergamino seco.



Proceso de trilla de la muestra de café pergamino seco (250 gr) utilizando la trilladora Quantik, y posteriormente realizar las diferentes mediciones (diámetro polar y ecuatorial, peso, densidad aparente), además del %merma.

**Registro de humedad:** Para medir la humedad del café almendra se pesan 300 gramos de café, después se utiliza un medidor Quantik para registrar la humedad.

Fotografía 8. Registro de humedad del café almendra.



Registro de humedad de la muestra de café almendra (300 gr), utilizando el medidor de humedad Quantik, para determinar si la muestra tiene o no la humedad requerida (10 a 12%).

**Homogenización y granulometría:** Se homogenizan los granos de café almendra, se pesan 200 gramos, para determinar la granulometría utilizando los tamices de la serie (TYLER) para café, de perforaciones circulares, para el análisis se utilizaron las mallas: 13/64, 14/64, 15/64 y 16/64, 17/64 y 18/64 pulgadas.

Fotografía 9. Homogenización y granulometría del café almendra.



Homogenización de los granos de café almendra para llevar a cabo el proceso de granulometría, utilizando tamices de la serie (TYLER) y finalmente determinar el porcentaje retenido en cada tamiz.

Las variables de interés en la etapa de secado y trilla son: Densidad aparente, peso, diámetros y contenido de humedad del pergamino seco y grano almendra; peso y porcentaje de café retenido en cada tamiz, porcentaje de merma en trilla y



rendimiento en trilla; y las relaciones café cereza: café pergamino, café baba: café pergamino, café lavado: café pergamino, café cereza: café almendra, café baba: café almendra, café lavado: café almendra y café pergamino: café almendra.

**3.7.6 Análisis de Resultados.** Los datos obtenidos fueron analizados mediante el programa STATGRAPHICS PLUS versión 5.1. Con el cual se realizó el análisis de varianza para determinar si hay una diferencia estadística significativa entre los datos obtenidos en las fincas ubicadas a diferentes alturas y las variedades de café Castillo y Colombia (*Coffea arabica* L.).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 CARACTERÍSTICAS DEL CAFÉ COSECHADO

Las características de las muestras de café recién cosechado, tales como; frutos verdes, sobremaduros, secos y perforados por broca, para variedad Colombia y Castillo (*Coffea arabica* L.) en las fincas objeto de estudio se muestran en siguiente tabla.

Tabla 4. Características de la masa de café cereza cosechada.

FINCA	ALTURA	VARIEDAD	% FRUTOS VERDES	% FRUTOS SOBREMADUROS	% FRUTOS SECOS	% FRUTOS BROCADOS
EL MAYO	1479	COLOMBIA	3,21	3,96	3,34	0,97
LA QUEBRADA	1538	COLOMBIA	4,56	2,99	4,74	1,49
EL GUAYABILLO	1688	COLOMBIA	8,43	4,80	3,80	3,63
LA FALDA	1709	COLOMBIA	5,97	9,64	4,56	0,38
EL GUAICO	1929	COLOMBIA	4,13	4,56	2,97	0,00
EL ALTO	2035	COLOMBIA	4,88	4,76	1,88	0,00
SAN MATEO	1493	CASTILLO	6,45	7,83	4,17	1,40
EL CAÑAVERAL	1558	CASTILLO	3,79	8,09	3,51	0,75
EL HUECO	1698	CASTILLO	8,10	7,29	2,93	0,00
CHARCO VERDE	1756	CASTILLO	2,88	3,85	2,56	0,61
LA PLANADA	1974	CASTILLO	4,79	6,09	1,51	0,00
LA ESPERANZA	2101	CASTILLO	3,10	4,67	2,03	0,00

### 4.2 PROPIEDADES FÍSICAS DEL CAFÉ (*Coffea arabica* L.)

**4.2.1 Densidad aparente (kg/m<sup>3</sup>).** De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 5. las densidades aparentes del café en todos sus estados, obtenidas en esta investigación, fueron analizadas con el contraste t-test de comparación de medias, obteniéndose mayores resultados para variedad Castillo que para variedad

Colombia, existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de cada estado para un nivel de confianza del 95,0%. Los resultados obtenidos en esta investigación, fueron mayores que los encontrados por Uribe (2004), mientras que Oliveros y Roa (1985) reportan 665 kg/m<sup>3</sup> para café cereza, 894 kg/m<sup>3</sup> para el café en baba, 758 kg/m<sup>3</sup> para el café lavado, 439 kg/m<sup>3</sup> para el café pergamino seco y 776 kg/m<sup>3</sup> para el café almendra. Comparando con los resultados de Puerta, Oliveros y Cadena (2008), para café seleccionado, reportan 621,5 kg/m<sup>3</sup> para café cereza, 826,7 kg/m<sup>3</sup> para el café en baba, 701,7 kg/m<sup>3</sup> para el café lavado, 391,44 kg/m<sup>3</sup> para el café pergamino seco y 709.9 kg/m<sup>3</sup> para el café almendra, demostrando que en esta investigación se obtuvieron mejores resultados.

Tabla 5. Densidad aparente (Kg/m<sup>3</sup>) entre los estados del grano de café en variedad Colombia y Castillo (*coffea arabica* L.).

FINCA	ALTURA (m.s.n.m)	VARIEDAD	CEREZA	BABA	LAVADO	PERGAMINO	ALMENDRA
EL MAYO	1479	COLOMBIA	654,8	818,7	729,8	477,3	800,3
LA QUEBRADA	1538	COLOMBIA	667,3	814,6	739,6	491,1	789,3
EL GUAYABILLO	1688	COLOMBIA	658,7	824,5	745,6	493,1	794,9
LA FALDA	1709	COLOMBIA	664,7	828,4	735,7	487,2	792,9
EL GUAICO	1929	COLOMBIA	670,6	825,0	723,9	479,9	790,2
EL ALTO	2035	COLOMBIA	652,5	828,4	731,8	496,3	803,7
PROMEDIO			661,4	823,3	734,4	487,5	795,2
SAN MATEO	1493	CASTILLO	742,7	891,8	757,6	488,9	824,5
EL CAÑAVERAL	1558	CASTILLO	686,4	858,2	729,8	465,5	800,8
EL HUECO	1698	CASTILLO	731,2	876,2	790,6	489,2	816,6
CHARCO VERDE	1756	CASTILLO	708,1	871,8	782,1	488,2	814,4
LA PLANADA	1974	CASTILLO	691,6	868,7	771,2	483,2	814,6
LA ESPERANZA	2101	CASTILLO	712,0	876,7	768,6	492,5	813,4
PROMEDIO			712,0	873,9	766,6	484,6	814,0

**4.2.2 Peso, diámetro polar y diámetro ecuatorial de los granos en los diferentes estados de beneficio.** A continuación se presenta la evaluación física de las muestras de café por cada uno de los estados de beneficio (café cereza, café baba, café lavado, café pergamino, café almendra), en base a estos resultados se puede afirmar que el peso, diámetro polar y diámetro ecuatorial, depende de la altura en la cual este ubicada la finca, siendo estos inversamente proporcional a la altura, debido a que existe relación estadísticamente significativa a un nivel de confianza que va desde 90 a 95% para variedad Colombia, y de 95 a 99% para variedad Castillo, asimismo con el análisis de regresión para cada estado, se puede estimar valores de peso y diámetros para fincas a diferentes alturas de las ya analizadas.

**4.2.2.1 Variedad Colombia (*Coffea arabica* L.):**

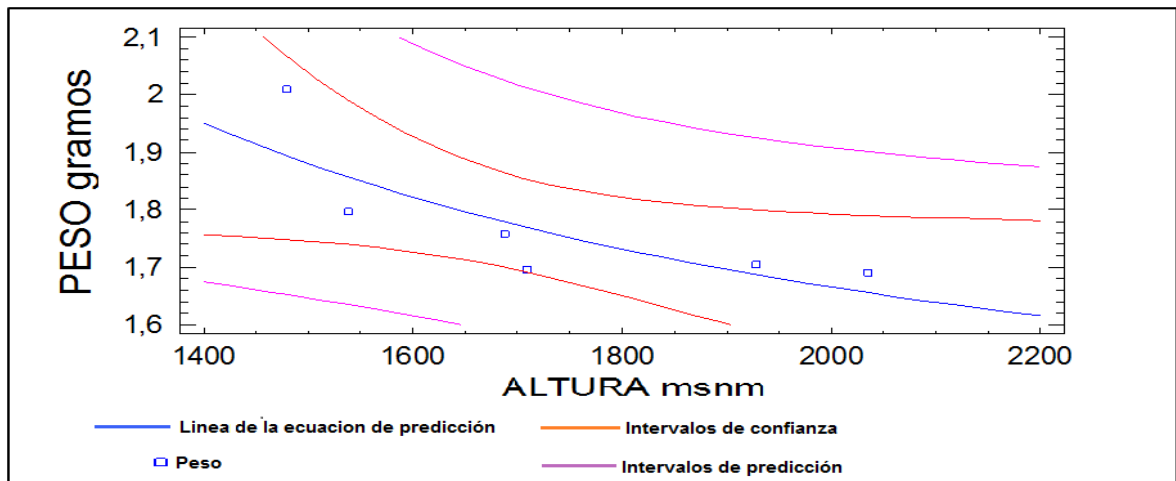
- **Café Cereza**

Tabla 6. Propiedades físicas del café cereza variedad Colombia (*Coffea arabica* L.)

<b>FINCA</b>	<b>ALTURA (m.s.n.m)</b>	<b>PESO (g)</b>	<b>DIAMETRO POLAR(mm)</b>	<b>DIAMETRO ECUATORIAL (mm)</b>
<b>EL MAYO</b>	1479	2,010	15,439	13,667
<b>LA QUEBRADA</b>	1538	1,796	14,777	13,333
<b>EL GUAYABILLO</b>	1688	1,758	13,986	13,219
<b>LA FALDA</b>	1709	1,696	15,021	13,019
<b>EL GUAICO</b>	1929	1,705	14,528	12,782
<b>EL ALTO</b>	2035	1,690	13,225	13,002

- **Peso**

Figura 1. Peso café cereza variedad Colombia (Coffea arabica L.) versus altura (m.s.n.m.).



- Análisis de Regresión - Modelo Doble Inverso:  $Y = 1/(a + b/X)$
- Variable dependiente: PESO gramos
- Variable independiente: ALTURA m.s.n.m
- $\alpha$  0,0444
- Coeficiente de Correlación = -0,8226
- R-cuadrado = 67,67 %

La salida muestra los resultados del ajuste al modelo doble recíproco para describir la relación entre PESO gramos y ALTURA m.s.n.m. La ecuación del modelo ajustado es:

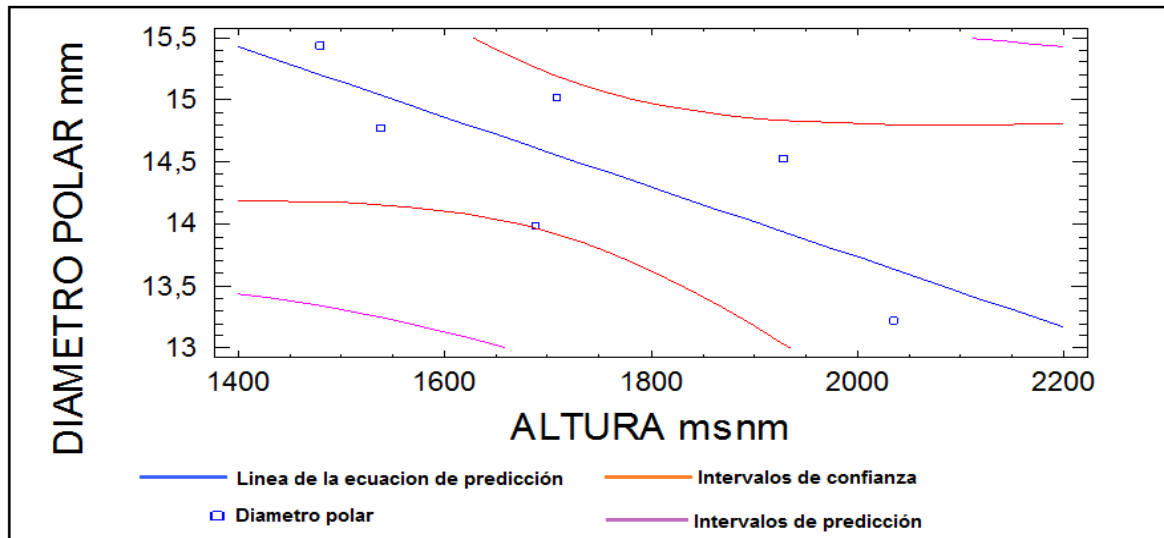
$$\text{PESO gramos} = 1/(0,805437 - 410,293/\text{ALTURA m.s.n.m})$$

Dado que el  $\alpha$  es inferior a 0.05, existe relación estadísticamente significativa entre PESO gramos y ALTURA m.s.n.m para un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 67,67% de la variabilidad en PESO gramos. El coeficiente de correlación es igual a -0,8226, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

- **Diámetro polar**

Figura 2. Diámetro polar café cereza variedad Colombia (Coffea arabica L.) versus altura (m.s.n.m.).



- Análisis de Regresión -Modelo Lineal  $Y = a + b \cdot X$
- Variable dependiente: DIAMETRO POLAR mm
- Variable independiente: ALTURA m.s.n.m
- $\alpha$ : 0,0714
- Coeficiente de Correlación = -0,7730
- R-cuadrado = 59,7577 %

La salida muestra los resultados del ajuste al modelo lineal para describir la relación entre DIAMETRO POLAR mm y ALTURA m.s.n.m. La ecuación del modelo ajustado es:

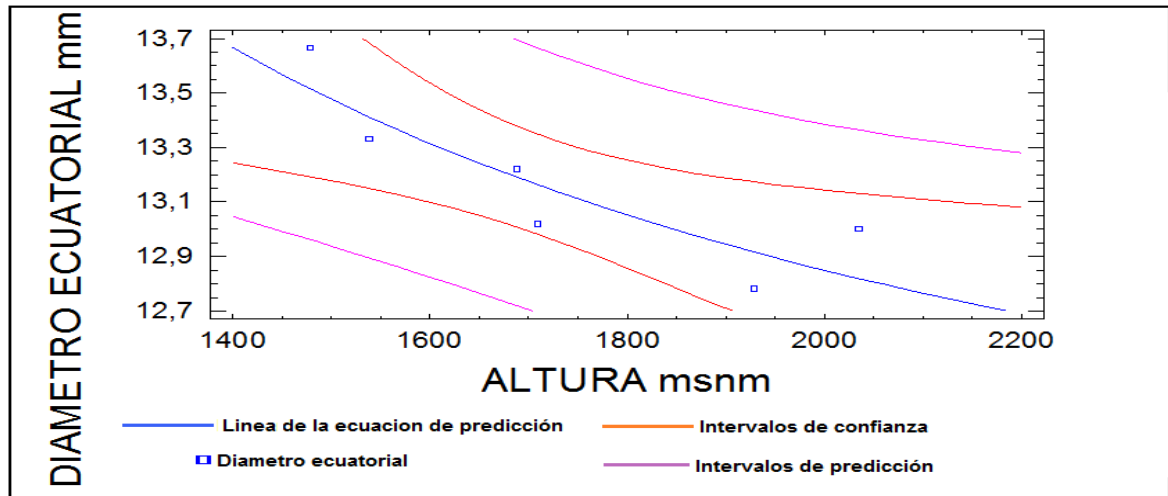
$$\text{DIAMETROPOLAR mm} = 19,3714 - 0,00281871 \cdot \text{ALTURA m.s.n.m}$$

Dado que el  $\alpha$  es inferior a 0.10, existe relación estadísticamente significativa entre DIAMETRO POLAR mm y ALTURA m.s.n.m para un nivel de confianza del 90%.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 59,7577% de la variabilidad en DIAMETRO POLAR mm. El coeficiente de correlación es igual a -0,773031, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

- **Diámetro Ecuatorial:**

Figura 3. Diámetro ecuatorial café cereza variedad Colombia (Coffea arabica L.) versus altura (m.s.n.m.)



- Análisis de Regresión - Modelo Doble Inverso:  $Y = 1/(a + b/X)$
- Variable dependiente: PESO gramos
- Variable independiente: ALTURA m.s.n.m
- $\alpha$  0,0202
- Coeficiente de Correlación = -0,8816
- R-cuadrado = 77,73 %

La salida muestra los resultados del ajuste al modelo doble recíproco para describir la relación entre PESO gramos y ALTURA m.s.n.m. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{DIAMETRO ECUATORIAL mm} = 1/(0,0886618 - 21,6851/\text{ALTURA m.s.n.m})$$

Dado que el  $\alpha$  es inferior a 0.05, existe relación estadísticamente significativa entre DIAMETRO ECUATORIAL mm y ALTURA m.s.n.m para un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 77,7373% de la variabilidad en DIAMETRO ECUATORIAL. El coeficiente de correlación es igual a -0,881688, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

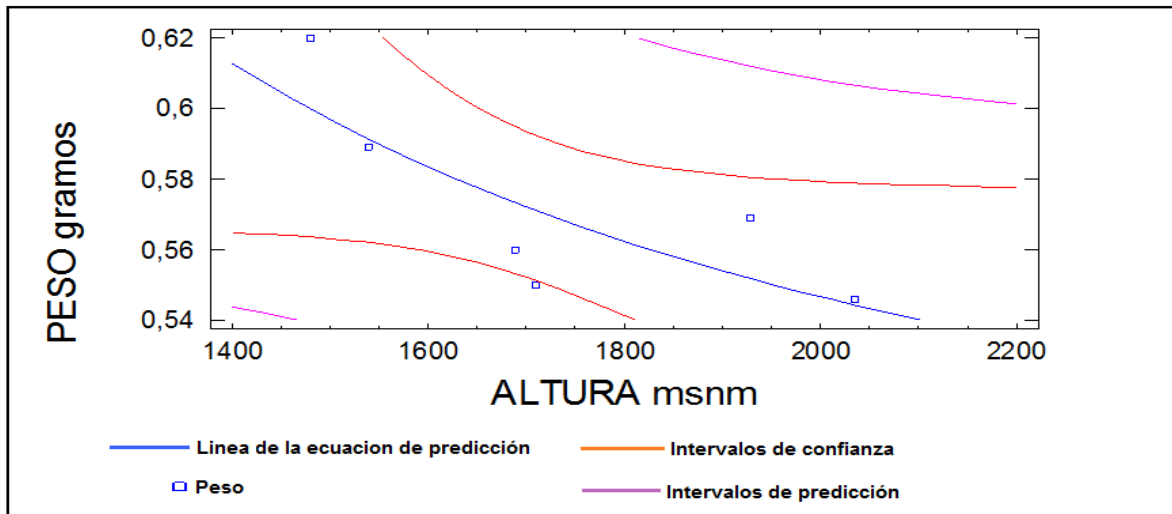
- **Café Baba**

Tabla 7. Propiedades físicas del café baba variedad Colombia (*Coffea arabica* L.)

FINCA	ALTURA (m.s.n.m)	PESO (g)	DIAMETRO POLAR(mm)	DIAMETRO ECUATORIAL (mm)
EL MAYO	1479	0,620	13,351	9,289
LA QUEBRADA	1538	0,589	13,375	9,013
EL GUAYABILLO	1688	0,560	12,925	8,800
LA FALDA	1709	0,550	13,060	8,696
EL GUAICO	1929	0,569	13,105	8,705
EL ALTO	2035	0,546	12,658	8,657

- **Peso**

Figura 4. Peso café baba variedad Colombia (*Coffea arabica* L.) versus altura (m.s.n.m.)



- Análisis de Regresión - Modelo Doble Inverso:  $Y = 1/(a + b/X)$
- Variable dependiente: PESO gramos
- Variable independiente: ALTURA m.s.n.m
- $\alpha$ : 0,0559
- Coeficiente de Correlación = -0,8002
- R-cuadrado = 64,03 %



La salida muestra los resultados del ajuste al modelo doble recíproco para describir la relación entre PESO gramos y ALTURA m.s.n.m. La ecuación del modelo ajustado es.

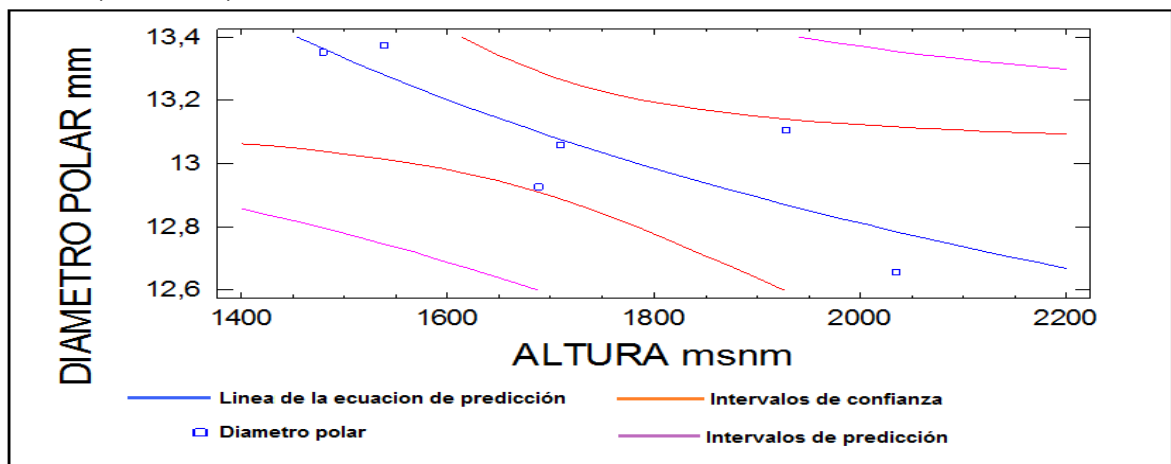
$$\text{PESO gramos} = 1/(2,28962 - 920,448/\text{ALTURA m.s.n.m})$$

Dado que el  $\alpha$  es inferior a 0.10, existe relación estadísticamente significativa entre PESO gramos y ALTURA m.s.n.m para un nivel de confianza del 90%.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 64,0334% de la variabilidad en PESO gramos. El coeficiente de correlación es igual a -0,800208, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

- **Diámetro Polar**

Figura 5. Diámetro polar café baba variedad Colombia (Coffea arabica L.) versus altura (m.s.n.m.)



- Análisis de Regresión - Modelo Inverso-X:  $Y = a + b/X$
- Variable dependiente: DIAMETRO POLAR mm
- Variable independiente: ALTURA m.s.n.m
- $\alpha$ : 0,0398
- Coeficiente de Correlación = 0,83226
- R-cuadrado = 69,2662%

La salida muestra los resultados del ajuste al modelo recíproco-X para describir la relación entre DIAMETRO POLAR mm y ALTURA m.s.n.m. La ecuación del modelo ajustado es:

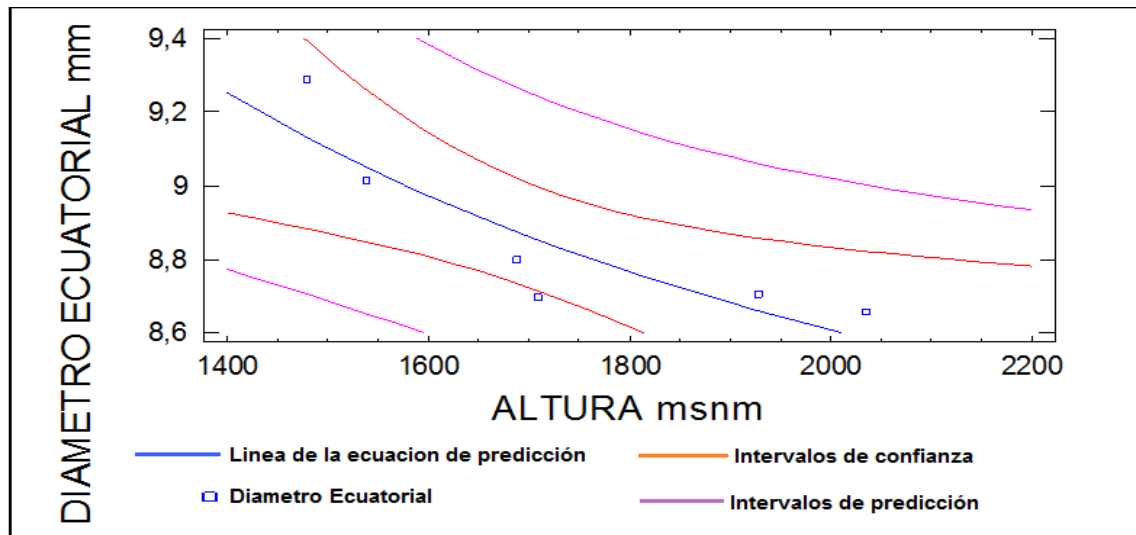
$$\text{DIAMETRO POLAR mm} = 11,2495 + 3124,09/\text{ALTURA m.s.n.m}$$

Dado que el  $\alpha$  es inferior a 0.05, existe relación estadísticamente significativa entre DIAMETRO POLAR mm y ALTURA m.s.n.m para un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 69,2662% de la variabilidad en DIAMETRO POLAR mm. El coeficiente de correlación es igual a 0,832263, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

- **Diámetro Ecuatorial**

Figura 6. Diámetro ecuatorial café baba variedad Colombia (Coffea arabica L.) versus altura (m.s.n.m.)



- Análisis de Regresión - Modelo Doble Inverso:  $Y = 1/(a + b/X)$
- Variable dependiente: DIAMETRO ECUATORIAL mm
- Variable independiente: ALTURA m.s.n.m
- $\alpha$ : 0,0187 Coeficiente de Correlación = -0,8862

- R-cuadrado = 78,5428%

La salida muestra los resultados del ajuste al modelo doble recíproco para describir la relación entre DIAMETRO ECUATORIAL mm y ALTURA m.s.n.m. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{DIAMETRO ECUATORIAL mm} = 1/(0,135082 - 37,8144/\text{ALTURA m.s.n.m})$$

Dado que el  $\alpha$  es inferior a 0.05, existe relación estadísticamente significativa entre DIAMETRO ECUATORIAL mm y ALTURA m.s.n.m para un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 78,5428% de la variabilidad en DIAMETRO ECUATORIAL mm. El coeficiente de correlación es igual a -0,886244, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

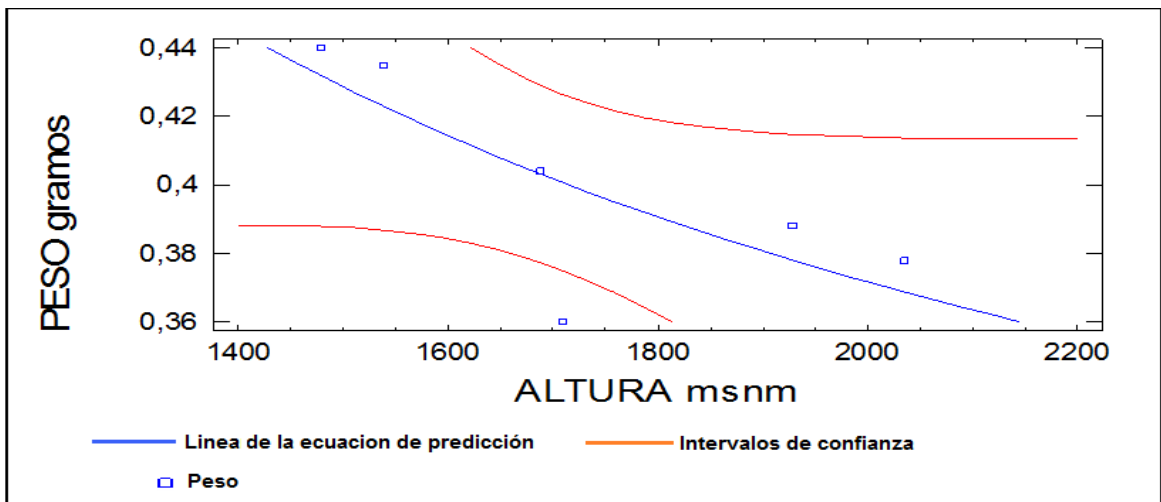
- **Café Lavado**

Tabla 8. Propiedades físicas del café lavado variedad Colombia (*Coffea arabica* L.)

FINCA	ALTURA (m.s.n.m)	PESO (g)	DIAMETRO POLAR(mm)	DIAMETRO ECUATORIAL (mm)
EL MAYO	1479	0,440	11,398	7,440
LA QUEBRADA	1538	0,435	12,144	7,876
EL GUAYABILLO	1688	0,404	11,550	7,500
LA FALDA	1709	0,360	11,205	7,315
EL GUAICO	1929	0,388	10,550	7,147
EL ALTO	2035	0,378	10,850	7,225

- **Peso**

Figura 7. Peso café lavado variedad Colombia (Coffea arabica L.) versus altura (m.s.n.m.)



- Análisis de Regresión - Modelo Inverso-X:  $Y = a + b/X$
- Variable dependiente: PESO gramos
- Variable independiente: ALTURA m.s.n.m
- $\alpha$ : 0,0731
- Coeficiente de Correlación = 0,77333
- R-cuadrado = 59,34%

La salida muestra los resultados del ajuste al modelo recíproco-X para describir la relación entre PESO gramos y ALTURA m.s.n.m. La ecuación del modelo ajustado es:

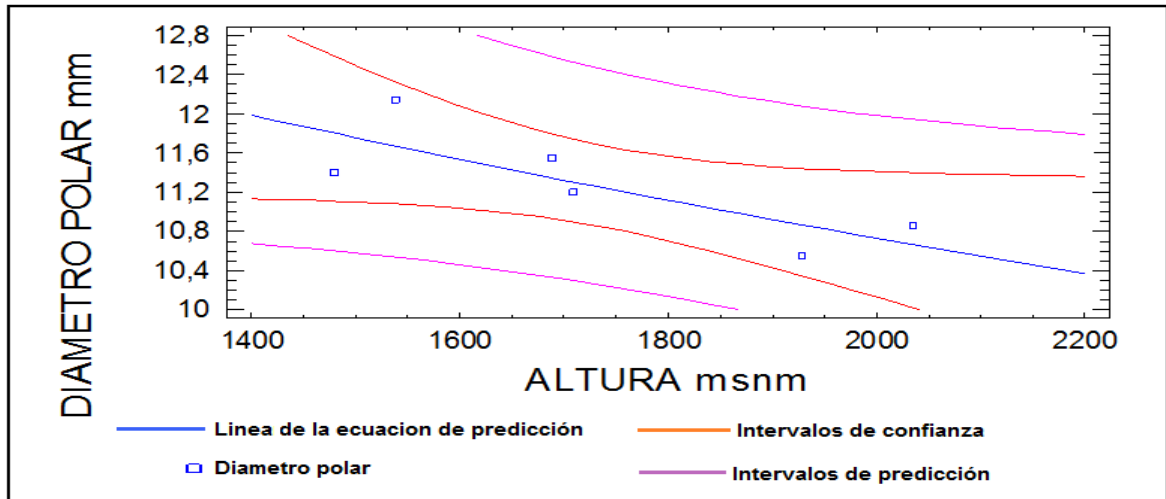
$$\text{PESO gramos} = 0,200973 + 341,283/\text{ALTURA m.s.n.m}$$

Dado que el  $\alpha$  es inferior a 0.10, existe relación estadísticamente significativa entre PESO gramos y ALTURA m.s.n.m para un nivel de confianza del 90%.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 59,3413% de la variabilidad en PESO gramos. El coeficiente de correlación es igual a 0,770333, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables. El error estándar de la estimación muestra la.

- **Diámetro Polar**

Figura 8. Diámetro polar café lavado variedad Colombia (Coffea arabica L.) versus altura (m.s.n.m.).



- Análisis de Regresión - Modelo Inverso-Y:  $Y = 1/(a + b \cdot X)$
- Variable dependiente: DIAMETRO POLAR mm
- Variable independiente: ALTURA m.s.n.m
- $\alpha$ : 0,0527
- Coeficiente de Correlación = 0,80617
- R-cuadrado = 64,991%

La salida muestra los resultados del ajuste al modelo recíproco-Y para describir la relación entre DIAMETRO POLAR mm y ALTURA m.s.n.m. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{DIAMETRO POLAR mm} = 1/(0,0607412 + 0,0000162277 \cdot \text{ALTURA m.s.n.m})$$

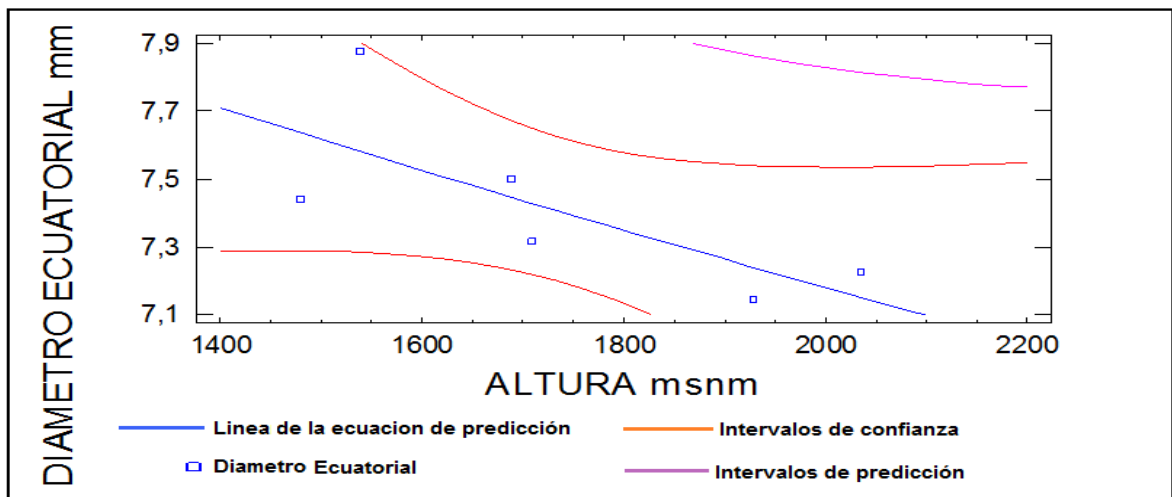
Dado que el  $\alpha$  en la tabla ANOVA es inferior a 0.10, existe relación estadísticamente significativa entre DIAMETRO POLAR mm y ALTURA m.s.n.m para un nivel de confianza del 90%.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 64,9916% de la

variabilidad en DIAMETRO POLAR mm. El coeficiente de correlación es igual a 0,806173, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

- **Diámetro Ecuatorial**

Figura 9. Diámetro ecuatorial café lavado variedad Colombia (Coffea arabica L.) versus altura (m.s.n.m.).



- Análisis de Regresión - Modelo Lineal  $Y = a + b \cdot X$
- Variable dependiente: DIAMETRO ECUATORIAL mm
- Variable independiente: ALTURA m.s.n.m
- $\alpha$ : 0,0865
- Coeficiente de Correlación = 0,749218
- R-cuadrado = 56,13%

La salida muestra los resultados del ajuste al modelo recíproco-Y para describir la relación entre DIAMETRO ECUATORIAL mm y ALTURA m.s.n.m. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{DIAMETRO ECUATORIAL mm} = 1 / (0,107371 + 0,0000159486 \cdot \text{ALTURA m.s.n.m})$$

Dado que el  $\alpha$  es inferior a 0.10, existe relación estadísticamente significativa entre DIAMETRO ECUATORIAL mm y ALTURA m.s.n.m para un nivel de confianza del 90%.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 56,1327% de la variabilidad en DIAMETRO ECUATORIAL mm. El coeficiente de correlación es igual a 0,749218, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

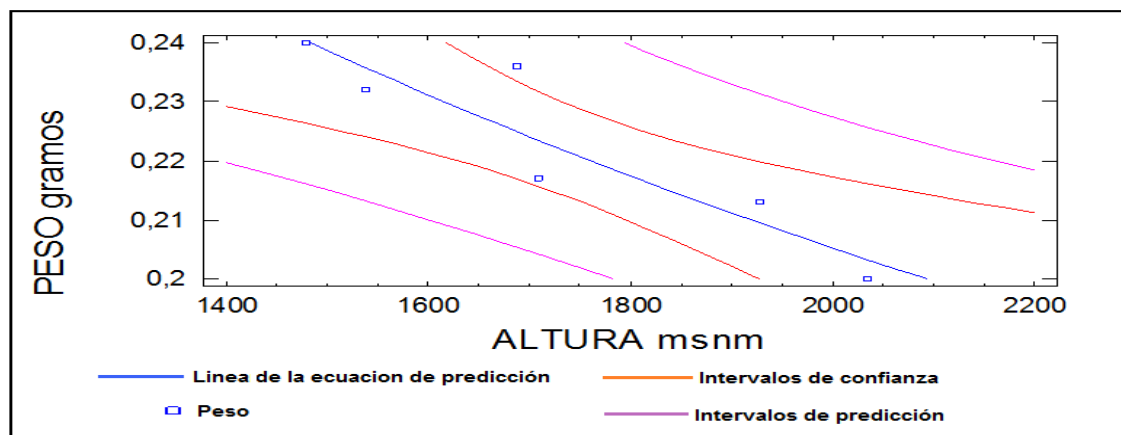
- **Café Pergamino**

Tabla 9. Peso del café pergamino variedad Colombia (*Coffea arabica* L.)

FINCA	ALTURA (m.s.n.m)	PESO (g)
EL MAYO	1479	0,240
LA QUEBRADA	1538	0,232
EL GUAYABILLO	1688	0,236
LA FALDA	1709	0,217
EL GUAICO	1929	0,213
EL ALTO	2035	0,200

- **Peso**

Figura 10. Peso café pergamino variedad Colombia (*Coffea arabica* L.) versus altura (m.s.n.m.)



- Análisis de Regresión - Modelo Inverso-Y:  $Y = 1/(a + b \cdot X)$
- Variable dependiente: PESO gramos.
- Variable independiente: ALTURA m.s.n.m
- $\alpha$ : 0,0093

- Coeficiente de Correlación = 0,92012
- R-cuadrado = 84,66 %

La salida muestra los resultados del ajuste al modelo recíproco-Y para describir la relación entre PESO gramos y ALTURA m.s.n.m. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{PESO gramos} = 1/(2,14369 + 0,00136397 * \text{ALTURA m.s.n.m})$$

Dado que el  $\alpha$  es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre PESO gramos y ALTURA m.s.n.m para un nivel de confianza del 99%.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 84,6621% de la variabilidad en PESO gramos. El coeficiente de correlación es igual a 0,92012, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.

- **Café Almendra**

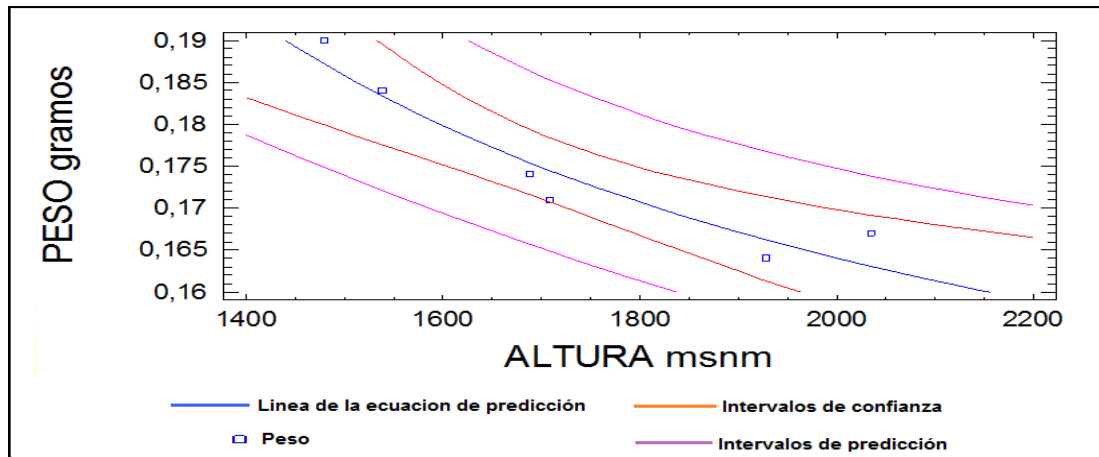
Tabla 10. Peso del café almendra variedad Colombia (*Coffea arabica* L.).

FINCA	ALTURA (m.s.n.m)	PESO (g)
EL MAYO	1479	0,190
LA QUEBRADA	1538	0,184
EL GUAYABILLO	1688	0,174
LA FALDA	1709	0,171
EL GUAICO	1929	0,164
EL ALTO	2035	0,167

- **Peso**



Figura 11. Peso café almendra variedad Colombia (Coffea arabica L.) versus altura (m.s.n.m.)



- Análisis de Regresión - Modelo Doble Inverso:  $Y = 1/(a + b/X)$
- Variable dependiente: PESO gramos
- Variable independiente: ALTURA m.s.n.m
- $\alpha$ : 0,0035
- Coeficiente de Correlación = -0,9511
- R-cuadrado = 90,45 %

La salida muestra los resultados del ajuste al modelo doble recíproco para describir la relación entre PESO gramos y ALTURA m.s.n.m. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{PESO gramos} = 1/(8,23243 - 4273,57/\text{ALTURA m.s.n.m})$$

Dado que el  $\alpha$  en la tabla ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre PESO gramos y ALTURA m.s.n.m para un nivel de confianza del 99%.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 90,4594% de la variabilidad en PESO gramos. El coeficiente de correlación es igual a -0,951101, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.

#### 4.2.2.2 Variedad Castillo (*Coffea arabica* L.):

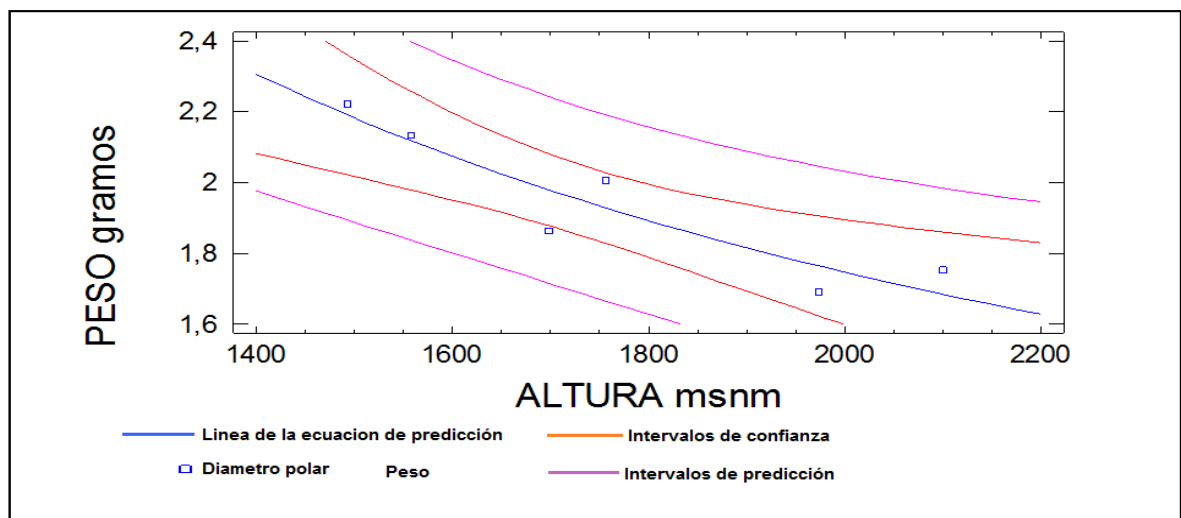
- **Café Cereza**

Tabla 11. Propiedades físicas del café cereza variedad Castillo (*Coffea arabica* L.).

FINCA	ALTURA (m.s.n.m)	PESO (g)	DIAMETRO POLAR (mm)	DIAMETRO ECUATORIAL (mm)
SAN MATEO	1493	2,220	16,135	14,005
EL CAÑAVERAL	1558	2,133	16,220	14,099
EL HUECO	1698	1,864	15,763	13,272
CHARCO VERDE	1756	2,007	15,860	13,620
LA PLANADA	1974	1,690	15,423	13,342
LA ESPERANZA	2101	1,753	15,333	13,167

- **Peso**

Figura 12. Peso café cereza variedad Castillo (*Coffea arabica* L.) versus altura (m.s.n.m.)



- Análisis de Regresión - Modelo Inverso-Y:  $Y = 1/(a + b \cdot X)$
- Variable dependiente: PESO gramos
- Variable independiente: ALTURA m.s.n.m
- $\alpha$ : 0,0075

- Coeficiente de Correlación = 0,9284
- R-cuadrado = 86,203 %

La salida muestra los resultados del ajuste al modelo recíproco-X para describir la relación entre PESO gramos y ALTURA m.s.n.m. La ecuación del modelo ajustado es:

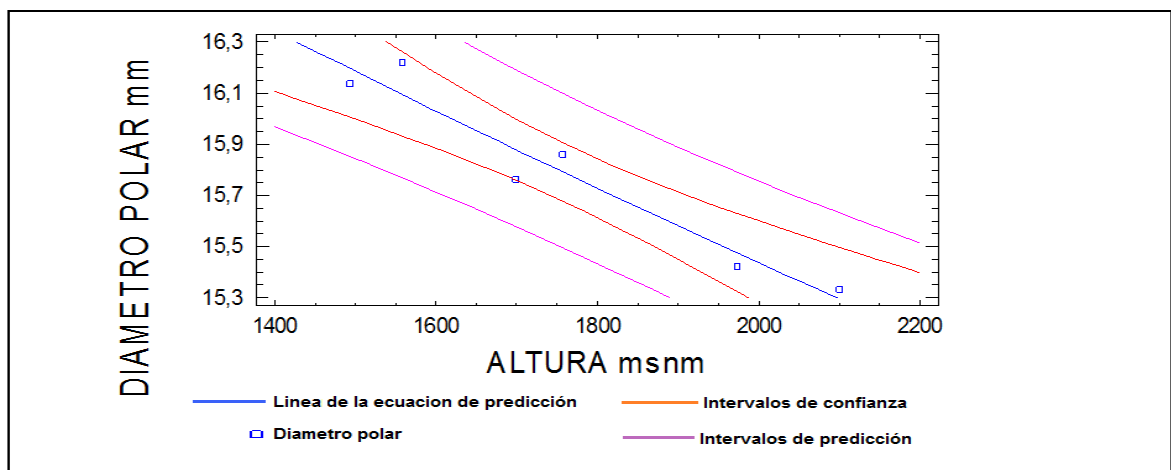
$$\text{PESO gramos} = 0,440325 + 2613,99/\text{ALTURA m.s.n.m}$$

Dado que el  $\alpha$  es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre PESO gramos y ALTURA m.s.n.m para un nivel de confianza del 99%.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 86,2036% de la variabilidad en PESO gramos. El coeficiente de correlación es igual a 0,928459, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.

- **Diametro Polar**

Figura 13. Diámetro polar café cereza variedad Castillo (Coffea arabica L.) versus altura (m.s.n.m.)



- Análisis de Regresión - Modelo Inverso-Y:  $Y = 1/(a + b \cdot X)$
- Variable dependiente: DIAMETRO POLAR mm
- Variable independiente: ALTURA m.s.n.m
- $\alpha$ : 0,0014

- Coeficiente de Correlación = 0,9687
- R-cuadrado = 93,8562%

La salida muestra los resultados del ajuste al modelo recíproco-Y para describir la relación entre DIAMETRO POLAR mm y ALTURA m.s.n.m. La ecuación del modelo ajustado es:

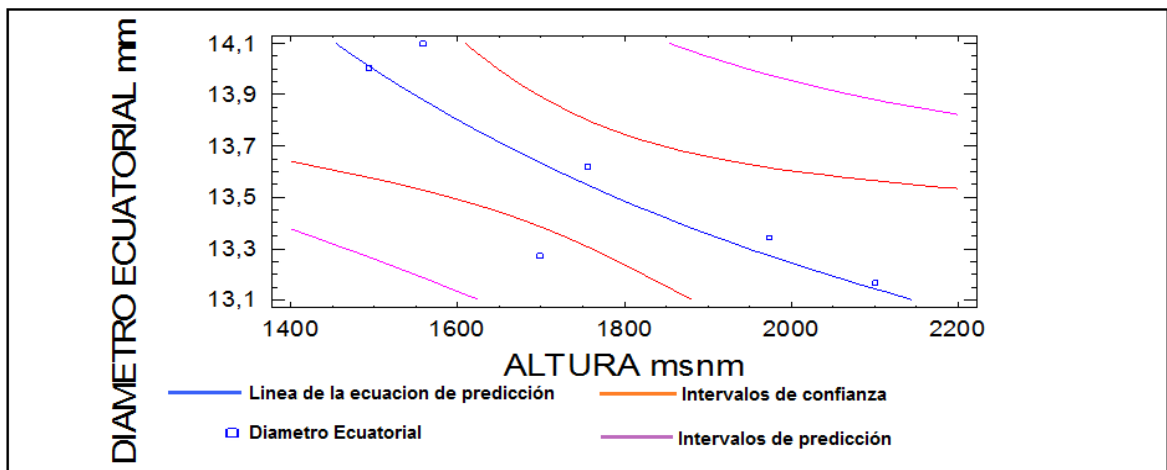
$$\text{DIAMETRO POLAR mm} = 1/(0,0528283 + 0,00000597427 \cdot \text{ALTURA m.s.n.m})$$

Dado que el  $\alpha$  es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre DIAMETRO POLAR mm y ALTURA m.s.n.m para un nivel de confianza del 99%.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 93,8562% de la variabilidad en DIAMETRO POLAR mm. El coeficiente de correlación es igual a 0,968794, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables

- **Diámetro Ecuatorial**

Figura 14. Diámetro ecuatorial café cereza variedad Castillo (Coffea arabica L.) versus altura (m.s.n.m.)



- Análisis de Regresión - Modelo Doble Inverso:  $Y = 1/(a + b/X)$
- Variable dependiente: DIAMETRO ECUATORIAL mm

- Variable independiente: ALTURA m.s.n.m
- $\alpha$ : 0,0260
- Coeficiente de Correlación = -0,865251
- R-cuadrado = 74,8659 %

La salida muestra los resultados del ajuste al modelo doble recíproco para describir la relación entre DIAMETRO ECUATORIAL mm y ALTURA m.s.n.m. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{DIAMETRO ECUATORIAL mm} = 1/(0,0876958 - 24,381/\text{ALTURA m.s.n.m})$$

Dado que el  $\alpha$ es inferior a 0.05, existe relación estadísticamente significativa entre DIAMETRO ECUATORIAL mm y ALTURA m.s.n.m para un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 74,8659%de la variabilidad en DIAMETRO ECUATORIAL mm. El coeficiente de correlación es igual a -0,865251, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

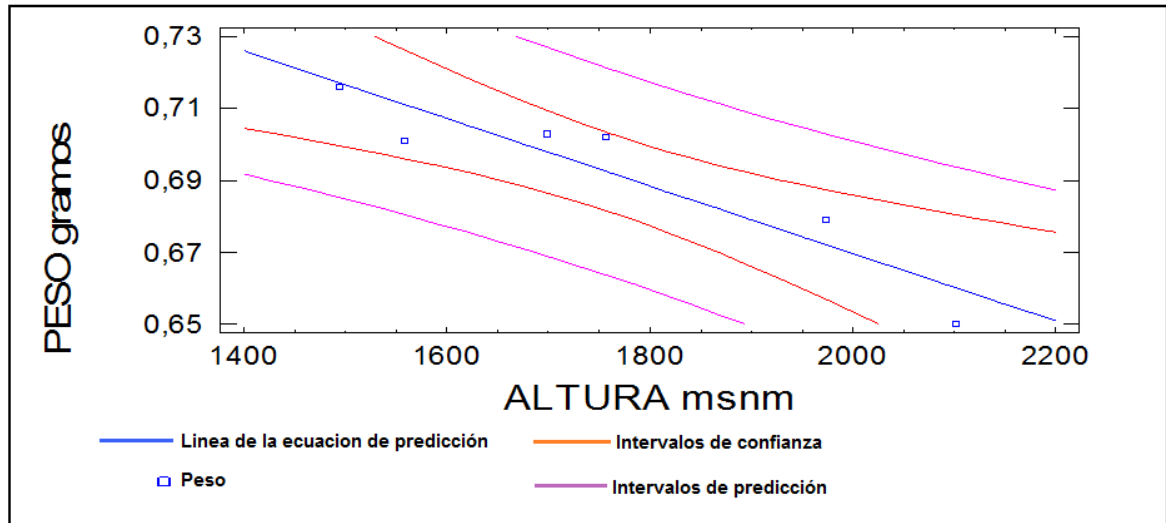
- **Café Baba**

Tabla 12. Propiedades físicas del café baba variedad Castillo (*Coffea arabica* L.).

FINCA	ALTURA (m.s.n.m)	PESO (g)	DIAMETRO POLAR (mm)	DIAMETRO ECUATORIAL (mm)
SAN MATEO	1493	0,716	14,157	10,095
EL CAÑAVERAL	1558	0,701	14,200	10,368
EL HUECO	1698	0,703	13,714	9,857
CHARCO VERDE	1756	0,702	13,609	9,571
LA PLANADA	1974	0,679	13,333	9,623
LA ESPERANZA	2101	0,650	13,423	9,476

- **Peso**

Figura 15. Peso café baba variedad Castillo (Coffea arabica L.) versus altura (m.s.n.m.)



- Análisis de Regresión - Modelo Lineal  $Y = a + b \cdot X$
- Variable dependiente: PESO gramos
- Variable independiente: ALTURA m.s.n.m
- $\alpha$ : 0,0068
- Coeficiente de Correlación = -0,9319
- R-cuadrado = 86,8457%

La salida muestra los resultados del ajuste al modelo lineal para describir la relación entre PESO gramos y ALTURA m.s.n.m. La ecuación del modelo ajustado es

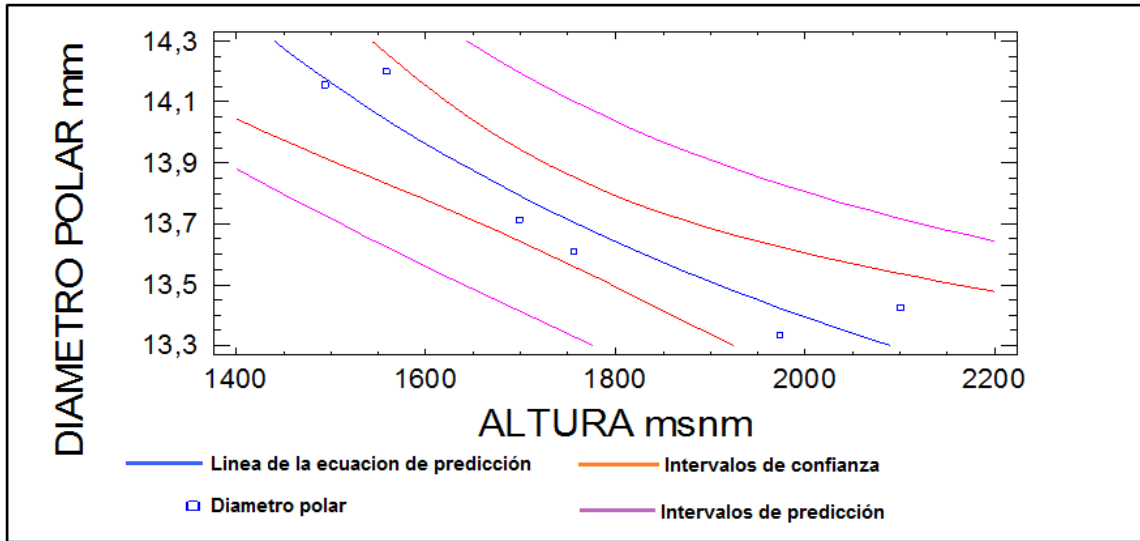
$$\text{PESO gramos} = 0,85708 - 0,0000937126 \cdot \text{ALTURA m.s.n.m}$$

Dado que el  $\alpha$  es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre PESO gramos y ALTURA m.s.n.m para un nivel de confianza del 99%.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 86,8457% de la variabilidad en PESO gramos. El coeficiente de correlación es igual a -0,93191, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.

- **Diámetro Polar**

Figura 16. Diámetro polar café baba variedad Castillo (Coffea arabica L.) versus altura (m.s.n.m.)



- Análisis de Regresión - Modelo Doble Inverso:  $Y = 1/(a + b/X)$
- Variable dependiente: DIAMETRO POLAR mm
- Variable independiente: ALTURA m.s.n.m
- $\alpha$ : 0,0040
- Coeficiente de Correlación = -0,948025
- R-cuadrado = 89,8751 %

La salida muestra los resultados del ajuste al modelo doble recíproco para describir la relación entre DIAMETRO POLAR mm y ALTURA m.s.n.m. La ecuación del modelo ajustado es:

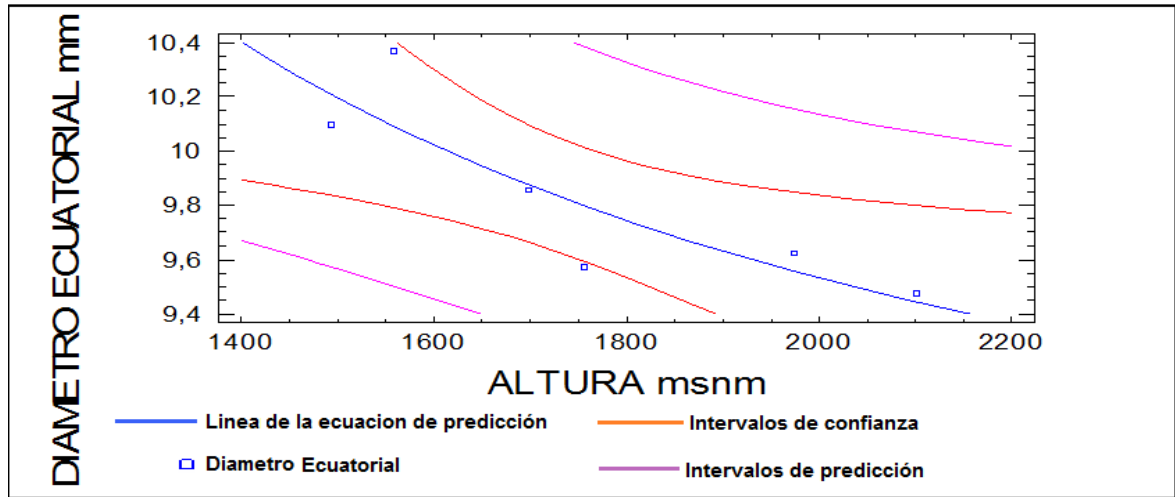
$$\text{DIAMETRO POLAR mm} = 1/(0,086823 - 24,3235/\text{ALTURA m.s.n.m})$$

Dado que el  $\alpha$  es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre DIAMETRO POLAR mm y ALTURA m.s.n.m para un nivel de confianza del 99%. El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 89,8751% de la variabilidad en DIAMETRO POLAR mm. El coeficiente de correlación es igual a -

0,948025, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.

- **Diámetro Ecuatorial**

Figura 17. Diámetro ecuatorial café baba variedad Castillo (Coffea arabica L.) versus altura (m.s.n.m.)



- Análisis de Regresión - Modelo Inverso-Y:  $Y = 1/(a + b \cdot X)$
- Variable dependiente: DIAMETRO ECUATORIAL mm
- Variable independiente: ALTURA m.s.n.m
- $\alpha$ : 0,0234
- Coeficiente de Correlación = -0,8724
- R-cuadrado = 76,11 %

La salida muestra los resultados del ajuste al modelo doble recíproco para describir la relación entre DIAMETRO ECUATORIAL mm y ALTURA m.s.n.m. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{DIAMETRO ECUATORIAL mm} = 1/(0,125338 - 40,8789/\text{ALTURA m.s.n.m})$$

Dado que el  $\alpha$  es inferior a 0.05, existe relación estadísticamente significativa entre DIAMETRO ECUATORIAL mm y ALTURA m.s.n.m para un nivel de confianza del 95%.



El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 76,1129% de la variabilidad en DIAMETRO ECUATORIAL mm. El coeficiente de correlación es igual a -0,872427, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables. El error estándar

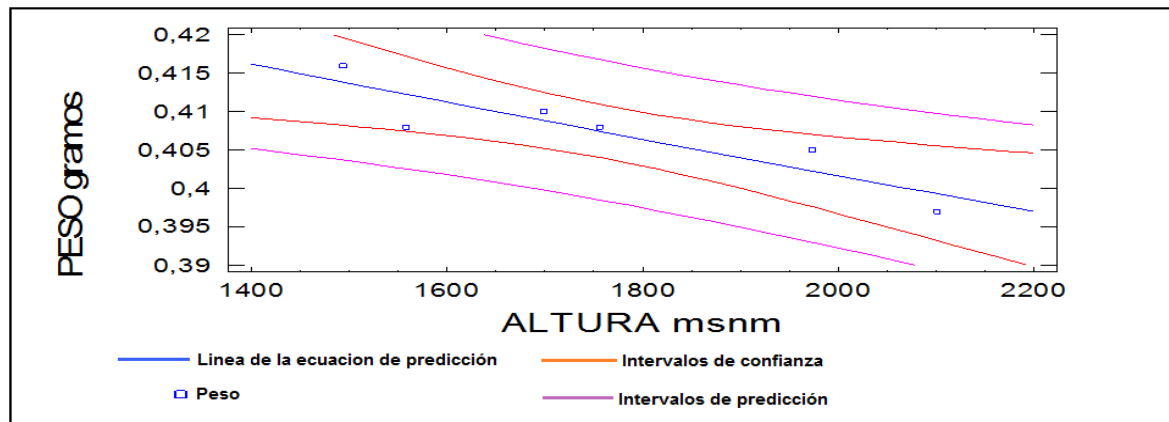
- **Café Lavado**

Tabla 13. Propiedades físicas del café lavado variedad Castillo (*Coffea arabica* L.)

FINCA	ALTURA (m.s.n.m)	PESO (g)	DIAMETRO POLAR (mm)	DIAMETRO ECUATORIAL (mm)
SAN MATEO	1493	0,416	12,145	7,975
EL CAÑAVERAL	1558	0,408	12,288	8,146
EL HUECO	1698	0,410	11,633	7,827
CHARCO VERDE	1756	0,408	11,797	7,686
LA PLANADA	1974	0,405	11,733	7,678
LA ESPERANZA	2101	0,397	11,529	7,368

- **Peso**

Figura 18. Peso café lavado variedad Castillo (*Coffea arabica* L.) versus altura (m.s.n.m.)



- Análisis de Regresión - Modelo Inverso-Y:  $Y = 1/(a + b \cdot X)$
- Variable dependiente: PESO gramos
- Variable independiente: ALTURA m.s.n.m
- $\alpha$ : 0,0141

- Coeficiente de Correlación = 0,901318
- R-cuadrado = 81,23 %

La salida muestra los resultados del ajuste al modelo recíproco-Y para describir la relación entre PESO gramos y ALTURA m.s.n.m. La ecuación del modelo ajustado es

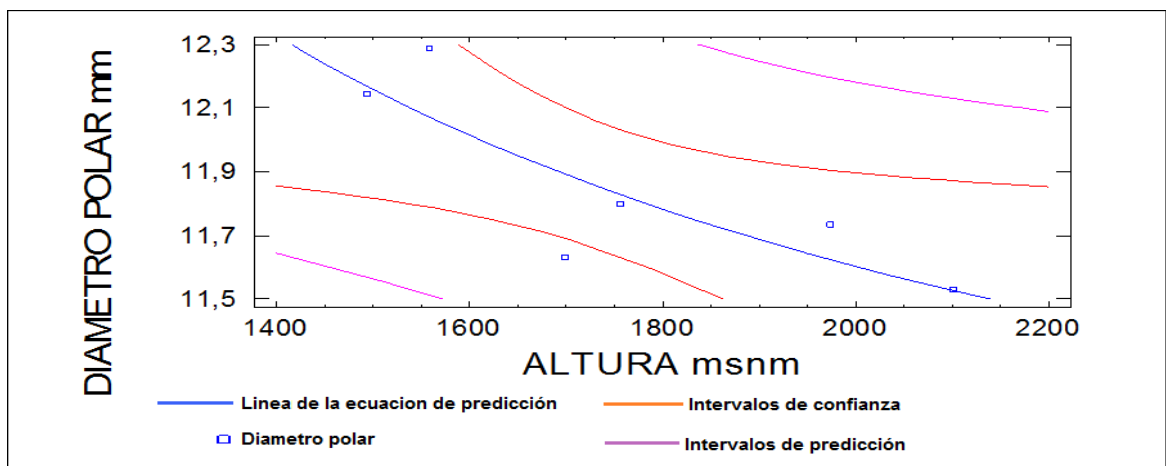
$$\text{PESO gramos} = 1/(2,19995 + 0,000144908 * \text{ALTURA m.s.n.m})$$

Dado que el  $\alpha$  en la tabla ANOVA es inferior a 0.05, existe relación estadísticamente significativa entre PESO gramos y ALTURA m.s.n.m para un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 81,2374% de la variabilidad en PESO gramos. El coeficiente de correlación es igual a 0,901318, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.

- **Diámetro Polar**

Figura 19. Diámetro polar café lavado variedad Castillo (Coffea arabica L.) versus altura (m.s.n.m.)



- Análisis de Regresión - Modelo Doble Inverso:  $Y = 1/(a + b/X)$
- Variable dependiente: DIAMETRO POLAR mm
- Variable independiente: ALTURA m.s.n.m
- $\alpha$ : 0,0346

- Coeficiente de Correlación = -0,843977
- R-cuadrado = 71,2297%

La salida muestra los resultados del ajuste al modelo doble recíproco para describir la relación entre DIAMETRO POLAR mm y ALTURA m.s.n.m. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{DIAMETRO POLAR mm} = 1/(0,0980059 - 23,6401/\text{ALTURA m.s.n.m})$$

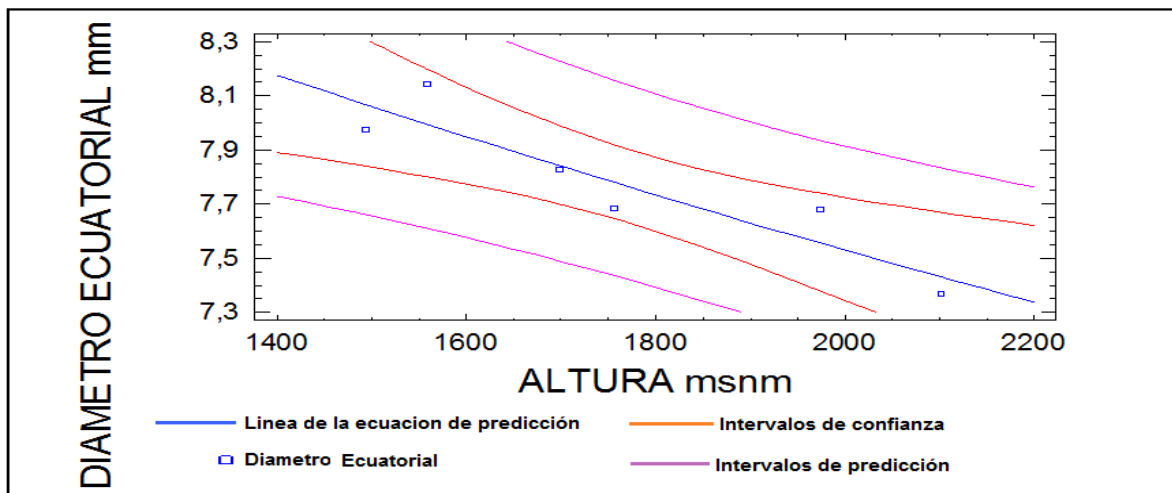
Dado que el  $\alpha$  es inferior a 0.05, existe relación estadísticamente significativa entre DIAMETRO POLAR mm y ALTURA m.s.n.m para un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 71,2297% de la variabilidad en DIAMETRO POLAR mm.

El coeficiente de correlación es igual a -0,843977, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables. El error estándar de la estimación.

- **Diámetro Ecuatorial**

Figura 20. Diámetro polar café lavado variedad Castillo (Coffea arabica L.) versus altura (m.s.n.m.)



- Análisis de Regresión - Modelo Inverso-Y:  $Y = 1/(a + b \cdot X)$
- Variable dependiente: DIAMETRO ECUATORIAL mm

- Variable independiente: ALTURA m.s.n.m
- $\alpha$ : 0,0097
- Coeficiente de Correlación = 0,91847
- R-cuadrado = 84,359 %

La salida muestra los resultados del ajuste al modelo recíproco-Y para describir la relación entre DIAMETRO ECUATORIAL mm y ALTURA m.s.n.m. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{DIAMETRO ECUATORIAL mm} = 1/(0,0978273 + 0,0000174878 * \text{ALTURA m.s.n.m})$$

Dado que el  $\alpha$  es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre DIAMETRO ECUATORIAL mm y ALTURA m.s.n.m para un nivel de confianza del 99%.

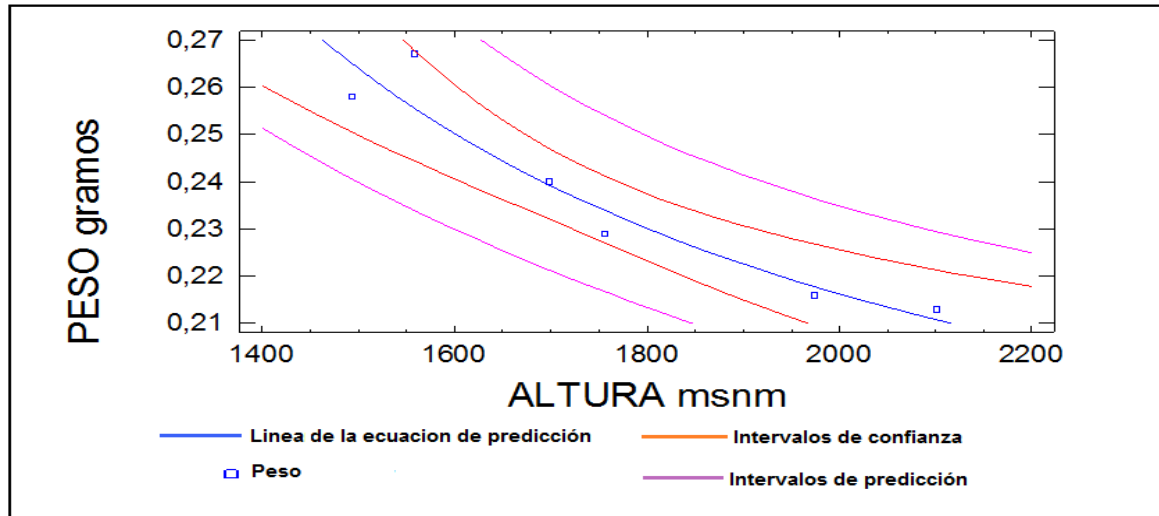
El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 84,3595% de la variabilidad en DIAMETRO ECUATORIAL mm. El coeficiente de correlación es igual a 0,918475, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.

- **Café Pergamino**

Tabla 14. Peso del café pergamino variedad Castillo (*Coffea arabica* L.).

FINCA	ALTURA (m.s.n.m)	PESO (g)
SAN MATEO	1493	0,258
EL CAÑAVERAL	1558	0,267
EL HUECO	1698	0,240
CHARCO VERDE	1756	0,229
LA PLANADA	1974	0,216
LA ESPERANZA	2101	0,213

Figura 21. Peso café pergamino variedad Castillo (Coffea arabica L.) versus altura (m.s.n.m.)



- Análisis de Regresión - Modelo Doble Inverso:  $Y = 1/(a + b/X)$
- Variable dependiente: PESO gramos
- Variable independiente: ALTURA m.s.n.m
- $\alpha$ : 0,0017
- Coeficiente de Correlación = -0,965656
- R-cuadrado = 93,2491 %

La salida muestra los resultados del ajuste al modelo doble recíproco para describir la relación entre PESO gramos y ALTURA m.s.n.m. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{PESO gramos} = 1/(7,12747 - 5006,55/\text{ALTURA m.s.n.m})$$

Dado que el  $\alpha$  en la tabla ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre PESO gramos y ALTURA m.s.n.m para un nivel de confianza del 99%.

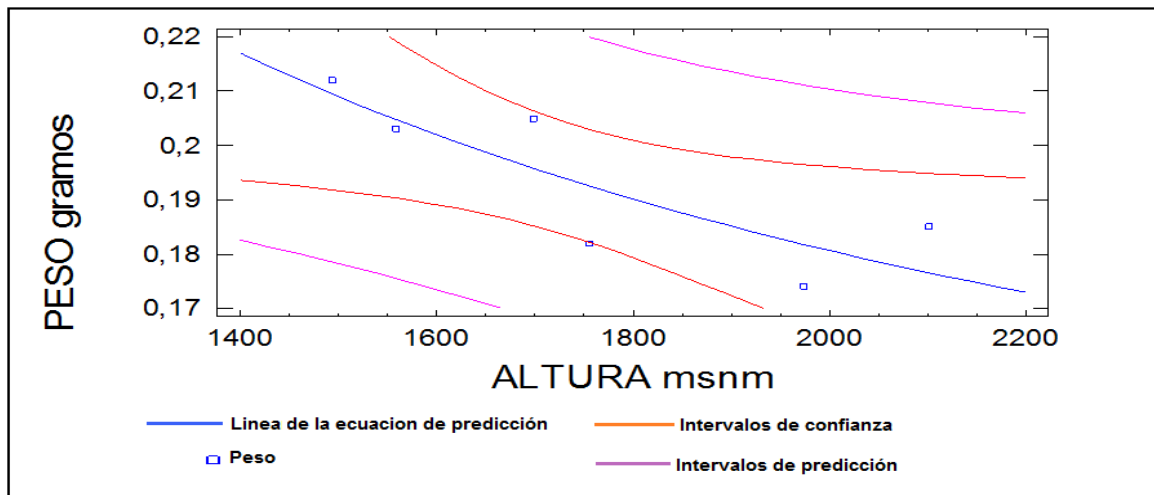
El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 93,2491% de la variabilidad en PESO gramos. El coeficiente de correlación es igual a -0,965656, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.

- **Café Almendra**

Tabla 15. Peso del café almendra variedad Castillo (*Coffea arabica* L.).

FINCA	ALTURA (m.s.n.m)	PESO (g)
SAN MATEO	1493	0,212
EL CAÑAVERAL	1558	0,203
EL HUECO	1698	0,205
CHARCO VERDE	1756	0,182
LA PLANADA	1974	0,174
LA ESPERANZA	2101	0,185

Figura 22. Peso café almendra variedad Castillo (*Coffea arabica* L.) versus altura (m.s.n.m.)



- Análisis de Regresión - Modelo Inverso-X:  $Y = a + b/X$
- Variable dependiente: PESO gramos
- Variable independiente: ALTURA m.s.n.m
- $\alpha$ : 0,0357
- Coeficiente de Correlación = 0,841515
- R-cuadrado = 70,8147%

La salida muestra los resultados del ajuste al modelo recíproco-X para describir la

relación entre PESO gramos y ALTURA m.s.n.m. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{PESO gramos} = 0,0956761 + 170,001/\text{ALTURA m.s.n.m}$$

Dado que el  $\alpha$  es inferior a 0.05, existe relación estadísticamente significativa entre PESO gramos y ALTURA m.s.n.m para un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 70,8147% de la variabilidad en PESO gramos. El coeficiente de correlación es igual a 0,841515, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

Tabla 16. Promedio e intervalos para el peso de un grano de café variedad Colombia y Castillo (*Coffea arabica* L.) en los diferentes estados.

PESO (gramos)	Estimación	Variedad	
		Colombia	Castillo
Un fruto	Media	1,776	1,944
	LI	1,648	1,723
	LS	1,904	2,166
Un grano de café en baba	Media	0,572	0,692
	LI	0,543	0,667
	LS	0,602	0,717
Un grano de café lavado	Media	0,401	0,407
	LI	0,367	0,401
	LS	0,434	0,414
Un grano de café pergamino	Media	0,223	0,237
	LI	0,207	0,214
	LS	0,239	0,260
Un grano de café almendra	Media	0,175	0,194
	LI	0,164	0,178
	LS	0,186	0,209

LI y LS: Límites inferior y superior para el promedio, con un coeficiente de confianza del 95%.

En la tabla 16 se muestra las medias y los intervalos de confianza de cada uno de los estados del café para variedad Colombia y Castillo (*Coffea arabica* L.), analizadas con el contraste t-test de comparación de medias, bajo estos resultados se demostró no que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos variedades para los estados de café cereza, café lavado y café pergamino, pero existe una diferencia estadísticamente significativa para los estados café baba y café almendra, para un nivel de confianza del 95,0%, siendo el café variedad castillo el que obtuvo mayor peso en los diferentes estados del café.

#### **4.2.3 Análisis granulométrico del café almendra:**

**4.2.3.1 Variedad Colombia (*Coffea arabica* L.).** En la tabla No. 17 se presenta el promedio para la variable porcentaje de merma, de la variedad Colombia, con los datos obtenidos se determinó que hay diferencia estadísticamente significativa (figura 24), entre el porcentaje de merma ( $\alpha=0,0014$ ), con respecto a las diferentes alturas, a medida que aumenta la altura también aumenta el porcentaje de merma, la figura 25 muestra los intervalos de confianza para cada altura, al comparar los resultados obtenidos del café de la variedad Colombia 18,156% en promedio, con los presentados por (PUERTA., 1998), para las variedades Caturra 18,3% y Borbón 18,5% se evidencia una ventaja para los productores en la variedad Colombia.

De otra parte, se determinó que no existe relación estadísticamente significativa, entre el porcentaje de café supremo (malla 17) y café Premium (malla 18), retenido por encima de malla 17/64 de pulgada de diámetro, con respecto a la altura, aunque se observa (figura 23) que el porcentaje de café almendra retenido disminuye a medida que aumenta la altura, esto debido a que a medida que aumenta la altura disminuye el tamaño de los granos en todos sus estados.

Respecto al porcentaje de pulpa, se determinó que existe relación estadísticamente significativa (figura 26), y se muestra sus intervalos de confianza (figura 27),



demonstrando que a medida que aumenta la altura disminuye el porcentaje de pulpa.

Tabla 17. Descripción de las características físicas del grano variedad Colombia (*Coffea arabica L.*) por cada finca objeto de estudio en esta investigación.

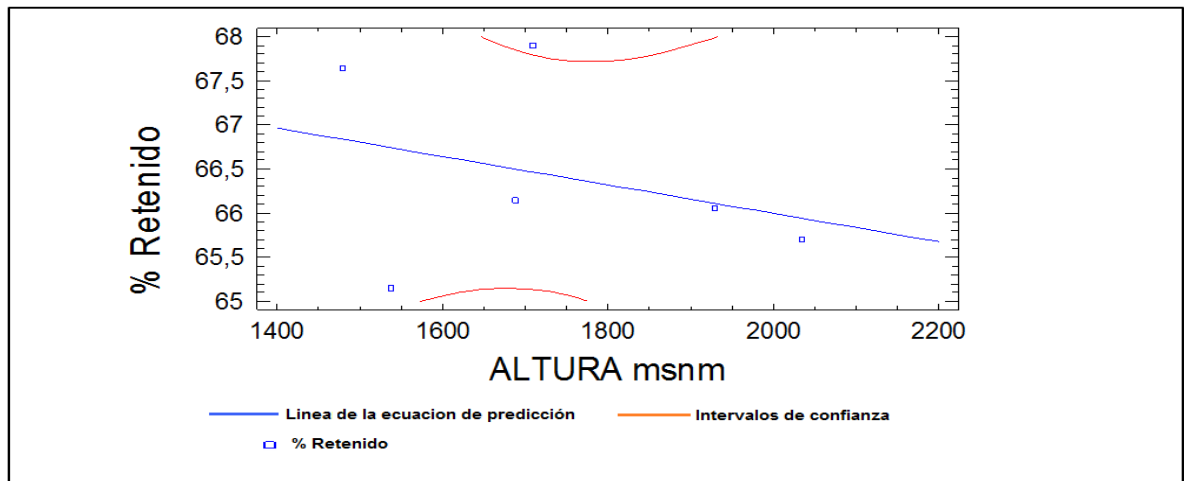
Altura m.s.n.m	Finca	Granulometría		%Merma**	% Humedad Pergamino	% Humedad Almendra	% Pulpa**
		Malla	%*				
1479	EL MAYO	18	34,8	17,967 ± 0,2516	10,9	11,4	39,01 ± 1,736
		17	32,85				
		16	15,75				
		15	9,7				
		14	4,4				
		13	1,75				
		0	0,75				
1538	LA QUEBRADA	18	40,05	18,023 ± 0,2155	11,3	11,7	38,273 ± 1,080
		17	25,1				
		16	16,75				
		15	11,5				
		14	4,55				
		13	1,25				
		0	0,8				
1688	EL GUAYABILLO	18	38,55	18,171 ± 0,1880	11,2	11,6	38,267 ± 1,008
		17	27,60				
		16	17,25				
		15	10,00				
		14	4,05				
		13	1,75				
		0	0,80				
1709	LA FALDA	18	43,30	18,0626 ± 0,1496	11,4	11,9	35,863 ± 0,602
		17	24,60				
		16	16,50				
		15	10,00				
		14	4,10				
		13	1,00				

Altura m.s.n.m	Finca	Granulometría		%Merma**	% Humedad Pergamino	% Humedad Almendra	% Pulpa**
		Malla	%*				
		0	0,50				
1929	EL GUAICO	18	37,3	18,3457 ± 0,1322	11,3	11,8	36,723 ± 0,688
		17	28,75				
		16	14,4				
		15	9,35				
		14	5,25				
		13	3,85				
		0	1,1				
2035	EL ALTO	18	35,65	18,3663 ± 0,1081	11	11,7	35,270 ± 0,656
		17	30,05				
		16	16,40				
		15	10,35				
		14	4,75				
		13	2,25				
		0	0,55				

\* Valores promedios (n = 3)

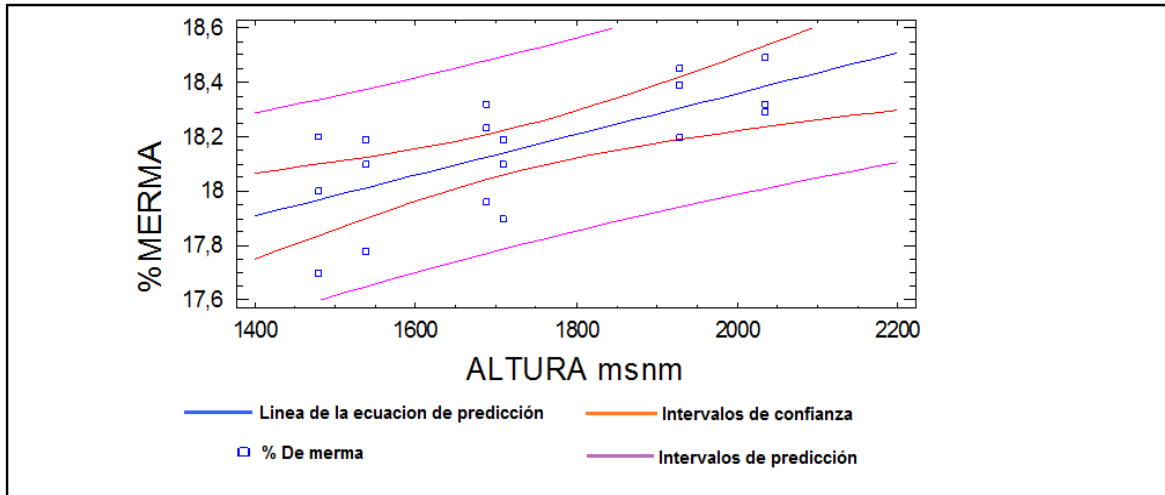
\*\*Valores promedios (n = 3) ± desviación estándar

Figura 23. Porcentaje de almendra retenida en las mallas 17 y 18 variedad Colombia (Coffea arabica L.) versus altura (m.s.n.m.)



- **Merma**

Figura 24. Porcentaje de merma variedad Colombia (Coffea arabica L.) versus altura (m.s.n.m.)



Análisis de Regresión - Modelo Lineal  $Y = a + b \cdot X$

Variable dependiente: % MERMA

Variable independiente: ALTURA m.s.n.m

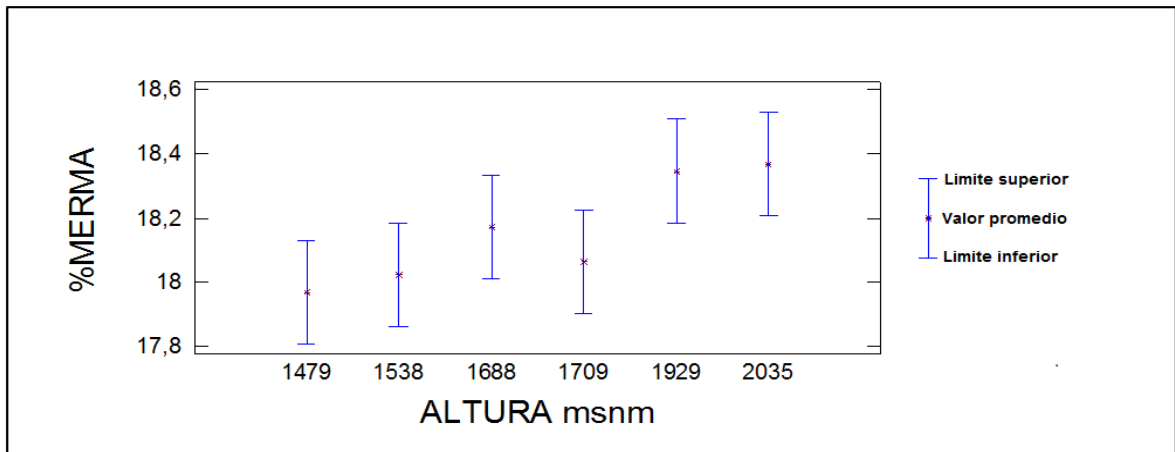
La salida muestra los resultados del ajuste al modelo lineal para describir la relación entre %MERMA VAR COLOMBIA y ALTURA m.s.n.m. La ecuación del modelo ajustado es

$$\%MERMA \text{ VAR COLOMBIA} = 16,8574 + 0,000750792 \cdot ALTURA \text{ m.s.n.m}$$

Dado que el  $\alpha$  es 0,0014 inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre %MERMA VAR COLOMBIA y ALTURA m.s.n.m para un nivel de confianza del 99%.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 48,3308% de la variabilidad en %MERMA VAR COLOMBIA. El coeficiente de correlación es igual a 0,695203, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

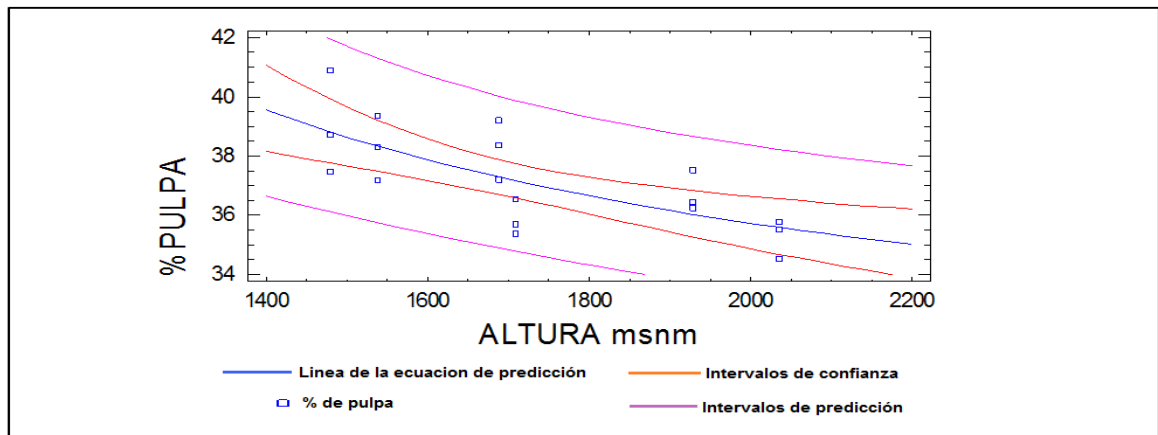
Figura 25. Diagrama de media e intervalos al 95 % de la LSD de Fisher para la



variable Porcentaje de merma variedad Colombia (Coffea arabica L.)

- **Pulpa**

Figura 26. Porcentaje de pulpa variedad Colombia (Coffea arabica L.) versus altura (m.s.n.m.)



- Análisis de Regresión - Modelo Doble Inverso:  $Y = 1/(a + b/X)$
- Variable dependiente: %PULPA
- Variable independiente: ALTURA m.s.n.m

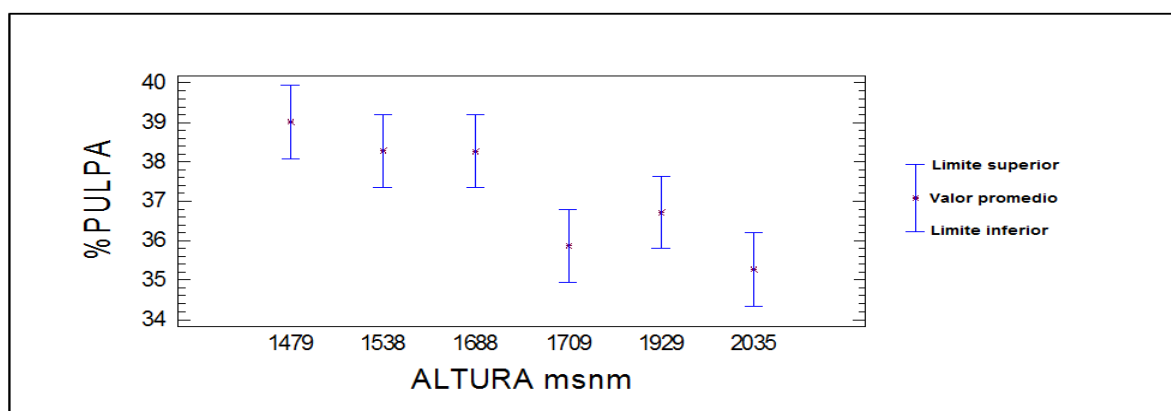
La salida muestra los resultados del ajuste al modelo doble recíproco para describir la relación entre %PULPA VAR COLOMBIA y ALTURA m.s.n.m. La ecuación del modelo ajustado es

$$\%PULPA \text{ VAR COLOMBIA} = 1/(0,0343103 - 12,6426/ALTURA \text{ m.s.n.m})$$

Dado que el  $\alpha$  es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre %PULPA VAR COLOMBIA y ALTURA m.s.n.m para un nivel de confianza del 99%.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 52,0599% de la variabilidad en %PULPA VAR COLOMBIA. El coeficiente de correlación es igual a -0,721526, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

Figura 27. Diagrama de media e intervalos al 95 % de la LSD de Fisher para la variable Porcentaje de pulpa variedad Colombia (Coffea arabica L.)



**4.2.3.2 Variedad Castillo (*Coffea arabica* L.).** La tabla 18 muestra el análisis granulométrico para las muestras de café variedad castillo, donde se determinó que existe relación estadísticamente significativa, respecto al porcentaje de café supremo (malla 17) y café Premium (malla 18), retenido por encima de malla 17/64 de pulgada de diámetro para variedad castillo ( $\alpha=0,0996$ ), con respecto a la altura, demostrando que en alturas bajas 1493 y 1558 m.s.n.m el porcentaje de café retenido es de 68,65% y 69,65% respectivamente, mayores que en alturas de 1975 y 2101 m.s.n.m donde los porcentajes de retención son de 60,2 y 64,7%. Sin embargo, sería necesario evaluar además de la altura las condiciones agronómicas del cultivo.

En el mismo sentido los anteriores resultados son superados por los reportados por Alvarado., *et al.* (2009), quienes encontraron que la proporción media del grano retenido sobre malla 17/64 de pulgada es de 80,8% y 84,3% para la variedad Castillo, asimismo “estos resultados son superados por la variedad Típica 76,4%”, Puerta (2000), variedad que se toma como referente para la selección del tamaño grande del grano. Todo esto debido a que la cosecha para este año 2016 en el cual se realizó esta investigación, fue afectada por la intensa sequía que azoto a la región, a causa del fenómeno del niño, dando la formación de grano averanado, lo cual significa que por falta de lluvias en el periodo de formación y crecimiento del fruto (entre cuatro a cinco meses antes de la recolección), no alcanzo el llenado total y por lo tanto toma una forma arrugada, es pequeño, de baja densidad y mal formado. Agronegocios (2016).

Con respecto a la variable porcentaje de merma, se estableció que existe diferencia estadísticamente significativa (figura 29), entre el porcentaje de merma ( $\alpha=0,0014$ ), con respecto a las diferentes alturas, a medida que aumenta la altura también aumenta el porcentaje de merma, la figura 30 muestra los intervalos de confianza para cada altura, al comparar los resultados obtenidos entre las dos variedades objeto de estudio de esta investigación, variedad Castillo 17,46% en promedio, variedad Colombia 18,156% en promedio, se evidencia una ventaja para los productores en la variedad Castillo.

Por otro lado, el porcentaje de pulpa, tiene una relación estadísticamente significativa (figura 31), y se muestra sus intervalos de confianza (figura 32), demostrando que a medida que aumenta la altura disminuye el porcentaje de pulpa, comparando las dos variedades se evidencia que el porcentaje de pulpa es mayor para variedad castillo con 38,799% en promedio que para variedad Colombia 37,234% en promedio.

Tabla 18. Descripción de las características físicas del grano variedad Castillo (*Coffea arabica* L.) por cada finca objeto de estudio en esta investigación.

Altura m.s.n.m	Finca	Granulometría		%Merma**	% Humedad pergamino	% Humedad almendra	% Pulpa**
		Malla	%*				
1493	SAN MATEO	18	35,30	17,09 ± 0,3651	11,4	11,8	40,677 ± 1,121
		17	33,35				
		16	16,25				
		15	8,70				
		14	3,90				
		13	1,75				
		0	0,75				
1558	EL CAÑAVERAL	18	39,3	17,2067 ± 0,4255	11,5	12	39,847 ± 1,165
		17	30,35				
		16	16,55				
		15	7,7				
		14	3,75				
		13	1,65				
		0	0,7				
1698	EL HUECO	18	36,30	17,2914 ± 0,2875	11,1	11,7	39,727 ± 0,765
		17	35,35				
		16	15,05				
		15	6,70				
		14	3,75				
		13	2,15				
		0	0,70				
1756	CHARCO VERDE	18	34,05	17,5006 ± 0,2856	10,9	11,3	38843 ± 0,993
		17	33,25				
		16	15,05				
		15	9,20				
		14	5,10				
		13	2,70				
		0	0,65				
1974	LA PLANADA	18	33,65	17,7853 ± 0,2770	11,3	11,6	37,547 ± 0,650
		17	26,55				
		16	19,05				
		15	11,9				
		14	5,75				
		13	2,55				
		0	0,55				

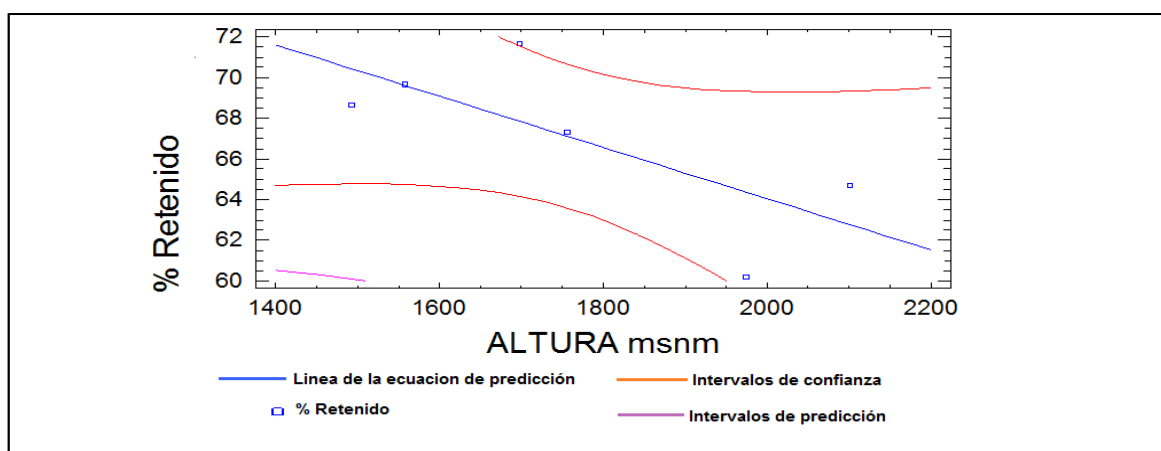
Tabla 18. (Continuación).

<b>2101</b>	<b>LA ESPERANZA</b>	18	33,65	17,8929 ± 0,3821	10,9	11,5	37,333 ± 0,929
		17	31,05				
		16	18,40				
		15	9,40				
		14	4,75				
		13	2,20				
		0	0,55				

\* Valores promedios (n = 3)

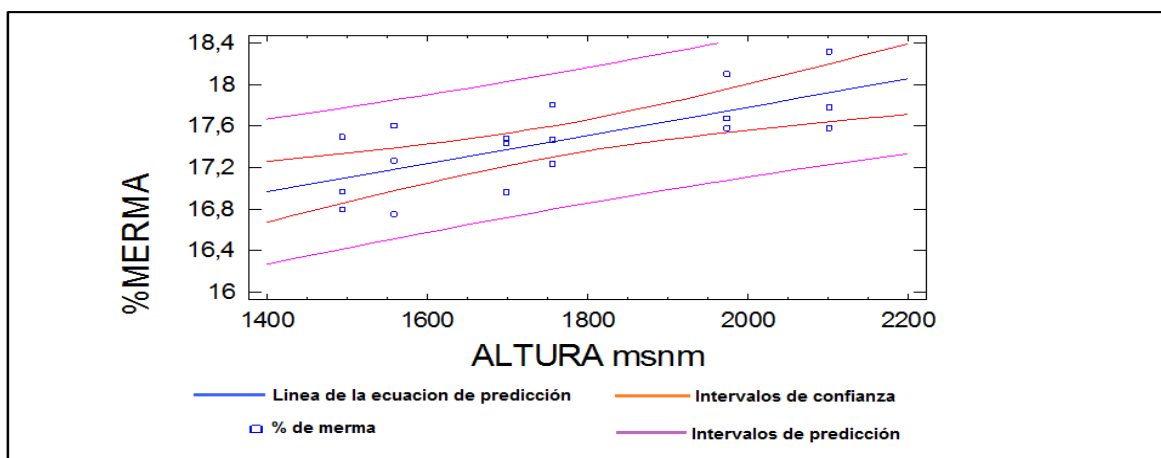
\*\*Valores promedios (n = 3) ± desviación estándar

Figura 28. Porcentaje de almendra retenida en las mallas 17 y 18 variedad Colombia (Coffea arabica L.) versus altura (m.s.n.m.)



- Merma

Figura 29. Porcentaje de merma variedad Castillo (Coffea arabica L.) versus altura (m.s.n.m.)





- Análisis de Regresión - Modelo Lineal  $Y = a + b \cdot X$
- Variable dependiente: % MERMA
- Variable independiente: ALTURA m.s.n.m

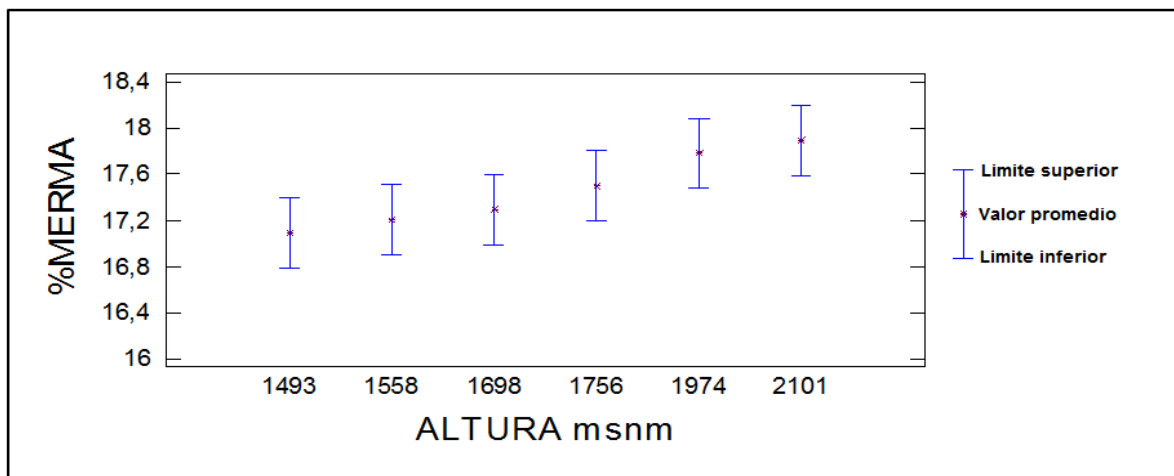
La salida muestra los resultados del ajuste al modelo lineal para describir la relación entre %MERMA VAR CASTILLO y ALTURA m.s.n.m. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\%MERMA \text{ VAR CASTILLO} = 15,0665 + 0,00135804 \cdot ALTURA \text{ m.s.n.m}$$

Dado que el  $\alpha$  es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre %MERMA VAR CASTILLO y ALTURA m.s.n.m para un nivel de confianza del 99%.

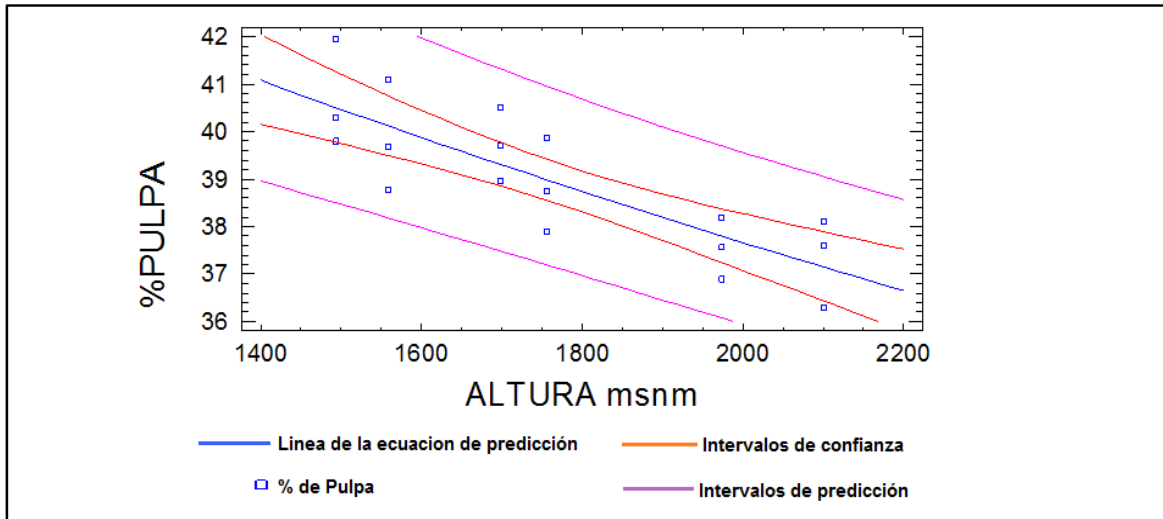
El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 51,6766% de la variabilidad en %MERMA VAR CASTILLO. El coeficiente de correlación es igual a 0,718864, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

Figura 30. Diagrama de media e intervalos al 95 % de la LSD de Fisher para la variable Porcentaje de merma variedad Castillo (Coffea arabica L.)



- Pulpa

Figura 31. Porcentaje de pulpa variedad Castillo (Coffea arabica L.) versus altura (m.s.n.m.).



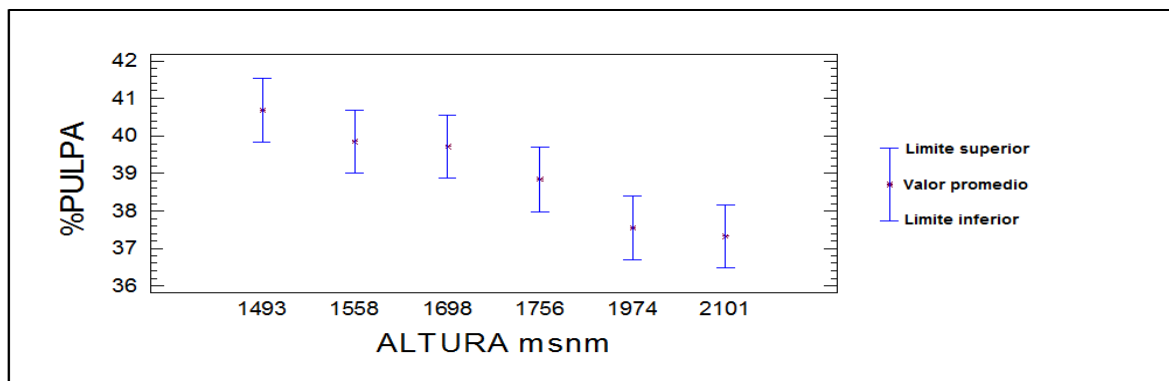
- Análisis de Regresión - Modelo Inverso-Y:  $Y = 1/(a + b \cdot X)$
- Variable dependiente: %PULPA
- Variable independiente: ALTURA m.s.n.m

La salida muestra los resultados del ajuste al modelo recíproco-Y para describir la relación entre %PULPA VAR CASTILLO y ALTURA m.s.n.m. La ecuación del modelo ajustado es

$$\%PULPA \text{ VAR CASTILLO} = 1/(0,0192009 + 0,00000367402 \cdot ALTURA \text{ m.s.n.m})$$

Dado que el  $\alpha$  es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre %PULPA VAR CASTILLO y ALTURA m.s.n.m para un nivel de confianza del 99%. El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 68,6518% de la variabilidad en %PULPA VAR CASTILLO. El coeficiente de correlación es igual a 0,828564, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

Figura 32. Diagrama de media e intervalos al 95 % de la LSD de Fisher para la variable Porcentaje de pulpa variedad Castillo (*Coffea arabica* L.)



#### 4.3 RELACIONES DE CONVERSIÓN

Tabla 19. Factores de conversión en relación a café cereza variedad Colombia (*Coffea arabica* L.)

FINCA	ALTURA (m.s.n.m)	CEREZA	BABA	LAVADO	PERGAMINO	ALMENDRA
EL MAYO	1479	1	0,478	0,339	0,185	0,146
LA QUEBRADA	1538	1	0,508	0,375	0,200	0,159
EL GUAYABILLO	1688	1	0,494	0,356	0,208	0,153
LA FALDA	1709	1	0,502	0,329	0,198	0,156
EL GUAICO	1929	1	0,517	0,353	0,194	0,149
EL ALTO	2035	1	0,501	0,346	0,184	0,153

Tabla 20. Factores de conversión en relación a café cereza variedad Castillo (*Coffea arabica* L.)

FINCA	ALTURA (m.s.n.m)	CEREZA	BABA	LAVADO	PERGAMINO	ALMENDRA
SAN MATEO	1493	1	0,535	0,311	0,193	0,159
EL CAÑAVERAL	1558	1	0,546	0,318	0,208	0,158
EL HUECO	1698	1	0,626	0,365	0,214	0,183
CHARCO VERDE	1756	1	0,581	0,337	0,189	0,151
LA PLANADA	1974	1	0,667	0,398	0,212	0,171
LA ESPERANZA	2101	1	0,615	0,376	0,202	0,175

La tabla 19 y 20 muestra los factores de conversión en fracción, en relación a café cereza, en las diferentes fincas y alturas objeto de estudio, que al ser analizados con el contraste t-test de comparación de medias, se demostró que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos muestras variedad Colombia y Castillo (*Coffea arabica* L.), obteniéndose de este último unos mejores resultados con un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla 21. Relaciones de conversión para café variedad Colombia y Castillo (*Coffea arabica* L.)

RELACIONES DE CONVERSION	VARIEDAD	
	COLOMBIA	CASTILLO
Relación café cereza: café en baba	0,500	0,595
Relación café cereza: café lavado	0,350	0,351
Relación café cereza: café pergamino	0,195	0,203
Relación café cereza: café almendra	0,153	0,166
Relación café baba: café cereza	2,000	1,681
Relación café baba: café lavado	0,700	0,590
Relación café baba: café pergamino	0,390	0,341
Relación café baba: café almendra	0,306	0,279
Relación café lavado: café cereza	2,858	2,851
Relación café lavado: café baba	1,429	1,696
Relación café lavado: café pergamino	0,557	0,579
Relación café lavado: café almendra	0,437	0,474
Relación café pergamino: café cereza	5,130	4,928
Relación café pergamino: café baba	2,565	2,932
Relación café pergamino: café lavado	1,795	1,729
Relación café pergamino: café almendra	0,784	0,819
Relación café almendra: café cereza	6,540	6,019
Relación café almendra: café baba	3,270	3,581
Relación café almendra: café lavado	2,288	2,111
Relación café almendra: café pergamino	1,275	1,221

Tabla 22. Factores de conversión para realizar transformaciones entre los estados del grano de café en variedad Colombia y Castillo (*Coffea arabica* L.).

PARA CONVERTIR DE	A	VARIEDAD	
		COLOMBIA	CASTILLO
		MULTIPLIQUE POR	MULTIPLIQUE POR
CEREZA	BABA	0,500	0,595
	LAVADO	0,350	0,351
	PERGAMINO	0,195	0,203
	ALMENDRA	0,153	0,166
BABA	CEREZA	2,000	1,681
	LAVADO	0,700	0,590
	PERGAMINO	0,390	0,341
	ALMENDRA	0,306	0,279
LAVADO	CEREZA	2,858	2,851
	BABA	1,429	1,696
	PERGAMINO	0,557	0,579
	ALMENDRA	0,437	0,474
PERGAMINO	CEREZA	5,130	4,928
	BABA	2,565	2,932
	LAVADO	1,795	1,729
	ALMENDRA	0,784	0,819
ALMENDRA	CEREZA	6,540	6,019
	BABA	3,270	3,581
	LAVADO	2,288	2,111
	PERGAMINO	1,275	1,221

## 5. CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos se demostró que el peso es inversamente proporcional a la altura, siendo este mayor para el café variedad castillo en todos los estados del café.

La altura tiene una influencia predominante sobre las propiedades físicas y factores de conversión, con lo cual se puede establecer una zona con excelentes condiciones para el cultivo del café. Para el caso del municipio de Colon (N) esta zona se encuentra entre los 1500 a 1800 m.s.n.m.

El tamaño representado como diámetro polar y diámetro ecuatorial, es inversamente proporcional a la altura, obteniendo un mejor resultado en el café variedad Castillo para todos los estados de este.

La densidad aparente fue mayor para el café variedad Castillo, que para variedad Colombia en todos los estados del café, esto se debe a que la variedad castillo es más grande y pesada, existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de cada estado para un nivel de confianza del 95,0%.

El porcentaje de pulpa disminuye a medida que aumenta la altura, para las dos variedades de café estudiadas, siendo mayor para el café variedad Castillo donde la pulpa representa un promedio de 38,799% del fruto, a diferencia de la variedad Colombia siendo mejor con un 37,234%.

El porcentaje de cisco o también llamado merma presente en el café pergamino, es directamente proporcional a la altura, obteniéndose un mejor resultado, una menor merma en promedio para el café variedad Castillo de solo 17,46% lo que representa un mayor peso para el café almendra, a diferencia de la variedad colombia de 18,156% de merma.

Los factores de conversión obtenidos en este estudio fueron mejores para la variedad Castillo en todos los estados del café, representando así mayores ingresos para el caficultor.

El porcentaje de retenido sobre la malla 17 y 18, disminuye a medida que aumenta la altura, para las dos variedades de café estudiadas, lo que corrobora que el tamaño disminuye en las fincas ubicadas a alturas altas.

## 6. RECOMENDACIONES

Es de gran importancia en este tipo de estudios mantener controladas todas las condiciones de beneficio. De tal forma que se obtengan muestras uniformes que permita evaluar con mayor criterio

Se recomienda que el proceso de recolección sea solo de frutos maduros y se evite al máximo la presencia de frutos inmaduros o sobremaduros.

Se recomienda además de la altitud evaluar las condiciones agronómicas del cultivo, de tal forma que se observe la incidencia de estos factores sobre las variables de respuesta.

Es recomendable validar mediante métodos de análisis sensorial la calidad de taza para el café producido en Colón, con el objetivo de establecer de una manera clara los parámetros que aportan la altura de producción y el proceso de beneficio sobre el mismo.

Se recomienda calibrar la maquina despulpadora de acuerdo al tamaño promedio que tienen los granos de café cereza según la altura de la finca y la variedad producida, la presencia de granos mordidos, aplastados en el café despulpado indica que la camisa está demasiado cerca de la pechera. La presencia de cáscara y granos enteros en el producto despulpado indica que hay mucho espacio entre pechero y camisa. Esto repercute en la calidad final del café y por lo tanto en el precio pagado al caficultor.

Se aconseja diseñar los beneficiaderos de la finca teniendo en cuenta los datos obtenidos en esta investigación de acuerdo a la altura y variedad cultivada en la finca, la tolva del beneficiadero conforme a la densidad aparente del café cereza y la densidad aparente del café baba para calcular el volumen de los tanques de



fermentación, teniendo en cuenta la relación café cereza a café pergamino seco y la cantidad de café cereza cosechado en un día pico de cosecha.

## BIBLIOGRAFÍA

ALVARADO, G.; MORENO, E.; MONTOYA, E.C. y ALARCÓN, R. 2009. Calidad física y en taza de los componentes de la Variedad Castillo® y sus derivadas regionales. En: Cenicafé 60 (3): 210-228.

ARISTIZÁBAL, C. y DUQUE, H. 2005. Caracterización del proceso de beneficio de café en cinco departamentos cafeteros de Colombia. En: Cenicafé 56(4):299-318.

ARISTIZÁBAL, C. y DUQUE, H. 2006. Determinación de economías de escala en el proceso de beneficio del café en Colombia. En: Cenicafé 57(1):17-30.

CCI. 1992. Café: Guía del Exportador. Suiza: Centro de Comercio Internacional (CCI).

CHAMORRO, G.E. 1991. Evaluación técnica y económica del beneficio para detectar fallas como causales de la posible presencia de defectos en el café colombiano. Manizales: Fundación Universitaria de Manizales.

CLARKE, R., 1985. Coffee, Chemistry. Gran Bretaña: s.n.

CLAY, J. Coffee. 2004. In World Agriculture and the Environment. Washington, DC: Island Press.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA – FNC. 1988. Normas sobre calidad del café. Bogotá: FNC.

GRAAFF, J. 1986. La Economía del café. Wageningen: PUDOC.

LEON, J. 2000. Botánica de los cultivos tropicales. 3 ed. San José: CR, IICA.

MARÍN, S; ARCILLA, J; MONTOYA, E. y OLIVEROS T. 2003. Cambios físicos y químicos durante la maduración del fruto de café. Bogotá: Cenicafé.

OLIVEROS, C.E. y ROA, G. 1985. Coeficiente de fricción, ángulo de reposo y densidades aparentes de granos de café *Coffea arabica* L. variedad Caturra. En: Cenicafé 36(1): 22–39.

PRIETO, Y. 2002. Caracterización física de café semitostado. [Tesis de grado] Facultad de Ingeniería Química. Fundación Universidad de América. Bogotá.

PUERTA, G, 2010. Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café. Avance técnico N 402. Chinchiná: Cenicafé.

\_\_\_\_\_. 2000. Calidad en taza de algunas mezclas de variedades de café de la especie *Coffea arabica* L. En: Cenicafé 51(1): 5-19.

\_\_\_\_\_. 2000. Influencia de los granos de café cosechados verdes, en la calidad física y organoléptica de la bebida. En: Cenicafé 51 (2):136-150.

\_\_\_\_\_. 2000. Aspectos de la calidad del café para la industria torrefactora nacional. Avance técnico N 276. Chinchiná: Cenicafé.

\_\_\_\_\_. 2000. Beneficie correctamente su café y conserve la calidad de la bebida. Avance técnico N 276. Chinchiná: Cenicafé.

\_\_\_\_\_. 1998. Calidad de las variedades de *Coffea arabica* L. cultivadas en Colombia. En: Cenicafé 49(4): 265-278.

PUERTA, G; OLIVEROS, C. y CADENA, G. 2008. Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio. Bogotá: Avances Técnicos Cenicafé.

ROA, M. et al. 1999. Beneficio ecológico del café. Chinchiná: Cenicafé.

URIBE H., A. 1977. Constantes físicas y factores de conversión en café. En: Avances Técnicos Cenicafé No 65: (1) 3.

ZAMBRANO, D.A. y ISAZA, J. H. 1994. Lavado de café en los tanques de fermentación. En: Cenicafé 45(3): 106 – 118.

## NETGRAFIA

ALCALDÍA DE COLÓN GÉNOVA – NARIÑO. [en línea] Disponible en internet: [http://www.colongenova-narino.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://www.colongenova-narino.gov.co/informacion_general.shtml) (citado 21 de enero de 2016).

ASPECTOS DE CALIDAD DEL CAFÉ PARA LA INDUSTRIA TORREFACTORA NACIONAL [en línea] Disponible en internet: [http://www.iue.edu.co/portal/images/negocios\\_internacionales\\_cafe/LACALIDAD\\_EN\\_LA\\_INDUSTRIA\\_DEL\\_CAFE.pdf](http://www.iue.edu.co/portal/images/negocios_internacionales_cafe/LACALIDAD_EN_LA_INDUSTRIA_DEL_CAFE.pdf) Consultado (Consultado 20 mayo de 2016).

CAFÉ DE NARIÑO-COLOMBIA. Denominación de origen. [en línea] Disponible en internet [http://narino.cafedecolombia.com/narino/el\\_cafe\\_de\\_narino/](http://narino.cafedecolombia.com/narino/el_cafe_de_narino/). (Consultado 21 de noviembre de 2011).

COLON NARIÑO. [en línea] Disponible en internet ([https://es.wikipedia.org/wiki/Col%C3%B3n\\_\(Nari%C3%B1o\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Col%C3%B3n_(Nari%C3%B1o))). (Consultado 18 de septiembre de 2015).

COMITÉ DEPARTAMENTAL DE CAFETEROS DE NARIÑO. Fecha de actualización 2008. [en línea] Disponible en internet: <https://www.federaciondecafeteros.org/static/files/Nari%C3%B1o4.pdf> Consultado (citado 21 de enero de 2016)

EL NIÑO AMENAZA CON ‘CASTIGAR’ LA COSECHA CAFETERA. [en línea] Disponible en internet <http://www.agronegocios.co/noticia/el-nino-amenaza-con-castigar-la-cosecha-cafetera>. (Consultado 30 de mayo de 2016).

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN - ICONTEC. Café verde y tostado. Determinación de la densidad a granel por caída libre de los granos enteros (Método de rutina). Bogotá: ICONTEC – Cenicafé, 1999. 5 p.

LA PLANTA DE CAFÉ. El café en su origen. [en línea] Disponible en internet. <http://www.innatia.com/s/c-consumo-cafe/a-la-planta-de-cafe.html>. (Consultado 21 de septiembre de 2015)

VARIEDAD CASTILLO. origen. [en línea] Disponible en internet. [http://www.cenicafe.org/es/index.php/cultivemos\\_cafe/planta/la\\_variedad\\_castillo](http://www.cenicafe.org/es/index.php/cultivemos_cafe/planta/la_variedad_castillo). (Consultado 21 de septiembre de 2015)

VARIEDAD COLOMBIA. Café colombiano. [en línea] Disponible en internet. <http://coffecolombiano2009-cristina.blogspot.com.co/2009/11/variedades-de-cafe-sembradas-en.html>. (Consultado 21 de septiembre de 2015)