

**Efecto del proceso de beneficiado húmedo en
características físico-químicas y sensoriales de
café verde especial (var. Pacamara)**

Darío Xavier Valarezo Flores

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2017

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

Efecto del proceso de beneficiado húmedo en características físico-químicas y sensoriales de café verde especial (var. Pacamara)

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Agroindustria Alimentaria en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Darío Xavier Valarezo Flores

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2017

Efecto del proceso de beneficiado húmedo en características físico-químicas y sensoriales de café verde especial (var. Pacamara)

Darío Xavier Valarezo Flores

Resumen. El beneficiado es un proceso determinante para la calidad sensorial del café. Las tendencias sobre estándares de calidad y responsabilidad ambiental obligan al sector cafetalero a desarrollar técnicas de procesamiento que optimicen el uso del agua durante el beneficiado húmedo sin disminuir la calidad. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de diferentes niveles de beneficiado húmedo en las características físico-químicas y sensoriales de café verde especial variedad Pacamara. Se evaluaron dos niveles de lavado (uno y tres) y tres de secado (sol, sol/sombra y sombra) para emular el beneficiado de los productores del sector. El estudio se desarrolló en la Finca Santa Rosa en Chalatenango, El Salvador, y se dividió en tres fases. La fase I constó de la evaluación de diferentes parámetros durante el proceso de beneficiado húmedo (fermentación, lavado y secado); la fase II en la evaluación de las características físico-químicas de los tratamientos; en la fase III se hizo una evaluación sensorial por panelistas entrenados nacionales e internacionales. Para las fases I y II se usó un DCA con arreglo factorial 2×3 y tres repeticiones, y para la fase III se usó un diseño BCA. Se ejecutó un ANDEVA con separación de medias ajustadas y un alfa de 0.05. Tanto las características físico-químicas como las sensoriales no presentaron diferencias significativas categóricas entre tratamientos. También se evaluó la cantidad de polifenoles totales y perfil de azúcares a través de un análisis proximal.

Palabras clave: Análisis proximal, perfil de azúcares, uso de agua.

Abstract. Coffee processing is a decisive operation for the sensory quality of coffee. Trends on quality standards and environmental responsibility force the coffee sector to develop processing techniques that optimize the use of water during wet processing without diminishing quality. The objective of the study was to evaluate the effect of different levels of wet processing on the physicochemical and sensory characteristics of special green coffee, Pacamara variety. Two levels of washing (one and three) and three of drying (sun, sun / shade, and shade) were evaluated to emulate the beneficiaries of the sector's producers. The study was conducted at Finca Santa Rosa in Chalatenango, El Salvador, and was divided into three phases. Phase I consisted of the evaluation of different parameters during the process of wet processing (fermentation, washing and drying); Phase II in the evaluation of the physical-chemical characteristics of the treatments; in phase III a sensorial evaluation was carried out by trained national and international panelists. For phases I and II, a CRD with 2×3 factorial arrangement and three replicates were used, and a CRB design was used for phase III. An ANOVA was performed with the separation of adjusted means using an alpha of 0.05. Both physicochemical and sensory characteristics did not present significant categorical differences between treatments. The amount of total polyphenols and the sugar profile was evaluated through a proximal analysis.

Key words: Proximal analysis, sugar profile, use of water.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de Cuadros y Anexos	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	9
4. CONCLUSIONES	20
5. RECOMENDACIONES	21
6. LITERATURA CITADA.....	22
7. ANEXOS	26

ÍNDICE DE CUADROS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Descripción de tratamientos durante beneficiado húmedo de café.	3
2. Proceso de cambio del pH, °Brix y Temperatura de grano durante la fermentación ¹	10
3. Comportamiento de la temperatura superficial del grano para tres ambientes de secado: Sol, Sol/Sombra y Sombra.	11
4. Comportamiento de la humedad relativa para tres ambientes de secado: Sol, Sol/Sombra y Sombra.....	12
5. Comportamiento de la temperatura ambiente para tres ambientes de secado: Sol, Sol/Sombra y Sombra	13
6. Comportamiento de humedad del grano para tres ambientes de secado: Sol, Sol/Sombra y Sombra	14
7. Análisis de color escala L* a* b* de café verde.....	15
8. Análisis proximal por componentes entre tratamientos de café verde	16
9. Análisis de polifenoles totales entre tratamientos de café verde	17
10. Perfil de azúcares y azúcares totales de café verde.	18
11. Calificaciones de evaluación sensorial de café tostado	19
Anexos	Página
1. Composición química de distintas variedades de grano de café verde.	26
2. Clasificación de calidades de café según calificación final en formato SCAA.	26
3. Resultados de análisis de agua del Laboratorio de Suelos Zamorano.	27
4. Curva estándar de ácido gálico a diferentes concentraciones.	28
5. Resultados de SAS 9.1 para análisis Humedad del grano durante secado	28
6. Formato de evaluación sensorial de atributos según SCAA.	29

1. INTRODUCCIÓN

El café (*Coffea arabica*) es un cultivo tropical de hoja perenne que pertenece a la familia botánica Rubiaceae compuesta por 631 géneros (UIB 2007). El género que engloba al cultivo de café es el *Coffea* constituido por árboles, arbustos y bejucos establecidos en 103 especies, de las cuales tres son las más utilizadas para la producción de la bebida café: *Coffea arábica* (café arábico), *Coffea canephora* (café robusta) y *Coffea liberica* (café liberica) (Davis *et al.* 2006).

La especie arábica fue descrita por Linneo en 1753, es la especie de mayor importancia comercialmente pero también es la más susceptible a plagas y enfermedades. *Coffea arábica* actualmente es la principal especie del género, constituye más del 60% del café que se comercializa en el mercado internacional. Su centro de origen se encuentra en el sudeste de Etiopía, el sur del Sudán y el norte de Kenia en el África Oriental. Entre las variedades más conocidas de la especie existen el “Typica” y el “Borbón”, a partir de las cuales se han desarrollado mutaciones como el Maragogype y el Pacas respectivamente (Clifford 1985; Café de Colombia 2010). El cultivar Pacamara obtenido por el cruzamiento entre las dos mutaciones descritas (WCR 2016), fue desarrollado en El Salvador por el ISIC (Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café) en 1958 (CSC s.f.).

El Salvador, posee una extensión territorial de 2314.49 Km² (11%) de recubrimiento forestal de los cuales 1472.9 Km² (7%) están constituidos por cafetales distribuidos en seis cordilleras de producción (CSC 2016). La cordillera Alotepec-Metapan ubicada al noroeste del país ha logrado posicionarse como productora de material de alta calidad en donde se encuentra Finca Santa Rosa, finca ganadora de la taza de excelencia de El Salvador 2017. La caficultura representa la principal fuente de empleo para la población rural del país y proporciona uno de los principales productos agroexportables que junto con la caña de azúcar son el eje y el sostén de la economía nacional (Procafé 2004).

El café producido en El Salvador es beneficiado en base a las condiciones de cada procesador. El beneficiado de café se define como el proceso de transformación de café cereza a café pergamino de manera húmeda o seca (Anacafe 2011). El proceso de beneficiado por vía húmeda comprende los siguiente procesos: recolección del grano maduro de campo, separación de la cascara mediante acción mecánica con el uso de molinos generalmente, la fermentación del mucílago restante en el grano que se interrumpe cuando el grano alcanza un pH de 3.7 a 4.1, remoción del mucílago fermentado mediante lavados por inmersión o con circulación de agua, secado en patios, camas africanas o secadores industriales, almacenamiento del café seco cuando éste ha alcanzado humedades de 10 al 12% y finaliza con el proceso de trillado en donde se extrae la última capa denominada pergamino; como resultado se obtiene café de tipo oro exportable de

especialidad que será tostado, molido y empacado por sus adquirentes para su comercialización (Puerta 2012).

Las características de un café de especialidad hacen alusión al cuidado y manejo que se le ha brindado durante su producción, procesamiento y preparación, tomando en cuenta diversos factores como el origen, geografía, microclimas, tipo de procesamiento, método de extracción entre otros, los cuales, debieron establecerse en condiciones óptimas durante cada etapa para obtener como resultado granos de café con sabores únicos y de características particulares que preservan su identidad. La identidad de cada café se basa en la cantidad y tipo de componente desarrollado en el café, estos generan atributos perceptibles sensorialmente como: dulzura, producida principalmente por proteínas y carbohidratos; el salado, por minerales como el potasio, fósforo y calcio; la acidez, caracterizada por la cantidad de ácido clorogénico, cítrico, tartárico y málico y el amargor, producido por compuestos como cafeína, fenoles y trigonelina. (Barberá P 2000) Es importante tomar en cuenta los procesos mencionados para poder obtener un café de buena calidad y prolongar la estabilidad de sus compuestos. A partir de esta temática se desarrolló una evaluación y análisis de distintos componentes en el presente estudio y se establecieron los siguientes objetivos:

- Evaluar el proceso de beneficiado húmedo de café y su efecto en las características físico-químicas y sensoriales de café verde u oro exportable.
- Determinar el mejor proceso de beneficiado húmedo (un lavado y tres lavados) de café en términos de eficiencia y calidad de taza final.
- Evaluar el contenido total de polifenoles, los tipos y la cantidad de azúcares presentes en *Coffea arabica*, variedad Pacamara.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio.

El estudio se llevó a cabo en la Finca Santa Rosa ubicada en el departamento de Chalatenango, El Salvador. El proceso de beneficiado húmedo (fase 1) fue desarrollado en el Beneficio Cayaguanca ubicado en el mismo departamento. La segunda fase del estudio, evaluación físico-química se desarrolló en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ) y en el Laboratorio de Suelos de Zamorano ubicados en el Valle del Rio Yeguaré, departamento de Francisco Morazán, Honduras. La tercera fase del estudio correspondiente a la evaluación sensorial se llevó a cabo en las instalaciones del Consejo Salvadoreño del Café (CSC) en el departamento de La Libertad, El Salvador, en la empresa Ona Coffee ubicada en Camberra, Australia y en el laboratorio de catación de finca Santa Rosa.

Diseño experimental.

El estudio se dividió en tres fases. En la primera fase se evaluó el proceso de beneficiado húmedo (fermentación, lavado y secado) a través de un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial 2×3 utilizando dos niveles de lavado (un lavado y tres lavados) y tres niveles de secado (Sol, Sol/Sombra y Sombra) con tres repeticiones por cada tratamiento (Cuadro 1) para un total de 18 unidades experimentales. La segunda fase consistió en la determinación de características físico-químicas del grano de café verde para cada tratamiento (TRT), se estableció un DCA al igual que en la fase 1. En la tercera fase se estableció una valoración del café en cuanto a características sensoriales del mismo por parte de diferentes panelistas entrenados provenientes del CSC (Consejo Salvadoreño del Café) y de las empresas Café imports y Ona Coffee de Australia. Para la tercera fase se utilizó un diseño de Bloques Completos al Azar (BCA) donde cada bloque o panelista evaluó y calificó cada tratamiento de manera aleatoria en una escala de 1-100. Los datos fueron analizados con el programa SAS® Versión 9.4, a través de un análisis de varianza (ANDEVA) con un procedimiento de modelo general lineal (GLM) y una separación de medias ajustadas (LSMEANS), y con una probabilidad del 95%.

Cuadro 1. Descripción de tratamientos durante beneficiado húmedo de café.

Número de Lavados	Tipo de Secado		
	Sol	Sol/Sombra	Sombra
1 Lavado	TRT1	TRT2	TRT3
3 Lavados	TRT4	TRT5	TRT6

TRT: Tratamiento

Fase I. Beneficiado húmedo.

Origen del café. Se cosechó la drupa proveniente del lote número dos ubicado a una altura de 1550 m.s.n.m que posee un recubrimiento de pino (*Pinus oocarpa*) con una edad de 10 años. La cosecha fue la número siete desde establecida la plantación e inició el martes 21 y miércoles 22 de febrero de 2017 para la repetición uno (R1) y las repeticiones dos (R2) y tres (R3) respectivamente. Se seleccionó personal para la recolección de la drupa en calidad madura, estableciendo una tonalidad rojizo oscuro y morado (vino tinto) como óptima, además se hizo un muestreo determinando un promedio base de 19.5 °Brix. Luego del proceso en finca se hizo el traslado al beneficio en sacos de polipropileno tejido. El beneficio se encuentra a una altura de 1100 m.s.n.m. y está localizado a noventa kilómetros de la finca. En este punto se verificó el peso para iniciar con los procesos de despulpado y fermentado.

Fermentación. Se hizo en tinajas de cerámica durante 36.5 horas para R1 y 36.7 horas para R2-R3 y se monitorearon parámetros intrínsecos como °Brix, pH y temperatura del grano; también parámetros extrínsecos como Humedad relativa y temperatura ambiente. Tanto los parámetros intrínsecos como extrínsecos se midieron tres veces al día y se registraron los cambios y condiciones ambientales durante todo el proceso. Además, se determinó un pH de 4.35 como óptimo para interrumpir el proceso de fermentación que fue alcanzado los días jueves 23 y viernes 24 de febrero de 2017 para R1 y R2-R3 respectivamente.

Lavado. El proceso de lavado se dividió en tres ciclos. Para cada ciclo se aplicó agua al grano fermentado hasta sobrepasar su volumen a un máximo de diez centímetros, luego se agitó el grano aplicando movimientos mecánicos con una pala de madera. El ciclo completo de lavado para la R1 duró aproximadamente 14 minutos, el primer ciclo duro 8 minutos en el cual se separó la mitad del volumen del café (82 lb) obteniendo como resultado los tratamientos 1, 3 y 5 (1 lavado). Los tratamientos 2, 4 y 6 (3 lavados) se obtuvieron con el café restante (82 lb), al cual se le aplicó el segundo y tercer ciclo del lavado restante, ambos ciclos duraron 3 minutos cada uno. El proceso se repitió para R2 y R3. El ciclo completo de lavado duró aproximadamente 26 minutos, 16 minutos para el primer ciclo (126 lb), 5 minutos para el segundo ciclo y 5 minutos para el tercer ciclo (131 lb). De los procesos se sustrajeron 23 lb (R1) y 40 lb (R2, R3) de grano flotado.

Secado. Todos los tratamientos fueron secados en camas africanas de dimensiones de 1×1.5×0.1 m, con maya de metal mesh 3×3 mm. Las camas se colocaron en tres tipos de ambiente: Sombra (tratamientos 1-2), Sol (tratamientos 3-4) y combinación Sol/Sombra (tratamientos 5 y 6). Durante el proceso de secado se midió continuamente la humedad y temperatura superficial del grano, humedad relativa y temperatura ambiente, hasta que cada tratamiento alcance una humedad promedio óptima de 11.5%. Los diferentes tratamientos recibieron un pre secado de 48 horas en un ambiente tipo sol, para evitar la proliferación de hongos.

Parámetros intrínsecos.

pH. Se evaluó con un potenciómetro digital marca Hanna Hi-98130 previamente calibrado, para la medición se introdujo el potenciómetro en tres distintos puntos sobre el área de grano en fermentación.

Concentración de sólidos solubles. Los sólidos solubles (°Brix) fueron medidos con un refractómetro marca ATC de rango 0-50 durante las etapas de cosecha y fermentación. El índice de refracción relaciona la cantidad de luz refractada y la concentración de sólidos de un compuesto, el valor se expresa en °Brix (porcentaje de azúcares) (UBA s.f.).

Temperatura del grano. Se midió la temperatura superficial del grano durante todo el proceso de secado y fermentado haciendo uso de un termómetro infrarrojo de doble láser marca LASERGRIP 630. Las lecturas se hicieron apuntando tres veces el láser en diferentes puntos del área del café en cama, obteniendo los valores en grados centígrados (°C).

Humedad. Las mediciones de humedad se hicieron con el equipo COFFEE PRO de manera diaria, iniciando a partir del día cuatro de secado. Se extrajeron 100 g de muestra de café verde de cada tratamiento para la medición. Además, se corroboraron los valores con el equipo SINAR especial para productos con un contenido de humedad variado en un rango de 1% a 35%.

Parámetros extrínsecos.

Durante el proceso de beneficiado húmedo se midieron parámetros extrínsecos como humedad relativa y temperatura ambiente. La humedad relativa y temperatura ambiente se determinaron haciendo uso de un termómetro-higrómetro digital marca ACURITE. Los tres parámetros fueron medidos durante toda la fase I del experimento tres veces cada dos días.

Cuantificación y caracterización de defectos. La cantidad de defectos totales se determinó en una muestra de 500 g para cada unidad experimental (UE) de donde se sustrajeron los defectos en su totalidad. Del total de defectos obtenidos de todas las muestras (389.5 g) se tomó una muestra de 40 g, la cual fue utilizada para clasificar los defectos por tipo y presencia de los mismos.

Fase II. Análisis físicos y químicos.

Preparación de muestras. El grano verde se pulverizó mecánicamente a un tamaño de partícula de 0.5 mm en un molino marca Perten 3310 y fueron almacenados en frascos de vidrio hasta el momento de su análisis.

Análisis de color (AN 1018.00). Se evaluó el color de todas las unidades experimentales haciendo uso del equipo Colorflex hunter L a b. Los valores hacen referencia a los colores en tres ejes de coordenadas L* (0-100) para luminosidad, a* (60 a -60) y b* (60 a -60) representan la intensidad del color.

Donde:

L= Luminosidad, cero equivale a negro y 100 equivale a blanco

a = (-60 a 0 = verde; 0 a 60= rojo)

b = (-60 a 0 = azul; 0 a 60= amarillo)

Análisis de agua. Se llevó a cabo un análisis completo de agua para determinar las características del agua utilizada durante el lavado, en el cual se midieron los siguientes parámetros:

- pH a través de método potenciométrico (SM 4500 H)
- Ca, Mg, K, Na, Cu, Fe, Mn, Zn a través de digestión húmeda con Ácido Nítrico determinándose por espectrometría de absorción atómica. (SM3030.E)
- Dureza: espectrometría de absorción atómica. (SM 2340.B)
- Cloruros: volumetría con AgNO₃. (SM Cl 4500 B).
- Conductividad eléctrica

Análisis proximal. Durante la determinación de la composición proximal del grano de café verde se evaluaron los componentes en porcentajes de fibra cruda, proteína, lípidos, humedad, cenizas y compuestos no nitrogenados (carbohidratos digeribles, vitaminas y otros compuestos no nitrogenados). Todos los componentes fueron evaluados aplicando los métodos oficiales de determinación detallados a continuación: Fibra cruda bajo el método AOAC962.09, proteína bajo el método AOAC 2011.11 en base al extracto libre de nitrógeno, lípidos bajo el método AN FOSS 3004, cenizas bajo el método AOAC 923.03 y humedad bajo el método AOAC 95.15/950. Los carbohidratos digeribles, vitaminas y otros compuestos no nitrogenados se cuantificaron por medio de la resta de los porcentajes obtenidos de los otros componentes, como se muestra en la ecuación 1.

$$\text{Extracto Libre de Nitrógeno (\%)} = 100 - (A + B + C + D + E) \quad [1]$$

Donde:

A= Contenido de fibra cruda (%)

B= Contenido de proteína cruda (%)

C= Contenido de lípidos crudos (%)

D= Contenido de ceniza (%)

E= Contenido de humedad (%)

Análisis de polifenoles totales. La cantidad de polifenoles totales contenidos en cada unidad experimental se midió a través de su capacidad reductora. Las muestras se prepararon pesando 0.1 g de cada unidad experimental (café verde) en tubos plásticos, el polvo se homogenizó con 10 ml de agua a 75 °C y fue sometida a movimientos ultrasónicos en un sonicador marca Fisher Scientific14 por 30 min y movimientos centrífugos en una centrifugadora marca IEC (International Equipment Company) modelo K a 17 900 g durante 15min. La fase acuosa se repitió dos veces para asegurar máxima extracción, las muestras fueron filtradas través de papel Whatman No. 40 (8 µm).

El ensayo Folin Ciocalteu se hizo con 1 ml de reactivo Folin- Ciocalteu (0.25 M) más 0.1 ml de muestra, se agitaron las muestras y se dejaron reposar durante tres minutos, desarrollado el tiempo se adicionó 1 ml de Carbonato de Sodio 1 M (Na_2CO_3) que fue mezclado y dejado en reposo por siete minutos. Posterior a esto, se añadieron 3 ml de agua destilada a la solución y se dejó reposar por un periodo final de 60 min para proceder con la lectura de las muestras en un espectrofotómetro marca Thermo modelo Genesis 20. Los compuestos fueron cuantificados a 726 nm de longitud de onda y los resultados reportados en mg-ácido gálico/litro (García 2015).

Todos los tratamientos se realizaron por triplicado. El compuesto fenólico en reacción para la curva fue ácido gálico a diferentes concentraciones (0, 50, 100, 200 y 400). Se calculó el equivalente de ácido gálico con la ecuación lineal 2 obtenida de la curva estándar ($R^2 = 0.9868$).

$$y = 0.0025x - 0.0057 \quad [2]$$

Donde:

y: absorbancia a 726 nm

x: concentración de equivalente de ácido gálico (mg/l)

Análisis de perfil de azúcares por HPLC (AOAC 982.14). El análisis se inició pesando 1 g de muestra de cada unidad experimental. En matraces se colocó el gramo de muestra y se le añadió 50 ml de una solución de agua más metanol en partes iguales. La mezcla fue sometida a baño maría con agua a 80-85 °C durante 30 minutos. Pasado el tiempo se dejaron enfriar las muestras, se homogenizaron y se aforaron con la solución de agua más metanol.

La muestra se colocó en una jeringa con filtro de nylon de 0.45 μm , el contenido se expulsó a través de la jeringa hacia los viales de lectura. Se utilizó un equipo HPLC (High Performance Liquid Chromatography) marca Agilent. Se prepararon estándares para fructosa, glucosa, sacarosa, maltosa, lactosa para la cuantificación de los azúcares presentes. Se utilizó una guarda columna Hi Plex 50 \times 7.7 mm y una columna Hi Plex Ca 300 \times 7.7 mm 8 μm a 85 °C para la segregación de azúcares en el HPLC. La velocidad del flujo fue de 0.6 ml/min, con un tiempo de corrida de 20 min y un volumen de inyección de 20 μL . El análisis de datos se efectuó con el software Agilent Chemstation Software 2003 para sistemas de cromatografía y Microsoft Excel® 2010.

Fase III. Evaluación sensorial.

Para la evaluación se desarrolló un protocolo utilizando el formato establecido por (SCAA 2012). En el protocolo se detalló la forma de preparación de las muestras y las características de evaluación para los catadores participantes. Las muestras fueron tostadas en un tiempo entre 8 a 12 minutos hasta alcanzar un tueste idóneo para catación, el tiempo varió dependiendo de las condiciones atmosféricas del lugar de tostado y de la tostadora de muestras utilizada.

La catación inició colocando tres tazas de porcelana para cada muestra para el análisis de uniformidad, se continuo con el molido de las muestras de tal manera que el tamaño de partícula pase por un tamiz de 20 mesh. Se colocaron 8.25 g de café por cada 150 ml de agua; la cantidad de café y agua dependerá de la capacidad de la taza utilizada, luego se vertió el agua a una temperatura de 92 a 94°C directamente sobre el café generando turbulencia y mojando el café totalmente hasta alcanzar el tope de la taza; se dejó reposar durante tres a cinco minutos para proceder a remover la cobertura (costra) de café en la superficie para iniciar la catación.

Los evaluadores sensoriales iniciaron con la evaluación olfativa percibiendo la fragancia del café seco una vez colocado en taza y luego el aroma al momento de remover la costra de la superficie, continuaron con la evaluación gustativa donde se esperó 10 minutos luego del vertido hasta que la temperatura del café descendiera a una temperatura menor de 71 °C para iniciar la evaluación de los atributos como acidez, dulzura, cuerpo, balance, limpieza, valoración general y retrogusto. Esta evaluación se repitió luego de 15 minutos hasta que el café haya alcanzado una temperatura menor a 21 °C y poder determinar la estabilidad de características perceptibles en el café. La puntuación por parte de los evaluadores fue establecida en 100 puntos como máxima calificación (SCAA 2015).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fase I. Beneficiado húmedo.

Análisis de pH en fermentación. El pH inicial del café luego de cosecha fue de 5.2. El valor depende de la variedad utilizada, las condiciones de madurez de la drupa y del manejo previo al despulpado que se le brinde al café cereza (Puerta 2012). El proceso de despulpado inició dos horas después de cada cosecha; una vez despulpado el grano obtuvo un pH inicial promedio de 6.05 ± 0.21 para ambas fermentaciones; los valores responden al varietal (Pacamara) utilizado para el estudio, al grado de madurez y al día de cosecha. No se pudo observar una contundente diferencia significativa durante la fermentación, pero existió un leve descenso del pH hasta 4.39 ± 0.10 (Cuadro 2), el cual se pudo producir debido a la actividad de levaduras como *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida albicans*, *Candida tropicalis* y a bacterias como *Lactobacillus acidophilus* y *Lactobacillus fermentum* que se encuentran naturalmente en el mucílago. Las bacterias transformaron los azúcares (glucosa, fructosa y sacarosa) en sustancias orgánicas más simples, obteniendo etanol, ácido láctico y ácido acético como resultado. El desarrollo de estos compuestos induce a una disminución del pH generando la degradación del mucílago y haciendo más fácil su remoción (Puerta 2010).

Análisis de sólidos solubles en fermentación. El promedio de la concentración de sólidos solubles inicial para R1, R2 y R3 fue de 22.45 °Brix, dato comparable con los 25 °Brix del varietal Catuaí obtenidos por Silva (2011). Catuaí es un varietal obtenido a partir de dos mutaciones de la variedad Borbón (Silva *et al.* 2011). Los sólidos solubles presentes en el café están conformados por diferentes compuestos como sacarosa, glucosa, fructosa, ácido málico, láctico, acético, succínico, oxálico, fórmico, fosfórico, galacturónico, etanol, esteroides, polisacáridos, proteínas y cenizas (Puerta 2012). Existió un descenso de la cantidad de sólidos solubles en promedio de 3.35 grados Brix (Cuadro 2). La disminución se debió al desdoblamiento y degradación de diferentes sustancias pécticas y azúcares las cuales derivan en otras sustancias como alcoholes y ácidos orgánicos si se prolongan las condiciones aeróbicas (IICA 2010).

Análisis de temperatura del grano.

Durante el proceso de fermentación se tomaron valores de temperatura sobre la capa superficial de la masa de café, esta fue monitoreada durante todo el proceso de fermentación (36.5 horas). Debido a la hora de inicio de fermentación 6:45 pm y a los cambios de temperatura no se pudo evidenciar el aumento o descenso de temperatura del grano durante el proceso (Cuadro 2).

El aumento de temperatura de la masa de café en fermentación se puede producir por las reacciones bioquímicas naturales del café y por la acción directa de los microorganismos durante la degradación del mucilago. Peñuela (2010) evidencio un aumento de temperatura con valores mínimos iniciales de 23 y 21.5 °C hasta un máximo de 25.8 y 23.8 °C respectivamente para los tratamientos establecidos durante su estudio. (Peñuela *et al.* 2010)

Cuadro 2. Proceso de cambio del pH, °Brix y Temperatura de grano durante la fermentación¹.

Hora	pH	°Brix	Temperatura grano (°C)
	Media ± D.E.	Media ± D.E.	Media ± D.E.
1	6.05 ± 0.21 ^a	22.45 ± 1.76 ^a	23.10 ± 1.98 ^{ab}
12	5.61 ± 0.40 ^{ab}	22.25 ± 1.91 ^a	17.50 ± 0.14 ^c
18	5.22 ± 0.30 ^{bc}	21.60 ± 1.84 ^a	26.20 ± 3.96 ^a
23	4.78 ± 0.09 ^{cd}	20.30 ± 0.99 ^b	22.95 ± 0.49 ^{ab}
30	4.52 ± 0.04 ^d	19.75 ± 1.06 ^b	19.65 ± 1.20 ^{bc}
36	4.39 ± 0.10 ^d	19.10 ± 0.99 ^c	19.40 ± 0.57 ^{bc}
C.V (%)	3.57	1.75	9.24

C.V(%): Coeficiente de variación.

¹: Medias con diferentes letras minúsculas en la misma columna indican diferencias significativas (P < 0.05).

D.E: desviación estándar.

*la evaluación se hizo para toda la masa de café en fermentación correspondiente a todos los tratamientos.

Lavado. El proceso de lavado tiene la finalidad de remover los productos de la degradación bioquímica del mucílago y los metabolitos desarrollados por los organismos que intervinieron durante el proceso de fermentación. El consumo de agua durante el lavado está estimado en tres a cinco litros por kilogramo de café oro en pilas de fermentación (IICA 2010). El análisis de agua utilizada para el lavado de todos los tratamientos tuvo las siguientes características:

- pH de 6.78 correspondiente a ligeramente ácido.
- Conductividad Eléctrica (C.E) de 103.44 µmho/cm representando ningún problema de salinización.
- Dureza de 40.70 mg/l de carbonato de calcio (CaCO₃), entre otras características.

Puerta 2015 establece que, para los procesos de clasificación de cereza, fermentación, lavado, saneamiento de equipo e instalaciones y para la preparación de la bebida se requiere el uso de agua potable (Puerta 2015).

Secado. La duración de la fase de secado se vio influenciada por los diferentes ambientes (Sombra, Sol, Sol/ Sombra) a los que se sometieron los tratamientos. Todas las unidades experimentales recibieron un pre secado de 2 días bajo sol para evitar el desarrollo de hongos como los del genero *Aspergillus* y *Penicillum* generadores de sustancias tóxicas como la Ocratoxina A (OTA). La humedad inicial luego de secado generalmente es de 55%, la cual es óptima para la proliferación de dichos microorganismos (Besora 2017).

Se estableció un porcentaje óptimo de humedad final para inicio de almacenado de 11.5% (Oliveros *et al.* 2009). El tiempo de secado para los tratamientos 1 y 2 fue de 23 días, para los tratamientos 3 y 4 fue de 9 días y para los tratamientos 5 y 6 un total de 17 días. Durante el proceso de secado se midieron parámetros intrínsecos del grano como temperatura del grano y parámetros extrínsecos como temperatura ambiente y humedad relativa para todos los ambientes. La temperatura del grano para los tratamientos 1 y 2 tuvo un valor máximo de 25.56 °C y un mínimo de 20.70 °C, para los tratamientos 3 y 4 se obtuvo un valor máximo de 30.24 °C y un mínimo de 27.27 °C y para los tratamientos 5 y 6 existió un valor máximo de 30.34 °C y un mínimo de 21.36 °C, estos dos últimos tratamientos recibieron mayor fluctuación de temperatura durante la fase de secado (Cuadro 3).

Cuadro 3. Comportamiento de la temperatura superficial del grano para tres ambientes de secado: Sol, Sol/Sombra y Sombra.

Día	Temperatura del grano (°C)					
	Sol		Sol/Sombra		Sombra	
	1 lavado Media ± D.E.	3 lavados Media ± D.E.	1 lavado Media ± D.E.	3 lavados Media ± D.E.	1 lavado Media ± D.E.	3 lavados Media ± D.E.
1	28 ± 14.7 ^a	27 ± 13.8 ^{abc}	24 ± 14.2 ^{ab}	28 ± 14.3 ^{abc}	24 ± 6.5 ^{bc}	23 ± 6.1 ^c
3 ¹	30 ± 14.7 ^a	30 ± 14.2 ^a	30 ± 14.8 ^a	30 ± 14.5 ^a	25 ± 5.0 ^b	24 ± 4.8 ^c
5	29 ± 12.1 ^a	28 ± 11.5 ^a	23 ± 4.0 ^b	23 ± 4.1 ^b	23 ± 4.0 ^b	22 ± 3.0 ^b
7	28 ± 14.1 ^a	27 ± 13.0 ^{ab}	23 ± 4.0 ^{bc}	23 ± 4.1 ^{bc}	23 ± 3.9 ^{bc}	22 ± 3.4 ^c
9 ²	30 ± 15.8 ^a	29 ± 15.4 ^a	26 ± 6.7 ^a	26 ± 6.6 ^a	26 ± 6.4 ^a	25 ± 5.8 ^a
11			25 ± 4.0 ^{ab}	25 ± 3.7 ^a	25 ± 4.4 ^{ab}	24 ± 3.8 ^b
13			23 ± 5.2 ^a	23 ± 5.0 ^a	23 ± 5.1 ^a	22 ± 4.4 ^a
15			23 ± 2.5 ^a	23 ± 2.6 ^a	23 ± 2.6 ^a	23 ± 2.4 ^a
17 ³			22 ± 3.6 ^a	21 ± 3.9 ^{ab}	20 ± 3.5 ^b	21 ± 3.6 ^{ab}
19					21 ± 3.6 ^a	21 ± 3.5 ^a
21					22 ± 5.2 ^a	22 ± 5.2 ^a
23 ⁴					22 ± 6.2 ^a	21 ± 5.4 ^a

^{ab}: Medias con diferentes letras minúsculas en la misma fila indican diferencias significativas entre tratamientos (P < 0.05).

D.E: desviación estándar.

¹: traslado de tratamiento se sol a sombra.

²: días de secado para tratamientos bajo sol.

³: días de secado para tratamientos en combinación sol/sombra.

⁴: días de secado para tratamientos bajo sombra.

Los valores de humedad relativa del ambiente no sobrepasaron el 60.33% ni disminuyeron de 42.67% (Cuadro 4), estableciendo una humedad relativa promedio de 51.5% durante el proceso de secado. La higroscopicidad de los granos de café genera una interacción entre el grano y el aire del ambiente permitiéndoles ganar o perder agua en forma de vapor. La relación entre el contenido de vapor de agua que puede tener un kilogramo de aire y el contenido de vapor de agua que puede tener un kilogramo de aire saturado representa el porcentaje de humedad relativa del ambiente, el cual varía con el aumento o descenso de la temperatura ambiental. Los valores de humedad relativa alteran la tasa de disminución de humedad del grano debido a la interacción de estos con el ambiente (Lucia 1994).

Cuadro 4. Comportamiento de la humedad relativa para tres ambientes de secado: Sol, Sol/Sombra y Sombra.

Día	Humedad Relativa (%)					
	Sol		Sol/Sombra		Sombra	
	1 lavado	3 lavado	1 lavado	3 lavados	1 lavado	3 lavados
	Media ± D.E.					
1	52 ± 7.4 ^a	53 ± 3.0 ^a	53 ± 3.0 ^a			
5	46 ± 14.8 ^b	46 ± 14.8 ^b	57 ± 6.5 ^a			
9	48 ± 12.3 ^b	48 ± 12.3 ^b	51 ± 14.8 ^a			
13			44 ± 15.5 ^a			
17			60 ± 8.7 ^a			
21					53 ± 4.4 ^a	53 ± 4.4 ^a
23					43 ± 11.3 ^a	43 ± 11.3 ^a

^{ab}: Medias con diferentes letras minúsculas en la misma fila indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$).

D.E: desviación estándar.

Los valores de temperatura ambiente oscilaron entre un máximo de 31.16 °C y un mínimo de 23 °C (Cuadro 5), obteniendo un promedio de temperatura ambiental de 27.08 °C durante el proceso de secado. La temperatura ambiente es uno de los parámetros de mayor importancia durante el secado del grano, el aumento de la temperatura ambiental influye directamente en el tiempo y en la velocidad del proceso de secado (Lara 2016).

Cuadro 5. Comportamiento de la temperatura ambiente para tres ambientes de secado: Sol, Sol/Sombra y Sombra.

Día	Temperatura Ambiente (°C)					
	Sol		Sol/Sombra		Sombra	
	1 lavado	3 lavado	1 lavado	3 lavados	1 lavado	3 lavados
	Media ± D.E.	Media ± D.E.	Media ± D.E.	Media ± D.E.	Media ± D.E.	Media ± D.E.
1	28 ± 6.4 ^a	28 ± 6.4 ^a	28 ± 6.4 ^a	28 ± 6.4 ^a	26 ± 3.5 ^b	26 ± 3.5 ^b
5	31 ± 8.2 ^a	31 ± 8.2 ^a	26 ± 3.0 ^b			
9	28 ± 5.4 ^a	28 ± 5.4 ^a	28 ± 5.9 ^a			
13			26 ± 5.9 ^a			
17			23 ± 3.0 ^a			
21					24 ± 1.5 ^a	24 ± 1.5 ^a
23					27 ± 5.6 ^a	27 ± 5.6 ^a

^{ab}: Medias con diferentes letras minúsculas en la misma fila indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$).

D.E: desviación estándar.

A lo largo del proceso de secado se midió el descenso de humedad para los distintos tratamientos, se denotó una tasa de disminución menor para los tratamientos con tres lavados que para los tratamientos de un solo lavado, esto debido a la mayor interacción con el agua durante la fase de lavado provocándoles un mayor contenido de humedad inicial. La tasa de disminución de humedad se vio afectada por la radiación y la entalpia del aire (Arismendy 2015), lo cual se vio reflejado en el tiempo de secado de los tratamientos.

Obteniendo un promedio de pérdida de humedad de 0.55% por día para el tratamiento 1, 0.49% para el tratamiento 2, 0.25% para el tratamiento 3, 0.20% para el tratamiento 4, 0.40% para el tratamiento 5 y 0.20% para el tratamiento 6. Todos los valores de humedad fueron tomados a partir del día 4 de humedad (Cuadro 6).

Cuadro 6. Comportamiento de humedad del grano para tres ambientes de secado: Sol, Sol/Sombra y Sombra.

Día	Humedad (%)					
	Sol		Sol/Sombra		Sombra	
	1 lavado	3 lavados	1 lavado	3 lavados	1 lavado	3 lavados
	Media ± D.E.	Media ± D.E.	Media ± D.E.	Media ± D.E.	Media ± D.E.	Media ± D.E.
4	15.0 ± 0.85 ^{bc}	13.9 ± 0.62 ^c	15.8 ± 1.12 ^b	15.0 ± 0.86 ^{bc}	23.6 ± 2.16 ^a	22.3 ± 0.68 ^a
6	13.5 ± 0.64 ^c	13.1 ± 0.25 ^c	14.7 ± 0.86 ^b	14.5 ± 0.42 ^b	19.8 ± 0.99 ^a	19.0 ± 0.24 ^a
8	11.8 ± 0.53 ^c	11.9 ± 0.10 ^c	14.5 ± 0.92 ^b	14.6 ± 0.42 ^b	16.9 ± 0.95 ^a	16.2 ± 0.40 ^a
9 ¹	11.5 ± 0.53 ^c	11.4 ± 0.35 ^c	14.8 ± 0.24 ^b	14.4 ± 0.60 ^b	16.3 ± 0.25 ^a	16.3 ± 0.50 ^a
11			13.6 ± 0.18 ^b	13.7 ± 0.12 ^b	15.2 ± 0.40 ^a	15.2 ± 0.24 ^a
15			13.0 ± 0.12 ^b	13.0 ± 0.26 ^b	15.7 ± 0.13 ^a	15.6 ± 0.26 ^a
17 ²			11.5 ± 0.36 ^b	11.7 ± 0.32 ^b	13.9 ± 0.20 ^a	13.6 ± 0.14 ^a
19					12.3 ± 0.06 ^a	12.9 ± 0.45 ^a
21					11.8 ± 0.10 ^a	12.3 ± 0.25 ^a
23 ³					10.8 ± 0.23 ^a	10.9 ± 0.21 ^a

^{ab}: Medias con diferentes letras minúsculas en la misma fila indican diferencias significativas entre tratamientos (P < 0.05).

D.E: desviación estándar.

¹: traslado de tratamiento se sol a sombra.

²: días de secado para tratamientos bajo sol.

³: días de secado para tratamientos en combinación sol/sombra.

⁴: días de secado para tratamientos bajo sombra

Fase II. Análisis físicos y químicos.

Análisis de color. El color del café es uno de los parámetros que denotan calidad en el producto final. Para determinar la tonalidad de cada café y su diferencia entre tratamiento se utilizó un sistema de coordenadas L* a* b*, en donde el valor promedio para la coordenada L* que está relacionada con la luminosidad del grano propicio los valores más altos expresando colores más oscuros. Con respecto a la coordenada a* se obtuvo un rango de 0.38 a 0.87 cerca de la neutralidad y para b* el rango fue de 18.40 a 19.96. Los valores entre tratamientos para todas las coordenada L* a* b* no tuvieron diferencias significativas (Cuadro 7).

Cuadro 7. Análisis de color escala L* a* b* de café verde.

Lavado	Secado	L*	a*	b*
		Media ± D.E.	Media ± D.E.	Media ± D.E.
1	Sombra	58.8 ± 0.96 ^a	0.38 ± 1.03 ^a	18.8 ± 1.90 ^a
3	Sombra	58.7 ± 0.32 ^a	0.86 ± 0.60 ^a	20.0 ± 0.83 ^a
1	Sol	59.0 ± 0.41 ^a	0.82 ± 0.24 ^a	18.5 ± 0.40 ^a
3	Sol	59.0 ± 1.24 ^a	0.87 ± 0.13 ^a	18.4 ± 0.72 ^a
1	Sol/Sombra	58.9 ± 1.20 ^a	0.65 ± 0.24 ^a	18.4 ± 0.39 ^a
3	Sol/Sombra	57.7 ± 0.89 ^a	0.66 ± 1.01 ^a	18.2 ± 1.13 ^a
CV(%)		1.67	87.74	5.49

C.V(%): Coeficiente de variación

^{ab}: Medias con letras minúsculas iguales en la misma columna no tienen diferencia estadísticamente.
D.E: desviación estándar.

Análisis proximal. Se desarrolló un análisis proximal para determinar la cantidad de carbohidratos, fibra, proteína, grasa, humedad y ceniza contenidos en el grano de café verde. La caracterización es de vital importancia para determinar la cantidad del compuesto presente en el café y cómo estos serán percibidos por el consumidor al momento de degustar el café.

Los carbohidratos incluyen monosacáridos como glucosa, fructosa, ribosa; disacáridos como sacarosa, lactosa y maltosa; oligosacáridos como la rafinosa y polisacáridos como el almidón, la celulosa y el glucógeno. Dentro de la composición en granos de café verde especie arábica los carbohidratos conforman alrededor del 50.8% del total, comparable con los datos obtenidos que brindan un promedio de 39.80%, con un máximo de carbohidratos para el tratamiento 5 con 42.26%. Los resultados para carbohidratos entre tratamientos no presentaron diferencias significativas (Cuadro 8) (Puerta 2011).

La fibra es una sustancia presente en los alimentos de origen vegetal que está formada por macromoléculas no digeribles como celulosa, hemicelulosa, lignina y pentosanas (Lopez 2008). La cantidad de fibra existente en la variedad borbón es de 21.75% comparable con la alcanzada por el varietal Pacamara de 23.25%. La cantidad máxima de fibra cruda se

encontró en el tratamiento 2 con un valor de 24.22% y la mínima en el tratamiento 5 con 22.33% (Cuadro 8) (Puerta 2011).

Las proteínas están compuestas por enlaces peptídicos, el contenido de proteína es similar entre las variedades de café. Las proteínas son vitales para el buen sabor del café, sin ellas no ocurrirían reacciones como las de Maillard, el contenido de proteína contenido en la variedad Borbón es de 13.90% similar a la obtenida luego del análisis proximal con un promedio de 12.43%, con un valor máximo para el tratamiento 3 de 12.9% y un valor mínimo para tratamiento 6 de 12.1% (Cuadro 8) (Puerta 2011).

La cantidad de grasas o lípidos encontradas en los diferentes tratamientos mostró un promedio de 11.51%. El contenido de lípidos generalmente representa en su totalidad un 75% triglicéridos, 1% ácidos grasos libres, 5.4% esteroides, 0.05% tocoferoles y otros compuestos. El contenido de lípidos en variedades de café Arábica es casi el doble del contenido en variedades de café Robusta (Farah 2012). Para la variedad Borbón el contenido de lípidos se encuentra en un 15.27%, un poco más elevado que el encontrado de 11.51% en promedio, con valores máximo de 11.9% y mínimos de 11.4%. Para los valores entre tratamientos no existió diferencia significativa en cuanto a cantidad de lípidos presentes (Cuadro 8) (Puerta 2011).

Las cenizas en el café están conformadas por distintos minerales como potasio, fósforo, sodio, magnesio, calcio, azufre y demás compuestos químicos (Farah 2012). El contenido de cenizas es mayor en variedad de café Robusta que en variedades de café Arábica. El contenido de ceniza en las distintas variedades de la especie Arábica es muy similar ya que para la variedad Borbón el contenido es de 3.78% y para el varietal Pacamara 4.38% con valores máximo de 4.95% y mínimos de 3.82%, el contenido de cenizas pudo variar por la disponibilidad de minerales en el suelo (Cuadro 8) (Puerta 2011).

Cuadro 8. Análisis proximal por componentes entre tratamientos de café verde.

L	Secado	C	Fibra	Proteína	Grasa	Ceniza
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		Media ± D.E.	Media ± D.E.	Media ± D.E.	Media ± D.E.	Media ± D.E.
1	Sombra	39.6 ± 1.03 ^a	24.0 ± 0.77 ^{ab}	12.4 ± 0.33 ^{ab}	11.4 ± 0.39 ^a	4.2 ± 0.15 ^{bc}
3	Sombra	38.5 ± 1.24 ^a	24.2 ± 0.39 ^a	12.5 ± 0.37 ^{ab}	11.6 ± 0.77 ^a	4.5 ± 0.35 ^{ab}
1	Sol	39.9 ± 1.98 ^a	22.3 ± 1.08 ^{ab}	12.9 ± 0.25 ^a	11.6 ± 0.97 ^a	5.0 ± 0.62 ^a
3	Sol	39.2 ± 2.13 ^a	23.6 ± 0.38 ^{ab}	12.6 ± 0.35 ^{ab}	11.5 ± 1.55 ^a	4.8 ± 0.38 ^a
1	S/S	42.3 ± 3.07 ^a	21.6 ± 2.90 ^b	12.1 ± 0.38 ^b	11.1 ± 0.05 ^a	3.8 ± 0.15 ^c
3	S/S	39.3 ± 1.17 ^a	23.8 ± 1.67 ^{ab}	12.1 ± 0.11 ^b	11.9 ± 0.79 ^a	4.0 ± 0.05 ^{bc}
CV (%)		5.25	6.07	2.35	7.43	6.74

C.V(%): Coeficiente de variación

^{ab}: Medias con letras minúsculas iguales en la misma columna no tienen diferencia estadísticamente.

D.E: desviación estándar.

C: Carbohidratos. S/S: Secado combinación Sol/Sombra. L: Niveles de Lavado.

Análisis de polifenoles totales. El contenido total de polifenoles de las muestras evaluadas no presentó diferencia significativa entre tratamientos, los valores encontrados para los granos de café verde del varietal Pacamara especie arabiga fueron mayores a los reportados por Afify *et al.* (2011) quienes encontraron contenidos de compuestos fenólicos menores de 18700 mg AGE/Kg. El mayor contenido de polifenoles encontrado fue para el tratamiento 5 que presento valores de 31619.1 ± 1139.8 mg AGE/Kg superior al valor reportado por Hecimovic I. *et al.* (2011) el cual presento valores menores a 21010 mg AGE/Kg para granos de café verde variedad Cioccolatato (*Coffea arabica*) (Cuadro 9).

El contenido de polifenoles totales presentes en los granos de café verde varía entre especies y lugar de origen. Además, le dan al café la calidad de alimento funcional y nutraceutico (Naranjo *et al.* 2011). La diferencia en el contenido de polifenoles se basa principalmente en la especie a la cual pertenece el grano de café verde, se demuestra con el estudio de Hecimovic *et al.* (2011) que el contenido total de polifenoles para las variedades de la especie canephora o robusta son mayores hasta en un 100% a los valores reportados para la especie arábica (2011).

Cuadro 9. Análisis de polifenoles totales entre tratamientos de café verde.

Lavado	Secado	Polifenoles(mg AGE/Kg)
		Media \pm D.E.
1	Sombra	29361.5 ± 1032.25 ^{ab}
3	Sombra	29819.4 ± 1177.18 ^{ab}
1	Sol	30000.7 ± 2975.02 ^{ab}
3	Sol	28427.6 ± 208.19 ^b
1	Sol/Sombra	31619.1 ± 1139.8 ^a
3	Sol/Sombra	29706.0 ± 347.88 ^{ab}
CV (%)		5.32

C.V(%): Coeficiente de variación.

^{ab}: Medias con diferentes letras minúsculas en la misma columna indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

D.E: desviación estándar.

AGE: Ácido Gálico Equivalente.

Perfil de azúcares. El análisis de perfil de azúcares por HPLC se ejecutó con muestras estándares de glucosa, maltosa, lactosa, galactosa, sacarosa y fructosa, de los cuales solo se registró la presencia del disacárido sacarosa y de los monosacáridos glucosa y galactosa. En otros estudios y haciendo uso del mismo método (HPLC) se reportó la sacarosa como el azúcar de mayor relevancia en el café, además no se reportó la presencia de estaquiosa, rafinosa, galactosa, xilosa y ribosa como en otros estudios (Flamet 2002). Los resultados para sacarosa concuerdan con Silwan y Lullman en cuanto a la dominancia en cantidad del compuesto. Los valores para sacarosa resultaron en valores mínimos de 5.78% y máximos de 7.21% (1988). La cantidad máxima encontrada para glucosa fue de 1.43% y mínima de 0.99%, galactosa fue el monosacárido de menor presencia con un máximo de 0.51% y un mínimo de 0.31%. En cuanto al total de azúcares presentes, para el varietal Pacamara el

contenido sí vario de acuerdo al tipo de beneficiado húmedo que se aplicó, hubo diferencias significativas entre tratamientos tomando en cuenta los valores del tratamiento 3 como los de mayor cantidad total de azúcares con 8.68% y los valores del tratamiento 1 como los más bajos con 7.39% (Cuadro 10).

Cuadro 10. Perfil de azúcares y azúcares totales de café verde.

Lavado	Secado	Porcentaje (%)			
		Sacarosa	Glucosa	Galactosa	Total
		Media ± D.E.	Media ± D.E.	Media ± D.E.	Media ± D.E.
1	Sombra	5.78 ± 0.15 ^b	1.10 ± 0.20 ^b	0.51 ± 0.11 ^a	7.39 ± 0.23 ^d
3	Sombra	6.18 ± 0.21 ^b	1.15 ± 0.24 ^{ab}	0.48 ± 0.01 ^a	7.81 ± 0.44 ^{cd}
1	Sol	6.82 ± 0.30 ^a	1.43 ± 0.15 ^a	0.41 ± 0.09 ^{ab}	8.68 ± 0.14 ^a
3	Sol	6.82 ± 0.36 ^a	1.02 ± 0.14 ^b	0.31 ± 0.04 ^b	8.15 ± 0.19 ^{bc}
1	Sol/Sombra	7.21 ± 0.27 ^a	1.10 ± 0.04 ^b	0.32 ± 0.03 ^b	8.61 ± 0.26 ^a
3	Sol/Sombra	7.08 ± 0.29 ^a	0.99 ± 0.10 ^b	0.31 ± 0.08 ^b	8.38 ± 0.26 ^{ab}
CV (%)		3.61	15.52	18.13	2.99

C.V(%): Coeficiente de variación

^{ab}: Medias con letras minúsculas iguales en la misma columna no tienen diferencia estadísticamente.

D.E: desviación estándar.

Análisis sensorial. Los resultados de la evaluación sensorial no presentaron diferencias significativas entre tratamientos ($P>0,05$). El resultado está concuerda con el estudio ejecutado por Lara en el 2016, quien evaluó diferencias sensoriales para la misma variedad y siguiendo el mismo protocolo en donde no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos desarrollados. Se evaluaron los diferentes atributos en taza y se obtuvo como resultado un puntaje total arriba de 80 para todos los tratamientos. El puntaje total representa la suma de los puntajes individuales otorgado a los diferentes atributos, se denomina a un café de especialidad a toda taza que obtuviese un puntaje final arriba de 80 (SCAA 2015). Los catadores o evaluadores sensoriales fueron panelistas certificados como Q graders especializados en el tema con varios años de experiencia en el rubro, la cual se ve reflejada en el bajo coeficiente de variación de sus evaluaciones para todos los tratamientos (Cuadro 11).

Cuadro 11. Calificaciones de evaluación sensorial de café tostado.

Lavado	Secado	Calificación(%)
		Media ± D.E.
1	Sombra	85.28 ± 2.05 ^a
3	Sombra	85.80 ± 1.59 ^a
1	Sol	85.18 ± 2.87 ^a
3	Sol	86.05 ± 1.90 ^a
1	Sol/Sombra	85.00 ± 2.82 ^a
3	Sol/Sombra	84.98 ± 2.51 ^a
CV (%)		1.75

C.V(%): Coeficiente de variación

^{ab}: Medias con letras minúsculas iguales en la misma columna no tienen diferencia estadísticamente.

D.E: desviación estándar.

4. CONCLUSIONES

- Los diferentes niveles de lavado no presentaron diferencia significativa en cuanto a la evaluación de taza final y eficiencia en el consumo de agua para lavado.
- Los diferentes procesos de beneficiado húmedo no afectan de manera significativa el contenido de: fibra, proteína, grasa, cenizas, polifenoles y contenido de azúcares.
- Se evidenció la presencia de diferentes azúcares en el grano de café verde. Sacarosa fue el azúcar de mayor predominancia en la composición del grano.

5. RECOMENDACIONES

- Comparar los valores de grano verde con grano en calidad tostada estableciendo el aumento o disminución de compuestos a partir de la torrefacción.
- Realizar una evaluación sensorial controlada, estableciendo las mismas condiciones para todos los evaluadores sensoriales.
- Realizar un análisis de costos, comparando los sistemas de beneficiado en base a la cantidad de lavados.

6. LITERATURA CITADA

Afify A, Shalaby E, Elbeltagi H. 2011. Antioxidant activity of aqueous extracts of different caffeine products. Cairo, Egypt. ISSN 0255-965X [internet] [Consultado 2017 ago 3] disponible en http://www.worldcocoaoundation.org/wp-content/uploads/files_mf/elmoneim2011.pdf

Anacafé 2011. El beneficiado húmedo. [internet] [Consultado 2017 ago 3] disponible en https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Caficultura_BeneficiadoHumedo

AOAC (Association of Official Agricultural Chemist) 2011. Official Methods of Analysis. Metodos: 962.09, 2011.11, 923.03, 95.15/950, 928.14. 18 y ANFOSS 3004 Ed. Washington D.C, Estados Unidos. [internet]. [Consultado 2017 ago 3] disponible en <https://www.aoac.org>

Arismendy J. 2016. Evaluación del proceso de secado del café y su relación con las propiedades físicas, composición química y calidad en taza. Medellín, Colombia. [internet]. [Consultado 2017 ago 3] disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/51841/1/1128270450.2016.pdf>

Barberá P. 2000. Como catar café. Fórum del café. España. [internet]. [Consultado 2017 agosto 3] disponible en http://www.forumdelcafe.com/sites/default/files/biblioteca/f_02-cata.pdf

Besora J, Batiz C, Estacio N. 2017. Secador Solar de Café. Ingeniería sin Fronteras. Cajamarca, Peru. [internet]. [Consultado 2017 agosto 3] disponible en <https://esf-cat.org/wp-content/uploads/2017/04/Informe-t%C3%A9cnico-secador-solar-de-caf%C3%A9.pdf>

Clifford M. 1985. Coffee: Botany, Biochemistry and Production of beans and Beverage. ISBN 0-0799-0787-7. Australia. The AVI publishing Company, Inc. United States. Pag. 305- 359

CSC (Consejo Salvadoreño del Café) s.f. variedades cultivadas en El Salvador. El Salvador [Internet] [Consultado 2017 ago 3] disponible en <http://www.csc.gob.sv/variedades/>

CSC (Consejo Salvadoreño del Café) 2016. Historia del café. El Salvador [Internet] [Consultado 2017 ago 3] disponible en <http://www.csc.gob.sv/historia/>

Café de Colombia 2010. Historia del café [Internet] [Consultado 2017 ago 3] disponible en http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/el_cafe/

Davis A, Govaerts R, Bridson D, Stoffelen P. 2006. An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society* 152:465–512, <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2006.00584.x> [Internet] [Consultado 2017 ago 3]

Farah A. 2012. Coffee constituents. Institute of Food Technologists. Pág. 21-50 http://www.ift.org/~media/Knowledge%20Center/Publications/Books/Samples/IFTPressBook_Coffee_PreviewChapter.pdf.

Flament I. 2002. Coffee flavor chemistry. Pag. 18-23. ISBN 0-471-72038-0. Inglaterra. John Wiley & Sons, Ltd.

García E, Fernandez I, Fuentes A. 2015. Determinación de polifenoles totales por el método de Folin Ciocalteu. Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia [internet] [Consultado 2017 ago 30], disponible en <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/52056/Garcia%20Mart%C3%ADnez%20et%20al.pdf?sequence=1> p 1-9

Hecimovic I, Belscak A, Horzic D, Komes D. 2011. Comparative study of polyphenols and caffeine in different coffee varieties affected by the degree of roasting. *Food Chemistry*. Zagreb, Croacia. [internet] [Consultado 2017 ago 30], disponible en <http://cafeesau.de.com/wp-content/uploads/2012/01/Subst%C3%A2ncias-I-Hecimovic-et-al-Food-Chemistry-2011-Volume-129.pdf>

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura) 2010. Guía técnica para el beneficiado de café bajo una identificación geográfica o denominación de origen. Guatemala. Pág. 67-81. [internet]. [Consultado 2017 ago 3], disponible en <https://bootcoffee.com/wp-content/uploads/2014/10/Guia-Tecnica-de-Beneficiado.pdf>

Lara C. 2016. Efecto del proceso de secado en las características físico-químicas y sensoriales de café especial (var. Pacamara). [Tesis]. [Consultado 2017 ago 3]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano-Honduras. 12-21p

Lopez G. 2008. Expresión analítica de los componentes de los alimentos. Universidad de Antioquia. Colombia [internet]. [Consultado 2017 ago 3], disponible en http://aprendeenlinea.udea.edu.co/lms/moodle/pluginfile.php/44571/mod_page/content/1/Notas_de_Expresion_analitica_de_los_componentes_de_los_alimentos_2008.pdf

Lucia M, Assennato D. 1994. Agricultural engineering in development. FAO . ISBN 92-5-103108-8 [internet]. [Consultado 2017 ago 3], disponible en <http://www.fao.org/docrep/t0522e/T0522E00.htm#Contents>

Naranjo M, Velez L, Rojano B. 2011. Actividad antioxidante de café colombiano de diferentes calidades. Revista Cubana de Plantas Medicinales. ISSN 1028-4796. [internet]. [Consultado 2017 agosto 3], disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962011000200005

Oliveros C, Peñuela A, Jurado J. 2009. Controle la humedad del café en el secado solar, utilizando el método gravimet. Centro de investigaciones en Café. Caldas, Colombia. ISSN-0120-1078 [internet]. [Consultado 2017 ago 3] disponible en <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/385/1/avt0387.pdf>

Peñuela M, Oliveros C, Sanz J. 2010. Remoción del mucílago del café a través de fermentación natural. Centro Nacional de Investigaciones en Café, 61(2): 159-173. Caldas, Colombia [internet]. [Consultado 2017 ago 3] disponible en [http://www.cenicafe.org/es/publications/arc061\(02\)159-173.pdf](http://www.cenicafe.org/es/publications/arc061(02)159-173.pdf)

Procafé. 2004. Manejo de cafetales y árboles de sombra. [Internet] [Consultado 2017 ago 3] Santa Tecla, El Salvador. <https://es.scribd.com/doc/33441054/MODULO1>

Puerta G. 2010. Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio de café. Federación nacional de cafeteros de Colombia. Avances técnicos Nro.402. Pág. 4-5. ISSN-0120-0178 [internet]. [Consultado 2017 ago 3] disponible en <http://www.cenicafe.org/es/publications/avt0402.pdf>

Puerta G. 2012. Factores, procesos y controles en la fermentación de café. Centro Nacional de Cafeteros de Colombia. Avances técnicos Nro.422. [internet]. [Consultado 2017 ago 3] disponible en <http://www.cenicafe.org/es/publications/avt0422.pdf>

Puerta G. 2015. La inocuidad y calidad del café requiere de agua potable para su beneficio y preparación de la bebida. Centro Nacional de Investigaciones en Café. Manizales, Colombia, Pág. 3-4. [internet]. [Consultado 2017 nov 2] disponible en <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/599/1/38912.pdf>

SCAA (Specialty Coffee Association of America) 2012. SCAA Standard for Cupping. [internet]. [Consultado 2017 ago 3] disponible en <http://scaa.org/?page=resources&d=cupping-standards>

SCAA (Specialty Coffee Association of America) 2015. SCAA Protocols, Cupping Specialty Coffee [internet]. [Consultado 2017 ago 3] disponible en <http://www.scaa.org/PDF/resources/grading-greencoffee.pdf> p 10.

Silva S, Queiroz D, Pinto F, Santos N. 2011. Quality Spatial Variability of Arabica Coffee and Its Relationship with Brix and Fruit Reflectance. State University of Santa Cruz, Brazil. [internet]. [Consultado 2017 agosto 3] disponible en https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Pinto6/publication/268352331_Quality_Spatial_Variability_of_Arabica_Coffee_and_Its_Relationship_with_Brix_Degree_and_Fruit_Reflectance/links/555ce22108ae9963a1120ecd.pdf

Silwar, R., Lullman, C. 1988. The determination of mono-and disaccharides in green arabica and robusta coffees using high performance liquid chromatography. *Cafe. Cocoa, Thé (Francia)*. v. 32(4) p. 319–322

SM (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater) 2017. Standard Method. Metodos: SM 4500.H, SM3030.E, SM2340.B, SMCL4500. B. Estados Unidos. [internet]. [Consultado 2017 ago 3] disponible en <http://www.standardmethods.org/>

UBA (Universidad de Buenos Aires) s.f. Fundamentos Refractometría. Catedra de física. Buenos Aires, Argentina. Pag. 2-4 [internet]. [Consultado 2017 ago 3] disponible en http://virtual.ffyb.uba.ar/file.php/29/M4/FUND_M4_REFRACTO.pdf

UIB (Universitat de les Illes Balears) 2007. Familia Rubiaceae. Herbario virtual departamento de Biología. [internet]. [Consultado 2017 ago 3] disponible en <http://herbarivirtual.uib.es/cas-ub/familia/1934.html>

World Coffee Research. 2016. El catálogo de variedades de café. WCR verified program [internet]. [Consultado 2017 ago 3] disponible en <https://varieties.worldcoffeeresearch.org/es/varieties/pacamara>

7. ANEXOS

Anexo 1. Composición química de distintas variedades de grano de café verde.

Tabla 2. Promedios de la composición química del grano de café almendra de variedades cultivadas en Colombia. Porcentaje en base seca (15, 24).

Variedad de café	Fibra (%)	Lípidos (%)	Proteínas (%)	Cafeína (%)	Ácidos clorogénicos (%)	Cenizas (%)
Borbón	21,75	15,27	13,90	1,15	7,37	3,78
Caturra	18,85	13,98	14,79	1,13	6,97	3,39
Colombia fruto amarillo	18,45	13,07	14,45	1,16	7,55	3,49
Colombia fruto rojo	16,69	14,27	13,92	1,19	7,42	3,52
Típica	18,71	13,99	14,50	1,20	6,66	3,43
Robusta (cultivos experimentales)	15,53	11,42	15,66	2,10	8,08	3,96

Avances Técnicos
Cenicafé

Anexo 2. Clasificación de calidades de café según calificación final en formato SCAA.

Total Score Quality Classification		
90-100	Outstanding	Specialty
85-89.99	Excellent	
80-84.99	Very Good	
< 80.0	Below Specialty Quality	Not Specialty

Anexo 3. Resultados de análisis de agua del Laboratorio de Suelos Zamorano.



LABORATORIO DE SUELOS ZAMORANO
INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE AGUAS

LSZ-F126-1

VERSIÓN VOZ

Sistema de Gestión de Calidad ISO 17025

Cliente	Código Interno Lab.	N° Lote de Análisis
Dario Valarezo	17-AR-1518	2017-12

Dirección Cliente	Fecha ingreso de la muestra	Fecha Envío Informe
EAP, Zamorano	2017-05-04	2017-07-13

Ubicación de la Muestra	Descripción Muestra	N° Informe
El Salvador	Agua Tesis	2017-129

CATIONES	mg/L	meq-g/L
Calcio	11.04	0.55
Magnesio	3.18	0.27
Potasio	4.49	0.12
Sodio	7.68	0.33

ANIONES	mg/L	meq-g/L
Cloruros	1.77	0.05
Carbonatos	ND	ND
Bicarbonatos	26.84	0.44

Micronutrientes mg/L			
Cu	Fe	Mn	Zn
<0,03	<0,10	<0,02	< 0,01

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	
pH	6.78, Ligeramente ácido
C.E.	103.44 µmhos/cm. No hay problema de salinización.
SAR	0.515 Sin riesgo de alcalinización.
Normas Riverside,..... Blasco, Rubia	C 1 S1 Baja salinidad, se pueden regara todos los cultivos y suelos salvo los de Mal drenaje. Aguas con bajo contenido en Sodio, su uso no presenta problemas, solo en algunos frutales muy sensibles.
Fitotoxicidad por cloro.....	No hay problema.
Fitotoxicidad por sodio.....	No hay problemas en riego por aspersión
Dureza (CaCO ₃ mg/L)	40.70, levemente dura

Métodos: K, Ca, Mg, Na, Cu, Fe, Mn, Zn: Digestión húmeda con Ácido Nítrico, determinados por Absorción atómica. CO₃²⁻ y HCO₃⁻: Volumetría, Cl⁻: Volumetría con AgNO₃. Dureza: Espectrometría de Absorción Atómica.

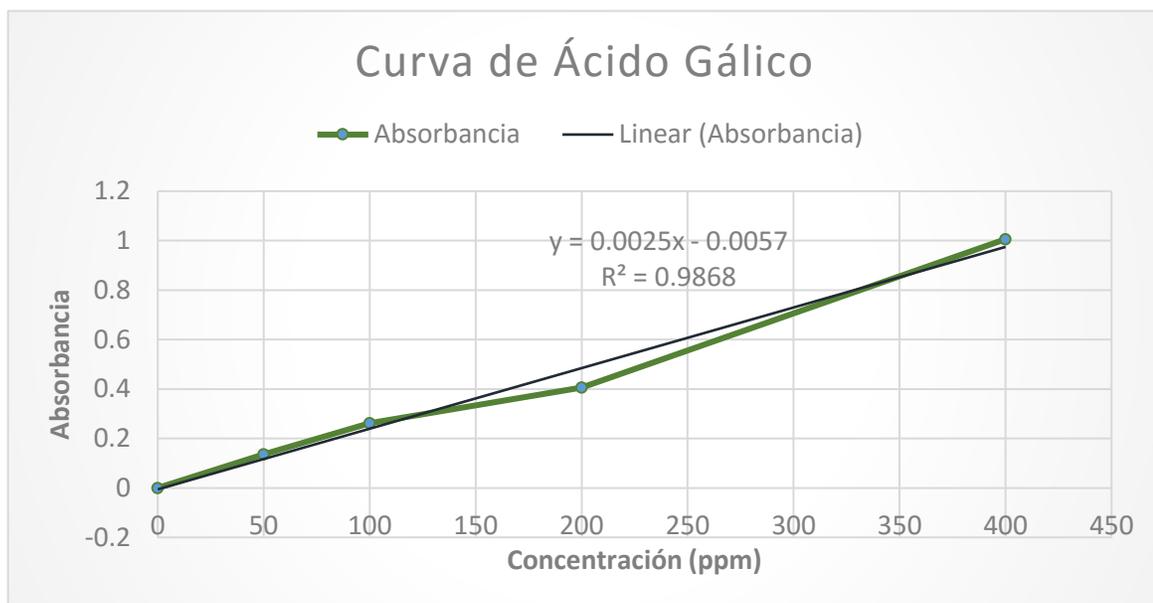
Nota: El laboratorio no se hace responsable por el estado de la muestra al ingresar a nuestras instalaciones. Los resultados se relacionan solo con las muestras recibidas. El laboratorio se exonera de responsabilidad por reproducción parcial o total del informe, o el uso que pueda dársele. El lote de análisis remite la fecha de ejecución de análisis

Responsable del análisis: E. Aguilera
 Ing. Eunice Aguilera Núñez

Vo.Bo.: AGG
 Dra. Gloria Arévalo de Guggel
 Directora Unidad de Suelos



Anexo 4. Curva estándar de ácido gálico a diferentes concentraciones.



Anexo 5. Resultados de SAS 9.1 para análisis Humedad del grano durante secado

Humedad del grano	Parametro	F. value	Probabilidad
Día 4	lavado	5.39	0.0427
	secado	144.15	<.0001
	rep	4.12	0.0496
Día 6	secado	210.28	<.0001
Día 7	secado	179.79	<.0001
Día 9	secado	217.43	<.0001
Día 11	secado	151.24	<.0001
Día 15	secado	398.08	<.0001
Día 17	secado	149.59	<.0001
Día 19	secado	184.79	<.0001

Anexo 6. Formato de evaluación sensorial de atributos según SCAA.



Specialty Coffee Association of America Coffee Cupping Form

Name: SASA SESTIC

Date: 15/8

Quality scale:			
6.00 - Good	7.00 - Very Good	8.00 - Excellent	9.00 - Outstanding
6.25	7.25	8.25	9.25
6.50	7.50	8.50	9.50
6.75	7.75	8.75	9.75

Sample #	Roast Level or Sample	Fragrance/Aroma	Flavor	Acidity	Body	Uniformity	Clean Cup	Overall	Total Score
18		Score: <u>10</u>	Score: <u>10</u>	Score: <u>10</u>	Score: <u>10</u>	Score: <u>10</u>	Score: <u>10</u>	Score: <u>10</u>	Score: <u>84</u>
Notes: <u>best level</u>		Aftertaste: <u>fruity, orange</u>		Intensity: <u>average</u>		Balance: <u>10</u>		Sweetness: <u>10</u>	
		Defects (subtract): Taint=2, Fault=4		# cups: <u>10</u>		Intensity: <u>10</u>		Final Score: <u>84</u>	
2		Score: <u>10</u>	Score: <u>10</u>	Score: <u>10</u>	Score: <u>10</u>	Score: <u>8</u>	Score: <u>10</u>	Score: <u>10</u>	Score: <u>93</u>
Notes: <u>best level</u>		Aftertaste: <u>fruity, orange</u>		Intensity: <u>High</u>		Balance: <u>8</u>		Sweetness: <u>10</u>	
		Defects (subtract): Taint=2, Fault=4		# cups: <u>10</u>		Intensity: <u>10</u>		Final Score: <u>93</u>	
11		Score: <u>10</u>	Score: <u>10</u>	Score: <u>10</u>	Score: <u>10</u>	Score: <u>10</u>	Score: <u>10</u>	Score: <u>10</u>	Score: <u>81</u>
Notes: <u>best level</u>		Aftertaste: <u>fruity, orange</u>		Intensity: <u>High</u>		Balance: <u>10</u>		Sweetness: <u>10</u>	
		Defects (subtract): Taint=2, Fault=4		# cups: <u>10</u>		Intensity: <u>10</u>		Final Score: <u>81</u>	

June 2003