



Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación
Guía de informe final



Guatemala, 12 de febrero, 2021

Señor Director
Dr. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera
Director General de Investigación
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

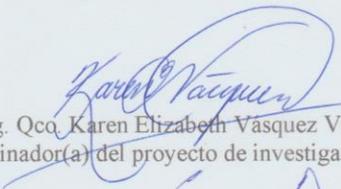
Adjunto a la presente el informe final “Evaluación de propiedades química del grano de café y características en copa al modificar fermentación en proceso húmedo” con partida presupuestal DES2CU-2020, coordinado por la Máster Karen Elizabeth Vásquez Villeda y avalado por el Centro Universitario del Norte de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Este informe final fue elaborado con base en la guía de presentación de la Dirección General de Investigación, el cual fue revisado su contenido en función del protocolo aprobado, por lo que esta unidad de investigación da la aprobación y aval correspondiente.

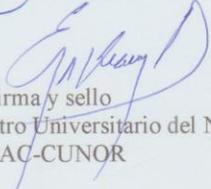
Así mismo, el coordinador(a) del proyecto, se compromete a dar seguimiento y cumplir con el proceso de revisión y edición establecido por Digi del **informe final y del manuscrito científico**. El manuscrito científico debe enviarse, por el coordinador(a) del proyecto, para publicación al menos en una revista de acceso abierto (*Open Access*) indexada y arbitrada por expertos en el tema investigado.

Sin otro particular, suscribo atentamente.

“Id y enseñad a todos”


Ing. Qc. Karen Elizabeth Vásquez Villeda
Coordinador(a) del proyecto de investigación




Firma y sello
Director del Centro Universitario del Norte
USAC-CUNOR





Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación
Programa Universitario de Investigación y Desarrollo Industrial

Informe final

**Evaluación de propiedades químicas del grano de café y características en copa al
modificar fermentación en proceso húmedo**

Equipo de investigación

Karen Elizabeth Vásquez Villeda

Walter Armando Herrera Cifuentes
Edgar Arnoldo Sierra Dubón

Guatemala, 12 de febrero de 2021

Centro Universitario del Norte

Instituto de Investigación y Tecnología de Ingeniería -CUNOR-

Dr. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera
Director General de Investigación

Lic. Gonzalo Eskenasy
Director de Centro Universitario del Norte

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas

Inga. Liuba Cabrera de Villagrán
Coordinadora de Programa Universitario
de Investigación y Desarrollo Industrial

Ing. Qco. Karen Elizabeth Vásquez Villeda
Coordinadora de Proyecto de Investigación

Ing. Walter Armando Herrera Cifuentes
Investigador

Bachiller Edgar Arnoldo Sierra Dubón
Auxiliar de investigación II

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, 2020. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada por la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través del proyecto código DES2CU-2020 durante el año 2020 en el Programa Universitario de Investigación y Desarrollo Industrial.

Índice de contenido general

1. Resumen	7
2. Palabras clave	7
3. Abstract and keyword	7
4. Introducción	8
5. Planteamiento del problema	9
6. Preguntas de investigación	10
7. Delimitación en tiempo y espacio	10
8. Marco teórico	10
9. Estado del arte	13
10. Objetivo general	13
11. Objetivos específicos	14
12. Hipótesis	14
13. Materiales y métodos	14
13.1 Enfoque y tipo de investigación	14
13.2 Recolección de información	14
13.3 Para investigación cuantitativa	14
13.4 Técnicas e instrumentos	15
13.5 Operacionalización de las variables o unidades de análisis	16
13.6 Procesamiento y análisis de la información	21
14. Vinculación, difusión y divulgación	23
15. Productos, hallazgos, conocimientos o resultado	24
16. Análisis y discusión de resultados	27
17. Conclusiones	28
18. Impacto esperado	28
19. Referencias	29

Índice de ilustraciones

Figura 1: Esquema del proceso para la obtención de café	11
Figura 2: Resumen de procesos ocurridos en fermentación aeróbica y anaeróbica	12
Figura 3: Especificación de algunos parámetros químicos presentes en semilla de café antes y después del proceso húmedo	12
Figura 4: Valores de puntajes finales para clasificar café en taza	13
Figura 5: Clasificación de las variables y forma de medición	17
Figura 13: Anova de los tratamientos realizados para proceso de fermentación para variable de sacarosa	22
Figura 14: Anova de los tratamientos realizados para proceso de fermentación para variable de cafeína	22
Figura 15: Anova de los tratamientos realizados para proceso de fermentación para variable de azúcares totales	23
Figura 16: Prueba de Tukey para variables de tiempo y temperatura	23

Índice de tablas

Tabla 1: Tratamientos realizados con 3 factores	15
Tabla 2: Técnicas e instrumentos utilizados en proceso de fermentación	16
Tabla 3: Promedios de punteo de Catación para los diferentes tratamientos realizados en fermentación de café	24
Tabla 4: Promedios de ácidos clorogénicos y trigonelina para los diferentes tratamientos realizados en fermentación de café	25
Tabla 5: Combinación óptima de variables	26

Índice de figuras

Figura 6: Inicio de tueste	18
Figura 7: Tueste de café a los 15 minutos	18
Figura 8: Café pulverizado	19
Figura 9: Aforo 1	19
Figura 10: Aforo 2	20
Figura 11: Filtrado de aforo 1	20

Figura 12: Filtración previa a inyección	21
Figura 17: Catación de café obtenido en los distintos tratamientos	26
Figura 18: Café obtenido en los distintos tratamientos.	27
Apéndice	32

Evaluación de propiedades químicas del grano de café y características en copa al modificar fermentación en proceso húmedo.

1. Resumen

La región Rainforest Cobán se encuentra dentro de los principales productores de café en Guatemala; aun así, desde 2012 no ha sido clasificado entre los primeros 30 mejores del país según el evento Cup of Excellence Guatemala, realizado todos los años. En la actualidad, se conoce cuáles son las características que hacen especiales o de mayor calidad el café en taza pero no se sabe cómo alcanzarlas a partir de los parámetros químicos que posea el café en pergamino. Se modificó proceso de fermentación controlando variables de temperatura, agua y tiempo para obtener café en taza con características competitivas con las otras regiones. Para determinación de características químicas, sacarosa y azúcares totales, se utilizó cuantificación por volumetría con método de Fehling; por otro lado, para cuantificación de cafeína, por cromatografía líquida de alta precisión (HPLC). El método para trigonelina y ácidos clorogénicos fue por cromatografía líquida de alta precisión ver Tabla 4. Al final se realizó Catación de 27 muestras por experto certificado en Q Arabica Grader, ver Tabla 3. Los resultados sugieren que el mejor tratamiento para obtener un café con puntaje de Catación considerado bueno (ver Figura 4) es usando tiempo de fermentación de 30 horas, 6 litros de agua y temperatura de 20°C; con ello se obtuvo 86.75 puntos. La significancia usada fue de $\alpha=0.05$ donde se concluyó que existió diferencia significativa y se aplicó prueba de Tukey. La especie de café utilizado fue caturra.

2. Palabras clave

Cafeína, azúcares totales, trigonelina, ácidos clorogénicos, anaerobio.

3. Abstract and keyword

The Rainforest Cobán region is one of the main coffee producers in Guatemala; Even so, since 2012 it has not been classified among the top 30 best in the country according to the Cup of Excellence Guatemala event, held every year. At present, it is known which are the characteristics that make cup coffee special or of higher quality, but it is not known how to achieve them from the chemical parameters that parchment coffee has. The fermentation process was modified by controlling variables of temperature, water and time to obtain cup coffee with competitive characteristics with the other regions. To determine the chemical characteristics,

sucrose and total sugars, quantification by volumetry was used with the Fehling method; on the other hand, for caffeine quantification, by high precision liquid chromatography (HPLC). The method for trigonelline and chlorogenic acids was by high precision liquid chromatography. At the end, 27 samples were cupped by a certified expert in Q Arabica Grader, see Table 3. The results suggest that the best treatment to obtain a coffee with a cupping score considered good (see Figure 4) is using a fermentation time of 30 hours, 6 liters of water and a temperature of 20 ° C; with this, 86.75 points were obtained. The significance used was $\alpha = 0.05$ where it was concluded that there was a significant difference and Tukey's test was applied. The kind of coffee used was caturra, acid concentration of 70% v / v and a temperature of 450 ° C; since a surface area of 440.7 m² / g was obtained and a significance $\alpha = 0.05$ was used, where it was concluded that there was a significant difference, so Tukey's test was applied.

Keywords: Caffeine, total sugars, trigonelline, chlorogenic acids, anaerobic

4. Introducción

El cultivo de café en Guatemala “se distribuye en los 22 departamentos del país, de los cuales las mayores producciones se concentran en los departamentos de Santa Rosa (18.9%), San Marcos (11.8%), Chimaltenango (9%), Huehuetenango (9.1%), Alta Verapaz (7%) y Suchitepéquez (5.3%), el resto lo constituyen los otros departamentos” (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2016).

Existen diferentes procesos para obtención de pergamino de café entre los cuales se encuentra: proceso húmedo, honey y proceso natural. En proceso húmedo los pasos consisten en cortar café, clasificar café por densidad, eliminar granos defectuosos, despulpado, clasificación de granos por tamiz, fermentación aeróbica en pileta con o sin agua, lavado a presión, clasificación de grano húmedo, secado y empaçado (Montilla-Pérez y colaboradores, 2008, pp. 11-124).

Actualmente el departamento de Alta Verapaz está teniendo problemas con la calidad de café en taza en comparación con los otros departamentos de mayor producción; así se evidenció en el evento Cup of Excellence Guatemala 2019.

Según Anacafé:

El primer lugar del CoE Guatemala 2019 fue la Unidad Productiva Las Macadamias de La Libertad, Huehuetenango, con 90.16 puntos; el segundo lugar fue para Kalibus La Sierra de San Cristóbal Acasaguastlán, El Progreso, con 90.14 puntos; y el tercer lugar lo obtuvo El Injerto I de La Libertad, Huehuetenango con 90.03 puntos; los tres cafés recibieron una mención especial por ser considerados Cafés Presidenciales con un punteo de más de 90 puntos (2019).

Alta Verapaz lleva 7 años consecutivos en no aparecer entre los primeros 30 ganadores del Cup of Excellence, por lo que es necesario buscar alternativas para mejorar las características de aroma, acidez, astringencia y cuerpo del café en taza.

La investigación modificó el tipo de fermentación que se realiza tradicionalmente en beneficiado húmedo por una fermentación anaeróbica; así mismo se evaluaron características fisicoquímicas que posea pergamino de café. Se determinó que existió correlación entre parámetros químicos y características evaluadas en taza.

En el 2005 Farah, Monteiro, Calado, Franca y Trugo manifestaron que el sabor del café “desde el punto de vista de la química existen cientos de sustancias químicas que pueden reaccionar simultáneamente, entre ellas: degradación de proteínas, polisacáridos, trigonelinas y ácidos clorogénicos” (p. 374).

Hasta la fecha no se ha utilizado fermentación anaeróbica durante el proceso de beneficiado húmedo. Cruz-O’Byrne, Piraneque-Gambasica & Aguirre-Forero (2020) especifican que: “las características fisicoquímicas y sensoriales del café se ven correlacionadas con el tiempo de fermentación”(p.1797). En 2020 se determinó la relación de la calidad del café en función de lípidos, proteínas y ácidos clorogénicos (Oktavianawati, Arimurti & Suharjono, 2020, p.134). Durante varios años se han estudiado los parámetros químicos que son responsables de la calidad sensorial de café; por lo que a nivel industrial siguen experimentando la forma de alcanzar una mejor nota en taza, tal es el caso de la investigación donde utilizaron levaduras fermentativas para tener mayor control en proceso de fermentación (Ruta & Farcasanu, 2021, p.1). En 2021 el uso de la fermentación se consideró eficaz para la salud utilizando biotecnología moderna (Komaria, Suratno, Sudarti & Dafik, 2021, p. 2). “Las calificaciones sensoriales <80 puntos indican que los cafés no son especiales (Specialty Coffee Association of América, 2015, p.10). La cantidad de tratamientos realizados se encuentran en Tabla 1 y los resultados fueron analizados en software Infostat con licencia de estudiante para determinar Anova y prueba de Tukey.

5. Planteamiento del problema

Según las estadísticas se puede observar que Guatemala ocupa el onceavo lugar entre los principales productores de café en el mundo (International Coffee Organization, 2019). De acuerdo a la Asociación Nacional del Café existen 8 regiones en donde se cultiva el café entre ellas está Rainforest Cobán.

En Guatemala existe un evento denominada Cup of Excellence, el cual es realizado todos los años con el fin de premiar a las mejores fincas que produzcan los mejores cafés de las 8 regiones.

Actualmente la región Rainforest Cobán enfrenta una problemática y es que la calidad del café en taza no tiene las características adecuadas para competir con las otras regiones del país; lo cual hace que pierda valor el café. En los últimos siete años la región de Cobán no ha destacado entre los primeros 30 ganadores, obteniendo puntajes bajos en comparación con los primeros lugares (ACE, 2019). Rosas, Escamilla y Ruiz (2008) indicaron que “el buqué de la infusión es aroma, fragancia, nariz y resabio, intensidades de acidez, cuerpo y aroma, presencia de dulzor y malos

olores” (p. 377), éstas son las características que se evalúan del café en taza por cada uno de los expertos.

Los productores de café en dicha región realizan diferentes procesos para obtención de pergamino de café, los cuales son: proceso húmedo, honey y natural. “El procesamiento en húmedo da lugar a cafés despulpados, pelados y desmucilados” (Schawn, Batista y Silva, 2012, p. 680). Se han realizado investigaciones sobre el proceso de fermentación en húmedo e indican que “el mucílago es el sustrato utilizado por las bacterias y las levaduras durante la fermentación” (Schawn y colaboradores, 2012).

En 2015 los autores Wei, Wai, Curran, Yu, Quan manifestaron que “el principal problema que gira en torno a la fermentación es por falta de control del proceso” (p. 187).

La presente investigación consistió en reemplazar fermentación tradicional por fermentación anaeróbica y determinar la relación de parámetros químicos y características de café en taza; la finalidad fue aumentar calidad de pergamino de café controlando variables del proceso y obtener así calificaciones sensoriales de “80,00 a 84,99 que se categorizan como excelentes cafés”(Duicela, Velásquez & Farfán, 2017, p. 3).

6. Preguntas de investigación

1. Cuáles son los parámetros químicos que posee el grano de café antes de fermentación?
2. Cómo cambian los parámetros químicos que posee el grano de café después de fermentación?
3. Bajo qué condiciones se debe llevar a cabo fermentación para aumentar calidad en copa?
- 4.Cuál es la relación entre propiedades químicas del café y características del café en copa?

7. Delimitación en tiempo y espacio

Delimitación en tiempo: La investigación inició a partir del mes de febrero del año 2020 y culminó hasta el mes de febrero del año 2021.

Delimitación espacial: El café con mucílago fue recolectado en Finca Aurora, ubicada en Santa Cruz, Alta Verapaz. El proceso de fermentación se llevó a cabo en Instituto de Investigación y Tecnología de Ingeniería Cunor, los parámetros químicos de cafeína, sacarosa y azúcares totales fueron realizados en los laboratorios de Laser, S. A., valores de ácidos clorogénicos y trigonelina en Serquim, S.A.; ambos ubicados en Ciudad de Guatemala.

8. Marco teórico

Según Amorin y colaboradores:

El café es la bebida más popular del mundo y un producto de suma importancia para los países en desarrollo. Existen varias especies en el género *Coffea* (Rubiaceae), pero *Coffea arabica* y *Coffea Canephora* son las dos más comercializadas en todo el mundo, que se conocen comúnmente como cafés Arábica y Robusta, respectivamente (2009).

“El borbón es una variedad de los cultivares de la especie *Coffea Arabica*, que es conocida por su dulzura por lo que es apreciada y deseable en la industria del café de especialidad. Caturra es una mutación natural de Borbón, conocida por su calidad cuando se cultiva a gran altura” (Hoffmann, 2014, p.16).

Los procesos que existen para obtener el grano de café en pergamino son: proceso húmedo, honey y proceso seco.

Beneficiado húmedo: “Este proceso es el más importante y complejo del beneficiado de café. Tiene varios pasos que deben ser realizados con sumo cuidado para garantizar la calidad del grano” (Jiménez, 2010, p. 11).

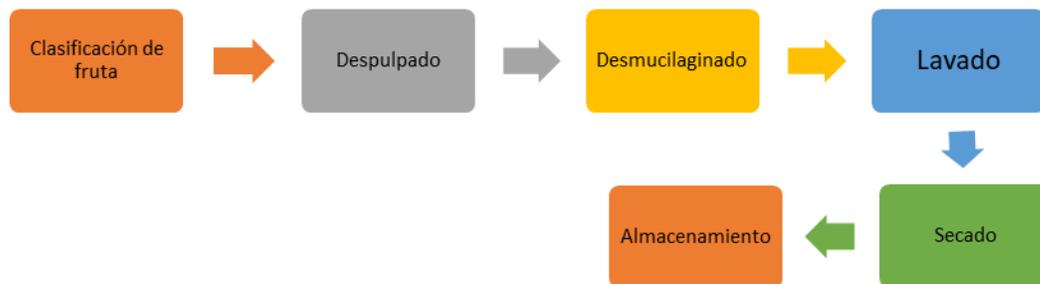


Figura 1: Esquema del proceso para la obtención de café

Proceso Honey: “es un método intermedio entre proceso húmedo y seco donde se extrae la cáscara, pero no se remueve el mucílago, sino que se seca el café con esta sustancia” (Córdova-Castro y Guerrero-Fajardo, 2016, p. 77).

Proceso seco o natural: el método consiste en secar la cereza entera después de haberla recolectado, sin remover la piel o cáscara.

Desmucilaginado: “El propósito del mismo es eliminar el mucílago que recubre el grano de café. Es un proceso delicado y sobre el cual se debe tener mucho cuidado porque cualquier error ocasiona daños irreparables en la calidad del grano” (Jiménez, 2010, p. 14).

“La capa mucilaginosa de los granos de café despulpados comprenden 84.2% de agua, 8.9% de proteínas, 4.1% de azúcar, 0.91% de sustancias péscicas y 0.7% de ceniza” (Wei, Wai, Curran, Yu, Quan, 2015, p. 186).

Existen 2 formas de retirar el mucílago durante proceso húmedo: fermentación normal y desmucilaginado mecánico.

Fermentación normal: “consiste en transformar el mucílago en una sustancia soluble en agua a través de la acción enzimática de microorganismos (hongos, levaduras) y su posterior lavado” (Jiménez, 2010, p. 14).

Desmucilaginado mecánico: “consiste en eliminar el mucílago por medios físicos o mecánicos y su posterior lavado” (Jiménez, 2010, p. 14).

Fermentación: “son procesos metabólicos de las levaduras y de varias bacterias que transforman compuestos químicos orgánicos, principalmente azúcares, en otras sustancias orgánicas más simples como etanol, ácido láctico y ácido butírico” (Cenicafé, 2010, p. 1).

Degradación	Sustrato	Microorganismos	Proceso	Productos
Aerobia	Carbohidratos	Bacterias, enzimas	Oxidación completa, respiración celular	Dióxido de carbono (CO ₂) y agua (H ₂ O)
	Proteínas	Bacterias	-	CO ₂ iones amonio (NH ₄ ⁺), iones sulfato (SO ₄ ⁻) y agua
	Lípidos	Bacterias	Enranciamiento	Ácidos grasos
Anaerobia	Azúcares, lactosa, glucosa	Bacterias lácticas	Fermentación láctica	Ácido láctico (CH ₃ CH(OH)-COOH)
	Azúcares, glucosa	Levaduras	Fermentación alcohólica	CO ₂ y etanol (CH ₃ CH ₂ -OH)
	Proteínas	Bacterias	Putrefacción	CO ₂ + metano (CH ₄) + sulfuro de hidrógeno (H ₂ S) + ión amonio (NH ₄ ⁺)

Figura 2: Resumen de procesos ocurridos en fermentación aeróbica y anaeróbica. Cenicafé, 2010.

	Fresh seeds	Wet-processed seeds
Total CWP	62.479 ± 1.284	64.478 ± 1.145
Total soluble sugars	8.653 ± 0.798	8.276 ± 0.536
Myo-inositol	0.142 ± 0.038	0.078 ± 0.020
Glucose	0.261 ± 0.056	0.031 ± 0.033
Fructose	0.122 ± 0.051	0.031 ± 0.033
Sucrose	8.081 ± 0.785	7.956 ± 0.532
Raffinose	0.013 ± 0.008	0.021 ± 0.016
Stachyose	0.015 ± 0.016	0.084 ± 0.023
Sorbitol	0.020 ± 0.015	0.074 ± 0.053
Caffeine	0.736 ± 0.099	0.725 ± 0.066
Total CGA	7.359 ± 0.499	7.646 ± 0.655
3-CQA	0.310 ± 0.100	0.370 ± 0.116
4-CQA	0.527 ± 0.093	0.579 ± 0.110
5-CQA	4.962 ± 0.420	5.159 ± 0.609
4-FQA	0.056 ± 0.007	0.056 ± 0.008
5-FQA	0.414 ± 0.028	0.417 ± 0.048
di3,4-CQA	0.157 ± 0.049	0.189 ± 0.055
di3,5-CQA	0.816 ± 0.144	0.645 ± 0.144
di4,5-CQA	0.117 ± 0.040	0.232 ± 0.058
Ratio CQA/diCQA	5.348 ± 0.415	5.747 ± 0.469
Total lipids	16.022 ± 0.941	16.912 ± 0.707
Palmitic (16:0)	35.637 ± 0.878	35.419 ± 1.027
Stearic (18:0)	7.022 ± 0.717	7.086 ± 0.980
Oleic (18:1)	7.438 ± 0.828	7.209 ± 1.027
cis-Vaccenic (18:1-n7)	0.442 ± 0.038	0.437 ± 0.043
Linoleic (18:2)	43.581 ± 1.359	44.024 ± 1.859
Linolenic (18:3)	1.898 ± 0.169	1.882 ± 0.136
Arachidic (20:0)	2.361 ± 0.353	2.372 ± 0.452
Gondoic (20:1)	0.284 ± 0.010	0.288 ± 0.011
Behenic (22:0)	0.522 ± 0.114	0.491 ± 0.111
Lignoceric (24:0)	0.209 ± 0.032	0.198 ± 0.026

Figura 3: Especificación de algunos parámetros químicos presentes en semilla de café antes y después del proceso húmedo (Joet y colaboradores, 2010, p. 696).

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

Figura 4. Valores de puntajes finales para clasificar café en taza. Nota. La información se obtuvo de Specialty Coffee Association of America.

Propiedades físicas: “son aquellas características que pueden observarse o medirse sin afectar la identidad de una sustancia” (Timberlake, 2013, p. 60).

Propiedades químicas: “son aquellas que describen la capacidad de una sustancia para transformarse en una sustancia nueva” (Timberlake, 2013, p. 62).

9. Estado del arte

En los últimos años se han realizado investigaciones sobre aumentar calidad de café en taza, entre ellas se encuentra “Coffee and yeasts: from flavor to biotechnology” (Ruta & Farcasanu, 2021, pp. 1-16), otro estudio fue “Coffee fermentation and flavor – An intricate and delicate relationship” (Wei, Wai, Curran, Yu, Quan, 2015, pp. 182-191). También se realizó el estudio “caracterización de los procesos tradicionales de fermentación de café en el departamento de Ñariño” (Córdova-Castro y Guerrero-Fajardo, 2016, pp. 75-83). Otro estudio importante fue “Improvement of Robusta coffee fermentation with microbial enzymes” (Murthy y Madhava, 2011, pp. 130-139).

10. Objetivo general.

Evaluación de propiedades químicas del grano de café y características en copa al modificar fermentación en proceso húmedo

11. Objetivos específicos

1. Caracterizar químicamente grano de café antes y después del proceso de fermentación
2. Determinar parámetros de control en proceso de fermentación anaeróbica
3. Establecer relación de propiedades químicas del café y características en copa

12. Hipótesis

Hipótesis nula es que después del proceso de fermentación anaeróbica el pergamino de café no posee propiedades químicas que favorecen las características del café en taza.

13. Materiales y métodos

- 13.1 Enfoque y tipo de investigación: El enfoque de la investigación fue mixta porque se determinaron valores cuantitativos con respecto a parámetros químicos y cualitativo al momento de realizar Catación de café. El tipo de investigación fue experimental porque se controlaron las variables de temperatura, tiempo de fermentación y cantidad de agua.
- 13.2 Recolección de información: se obtuvo muestra de café en baba en beneficio de Casa Aurora Café Reserva, ubicado en km 199, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz. Los criterios de inclusión fueron utilizar grano de café caturra que presentaron coloración adecuada y que no presentaron deformaciones. Los criterios de exclusión fueron excluir los granos verdes, pintos, secos y maduros. Se tabularon datos para cada proceso de fermentación; siendo 27 procesos.
- 13.3 Para investigación cuantitativa: Se utilizó modelo factorial de 3 factores en diseño completamente al azar con tres repeticiones. El modelo estadístico es el siguiente:

$$y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + u_{ijkl}$$

$$i = 1, 2, \dots, a ; j = 1, 2, \dots, b ; k = 1, 2, \dots, c ; l = 1, 2, \dots, r$$

Donde:

r = número de repeticiones

n = abcr (número de observaciones)

Tabla 1

Tratamientos a realizar con los 3 factores

	T1			T2			T3		
	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3
t1	t1W1T1	t1W2T1	t1W3T1	t1W1T2	t1W2T2	t1W3T2	t1W1T3	t1W2T3	t1W3T3
	t1W1T1	t1W2T1	t1W3T1	t1W1T2	t1W2T2	t1W3T2	t1W1T3	t1W2T3	t1W3T3
	t1W1T1	t1W2T1	t1W3T1	t1W1T2	t1W2T2	t1W3T2	t1W1T3	t1W2T3	t1W3T3
t2	t2W1T1	t2W2T1	t2W3T1	t2W1T2	t2W2T2	t2W3T2	t2W1T3	t2W2T3	t2W3T3
	t2W1T1	t2W2T1	t2W3T1	t2W1T2	t2W2T2	t2W3T2	t2W1T3	t2W2T3	t2W3T3
	t2W1T1	t2W2T1	t2W3T1	t2W1T2	t2W2T2	t2W3T2	t2W1T3	t2W2T3	t2W3T3
t3	t3W1T1	t3W2T1	t3W3T1	t3W1T2	t3W2T2	t3W3T3	t3W1T3	t3W2T3	t3W3T3
	t3W1T1	t3W2T1	t3W3T1	t3W1T2	t3W2T2	t3W3T3	t3W1T3	t3W2T3	t3W3T3
	t3W1T1	t3W2T1	t3W3T1	t3W1T2	t3W2T2	t3W3T3	t3W1T3	t3W2T3	t3W3T3

Nota. t = tiempo de fermentación, W = cantidad de agua, T = variación de temperatura.

Para procesar la información obtenida en proceso de fermentación se utilizó el programa de Infostat 2020 con licencia de estudiante, la cual es gratis. Los resultados obtenidos se pueden observar en Figuras 13, 14 y 15 .

Se utilizó análisis de varianza para verificar si existía interacción entre las variables y se obtuvieron en cafeína, sacarosa y azúcares totales valores menores a $\alpha = 0.05$; por lo tanto, se aplicó prueba de Tukey de comparación de medias, ver Figura 16.

- 13.4 Técnicas e instrumentos: se utilizaron hojas de control que contenían los parámetros establecidos para cada tratamiento cantidad de café en baba, cantidad de agua agregada al proceso, temperatura de fermentación, tiempo de fermentación, humedad de grano, pH inicial y final, tiempo de secado. Los fermentadores que se usaron permitieron programar los valores establecidos y el automáticamente los mantenía sin modificar.

Tabla 2

Técnicas e instrumentos utilizados en proceso de fermentación

Fase	Actividad	Procedimiento/técnica	Herramientas/instrumentos
Identificación de objeto de estudio	Conceptualización del problema, formulación de estado de arte y diseño de instrumentos	Revisión bibliográfica	Revistas indexadas
Recopilación de información	Identificación de datos y objeto	Revisión bibliográfica, trabajo de campo, recolección de datos Medición de variables, análisis referentes	Revistas indexadas, hojas de recolección de datos
Interpretación	Procesamiento de datos	teóricos	Tabulaciones y gráficas
Análisis de información	Relación de datos	Análisis de datos cuantitativos	Análisis gráficos y estadísticos, Infostat, excel
Síntesis y conclusiones	Producción de informe	Escritura, redacción, compilación	Documento teórico

Nota. El análisis estadístico se encuentra detallado en sección de investigación cuantitativa

13.5 Operacionalización de las variables o unidades de análisis: las variables que se evaluaron fueron sacarosa, azúcares totales, cafeína, característica en copa; en Figura 5 se puede observar la forma de medición.

Variab independientes	Variab dependientes	Tipo de variable	Nivel de medición	Unidad de medida	Dimensionales	Instrumento
Cantidad de agua		Cuantitativa continua	Intervalo	Litros	L	Beacker
Temperatura		Cuantitativa continua	Intervalo	Grados Celsius	°C	Sensor de temperatura RTD tipo PT-100 en fermentador
Tiempo		Cuantitativa continua	Intervalo	Horas	h	Sensor de tiempo por Software en código fuente en fermentador
	Sacarosa	Cuantitativa continua	Intervalo	Porcentaje en masa	%m/m	Cuantificación por volumetría según método de Fehling
	Azúcares totales	Cuantitativa continua	Intervalo	Porcentaje en masa	%m/m	Cuantificación por volumetría según método de Fehling
	Cafeína	Cuantitativa continua	Intervalo	Porcentaje en masa	%m/m	Cromatografía líquida de alta precisión (HPLC)
	Intensidad del aroma en seco, cuerpo, impresión global	Cualitativa	Nominal	Valor	Unidad	Experto certificado en Catación de café

Figura 5. Clasificación de las variables y forma de medición.

Para el proceso de cuantificación de cafeína se tostó la muestra, se pulverizó y se pesó 3 gramos para el análisis, realizando extracción con diluyente en un baño ultrasónico; posterior se realizaron diluciones necesarias para llevar a una concentración de 0.1 mg/mL para la inyección en el cromatógrafo HPLC. El cromatógrafo utilizado es marca Hitachi Primade con detector UV y se usó columna RP-18 de 5 μ m, 250-4 mm, a una longitud de onda de 270 nm., ver Figuras 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12. Los cromatogramas se pueden visualizar en Figura 22.



Figura 6. Inicio de tueste



Figura 7. Tueste de café a los 15 minutos



Figura 8. Café pulverizado



Figura 9. Aforo 1



Figura 10. Aforo 2



Figura 11. Filtrado de aforo 1

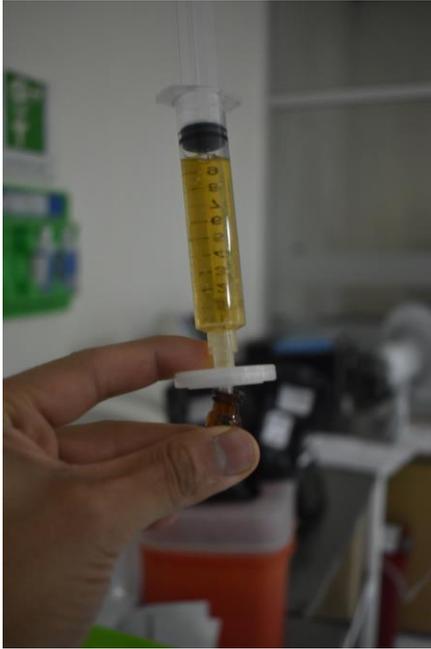


Figura 12. Filtración previa a inyección.

- 13.7 Procesamiento y análisis de la información: Se utilizó programa Infostat 2020 con licencia para estudiantes, en el cual se realizó Anova para determinar el mejor tratamiento para obtener un café en taza con mayor puntuación en Catación, se manejó un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ y de acuerdo a los resultados obtenidos se rechazó hipótesis nula ya que las medias fueron estadísticamente significativas para variables de tiempo y temperatura (ver Figuras 13, 14 y 15), se procedió a realizar prueba de Tukey para comparar las medias de los tratamientos (ver Figura 16).

Sacarosa

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Sacarosa	81	0.89	0.86	31.91

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	472.79	18	26.27	28.47	<0.0001
Tiempo	8.78	2	4.39	4.76	0.0120
Porcentaje_agua	14.06	2	7.03	7.62	0.0011
Temperatura	367.00	2	183.50	198.88	<0.0001
Tiempo*Porcentaje_agua	23.17	4	5.79	6.28	0.0003
Tiempo*Temperatura	42.49	4	10.62	11.51	<0.0001
Porcentaje_agua*Temperatur..	17.30	4	4.33	4.69	0.0023
Error	57.21	62	0.92		
Total	530.00	80			

Figura 13. Anova de los tratamientos realizados para proceso de fermentación para variable de sacarosa. *Nota.* Se utilizó programa de Infostat 2020 con licencia para estudiantes.

Cafeína

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Cafeína	81	0.83	0.78	37.50

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	16.49	18	0.92	16.48	<0.0001
Tiempo	0.17	2	0.09	1.57	0.2165
Porcentaje_agua	0.03	2	0.02	0.31	0.7373
Temperatura	16.02	2	8.01	144.04	<0.0001
Tiempo*Porcentaje_agua	0.04	4	0.01	0.19	0.9437
Tiempo*Temperatura	0.15	4	0.04	0.69	0.6033
Porcentaje_agua*Temperatur..	0.07	4	0.02	0.31	0.8691
Error	3.45	62	0.06		
Total	19.94	80			

Figura 14. Anova de los tratamientos realizados para proceso de fermentación para variable de cafeína. *Nota.* Se utilizó programa de Infostat 2020 con licencia para estudiantes.

Azúcares Totales

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Azúcares Totales	81	0.91	0.88	29.60

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	640.03	18	35.56	33.32	<0.0001
Tiempo	13.15	2	6.58	6.16	0.0036
Porcentaje_agua	19.98	2	9.99	9.36	0.0003
Temperatura	493.23	2	246.62	231.07	<0.0001
Tiempo*Porcentaje_agua	30.96	4	7.74	7.25	0.0001
Tiempo*Temperatura	56.59	4	14.15	13.26	<0.0001
Porcentaje_agua*Temperatur..	26.12	4	6.53	6.12	0.0003
Error	66.17	62	1.07		
Total	706.20	80			

Figura 15. Anova de los tratamientos realizados para proceso de fermentación para variable de azúcares totales. Nota. Se utilizó programa de Infostat 2020 con licencia para estudiantes.

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.45528

Error: 0.9227 gl: 62

Tiempo	Temperatura	Medias	n	E.E.	
24	20	6.35	9	0.32	A
48	25	5.07	9	0.32	A B
30	25	4.29	9	0.32	B C
24	25	4.08	9	0.32	B C
30	20	4.05	9	0.32	B C
48	20	3.26	9	0.32	C
24	30	0.00	9	0.32	D
48	30	0.00	9	0.32	D
30	30	0.00	9	0.32	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Figura 16. Prueba de Tukey para variables de tiempo y temperatura. Nota. Se utilizó programa de Infostat 2020 con licencia para estudiantes.

14. Vinculación, difusión y divulgación

Se obtuvo el apoyo de Casa Aurora Café Reserva, ubicado en Santa Cruz, Alta Verapaz. La divulgación se realizó por la página del Instituto de Investigación y Tecnología de Ingeniería Cunor.

15. Productos, hallazgos, conocimientos o resultados:

Tabla 3

Promedios de punteo de Catación para los diferentes tratamientos realizados en fermentación de café

No.	Tiempo	% Agua	Temperatura	Punteo Catación	Sacarosa %m/m	Cafeína %m/m	Azúcares totales %m/m
1	t1	W1	T1	83.75	6.11	1.01	7.16
2	t1	W1	T2	85.25	3.45	0.94	3.92
3	t1	W1	T3	0.00	0.00	0.00	0.00
4	t1	W2	T1	82.50	6.48	1.01	7.42
5	t1	W2	T2	85.00	5.68	1.15	6.94
6	t1	W2	T3	85.25	6.48	0.97	7.52
7	t1	W3	T1	85.50	6.45	1.26	7.50
8	t1	W3	T2	85.00	3.11	0.88	3.58
9	t1	W3	T3	0.00	0.00	0.00	0.00
10	t2	W1	T1	85.00	3.08	0.88	3.46
11	t2	W1	T2	85.50	3.02	0.76	3.43
12	t2	W1	T3	0.00	0.00	0.00	0.00
13	t2	W2	T1	83.75	2.74	0.92	3.16
14	t2	W2	T2	85.75	3.44	0.95	3.92
15	t2	W2	T3	0.00	0.00	0.00	0.00
16	t2	W3	T1	86.75	6.33	0.90	7.27
17	t2	W3	T2	38.25	6.40	0.98	7.26
18	t2	W3	T3	0.00	0.00	0.00	0.00
19	t3	W1	T1	82.50	3.73	0.88	4.35
20	t3	W1	T2	82.75	3.03	0.94	3.49
21	t3	W1	T3	0.00	0.00	0.00	0.00
22	t3	W2	T1	86.75	2.91	0.82	3.30
23	t3	W2	T2	84.25	6.00	0.87	6.92
24	t3	W2	T3	0.00	0.00	0.00	0.00
25	t3	W3	T1	83.75	3.13	0.87	3.74
26	t3	W3	T2	37.75	6.18	0.96	7.40
27	t3	W3	T3	83.50	6.35	1.07	7.53

Nota. Los datos presentados son los promedios de las tres repeticiones. Los valores de cero indican que el proceso de fermentación no es adecuado porque se quemaron las muestras de café, por tanto no se pudo determinar ningún parámetro.

Tabla 4

Promedios de ácidos clorogénicos y trigonelina para los diferentes tratamientos realizados en fermentación de café

No.	Tiempo	% Agua	Temperatura	Ácidos	
				Clorogénicos %p/p	Trigonelina %p/p
1	t1	W1	T1	1.66	1.91
2	t1	W1	T2	1.16	2.05
3	t1	W1	T3	1.21	1.63
4	t1	W2	T1	1.43	1.65
5	t1	W2	T2	1.10	1.54
6	t1	W2	T3	1.31	1.63
7	t1	W3	T1	1.50	1.60
8	t1	W3	T2	1.10	1.52
9	t1	W3	T3	1.01	1.97
10	t2	W1	T1	1.15	1.49
11	t2	W1	T2	0.62	1.52
12	t2	W1	T3	0.88	2.06
13	t2	W2	T1	0.96	1.89
14	t2	W2	T2	1.18	1.33
15	t2	W2	T3	1.63	0.36
16	t2	W3	T1	1.17	1.51
17	t2	W3	T2	0.97	1.60
18	t2	W3	T3	1.09	2.01
19	t3	W1	T1	0.89	1.93
20	t3	W1	T2	0.84	1.87
21	t3	W1	T3	0.00	0.00
22	t3	W2	T1	0.00	0.00
23	t3	W2	T2	0.00	0.00
24	t3	W2	T3	0.00	0.00
25	t3	W3	T1	0.00	0.00
26	t3	W3	T2	0.00	0.00
27	t3	W3	T3	0.00	0.00

Nota. Los datos presentados son los promedios de las tres repeticiones. Los valores de cero indican que el proceso de fermentación no es adecuado porque se quemaron las muestras de café.

Tabla 5

Combinación óptima de variables

Factor A	Factor B	Factor C	Combinación óptima
A1 tiempo 24 horas	B1 Temperatura 20°C	C1 Agua 13 litros	
A2 tiempo 30 horas	B2 Temperatura 25°C	C2 Agua 8 litros	A2-B1-C3
A3 tiempo 48 horas	B3 Temperatura 30°C	C3 Agua 6 litros	

Nota. La combinación óptima se determinó a partir del mayor puntaje obtenido en Catación de café.



Figura 17. Catación de café obtenido en los distintos tratamientos. *Nota.* La persona que realizó Catación es certificada por Q Arabic Grade, ver Figura 21.



Figura 18. Café obtenido en los distintos tratamientos.

16. Análisis y discusión de resultados:

Al realizar comparación de valores de cafeína, azúcares totales, sacarosa, ácidos clorogénicos (CGA) y trigonelina para granos de café antes y después de proceso de fermentación, se observó que existió una disminución en parámetros químicos. En azúcares totales se obtuvo un 7.27% disminuyendo 1.38% del valor original, lo cual indica que existió producción de etanol; ya que en procesos de fermentación anaeróbica los azúcares se convierten en etanol (Li y colaboradores, 2021, p. 2). La cantidad de cafeína presente después de fermentación fue de 0.90% disminuyendo 1.93% del valor inicial; y de acuerdo a investigación realizada en 2020 indica que cafeína y algunos derivados asociados se encuentran en menor concentración después de la fermentación (Oktavianawati y colaboradores, 2020, p. 138). El valor de sacarosa fue de 6.33% el cual

disminuyó un 1.67%. Los valores de trigonelina y ácidos clorogénicos se pueden observar en Tabla 4, del cual al tomar en cuenta el tratamiento más adecuado sus valores son de 1.51% p/p y 1.57 %p/p, al compararlos con valores teóricos de granos de café verde que corresponden a “trigonelina de 1% p/p y 6.5% p/p para ácidos clorogénicos” (Riaño, 2017, p. 75), se determina que existe una diferencia significativa para los datos de ácidos clorogénicos y se puede especificar que “los ácidos clorogénicos y la cafeína son los responsables del amargor y la trigonelina es un derivado de la piridina, a la cual se le atribuye la formación de aromas durante el tostado” (Gysel y colaboradores, 2014, p. 717). La mayor puntuación obtenida fue de 86.75, la Catación fue realizada por experto certificado por Q Arabic Grader (ver Figura 21) y de acuerdo a la información brindada el café poseía descriptores de fresas, marañón, ciruela, cremoso, chocolate y brillante; “las variaciones en los perfiles sensoriales del café pueden atribuirse a varios factores intrínsecos y factores extrínsecos. Estos factores incluyen diferencias inherentes en las variedades” (Seninde & Chambers, 2020, p. 2). En Figura 19 y 20 se puede observar los compuestos químicos que posee cada uno de los descriptores indicados en proceso de Catación; de los cuales se puede resaltar 2,3-butanediol, 2,6-Dimethylpyrazine. Se puede concluir que proceso de fermentación anaeróbica es funcional para obtener un café con alta calidad en taza según Figura 4 y los parámetros óptimos para variables controladas se encuentran en Tabla 5.

17. Conclusiones

Se determinaron características químicas de café después del proceso de fermentación y se comparó con datos teóricos de propiedades químicas de café según familia a la que pertenece, siendo la analizada Arábica; observando así la reducción de cada uno de ellos. Los parámetros de control óptimos para obtener un café con alta calidad en taza fueron de 6 litros de agua, 30 horas de fermentación y temperatura de 20°C. La relación que se dio respecto a parámetros químicos y descripción sensorial en taza; indicaron que el café se ve altamente influenciado por los valores de sacarosa presente en pergamino de café. Se comprobó que al utilizar fermentación anaeróbica los puntajes de Catación obtenidos fueron adecuados para considerar un café de excelente calidad en taza.

18. Impacto esperado

A partir de la modificación que se realizó en proceso de fermentación, se determinó que es posible aumentar la calidad de café en taza, motivo por el cual es de beneficio para las pequeñas y grandes industrias de café en la región.

19. Referencias

- Amorim, A., Hovell, A., Pinto, A., Eberlin, M., Arruda, N., Pereira, E., ... Rezende, C. (2009). Green and roasted arabica coffees differentiated by ripeness, process and cup quality via electrospray ionization mass spectrometry fingerprinting. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 20(2),
- Asociación Nacional del Café (junio de 2019). Subasta Cup of Excellence. Recuperado de <https://www.anacafe.org/articles/subasta-cup-of-excellence-15-a%C3%B1os-premiando-y-reconociendo-la-calidad-del-caf%C3%A9-de-guatemala/>
- Córdoba-Castro, N. M., & Guerrero-Fajardo, J. E. (2016). Characterization of the traditional coffee fermentation processes in Nariño. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 75-83.
- Cruz-O'Byrne, R., Piraneque-Gambasica, N., & Aguirre-Forero, S. (2020). Physicochemical, microbiological, and sensory análisis of fermented coffee from Sierra Nevada of Santa Marta, Colombia. *Coffee Science*, 15(1), 1797-1803.
- Duicela, L., Velásquez, S., & Farfán, D. (2017). Calidad organoléptica de cafés arábigos en relación a las variedades y altitudes de las zonas del cultivo Ecuador. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 18(1), 1-9.
- Farah, A., Monteiro, M., Calado, V., Franca, A., & Trugo, L. (2006). Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. *Food Chemistry*, 98(2006), 373-380.

Gálvez, R. (2018). Optimización del proceso fermentativo Honey en café esencial variedad Pacamara, Finca Santa Rosa, El Salvador (Tesis de licenciatura). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras, Facultad de Agronomía, Honduras.

Gysel, G., Fernández, J., Aguilar, P., Salazar, W., Durand, N. Bastide, P., & Macia, I. (2014). Determinación de compuestos químicos asociados con las características sensoriales de café procesado por vía húmeda. *Revista Facultad de Agronomía (LUZ)*, 1(1), 712-718.

Hoffmann, J. (2014). The world atlas of coffee: from beans to brewing, coffees explored, explained and enjoyed (2^a. ed.). Firefly Books.

International Coffee Organization (mayo de 2019). Trade statistics table. Exports of coffee by exporting countries. Recuperado de <http://www.ico.org/prices/m1-exports.pdf>

Joet, T., Laffargue, A., Descroix, F., Doubeau, S. Bertrand, B., Kochko, A., & Dussert, S. (2010). Influence of environmental factors, wet processing and their interactions on the biochemical composition of green Arabica coffee beans. *Food Chemistry*, 118(2010), 693-701.

Komaria, N., Suratno, Sudarti, & Dafik. (2021). The effect of fermentation on acidity, caffeine and taste cascara robusta coffee. *Journal of Physics: Conference Series*, 1751(1), 1-9.

Li, Z., Ding, J., Bing-Feng, L., Guo-Jun, X., Nan-Qi, R., & Defeng, X. (2020). Metabolic regulation of ethanol-type fermentation of anaerobic acidogenesis at different pH base don transcriptome análisis of *Ethanoligenens habinense*. *Biotechnology for Biofuels*, 13(1), 1-15.

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (agosto de 2016). Proyecto: Paisajes productivos resilientes al cambio climático y redes socioeconómicas fortalecidas en Guatemala.

Diagnóstico de la cadena de café. Recuperado de
<http://www.marn.gob.gt/Multimedios/9809.pdf>

Murthy, P. S., & Madhava, N. M. (2011) Improvement of Robusta coffee fermentation with microbial enzymes. *European Journal of Applied Sciences*, 3(4), 130-139.

Oktavianawati, I., Arimurti, S., & Suharjono, S. (2020) The impacts of traditional fermentation method on the chemical characteristics of Arabica coffee beans from Bondowoso District, East Java. *The Journal of Pure and Applied Chemistry Research*, 9(2), 133-141.

Puerta, G. (2010). Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café. *Avances técnicos Cenicafe*, 402(1), 1-11.

Puerta, G. (1996). Escala para la evaluación de la calidad de la bebida de café verde Coffea arabica, procesado por vía húmeda. *Cenicafé*, 47(4), 231-234.

Riaño, C. (2017). *Tecnología del café*. Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Facultad de Ingeniería de Alimentos.

Rosas, J., Escamilla, E., & Ruiz, O. (2008). Relación de los nutrientes del suelo con las características físicas y sensoriales del café orgánico. *Terra Latinoam*, 26(4), 375-384.

Ruta, L., & Farcasanu, I. (2021). Coffee and Yeasts: from flavor to biotechnology. *Fermentation*, 7(9), 1-16.

Schawn, R., Batista, L., & Silva, C. (2012). Coffee fermentation. *Handbook of Plant-Based Fermented Food and Beverage Technology* (2ª. Ed., pp. 677-690).

Seninde, D., & Chambers, E. (2020). Coffee flavor: A review. *Beverages*, 6(4), 1-25.

Specialty Coffee Association of America (SCAA). (2015). Cupping Specialty Coffee, USA, p.10.

Recuperado de <https://docplayer.net/20921419-Scaa-protocols-cupping-specialty-coffee.html>

Timberlake, K. (2013). Química general, orgánica y biológica (4ª. ed.). México: Pearson.

Wei, L., Wai, M., Curran, P., Yu, B., & Quan, S. (2015). Coffee fermentation and flavor – An intricate and delicate relationship. *Food Chemistry*, 185(2015), 182-191.

20. Apéndice

Chemical Group	Compound	Aroma Descriptors
Acetate Acid	2-Furanmethanol acetate	Ethereal-floral, herbal-spicy, Green
	3-methylbutyric acid	Sweaty
	Acetic acid	Pungent
	Benzeneacetic acid	
	hexanoic acid	Fatty rancid, acrid, sweat-like,
	Isovaleric acid	Rancid, Cheese,
Alcohol	Propanoic acid	Pungent, acidic, cheesy, vinegar
	2,3-butanediol	Fruity, Creamy, Buttery
	2-Furanmethanol	Caramellic, burnt, smoky
	furfuryl alcohol	Caramel, Sweet, Coffee
Aldehyde	3-Methylbutanal	Malty, Fruity
	5-Methylfurfural	Spice, caramel, maple
	Acetaldehyde	Fruity, Pungent
	Benzaldehyde	Fruity, Almond, Bitter
	Hexanal	Grassy, Green, fatty-green
Ester	Ethyl-3-methylbutyrate	Fruity
	Trigonelline methyl ester	
Furan	2-Acetylfuran	Sweet, balsam, almond, cocoa
	2-Methylfuran	Pungent, fruity
	5-furfural	Sweet, woody, almond
Ketone	1-Hydroxy-2-butanone	Sweet, coffee
	2,3-butanedione	Buttery, oily, fruity, caramel-like
	2,3-Pentanedione	Buttery, oily, caramel-like
	3-Hydroxy-2-butanone	Sweet, buttery, creamy
	Furaneol	Caramel, sweet
	Butyrolactone	Caramel, Fatty, creamy, oily
Lactone		
Monoterpene	Limonene	Citrus-like
	2-acetylpyrrole	Nutty
N-heterocyclic	1H-pyrrole-2-carboxaldehyde	Musty, beefy, coffee
	1-Methyl-1H-pyrrole	Smoky, woody, herbal
	3-Ethylpyridine	Rotten fish, smoky, leather, Tobacco

Figura 19. Compuestos volátiles identificados en café tostado. Nota. La información se obtuvo de investigación realizada por Seninde & Chambers en el año 2020.

Chemical Group	Compound	Aroma Descriptors
Phenols	4-Ethylguaiaicol	Spicy, phenolic, sweet Clove, Spicy Phenolic, burnt, smoky
	4-Vinylguaiaicol	
	Guaiaicol	
Pyrazine	2-Isoamyl-6-methylpyrazine	Fermented soy Nutty, roasted, chocolate Nutty, roasted, grassy Chocolate, cocoa, toasted nuts, roasted meat Nutty, peanut, roasted matter Coffee-like Flowery, fruity, hazelnut-like
	2,3,5,6-tetramethylpyrazine	
	2,3-Dimethylpyrazine	
	2,5-Dimethylpyrazine	
	2,6-Dimethylpyrazine	
	2-Ethyl-3-methylpyrazine	
	2-Ethyl-5-methylpyrazine	
	2-Ethyl-6-methylpyrazine	
Sulfide	2-methylpyrazine	Earthy, moldy, roasted Cabbage-like Onion, garlic, sulfurous
	3-Ethyl-2,5-dimethylpyrazine	
	Dimethyldisulfide	
	Furfurylmethyl sulfide	
Thiols	Isopropyl <i>p</i> -cresol sulfide	Boiled Potato-like Roast, coffee-like, caramel, burned matter, fresh coffee Skunky, Smoke-roast Sulfurous, fresh coffee
	Methional	
	2-furfurylthiol	
	3-Methyl-2-butene-1-thiol	
	Methanethiol	

Figura 20. Compuestos volátiles identificados en café tostado. Nota. La información se obtuvo de investigación realizada por Seninde & Chambers en el año 2020.



Figura 21. Certificado de persona que realizó Catación de café.

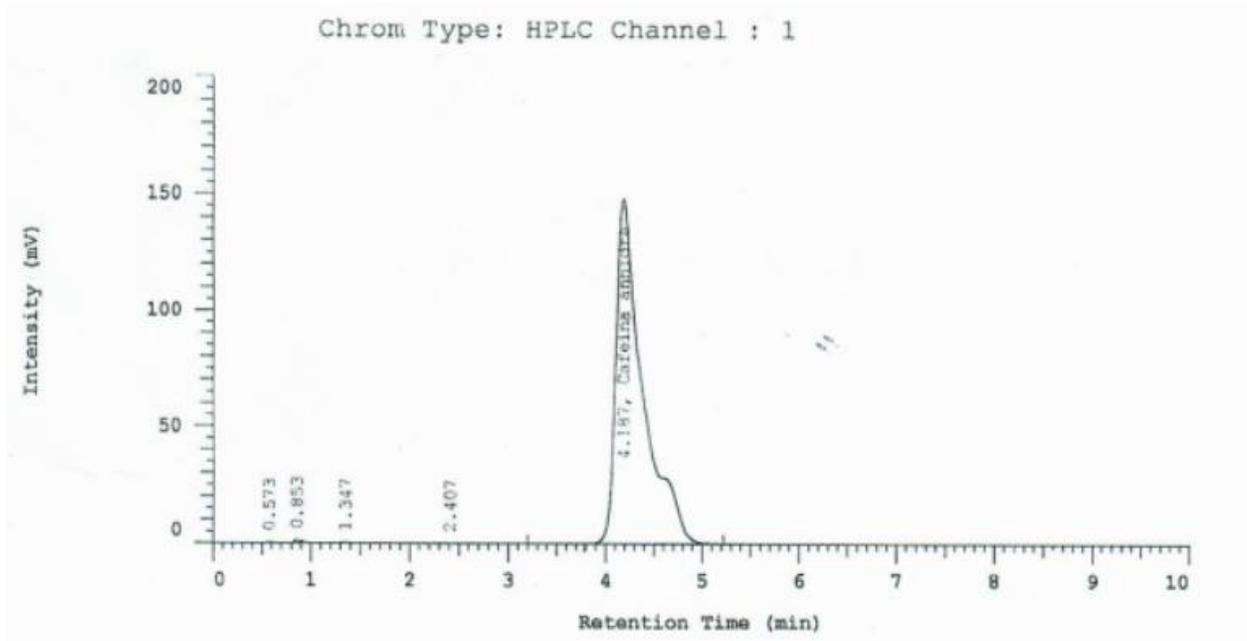


Figura 22. Cromatograma para determinación de cafeína. Nota. Se utilizó cromatógrafo HPLC marca Hitachi Primade.

Ácidos clorogénicos

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ácidos clorogénicos	81	0.97	0.96	13.44

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	23.53	18	1.31	100.95	<0.0001
Tiempo	17.90	2	8.95	691.43	<0.0001
Porcentaje_agua	0.41	2	0.21	15.87	<0.0001
Temperatura	0.65	2	0.33	25.26	<0.0001
Tiempo*Porcentaje_agua	2.30	4	0.58	44.42	<0.0001
Tiempo*Temperatura	1.08	4	0.27	20.95	<0.0001
Porcentaje_agua*Temperatur..	1.17	4	0.29	22.61	<0.0001
Error	0.80	62	0.01		
Total	24.33	80			

Figura 23. Anova para ácidos clorogénicos.

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.17239

Error: 0.0129 gl: 62

Tiempo	Porcentaje agua	Medias	n	E.E.	
24	13	1.34	9	0.04	A
24	8	1.28	9	0.04	A
30	8	1.26	9	0.04	A
24	6	1.20	9	0.04	A B
30	6	1.08	9	0.04	B
30	13	0.88	9	0.04	C
48	13	0.58	9	0.04	D
48	6	0.00	9	0.04	E
48	8	0.00	9	0.04	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Figura 24. Prueba de Tukey para ácidos clorogénicos.

Trigonelina

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Trigonelina	81	0.86	0.81	28.03

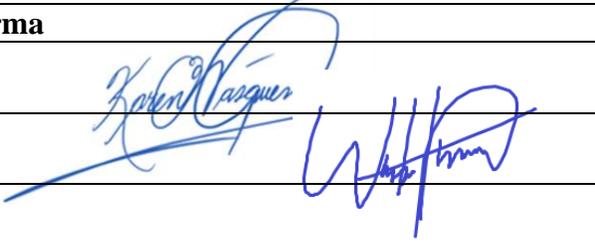
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	43.25	18	2.40	20.39	<0.0001
Tiempo	26.59	2	13.29	112.82	<0.0001
Porcentaje_agua	6.45	2	3.23	27.38	<0.0001
Temperatura	0.98	2	0.49	4.16	0.0202
Tiempo*Porcentaje_agua	5.01	4	1.25	10.63	<0.0001
Tiempo*Temperatura	1.57	4	0.39	3.33	0.0155
Porcentaje_agua*Temperatur..	2.65	4	0.66	5.62	0.0006
Error	7.31	62	0.12		
Total	50.56	80			

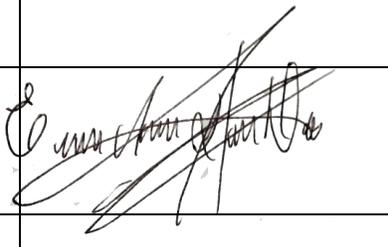
Figura 25. Anova para trigonelina en café.

Listado de los integrantes del equipo de investigación

Contratados por contraparte y colaboradores

Nombre	Firma
Karen Elizabeth Vásquez Villeda	
Walter Armando Herrera Cifuentes	

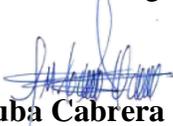
Contratados por la Dirección General de Investigación

Nombre	Categoría	Registro de Personal	Pago		Firma
			SI	NO	
Edgar Arnoldo Sierra Dubón	Auxiliar II	20200726		X	

Guatemala 22 de febrero de 2021



Ing. Karen Elizabeth Vásquez Villeda
Proyecto de Investigación DES2CU



Ing. Liuba Cabrera de Villagrán
Programa Universitario de Investigación y
Desarrollo Industrial



Ing. MARN Julio Rufino Salazar Pérez
Coordinador General de Programas
Digi USAC

Ing. Julio Rufino Salazar

Coordinador General de Programas