

CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y FACTORES DE CONVERSIÓN DE CAFÉ ESPECIAL EN LA FINCA AGROTAKESI, MUNICIPIO DE YANACACHI - LA PAZ, BOLIVIA

Physical characterization and conversion factors of specialty coffee in the Agrotakesi farm, municipality of Yanacachi - La Paz, Bolivia

Carlos López Blanco¹

RESUMEN

Las propiedades físicas y factores de conversión en café que se utilizan en la caficultura yungueña se basa en la caficultura colombiana (Proyecto MOJSA/PL-480) y en algunas formulas obtenidas para la zona cafetalera de Caranavi (Empresa ANDITRADE - AGRICAV S.A.), no considerando la influencia de los diferentes factores propios en la cadena productiva del café en los Yungas. Con el estudio se caracterizó las propiedades físicas y factores de conversión de café especial de la variedad típica (*Coffea arabica*) en la finca Agrotakesi, ubicado en el municipio de Yanacachi, provincia Sud Yungas del departamento de La Paz. Se evaluó la cosecha del segundo semestre 2013, mediante el proceso de beneficiado tradicional, con muestras seleccionadas, tomando las variables balance de masa, densidad aparente, peso, humedad y relaciones de conversión entre tipos de grano del café. Los resultados de las variables estudiadas no presentaron diferencias en el proceso de cosecha. El balance de masa determinó que el 65.25 % de masa inicial se remueve en las etapas de despulpado, lavado y trillado del café, el 18.11 % corresponde al agua retirada en el secado, y solo el 16.64 % se transforma en producto terminado café oro (12 % de humedad). La densidad aparente en kg m^{-3} , fue de 705 para café guinda, 772 para café baba, 748 para café lavado, 407 para café pergamino y 738 para café oro; con merma en trilla de 17.60 % y factor de rendimiento de 90.63 kg con atributo de café especial de alta calidad. Las propiedades físicas y factores de conversión obtenidos para la variedad típica, en la finca Agrotakesi, son la base para futuros estudios de caracterización física del grano del café para otras zonas cafetaleras de los Yungas.

Palabras clave: *Coffea arabica*, variedad típica, peso, densidad, factores de conversión.

ABSTRACT

The physical properties and coffee conversion factors used in Yungas coffee production are based on Colombian coffee production (MOJSA/PL-480 Project) and on some formulas obtained for the Caranavi coffee-growing area (ANDITRADE - AGRICAV S.A. Company), without considering the influence of the different factors involved in the coffee production chain in the Yungas. The study characterized the physical properties and conversion factors of specialty coffee of the typica variety (*Coffea arabica*) in the Agrotakesi farm, located in the municipality of Yanacachi, Sud Yungas province of the department of La Paz. The harvest of the second semester of 2013 was evaluated through the traditional processing process, with selected samples, taking the variables mass balance, bulk density, weight, humidity and conversion ratios between types of coffee beans. The results of the variables studied showed no differences in the harvesting process. The mass balance determined that 65.25 % of the initial mass is removed in the pulping, washing and threshing stages of the coffee, 18.11 % corresponds to the water removed during drying, and only 16.64 % is transformed into the finished product (12 % humidity). The apparent density in kg m^{-3} , was 705 for cherry coffee, 772 for baba coffee, 748 for washed coffee, 407 for parchment coffee and 738 for gold coffee; with a threshing loss of 17.60 % and a yield factor of 90.63 kg with the attribute of high quality specialty coffee. The physical properties and conversion factors obtained for the typica variety, in the Agrotakesi farm, are the basis for future studies of physical characterization of the coffee bean for other coffee growing zones of the Yungas.

Keywords: *Coffea arabica*, variety typica, weight, density, conversion factors.

¹ ✉ Docente Investigador, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9015-6919>. calobla9@yahoo.es

INTRODUCCIÓN

Las constantes físicas son las relaciones entre las características del fruto del café, teniendo en cuenta las transformaciones que sufre desde el estado de cereza madura hasta café almendra; son un instrumento útil para evaluar el sistema productivo, 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 (Uribe, 1997).

Las propiedades físicas y factores de conversión en café, que se utilizan en la caficultura de los Yungas se basa en la caficultura colombiana, publicado por más de dos décadas por el proyecto MOJSA/PL-480. Asimismo, la empresa ANDITRADE - AGRICABV S.A., desarrolló algunas constantes físicas para la zona cafetalera de Caranavi, en base a medida en latas de manteca y/o alcohol (25 x 25 x 37 cm) (Avircata, 2007). Dichas formulaciones no consideran la influencia de los diferentes factores propios del proceso de producción de la caficultura yungueña, como la ubicación geográfica, clima, altitud, manejo agronómico, variedad, edad del cultivo, incidencia de plagas y enfermedades, que afectan el rendimiento del proceso productivo del café. Se hace necesario realizar el sistema de conversión del café para las

condiciones de la caficultura local, bajo un método que permita su replicabilidad y estandarización, y sirva de guía en la toma de decisiones en la cadena productiva, y además sea la base para futuros estudios de caracterización física de estados del grano del café. En tal sentido el estudio determinó las propiedades físicas y factores de conversión del café de la variedad típica (*Coffea arabica*) en la finca Agrotakesi, a una altura promedio de 2 205 metros sobre el nivel del mar, mediante el proceso de beneficiado tradicional (húmedo y seco), lo que permite contar con información propia de la región para facilitar las operaciones comerciales y el diseño de beneficiaderos, equipos y calibración de los mismos, para su aplicación eficaz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la zona de estudio

El estudio se realizó en la empresa agrícola Agrotakesi S.A., ubicado en la comunidad de Chojlla, municipio de Yanacachi, provincia Sud Yungas del departamento de La Paz (Figura 1). Geográficamente ubicado a 16° 24' 25" de latitud Sur y 67° 41' 10" de longitud Oeste, a una altura promedio de 2 205 metros sobre el nivel del mar. La precipitación pluvial oscila entre 950 a 1 000 mm año⁻¹; la temperatura anual entre 19.5 a 21°C, y la humedad relativa de 81 % (FONADAL, 2010).

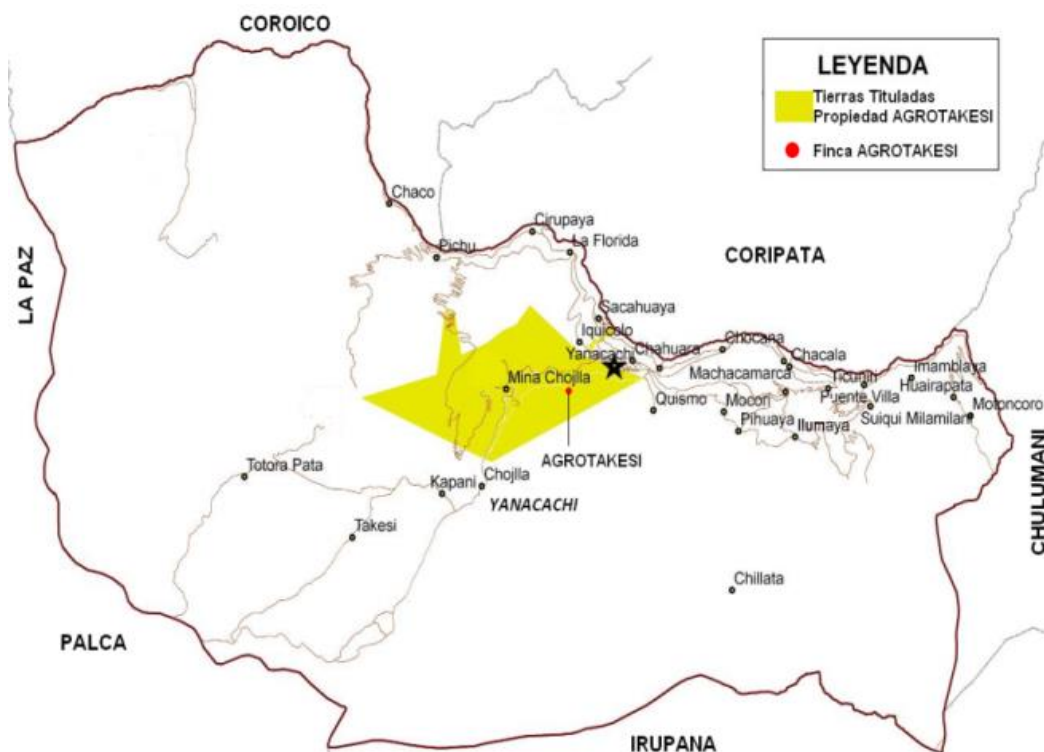


Figura 1. Ubicación de la finca Agrotakesi (Fuente: FONADAL, 2010).

La finca se caracteriza por producir café especial orgánico certificado de alta calidad en altitud extrema de 1960 hasta 2 450 metros sobre el nivel del mar, con más de 30 hectáreas bajo el sistema de plantación sin sombra, con rendimientos variables y cosechas que

duran casi todo el año (11 meses). La variedad predominante es la Typica o criolla con más del 95 %, y el resto con las variedades caturra y Geisha; el 95 % de su producción se exporta a EEUU y Japón (Agrotakesi, 2013).



Figura 2. A) cafetal establecido sin sombra en proceso de producción, B) cafetal establecido sin sombra en proceso de desarrollo vegetativo, C) cafeto con frutos maduros e inmaduros, café guinda y verde (Fuente: Agrotakesi, 2013).

Metodología

Se evaluó la producción de frutos del café de la especie *C. arábica* de la variedad typica, mediante el proceso de beneficio tradicional, utilizando las instalaciones de la planta de beneficio húmedo y laboratorio de la finca Agrotakesi, con equipos, herramientas e insumos necesarios del caso.

En la finca Agrotakesi a través del beneficio tradicional se evaluó la cosecha de café guinda del segundo semestre del 2013, desde la tercera semana de agosto hasta la segunda de noviembre (26 cosechas discontinuas), con pesos que oscilaron de 156 a 916 kg por cosecha, se colectó muestras y submuestras en cada etapa de transformación del café, analizando la correlación y grado de relación de las variables evaluadas, se caracterizó las propiedades físicas y factores de conversión del café, considerando la influencia de factores de clima, altura entre otros, del sistema de producción.

Balance de masa del beneficiado del café

El análisis de balance de masa del café, se desarrolló

a partir de los datos de cosecha, estimando los valores de rendimiento másico de cada una de las actividades dentro del proceso de beneficiado hasta obtener café oro, considerando las operaciones de recepción, despulpado, lavado, secado y trilla, con los productos (café guinda, café baba, café lavado, café pergamino seco y café oro) y subproductos (sultana fresca, mucilago, agua, pergamino mas película plateada).

Determinación de las propiedades físicas

Se determinó las propiedades físicas y factores de conversión del café en términos de masa (%), densidad aparente (kg m^{-3}), peso unitario (unid g^{-1}), contenido de humedad (%), la relación de estados de café (kg kg^{-1}), desde el café guinda hasta el café oro respectivamente.

De la masa de café recién cosechado, se tomo muestras de 1 kg (Figura 3) y submuestras (300 granos), para determinar la calidad física del café guinda en densidad aparente y peso unitario; y la calidad de cosecha con el registro de granos de baja densidad (verdes, sobre maduros, secos y otros), bajo la norma boliviana de calidad del café de características físicas u organolépticas (NB 315004-01).



Figura 3. A) Recepción y B) peso de muestra de café guinda (Fuente: Agrotakesi, 2013).

Con la máquina peladora se despulpó el café guinda, obteniendo el café baba y sultana fresca (Figura 4); tomando muestras de 1 kg para determinar los

porcentajes de masa, densidad aparente, peso unitario de los productos obtenidos y las relaciones de conversión.



Figura 4. Operación de despulpado y muestreo del café baba; A) peladora de café marca Antioqueña, B) café despulpado, C) café baba y sultana fresca; D) pesado de la muestra de café baba (1 kg) (Fuente: Agrotakesi, 2013).

El café baba se fermentó en tanque tina, de forma natural en seco a temperatura ambiente, llegando a su punto de lavado en un tiempo promedio de 19 horas, procediendo con su lavado, retirando el mucilago y flotes de granos vanos (ch'uzos) con enjuagues

sucesivos, obteniendo así el estado de café lavado (Figura 5). Se tomó las muestras de 1 kg de café lavado, para determinar el porcentaje de masa, la densidad aparente y peso unitario; y las relaciones de conversión respectivas.

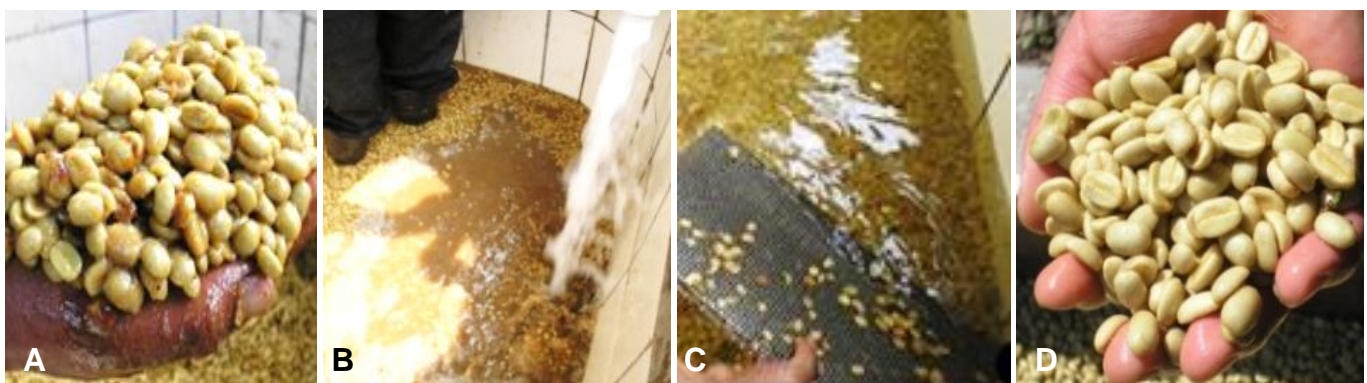


Figura 5. Lavado discontinuo del café fermentado en la obtención del café lavado; A) determinación del punto de lavado en café baba fermentado, B) y C) Remoción y mezcla de agua/café en el retiro de mucilago y flotes de granos vanos, D) obtención del café lavado (Fuente: Agrotakesi, 2013).

El café lavado se llevó a tarimas para su escurrido y oreado con el fin de eliminar la película de agua que cubre el pergamino después del lavado, luego fue trasladado al silo de secado mecánico con flujo continuo de aire caliente (50 a 55°C) de 24 a 36 horas,

obteniendo el café pergamino seco con 12 % de humedad (Figura 6), del cual se tomó muestras de 1 kg, para determinar la masa, humedad, densidad aparente, peso; las relaciones de conversión respectivas.



Figura 6. Proceso de pre secado y secado del café (beneficio seco); A) escurrido del café lavado en tarimas, B y C) silo de secado mecánico (vista frontal) y remoción del café dentro el silo, D) medida de humedad del café pergamino seco (11 %) (Fuente: Agrotakesi, 2013).

Mediante la trilla del café pergamino seco, se obtuvo el pergamino mas película plateada y el estado de grano del café oro (Figura 7), donde se tomó las muestras de

1 kg para determinar el porcentaje de masa, la densidad aparente y peso; y las relaciones de conversión respectivas.



Figura 7. Beneficio seco en la obtención del grano de café oro verde; a, b) Pergamino y película plateada del café después del trillado, c) estado de grano de "café oro" (Fuente: Agrotakesi, 2013).

Las variables merma y rendimiento en trilla, se realizó bajo la Norma Boliviana de comercialización del café (IBNORCA, 2001), pesando los productos obtenidos; separando granos normales y defectuosos (caracol, triángulo, gigante, etc.) en el café oro resultante, expresando los valores en porcentaje y peso.

Variables de estudio

Las variables de estudio se dividen en dos grupos, variables espaciales y agronómicas; y las variables de análisis físico del café, la naturaleza de estas es de carácter discreto, continuo y nominal categórica según el caso, describiéndose en la Tabla 1.

Tabla 1. Variables de estudio.

*Variables espaciales y agronómicas	**Variables de análisis
- Cobertura: zona Agrotakesi.	- Balance de masa del café
- Clima: subtropical.	- Características físicas del café en el beneficiado (masa, densidad aparente, peso)
- Altura: 1 960 a 2450 m s.n.m.	- Rendimiento y merma de café.
- Variedad: Typica o criolla.	- Relaciones de conversión.
- Sistema de producción: sin sombra.	- Factores de conversión.
- Manejo: orgánico certificado.	
- Beneficio tradicional: húmedo y seco	

* = provienen de diagnóstico de campo e información de la finca Agrotakesi; ** = pruebas de análisis físico de estados de café bajo estándares de calidad.

Método estadístico

Los resultados de caracterización de las propiedades físicas y los factores de conversión del café, se realizó mediante la comparación estadística de medias, varianza, desviación estándar, con límite de confianza al 95 % (error $\alpha \leq 5$ %) (Peñañiel, 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características de la finca donde proviene el café

A partir del año 2001, la finca Agrotakesi se especializó en la producción de café de alta calidad en altitud extrema de 1 960 a 2 450 metros sobre el nivel del mar, con el cultivo a libre exposición sin sombra con características diferentes, muy atractivo para el mercado de cafés especiales. La producción es orgánica, cumpliendo las normas establecidas de manejo sostenible de los recursos naturales, certificada por la empresa CERES, para los mercados de Europa y Estados Unidos. Se tiene la promoción de su producto "café Takesi", para el mercado nacional e internacional, siendo el más alto del mundo, con cualidades excepcionales y de sostenibilidad; ganador de la "taza de excelencia" el año 2009, con puntaje de 93.36.

Referente a la producción de café beneficiado el 2013, el 36.39 % (5.16 ha) provino de siembras nuevas y el 63.61 % (9.02 ha) de lotes con poda de renovación (pillu), teniendo la edad promedio del cultivo de 2 y 6.50 años. La fertilización del cultivo se realiza con enmiendas orgánicas y minerales, bajo el análisis de suelos y a las necesidades nutricionales. Referente a la plaga clave broca del café no se presenta por la altura en que se encuentra el cultivo, y en cuanto a enfermedades (roya) su afectación es poco significativa. El manejo de malezas se realiza de forma manual, con plateo alrededor de cafetos.

Análisis de la masa del café recién cosechado

Los promedios de frutos verdes, sobremaduros y secos del café recién cosechado (sin selección) fueron iguales estadísticamente en el periodo de cosecha evaluada. La calidad de la cosecha muestra los estándares de frutos no aptos, sin frutos brocados por efecto de la altura de producción de café (Tabla 2).

Tabla 2. Calidad de la masa de café recién cosechado.

	Frutos verdes (%)	Frutos sobremaduros (%)	Frutos secos (%)	Frutos brocados (%)
Promedio \pm LC	3.90 \pm 0.19	4.08 \pm 0.21	2.54 \pm 0.14	0.00
CV (%)	9.27	9.88	10.62	-

LC: Límite de confianza al 95 %.

La ubicación del cultivo (altitud, clima), influye en la calidad de cosecha por efectos de maduración diversa, cosechas duraderas (11 meses en relación a 8 en zonas bajas), con más tiempo de recolección y separación de frutos maduros y frutos no aptos para garantizar la calidad física del producto final.

Según la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2004) citado por Montilla et al. (2008), una buena recolección implica un máximo de 2 % de frutos verdes, 2 % de frutos secos y 5 % de frutos infestados por broca, estándares no logrados en frutos verdes y secos, y sin incidencia de la plaga broca.

Torrez (2005) independiente de las especies y variedades cultivadas, es esencial realizar la cosecha de frutos maduros en el momento preciso, sólo así se obtienen los valores máximos de masa y cualidades organolépticas. Por otra parte, la calidad de café cereza está en función de la proporción de frutos maduros y la calidad de la recolección (Fajardo y Sanz, 2003).

Modelo de balance de masa en café

En base a los datos de cosecha se determinó el balance de masa del café para la zona Agrotakesi, siendo la base para simular flujos de masas en procesos de beneficio tradicional. A partir de la masa de 100 kg de café guinda, a través del proceso de beneficiado, en la etapa de despulpado se obtiene 45.35 kg de sultana fresca mas mucilago y 54.65 kg de café baba; al lavar el café baba fermentado se remueve 16.34 kg de mucilago, obteniendo 38.31 kg de café lavado; en el secado del café, se retira 18.11 kg de agua (ligada y no ligada), obteniendo 20.20 kg de café pergamino seco; y al final en la trilla se genera 3.56 kg de pergamino y película plateada, obteniendo 16.64 kg de café oro, con 12 % de humedad (Figura 8). De acuerdo al balance de masa realizado en el beneficio, el factor de conversión de café guinda a café oro, es de 16.64 %; al procesar 100 kg de café guinda se obtiene 16.64 kg de café oro.

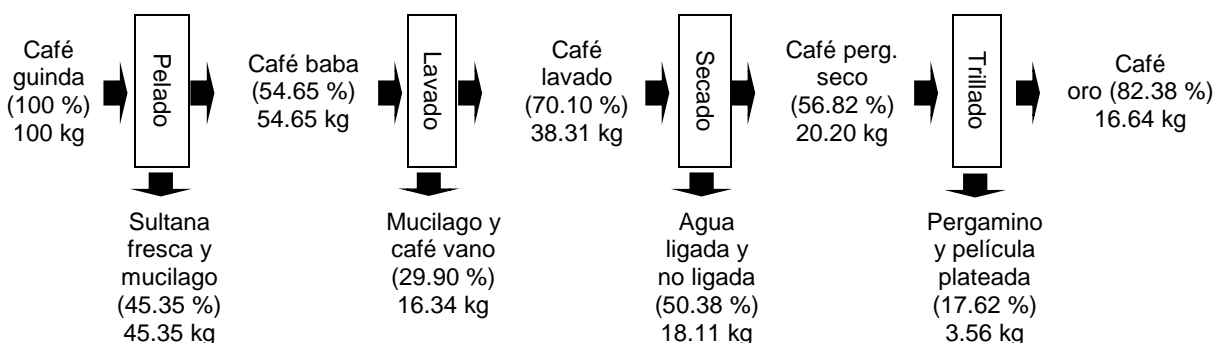


Figura 8. Balance de masa para la obtención del estado del café oro al 12% de humedad
(Fuente: Elaborado en base a Gómez, 2019)

Reguerin (2012) reporta para la caficultura yungueña, un rendimiento de 18.40 % de café oro, con merma residual de 81.60 %. Similar rendimiento se tiene en la caficultura de Costa Rica con 18.47 % de café oro y 81.53 % de residuos (Gómez, 2019). A su vez, Rodríguez y Zambrano (2010), reportan para la caficultura colombiana el rendimiento de 20.20 % de café oro y 79.80 % de residuos generados. Frente a estos resultados el café de la zona Agrotakesi presenta mayor merma residual (83.36 %) y rendimiento bajo (16.64 %), atribuyendo a la influencia de factores de clima, altitud y a la variedad del café.

Propiedades físicas del café

Las características físicas de productos y subproductos del café obtenidos en las etapas del proceso de beneficiado en términos de masa, densidad aparente, peso, humedad y las relaciones de conversión respectivas, manifestaron similitud estadística en el proceso de la cosecha evaluada.

Productos en la etapa de despulpado

A partir del estado de café guinda (100.00 %), mediante el despulpado se removió la cascara (sultana fresca) con parte del mucilago (45.35 %), obteniendo el café baba (54.65 %), con la densidad aparente y peso unitario promedios (Tabla 3), resultados que indican el engrosamiento de la cascara del fruto del café, tomando en cuenta la influencia de los factores altura, clima y variedad en la zona de producción.

Tabla 3. Propiedades físicas de productos en el despulpado.

Productos	Masa (%)	Densidad aparente (kg.m ⁻³)	Peso de granos (g)
Café guinda	100.00	704.50±8.50	1.74±0.04
Café baba	54.65±3.65	772.05±5.25	0.62±0.02
Sultana fresca	45.35±3.65	285.76±6.85	0.79±0.02

Límite de confianza al 95 %.

Reguerin (2012) mediante el balance de masa obtiene el 39.40 % de pulpa fresca para la caficultura yungueña en café criollo (typica). Vargas y Mazón (2004), señalan que la cáscara presenta un contenido de humedad entre 80 y 85 %, y una densidad aparente de 294 kg m⁻³ de pulpa fresca, en cafés de Costa Rica. Asimismo, Montilla et al. (2008), señalan que el ámbito de la densidad aparente está entre 270 y 300 kg m⁻³ y su masa representa entre el 40 y 44 % del fruto. Muñoz y Noguera (2016), en Colombia, a una altitud de 2 101 m s.n.m., en la variedad de café Castillo reportan la densidad aparente de café cereza y café baba de 712 y 877 kg m⁻³, y peso por unidad grano de 1.75 y 0.62 g. Los resultados corroboran la influencia de los factores altitud y variedad de café en la producción de granos de menor tamaño, peso y diámetros.

Productos en la etapa de lavado

Con el lavado profundo del café baba fermentado (100.00 %) se retiró el mucilago o broza residual (29.90 %), obteniendo el estado de grano de café lavado o húmedo (70.10 %), previo al proceso de secado con una densidad aparente y peso por unidad de grano (Tabla 4).

Tabla 4. Propiedades físicas de productos en el lavado.

Productos	Masa (%)	Densidad aparente (kg m ⁻³)	Peso de grano (g)
Café baba	100.00	-	-
Mucilago	29.90±2.10	Líquido	-
Café lavado	70.10±2.35	747.68±3.50	0.37±0.01

Límite de Confianza al 95 %.

Gómez (2019); Rodríguez y Zambrano (2010), reportan el retiro de mucilago fermentado del café baba en 27.11 y 25.25 % en los cafés de Costa Rica y Colombia respectivamente. El análisis comparativo, indica un mayor contenido de mucilago en el café estudiado en 2.79 y 4.65 %, estas diferencias puede ser

consecuencia del método utilizado y a la no cuantificación del Drenado de Fermentación (DF) y los cafés vanos (ch'uzos), que no se reportan.

Gómez (2019) referente a la masa de café lavado reporta el 72.89 % con una densidad aparente de 647 kg m^{-3} . Asimismo, Muñoz y Noguera (2016), reportan la densidad aparente de 769 kg m^{-3} y el peso por unidad grano de 0.397 g, en la variedad Castillo a una altitud de 2 100 m s.n.m. Los resultados muestran diferencias con relación a las propiedades físicas evaluadas en el café de altura, corroborando el efecto de altitud sobre la producción del cafeto, con menor tamaño y peso.

Productos en la etapa de secado

Producto del secado del café oreado (100.00 %), se disminuyó la humedad, retirando el excedente de agua (43.18 %) por evaporación, hasta obtener el estado de café pergamino seco (56.82 %), con 12 % de humedad comercial, con una densidad aparente y peso por unidad de grano (Tabla 5), finalizando el proceso de secado.

Tabla 5. Propiedades físicas de productos en el secado.

Productos	Masa (%)	Densidad aparente (kg m^{-3})	Peso de grano (g)
Café oreado	100.00	-	-
Agua ligada y no ligada	43.18±1.20	Líquido	-
Café pergamino seco	56.82±0.67	406.50±3.90	0.20±0.01

Límite de confianza al 95%.

Referente a la importancia del secado del café, muchas organizaciones cafetaleras en los yungas enfrentan problemas en el secado (alta humedad), en su capacidad de secado y almacenaje (volúmenes altos), trasladando a la ciudad de La Paz (clima seco) los cafés con humedad mayor a 12 %, para su secado y posterior trilla. Siendo necesario conocer las propiedades físicas del café húmedo para el cálculo de transporte y almacén.

Rodríguez y Zambrano (2010); Gómez (2019), reportan el agua retirado del grano de café en el proceso de secado de 41.20 y 46.50 % en la caficultura colombiana y de Costa Rica respectivamente. Comparando con el resultado obtenido, este tiene mayor contenido de agua en 9.18 y 3.88 %, diferencias que pueden atribuirse a la metodología utilizada y a la humedad inicial del café en el secado.

Referente al café pergamino, Muñoz y Noguera (2016), reportan la densidad aparente y peso de grano de 492.5 kg m^{-3} y 0.213 g, en la variedad Castillo, a una altura promedio de 2 100 m s.n.m. A su vez, Montilla et al. (2008), en la variedad Colombia reporta la densidad aparente del café pergamino de 391.44 kg m^{-3} y un peso unitario de 0.21 g, a una altura promedio de 1 450 m s.n.m. La diferencia de resultados con lo obtenido en el estudio puede ser por la metodología utilizada y por la influencia que tiene los factores altura, clima y la variedad del café cultivado.

Productos en la etapa de trilla

A partir del estado grano café pergamino seco (100.00 %) se obtuvo una masa residual de 17.72 % de pergamino y película plateada, y 82.28 % de grano de café oro, con humedad comercial de 11.55 %, y una densidad aparente casi dos veces más al valor del café pergamino seco (Tabla 6).

Tabla 6. Propiedades físicas de los productos en el trillado del café.

Productos	Masa (%)	Contenido de humedad (%)	Densidad aparente (kg m^{-3})	Peso de grano (g)
Café pergamino seco	100.00	-	-	-
Pergamino y película	17.72±0.97	-	-	-
Café oro	82.28±0.97	11.55±0.19	737.72±2.45	0.17±0.005

Límite de confianza al 95%.

Rodríguez y Zambrano (2010); Gómez (2019), reportan la obtención de masa residual de 17.21 y 19.59 % (pergamino y película plateada), y el valor 82.79 y 80.41 % de café oro. Frente a estos resultados el café estudiado, manifiesta similitud con diferencias mínimas en merma y rendimiento respectivamente.

Muñoz y Noguera (2016), obtienen en café oro, una densidad aparente de 813.40 kg m^{-3} y un peso por unidad grano de 0.185 g, en la variedad Castillo, a una altura media de 2 100 m s.n.m. Asimismo, Montilla et al. (2008), en café oro, variedad Colombia a una altura media de 1 450 m s.n.m., reporta una densidad de 710 kg m^{-3} y un peso por unidad de 0.18 g. La diferencia de resultados con lo obtenido en la finca, puede ser consecuencia del método utilizado y/o por la influencia de los factores clima y altitud.

Porcentaje de merma y rendimiento

Los resultados del café en trilla presentaron la merma de 17.60 % y un rendimiento de 90.63 kg, equivalente a la cantidad de café pergamino seco para obtener 70 kg de café oro tipo exportación. El valor de granos sanos en café oro fue de 77.24 % superando en 2.24 % al valor base de 75 %; y el valor de granos con defectos de 5.16 % está en el rango de umbral permitido de 5 %. El café de Agrotakesi posee los atributos de café especial de alta calidad, valorizado por el mercado internacional.

Muñoz y Noguera (2016), reportan 18.37 y 17.89 % de merma para las variedades Colombia y Castillo, a altitud de 2 035 y 2 101 m s.n.m. Asimismo, Montilla et al. (2008), reporta en granos de café seleccionado y sin seleccionar 17.75 y 18.45 % de merma en la variedad Colombia a una altura de 1 450 m s.n.m. Comparando estos resultados, el café especial de la variedad típica producido en Agrotakesi a una altura de 2 205 m s.n.m., presenta la ventaja de menor pérdida con una merma de 17.60 %.

Gamboa et al. (2015), en muestras de café de 19 fincas en Colombia, obtiene un factor de rendimiento promedio de 88.30 kg, con valores de 85.50 hasta 91.90 kg de café pergamino seco para obtener 70 kg de café excelso. A su vez, Montilla et al. (2008), obtienen en café seleccionado y sin seleccionar, el rendimiento de 90.75 y 95.99 kg de café pergamino seco para obtener 70 kg de café excelso.

La efectividad para la calidad del café está dada por la cosecha y beneficio, que están directamente relacionados, a parte de la calidad inherente del cafeto (Castañeda, 2000).

Relaciones y factores de conversión del café

Las relaciones de conversión de masas de estados del café válidos para la finca Agrotakesi, manifiestan la proporción necesaria para la obtención unitaria (Tabla 7); por ejemplo, tomando la relación café guinda: café oro, requiere de 6.02 kg de café guinda para obtener 1 kg de café oro. Estas relaciones de conversión pueden variar en función del método empleado, la calidad de cosecha, beneficio, suelo, clima, altitud, manejo agronómico, edad de la planta, cosecha, poscosecha, plagas y enfermedades.

Tabla 7. Relaciones de conversión de estados del café.

Relación de estados de masa	Proporción
Relación café guinda: café baba	1.83
Relación café guinda: café lavado	2.61
Relación café guinda: café pergamino	4.95
Relación café guinda: café oro	6.02
Relación café guinda: sultana fresca	2.21
Relación café baba: café lavado	1.43
Relación café baba: café pergamino	2.71
Relación café baba: café oro	3.30
Relación café lavado: café pergamino	1.90
Relación café lavado: café oro	2.31
Relación café pergamino: café oro	1.22
Relación café pergamino: sultana fresca	0.45

Al comparar los datos del estudio con los obtenidos por Uribe (1997); Montilla et al. (2008); Muñoz y Noguera (2016), las relaciones de conversión son similares y están dentro de los parámetros que se utilizan para la comercialización y calificación de la calidad del café. En base a las propiedades físicas y relaciones de conversión, se determinó los factores de conversión para convertir diferentes tipos de café, equivalente a café oro, para la zona de Agrotakesi (Tabla 8).

Tabla 8. Factores de conversión de estados del café.

Para convertir	a	Multiplicar por:
Café guinda	Café pergamino seco	0.202
	Café baba	0.547
	Café oro	0.166
	Café lavado	0.383
	Sultana fresca	0.453
Café pergamino seco	Café guinda	4.951
	Café oro	0.822
	Café baba	2.708
	Café lavado	1.896
	Sultana fresca	2.242
Café baba	Café pergamino seco	0.369
	Café oro	0.303
	Café guinda	1.829
	Café lavado	0.700
	Café pergamino seco	1.217
Café oro	Café baba	3.295
	Café guinda	6.024
	Café lavado	1.896
	Café pergamino seco	0.527
	Café guinda	2.611
Café lavado	Café baba	1.428
	Café oro	0.433
	Café guinda	2.208
	Café pergamino seco	0.466
	Café guinda	2.208

Con el fin de facilitar y agilizar el cambio del café de un estado a otro, se obtuvo los factores de conversión simplificada (Tabla 9). Los datos corroboran el menor tamaño de grano de café por la influencia predominante de la altura y otros factores sobre las propiedades físicas y factores de conversión, lo que establece que la zona de Agrotakesi tiene excelentes condiciones para el cultivo del café especial, a una altura de 1 960 a 2 450 m s.n.m.

Tabla 9. Factores de conversión simplificada, para la zona Agrotakesi.

Estado del café	Café guinda	Café baba	Café lavado	Café pergamino seco	Café oro	Sultana fresca
Café guinda	1	0.547	0.383	0.202	0.166	0.453
Café baba	1.829	1	0.700	0.369	0.303	-
Café lavado	2.611	1.428	1	0.527	0.433	-
Café pergamino seco	4.951	2.708	1.896	1	0.822	2.242
Café oro	6.024	3.295	2.307	1.217	1	-
Sultana fresca	2.208	-	-	0.446	-	1

Fuente: Elaborado en base a CENICAFE (1995).

La instrucción de uso de la Tabla 9, es: buscar en la columna estado del café, el tipo que se desee convertir (con su peso), ubicando de forma horizontal la columna donde se encuentre el tipo de café (factor de conversión), y multiplicado se obtendrá el estado del café deseado (CENICAFE, 1995 citado por López, 2013). Según CENICAFE (1995), las constantes físicas y los factores de conversión facilitan los cálculos para determinar la capacidad y la dimensión de los diferentes dispositivos empleados en los beneficiaderos y el gasto de agua necesario para el proceso de beneficiado completo del café. Los resultados de las propiedades físicas y factores de conversión de los diferentes estados de granos de café son referentes para su comparación con otras investigaciones que se hagan en otras zonas ya que en nuestro medio no se cuenta con este tipo de datos estándar (datos validados con investigación).

CONCLUSIONES

En el presente estudio se presenta el método para la estimación del rendimiento másico (balance de masa) en el proceso de beneficiado tradicional desde café guinda hasta café oro, información útil para el diseño de plantas de prebeneficio húmedo y seco (tanques, secadores, fosas) y en los procesos de comercialización y calificación de la calidad de café. Otro aporte del estudio es el método para el cálculo de las propiedades físicas y los factores de conversión para la zona Agrotakesi, siendo la base para futuros estudios en otras zonas cafetaleras de los Yungas.

BIBLIOGRAFÍA

- Agrotakesi S.A. 2013. Datos generales de la empresa (copia electrónica). Chojlla, Bolivia.
- Avircata, A., M. 2007. Factores de conversión realizados en la empresa ANDITRADE - AGRICABV S.A. Caranavi, Bolivia.
- Castañeda, P. E. 2000. El ABC del café. Edición TECNATROR SRL. Perú. 176 p.

- CENICAFE (Centro Nacional de Investigaciones del Café). 1995. Avances técnicos de Cenicafe. Números: 1 al 113. Tomo I Chinchina. Caldas, Colombia. pp. 137-142.
- Fajardo P; Sanz, JR. 2003. Evaluación de la calidad física del café en los procesos de beneficio húmedo tradicional y ecológico (Becolsub). Cenicafe 54(4):286-296.
- FONADAL (Fondo Nacional de Desarrollo Alternativo). 2010. Dossier diagnóstico de Yanacachi. Proyecto sistema de manejo del uso de suelos y monitoreo en los Yungas de La Paz y el Trópico de Cochabamba ad/bol/01/f57. Edición David Fernández Candia. La Paz, Bolivia. 83 p.
- Gamboa, RPY; Mosquera, SSA; Paz, NIE. 2015. Caracterización física de café especial (*Coffea Arabica*) en el municipio de Chachagüí (Nariño, Colombia). Revista Lasallista de Investigación. Antioquía, Colombia 12(1):90-98.
- Gomez, MJM. 2019. Modelación del procesamiento agroindustrial del café desde la fruta hasta el café oro. Tesis Lic. Costa Rica. Universidad de Costa Rica. 92 p.
- IBNORCA (Instituto Nacional de Normalización de la Calidad). 2001. Norma Boliviana 315 002, Estimulantes-café-café verde en grano clasificación. La Paz, Bolivia.
- Lopez, BC. 2013. Optimización del uso del agua en el lavado del café en los tanques de fermentación. Tesis Maestría. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 91 p.
- Montilla, J; Arcila, J; Aristizábal, M; Montoya, E; Puerta, G; Oliveros, C; Cadena, G. 2008. Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café durante el proceso de beneficio húmedo tradicional. Cenicafe, 59(2): 120-142.
- Muñoz, MDF; Noguera, OM. 2016. Evaluación de 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. Tesis Lic. Colombia. Universidad Nacional San Juan de Pasto. 92 p.
- Peñafiel, RWM. 2009. Estadística aplicada. Moisés Quiroga Sosa (editor). La Paz, Bolivia. 124 p.
- Reguerin, BM. 2012. Titularización de flujos como forma alternativa de financiamiento enfocada al sector cafetalero de exportación. Tesis Lic. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 171 p.
- Rodriguez, VN; Zambrano, DA. 2010. Los subproductos del café: Fuente de energía renovable. Avances Técnicos, Cenicafé No. 393.
- Torrez, NA. 2005. Evaluación de factores que afectan la calidad del café en post-cosecha en la región de Apolo. Tesis Lic. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 91 p.
- Uribe, HA. 1997. Constantes físicas y factores de conversión en café. Avances Técnicos, Cenicafé No. 65: 1-3.
- Vargas, G; Mazón, B. 2004. Método para la determinación de humedad en cáscara de café. Revista de Tecnología de Alimentos (REVITECA).
- Artículo recibido en: 27 de agosto 2021
Aceptado en: 25 de noviembre 2021