



**RELACIÓN ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y
LA CINÉTICA BACTERIANA EN EL PROCESO DE
FERMENTACIÓN DE *Coffea arabica* L. EN FINCA DE LA SIERRA
NEVADA DE SANTA MARTA.**

Stiven Antonio Pertuz Botina

Universidad Magdalena

Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Agronómica
Santa Marta, Colombia
Año 2020



**RELACIÓN ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS Y
LA CINÉTICA BACTERIANA EN EL PROCESO DE
FERMENTACIÓN DE *Coffea arabica* L. EN FINCA DE LA SIERRA
NEVADA DE SANTA MARTA.**

Stiven Antonio Pertuz Botina

Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Agrónomo

Director (a):

Ing. Rosmery K. Cruz O'Byrne, MEng (c)

Codirector (a):

Ing. Nelson V. Piraneque Gambasica, PhD

Línea de Investigación:

Ciencias Agrarias

Grupo de Investigación:

Grupo de Investigación Suelo, Ambiente y Sociedad (GISAS)

Universidad del Magdalena
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Agronómica
Santa Marta, Colombia

2020

Nota de aceptación:

Aprobado por el Consejo de Programa en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad del Magdalena para optar al título de Ingeniero agrónomo

Jurado

Jurado

Santa Marta, ____ de ____ del _____

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento se dirige a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y tener la salud para lograr mis objetivos, es él, el que ha estado en todo momento conmigo ayudándome a aprender de mis errores y no cometerlos otra vez.

A la Universidad del Magdalena por el financiamiento para realizar mi pasantía de grado como parte del proyecto “Caracterización de la diversidad microbiana en diferentes procesos de fermentación de café en el departamento del Magdalena” por medio de la convocatoria FONCIENCIAS.

Al programa de Ingeniería Agronómica por brindarme la oportunidad de realizar esta pasantía de investigación.

Al grupo de investigación Suelo, Ambiente y Sociedad y a su líder que es mi Co-director de pasantía el profesor NELSON VIRGILIO PIRANEQUE por brindarme su confianza y la oportunidad de hacer parte de este proyecto.

Un agradecimiento muy especial a mi directora de pasantía ROSMERY CRUZ O’BYRNE por su motivación, orientación y lineamientos para llevar a cabo este proyecto de grado, por todo el tiempo que dispuso brindándome enseñanzas que me servirán para toda mi vida personal y profesional, por su paciencia y comprensión durante todo este proceso.

Al profesor ISAAC ROMERO por brindarme el espacio en el laboratorio de calidad de agua junto a GIAN CELEDÓN del laboratorio de Biotecnología, porque gracias al tiempo que nos permitieron trabajar en esos laboratorios se pudo avanzar en el proyecto.

A mis padres LILIANA BOTINA y RICARDO PERTUZ por el apoyo incondicional que me brindan, a mis hermanos KEVIN PERTUZ Y MARILYN PERTUZ por darme fuerza para salir adelante, por todos los consejos y buenos ejemplos que me transmiten. Gracias a mis padres y mis hermanos por todo el esfuerzo por ayudarme para continuar mi carrera profesional, durante el camino tuvimos muchos obstáculos, pero hoy en día los frutos de esa siembra que iniciaron llegarán siendo yo el orgullo de mi familia.

A CAROLINA FUENTES; mi novia, mi compañera de batalla, mujer que me motiva a ser cada día mejor persona con todos sus buenos deseos y estando junto a mí en todos esos momentos difíciles.

A mis amigos PIERINA COTES, JEAN VELÁSQUEZ, ANGELA FUENTES y HENRY CARVAJAL por todo su apoyo y a mi compañera de investigación YULIANA MENCO.

RESUMEN

En la industria del café, el proceso de fermentación es un factor esencial en el procesamiento poscosecha del fruto que consiste en la transformación bioquímica que sufre el mucílago bajo la acción de enzimas segregadas por microorganismos, lo cual tiene una influencia directa en la calidad de la bebida. El presente proyecto consiste en identificar la relación entre las características fisicoquímicas y la cinética bacteriana en el proceso de fermentación del *Coffea arabica* L. mediante método húmedo en la finca Barlovento ubicada en la vereda La Tagua, Sierra Nevada de Santa Marta. Cada 6 horas se llevó a cabo el análisis de pH, grados Brix, temperatura y poblaciones bacterianas en el proceso de fermentación de 36 horas de duración, y teniendo en cuenta las condiciones ambientales, se determinaron significancias y correlaciones estadísticas entre las variables. Se obtuvo que la temperatura del café fue superior a la del ambiente siendo oscilantes durante el proceso con una correlación positiva. Los grados Brix disminuyeron de 6,53 a 4,30 °Bx y el pH de 5,37 a 3,96 a través de las 36 horas de fermentación mostrando una alta dependencia entre ellos. Las bacterias tuvieron su mayor población a las 0 horas con 5,14 UFC/g y la menor a las 18 horas con resultados de 3,85 UFC/g. Con los hallazgos de la presente investigación se busca generar nuevos conocimientos para futuras investigaciones y toma de decisiones con respecto al control de la fermentación, y así poder promover la producción de cafés especiales en la región, aumentar los ingresos de los caficultores y actualizarlos de forma idónea logrando mayor competitividad en el mercado nacional e internacional.

Palabras clave: Bacterias, Café, Fermentación en húmedo, Microbiología, Procesamiento de café.

ABSTRACT

In the coffee industry, the fermentation process is an essential factor in the fruit's post-harvest processing, which consists of the biochemical transformation that the mucilage undergoes under enzymes secreted by microorganisms, which has a direct influence on the quality of the coffee drink. This research identifies the relationship between the physicochemical characteristics and the bacterial kinetics in the fermentation process of *Coffea arabica* L. using the wet method in the Barlovento farm located in the village of La Tagua, Sierra Nevada de Santa Marta. Every 6 hours, the analysis of pH, Brix degrees, temperature, and bacterial populations was carried out in the 36-hour fermentation

process. Taking into account the environmental conditions, statistical significance and correlations were determined between the variables. It was obtained that the coffee temperature was higher than the environment temperature, being oscillating during the process with a positive correlation. The Brix degrees decreased from 6.53 to 4.30 °Bx and the pH from 5.37 to 3.96 throughout the 36 hours of fermentation, showing a high dependence between them. The bacteria had their highest population at 0 hours with 5.14 CFU/g and the lowest at 18 hours with results of 3.85 CFU/g. With the findings of this research, it is sought to generate new knowledge for future research and decision-making regarding the control of fermentation, and thus be able to promote the production of specialty coffees in the region, increase the income of coffee growers and suitably update them, achieving greater competitiveness in the national and international market.

Keywords: Bacteria, Coffee, Wet fermentation, Microbiology, Coffee processing.

CONTENIDO

	<u>Pág.</u>
RESUMEN	V
CONTENIDO.....	1
LISTA DE FIGURAS	3
LISTA DE TABLAS	4
1. INTRODUCCIÓN	5
2. JUSTIFICACIÓN.....	7
3. OBJETIVOS.....	9
3.1. Objetivo general.....	9
3.2. Objetivos específicos	9
4. ANTECEDENTES	10
5. MARCO TEÓRICO.....	13
5.1. Género <i>Coffea</i>	13
5.1.1. Estructura del fruto y del grano de un cafeto	13
5.2. Beneficio del fruto	14
5.2.1. Beneficio por vía húmeda	14
5.2.2. Fermentación en húmedo.....	15
5.2.3. Características fisicoquímicas y microbiológicas en la fermentación	16
5.3. Café especial	17
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
6.1. Zona de estudio	18
6.2. Toma de muestras	18
6.3. Análisis fisicoquímico (pH, temperatura y grados Brix).....	19
6.4. Análisis microbiológico (bacterias)	19
6.5. Correlación entre las características fisicoquímicas y las poblaciones bacterianas	20
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
7.1. Características fisicoquímicas.....	21
7.2. Poblaciones bacterianas	23

7.3. Correlación entre las características fisicoquímicas y las poblaciones bacterianas	25
8. CONCLUSIONES.....	27
BIBLIOGRAFÍA	28

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 1. Estructura del fruto de un cafeto.....	14
Figura 2. Procesos bioquímicos que ocurren en la fermentación del café.....	15
Figura 3. Ubicación de la Finca Barlovento y la planta de beneficio La María.....	18
Figura 4. Características fisicoquímicas durante el proceso de fermentación de café en la finca Barlovento, Sierra Nevada de Santa Marta.	22
Figura 5. Poblaciones bacterianas durante el proceso de fermentación de café en la finca Barlovento, Sierra Nevada de Santa Marta.	24
Figura 6. Valores de coeficientes de correlación entre las variables estudiadas durante el proceso durante el proceso de fermentación de café en la finca Barlovento, Sierra Nevada de Santa Marta. Bx: Grados Brix, pH: Potencial de hidrógeno, TC: Temperatura café, TA: Temperatura ambiente, HR: Humedad relativa, Bact: Bacterias.	25
Figura 7. Correlación entre las variables estudiadas durante el proceso durante el proceso de fermentación de café en la finca Barlovento, Sierra Nevada de Santa Marta. Bx: Grados Brix, pH: Potencial de hidrógeno, TC: Temperatura café, TA: Temperatura ambiente, HR: Humedad relativa, Bact: Bacterias.....	25

LISTA DE TABLAS

	<u>Pág.</u>
Tabla 1. Antecedentes de investigaciones realizadas en fermentación de café relacionadas con el objeto de estudio.....	10
Tabla 2. Condiciones ambientales durante el muestreo de la fermentación de café en finca Barlovento, Sierra Nevada de Santa Marta.	21
Tabla 3. Características fisicoquímicas durante el proceso de fermentación de café en la finca Barlovento, Sierra Nevada de Santa Marta.	21
Tabla 4. Poblaciones bacterianas durante el proceso de fermentación de café en la finca Barlovento, Sierra Nevada de Santa Marta.	23

1. INTRODUCCIÓN

El café es uno de los productos más prestigiosos en el mundo y la caficultura colombiana es uno de los sectores de mayor relevancia para la estabilidad económica y social del país **(Munoz, 2014)**. Colombia se ha destacado por ser el tercer mayor productor de café a nivel mundial después de Brasil y Vietnam **(Agronet, 2018; FAO, 2018)**. En el país se producen 855.840 toneladas de café en un área de 742.373,45 hectáreas **(Agronet, 2018)**, y genera el 16,19% del empleo agrícola beneficiando a muchas familias campesinas que se dedican a la siembra, cosecha y cuidado del café **(Banco Mundial, 2018)**.

Según **Barrera et al (2019)** la bebida proveniente del café es una de las más populares y consumidas en todo el mundo debido a su riqueza y sabor complejo y otras características sensoriales. El procesamiento pos cosecha de la cereza de café tiene un impacto significativo en el sabor y otros atributos de calidad de la bebida, donde la fermentación del fruto juega un papel esencial y es un paso inquebrantable en el proceso de beneficio de la cereza **(Evangelista et al., 2015)**. Los procesos de fermentación han sido usados por el hombre desde hace miles de años con el fin de preservar los alimentos y para producir bebidas con sabores, texturas y aromas específicos en busca de una mayor calidad **(Puerta, 2010)**. La fermentación consiste en la transformación que sufren ciertas materias orgánicas bajo la acción de enzimas segregadas por microorganismos. Es un proceso de naturaleza bioquímica y tiene lugar en ambiente anaeróbico, con degradación de la sustancia orgánica en compuestos intermedios que actúan de donadores y aceptores de electrones (proceso de óxido-reducción) con liberación de energía **(CEUPE, 2020)**.

A pesar que la industria del café colombiano tiene más de 76 años generando tecnologías y conocimientos, y de la importancia que posee el proceso de fermentación en la generación de una bebida de café de calidad, se han realizado pocos estudios en la fermentación de *Coffea arabica* L. En el caso específico del departamento del Magdalena, cuyo cultivo se encuentra distribuido en la Sierra Nevada de Santa Marta y a pesar que es reconocido por la calidad de su producto, no existen estudios que involucren la fermentación de café

Pese a que existen estudios microbiológicos realizados en fermentación en muchas partes del mundo, no son aplicables en el departamento del Magdalena debido que las características de la fermentación de café depende de muchos factores; Entre esos, la ubicación geográfica del cultivo y su procesamiento y no solo de las especies y variedades

sino también del lugar de cultivo, diferencia de ambientes, sistemas de producción y procesos de fermentación entre otros **(Doria, 2010)**.

Teniendo en cuenta la importancia que posee el cultivo de café en el país y el departamento, la esencialidad del proceso de fermentación y el papel de los microorganismos en la degradación del fruto para la producción de bebidas de calidad, se hace necesario el estudio de dicho proceso en el Magdalena. Este proyecto busca subsanar el vacío de información a través del estudio del comportamiento cinético de las bacterias y su relación con las características fisicoquímicas en la fermentación de café en una finca ubicada en la Sierra Nevada de Santa Marta, con el fin de servir como base para futuras investigaciones y la realización de controles en la fermentación que garanticen la calidad del producto final, la reducción de pérdidas económicas para los caficultores, la potencialización de la producción de cafés especiales en la región y un mejor aprovechamiento del mercado.

2. JUSTIFICACIÓN

La planta de café se cultiva en más de 80 países del mundo, proporcionando materias primas para una industria global, logrando un posicionamiento en el mercado internacional debido a los atributos de alta calidad que expresa (**De Los Santos & Hernández, 2006**). Su bebida es una de las más apreciadas con un consumo de más de 500 mil millones de tazas de café por año, superando una producción global de 9 millones de toneladas, el café ahora se erige como el segundo mayor productor en valor de mercado después del petróleo (**Velásquez et al., 2019**). En la actualidad, el café colombiano se ha posesionado en el mercado internacional como un producto de alta calidad debido a los atributos que posee (**Munoz, 2014**), y en el caso específico del café producido en el departamento del Magdalena, ha cobrado protagonismo por sus características intrínsecas que le brinda la oferta ambiental de la Sierra Nevada de Santa Marta, llegando a alcanzar su protección por denominación de origen “Café de la Sierra Nevada” (**Superintendencia de Industria y Comercio, 2017**).

En la industria del café, el procesamiento poscosecha del fruto es clave, siendo el proceso de fermentación un factor esencial por su influencia directa en la calidad de la bebida (**Puerta & Echeverry, 2015**). De hecho, dicho proceso es una de las tecnologías de procesamiento de alimentos más antiguas documentadas hace más de 6.000 a.C, utilizada por la humanidad para dar sabor, aroma, modificar texturas y conservar la calidad de los alimentos (**Nielsen, 2002**). En este proceso, enzimas naturales de microorganismos como bacterias, hongos y levaduras degradan el mucílago del fruto produciendo diferentes sustancias como alcoholes y ácidos que le darán atributos específicos a la bebida (**Puerta & Echeverry, 2015**).

Debido a la importancia del proceso de fermentación en la industria cafetera, en la calidad del producto y su comercio, en distintas partes del mundo se investigan las características microbiológicas y fisicoquímicas que lo envuelven. Sin embargo, en Colombia existen pocos estudios que involucren dichas características y en el departamento del Magdalena no se registran investigaciones. Además, aquellos estudios llevado a cabo en otros lugares no son aplicables en la región ya que las características del proceso de fermentación depende de la ubicación geográfica y su nicho, así como de la duración de la fermentación, la temperatura y calidad del aire, la calidad del agua, la higiene, el sistema de fermentación

empleado, la calidad del café, la especie, la variedad, la selección y la composición química y microbiana **(Torres et al., 2019)**

Este proyecto nace de la necesidad de llenar el vacío de información en el departamento del Magdalena sobre el comportamiento de las variables asociadas a la degradación del mucílago de café por medio de fermentación, por lo que se realizó el estudio de las características fisicoquímicas y microbiológicas; específicamente el comportamiento cinético de las bacterias, en el proceso de fermentación en húmedo en una finca de la Sierra Nevada de Santa Marta. Con los resultados obtenidos se busca generar nuevo conocimiento que sirva como punto de partida para futuras investigaciones y como base para la toma de decisiones respecto al control de la fermentación para así influir en la calidad de la bebida, potencializar la producción de cafés especiales en la región, aumentar los ingresos de los caficultores y sus capacidades para competir en el mercado local, nacional e internacional del café.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Identificar la relación existente entre las características fisicoquímicas y la cinética bacteriana en el proceso de fermentación de café (*Coffea arábica* L.) mediante método húmedo en finca de la vereda La Tagua, Sierra Nevada de Santa Marta.

3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas (pH, temperatura y grados Brix) de muestras de café (*Coffea arábica* L.) fermentados mediante método húmedo durante 0, 6, 12, 18, 24, 30 y 36 horas en finca de la vereda La Tagua, Sierra Nevada de Santa Marta.
- Realizar aislamiento de bacterias de muestras de café (*Coffea arábica* L.) fermentados mediante método húmedo durante 0, 6, 12, 18, 24, 30 y 36 horas en finca de la vereda La Tagua, Sierra Nevada de Santa Marta.
- Relacionar las características fisicoquímicas con la cantidad de bacterias en proceso de fermentación de café (*Coffea arábica* L.) mediante método húmedo durante 0, 6, 12, 18, 24, 30 y 36 horas en finca de la vereda La Tagua, Sierra Nevada de Santa Marta.

4. ANTECEDENTES

Durante la fermentación del café, microorganismos como las bacterias generan metabolitos secundarios al degradar los azúcares presentes generando sabores y aromas. Sin embargo, en el departamento del Magdalena no han sido estudiadas características fisicoquímicas o microbiológicas referentes al proceso de fermentación. A continuación, se presentan algunos estudios realizados en diferentes partes del mundo donde se tienen en cuenta características fisicoquímicas como pH, temperatura y grados Brix, y características microbiológicas, específicamente el estudio de bacterias (Tabla 1).

Tabla 1. Antecedentes de investigaciones realizadas en fermentación de café relacionadas con el objeto de estudio.

AUTOR	LUGAR	OBJETIVOS, MATERIALES Y/O MÉTODOS	RESULTADO	CONCLUSION
Velmourougane (2013)	India	<ol style="list-style-type: none"> 1. Impacto de la fermentación natural 2. Características microbiológicas 3. Calidad de la taza de Café Arábica y Robusta 4. Método de fermentación natural 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatura durante la degradación de 17 y 26 °C, Humedad relativa entre 70 y 85 %. 2. Disminución del pH, aumento de la temperatura de la masa de fermentación a causa de la degradación y reacción exotérmicas. 3. Las levaduras es la microflora dominante de los frutos recién despulpados, seguida de bacterias 4. La masa de <i>C. arábica</i> registró un mayor recuento total de bacterias lácticas positivas, bacterias lácticas negativas y 	La fermentación natural es uno de los requisitos previos para la producción del café pergamino de calidad, considerando que el café Arábico se puede fermentar completamente en 20 h pero el café Robusta necesita 96 h para completar la desmucilización bajo las condiciones climáticas predominantes de la India, concluyendo que a mayor temperatura junto a una buena aireación, reduce el tiempo de descomposición.

			<i>Pseudomonas</i> en comparación con el café robusta.	
Ribeiro et al. (2018)	Brasil	<p>1. Evaluación de las características microbiológicas y químico-sensoriales de tres variedades de cafés</p> <p>(Café: <i>Mundo Nojvo</i>, <i>Ouro Amarelo</i> y <i>Catuaí Vermelho</i>)</p> <p>2. Fermentación húmeda</p>	<p>1. Temperatura del agua en el tanque de fermentación era de 21 a 16 °C mientras que la temperatura ambiental osciló entre 28 a 15 °C y un pH de 5 que disminuyó lentamente hasta llegar a 4.</p> <p>2. El proceso de degradación tardó entre 18 a 23 h</p> <p>3. La mayor población de mesófilos y bacterias del ácido láctico fue diferente en cada muestra</p> <p>4. Las bacterias que se encontraban a menudo en todas las variedades fue <i>Lactobacillus plantarum</i> y <i>Leuconostoc mesenteroides</i></p>	La diversidad bacteriana durante la fermentación de los tres tipos de café proporcionó información útil sobre los posibles cultivos Iniciadores que se pueden utilizar en el procesamiento húmedo de café, comprobando con esto que el aislamiento debe hacerse para comprender mejor su capacidad de inoculación y uso como cultivo iniciador
Avallone et al. (2001)	México	<p>1. Estudio microbiológico y bioquímico de la fermentación del café.</p> <p>2. Comportamiento de la microflora</p> <p>3. Fermentación húmeda</p>	<p>1. El tiempo necesario para descomponer el mucilago fue de 20 h, el pH disminuyó lentamente porque la temperatura exterior era bastante fría (13 °C).</p> <p>2. Las variaciones de temperatura del café fueron moderadas, pero la microflora mesofílica mantuvo una mayor temperatura en los tanques que en el exterior durante la fermentación</p> <p>3. La microflora de fermentación del café era rica y estaba constituida principalmente por</p>	La microflora de fermentación inicial del café era rica y acidificó significativamente la masa de café después de una fase de retraso, mientras que, la microflora aeróbica fue predominante y más heterogénea cuando el agua se utilizó en el proceso. Durante la fermentación, bacterias y levaduras, crecieron, mientras que la

			<p>aerobios Gram negativos. Bacilos con los géneros <i>Erwinia</i> y <i>Klebsiella</i> en las frecuencias más altas.</p> <p>4. El mejor aumento de población fue observado con bacterias del ácido láctico y levaduras, mientras que aquellos microorganismos que consumieron ácido galacturónico como única fuente de carbono, se mantuvieron constante durante el paso de fermentación.</p>	<p>microflora pectolítica se mantuvo estable, al final de la fermentación, las levaduras fueron cuantitativamente importante cuando el pH era bajo debido a su mayor resistencia a condiciones ácidas. Estos microorganismos podrían ser responsable del sabor alcohólico de la bebida del café después de la sobre fermentación.</p>
De Carvalho et al. (2017)	Brasil	<p>1. Secuenciaron genes de ARNr de alto rendimiento</p> <p>2. Alta diversidad bacteriana y compleja asociada con fermentación brasileña del grano de café</p> <p>3. Fermentación espontanea</p>	<p>Se determinó la presencia de más de ochenta géneros bacterianos, muchos de los cuales se han detectado por primera vez durante la fermentación del grano de café, incluidos <i>Fructobacillus</i>, <i>Pseudonocardia</i>, <i>Pedobacter</i>, La presencia de <i>Fructobacillus</i> sugiere una influencia de estas bacterias en el metabolismo de la fructosa durante fermentación del café.</p>	<p>El análisis temporal mostró un fuerte dominio de las bacterias del ácido láctico con más del 97% de secuencias leídas al final de la fermentación, principalmente representadas por los géneros <i>Leuconostoc</i> y <i>Lactococcus</i>, En este estudio confirman la subestimación de la diversidad bacteriana asociada con fermentación del café. Los nuevos grupos microbianos informados en este estudio pueden explorarse como Cultivos iniciadores funcionales para el procesamiento de café.</p>

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Género *Coffea*

Etimológicamente la palabra café es incierta, posiblemente derive de *Kaffa*; una provincia Abisiana (actual Etiopía) o tal vez de la palabra Kahve del idioma Turco (**Lopez-Tricas, 2015**). Según **ICO (2020)**, el café corresponde a la familia botánica Rubiaceae, la cual tiene 500 géneros aproximadamente y un promedio de 6.000 especies. Comercialmente, se exploran dos especies, *Coffea arabica* (Arabica) y *Coffea canephora* (Robusta). La primera especie tiene disponibilidad alrededor del 75% de la producción mundial y crece en altitudes elevadas de 600 a 2000 m. La segunda especie proporciona el 25% de la producción mundial, crece en altitudes inferiores a 600 m y es más resistente a plagas (**Mussatto et al., 2011; Sánchez & Anzola, 2012**).

5.1.1. Estructura del fruto y del grano de un cafeto

En la Figura 1 se observa la estructura del fruto y del grano de un cafeto. Este fruto cuando está maduro se torna de color rojo, es por eso que se le apoda “Cereza”. En el fruto se encuentran dos semillas semiesféricas que corresponden a dos granos de café, ocasionalmente estas dos semillas se observan en una sola y es denominado caracolillo (**ICO, 2020**).

La parte más externa de fruto es la piel exterior o epicarpio. Debajo de la piel de cada cereza de café hay una capa delgada que se denomina mesocarpio, también conocida como pulpa. El mucílago es la capa interna de la pulpa; es una capa rica en azúcares, los cuales son importantes durante el proceso de fermentación (**PDG, 2019**).

Las semillas son ricas en polisacáridos, lípidos, azúcares reductores, polifenoles y cafeína, cuya denominación técnica es endospermo, pero son conocidos como granos. Por lo general, hay dos granos en una cereza de café, cada uno de ellos está cubierto por una capa fina de epidermis conocida como película plateada o tegumento y una cascarilla similar al papel, que llamamos pergamino técnicamente el endocarpio. (**Nigam, 2004**).

1. Corte central.
2. grano de café (endosperma)
3. piel plateada (tegumento)
4. pergamino (endocarpio)
5. mucílago (capa de pectina).
6. pulpa (mesocarpio)
7. piel exterior (epicarpio)

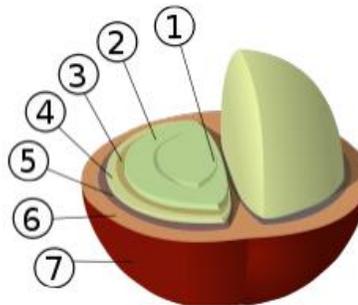


Figura 1. Estructura del fruto de un cafeto.

Fuente: Mariel & Noel (2010)

5.2. Beneficio del fruto

El beneficio consiste en diferentes procesos para obtener los granos de café contenidos en la cereza. Después de la cosecha, los frutos del se procesan mediante tres métodos para permitir que ocurra la fermentación espontanea o autóctona **(Puerta, 2010)**. Estos métodos se denominan seco, húmedo y semiseco, y dependiendo del tipo de procesamiento, varía el tiempo necesario para la fermentación. En este caso trabajaremos con el método húmedo, utilizado para el procesamiento de la especie *C. arabica* L.

5.2.1. Beneficio por vía húmeda

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, **(Huch y Franz, 2014)**.

En la fase húmeda el proceso de despulpado es la etapa inicial, consiste en desprender la pulpa y parte del mucilago adherido mediante un proceso mecánico que separa la parte carnosa del fruto **(Peñuela et al., 2014)**. Procediendo a si a la fermentación, que es la encargada en transformar el mucílago en una sustancia soluble en agua a través de la acción enzimática de microorganismos, **(Peñuela et al., 2010)**. Continuando con el lavado que es el que se encarga de separar las impurezas que quedan durante el proceso del beneficio y así finalizar con el secado que es realizado en patios grande donde la luz del sol causa la reducción de la húmeda de los granos del café entre 10 o 12 % de humedad,

permitiendo ser almacenado para su preparación sin deteriorar la calidad final (**Pineda et al., 2017**).

Los tipos de café que se han beneficiado del método húmedo se conocen en el mercado como café lavado. Esta clasificación de café indica que es café de calidad y generalmente se aplica al café Arábica (**Aristizabal et al., 2017**).

5.2.2. Fermentación en húmedo

Durante la fermentación del café, las acciones de los microorganismos causan diferentes procesos bioquímicos en los cuales las enzimas producidas por las levaduras y bacterias presentes en el mismo mucílago fermentan y degradan sus azúcares, lípidos, proteínas y ácidos, y los convierten en alcoholes, ácidos, ésteres y cetonas (Figura 2) (**Puerta, 2010; Puerta & Echeverry, 2015**).

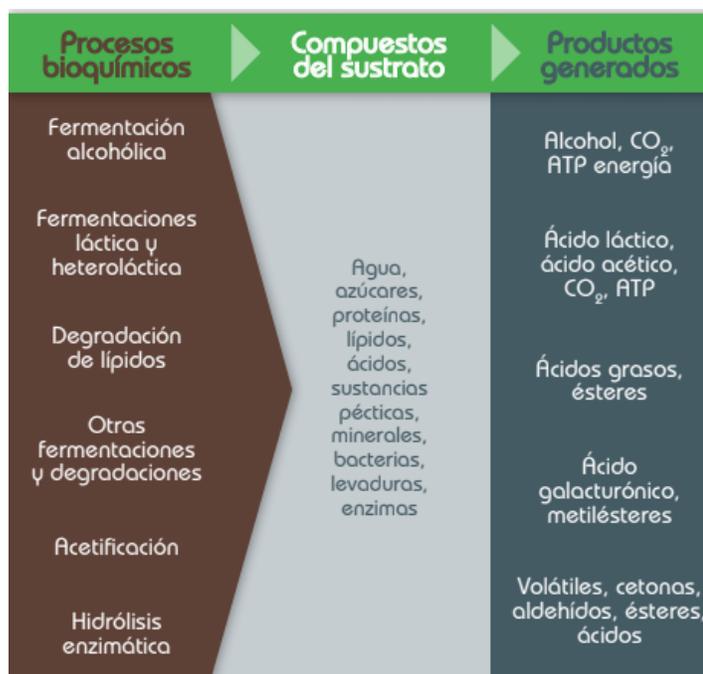


Figura 2. Procesos bioquímicos que ocurren en la fermentación del café.

Fuente: **Puerta & Echeverry (2015)**

El objetivo principal del proceso de fermentación es eliminar la capa de mucilago, que es rica en polisacáridos y disminuir el contenido de agua de los granos de café (**Kang et al., 2020**). Sin embargo, si se maneja con cuidado la fermentación también tiene un impacto positivo en los atributos de la calidad del café.

Es este proceso, luego de la selección y el despulpado, el café en baba se deposita en tanques de fermentación y se le agrega agua en cierta cantidad, con relación a la masa de café a fermentar. Es allí donde cambian la composición química y microbiológica del sustrato. Se recomiendan fermentaciones sumergidas al 30%. Se tapona el desagüe del fermentador y se adicionan 30 L de agua limpia por cada 100 kg de café baba (**Puerta, 2010**).

5.2.3. Características fisicoquímicas y microbiológicas en la fermentación

Los tipos de microorganismos presentes en un momento dado de la fermentación del café dependen de la población inicial y de las condiciones ambientales del grano de café, como temperatura, actividad del agua, pH, el grado Brix, contenido de azúcar, higiene, tiempo transcurrido y dilución del sustrato (**Puerta, 2012**)

Según **Puerta (2012)** El comportamiento de los microorganismos durante el proceso de fermentación del café depende de unas condiciones que son las siguientes:

5.2.3.1. La temperatura

Los microorganismos fermentadores del café son mesófilos, La mayoría de las levaduras crecen entre 5 y 39°C, con temperatura óptima de 28 a 35°C, algunas se desarrollan entre 3 y 10°C y todas mueren por encima de 50°C. Las bacterias lácticas crecen entre 25 y 30°C, pero pueden reproducirse a 0°C, mientras que las bacterias entéricas se desarrollan entre 22 y 37°C.

5.2.3.2. Los Azúcares

Los azúcares totales constituyen del 6,2% al 7,4% del peso húmedo del mucilago de café maduro y comprenden los azúcares reductores y los no reductores. Los azúcares reductores conforman del 4,0% al 4,6% del peso del mucilago fresco y son fermentados por las levaduras y bacterias para producir el etanol, el ácido láctico y otros compuestos.

5.2.3.3. El pH

El pH del café en baba fresco es ácido, con valores que dependen de la madurez, el tiempo entre la cosecha, calidad del grano y de la temperatura externa, con un promedio según su proceso de recolección de 5,2 a 6,0.

Durante la fermentación del café, el pH del sustrato disminuye más rápidamente en las primeras 20 horas, debido a la formación y disociación de ácidos, principalmente ácido láctico que se genera en fermentaciones lácticas, En general, los niveles de pH del mucílago fermentado entre 3,7 y 4,1 son suficientes y seguros para detener la fermentación y lavar el café.

5.2.3.4. Los grados Brix

Los grados Brix mide el cociente total de azúcares disueltos durante el proceso de fermentación del café utilizando medidas en porcentajes. En el café, los sólidos solubles del mucílago principalmente contienen azúcares, ácidos, alcoholes y sustancias volátiles. En el mucílago del café fresco los grados Brix varían según el estado de maduración, en promedio, el mucílago del café pintón contiene menos °Brix que el maduro, y el sobremaduro más que el maduro, por lo que podemos determinar que los grados Brix del mucílago de café fresco son un indicador de la madurez del grano despulpado y su medición durante la fermentación permite hacer seguimiento y control del proceso.

5.3. Café especial

Según **Munoz (2014)**, un café especial, es aquel que es valorado por los atributos consistentes, verificables y sostenibles, por los cuáles están dispuestos a pagar precios superiores que redunden en un mayor ingreso y mayor bienestar a los productores. Se le considera café especial a aquel que siguiendo el protocolo de captación establecido por la Asociación de Cafés Especiales, obtiene una calificación final igual o mayor a 80/100 después de tener en cuenta atributos de sabor (fragancia/aroma, sabor, retrogusto, acidez, cuerpo, equilibrio, dulzura, uniformidad, taza limpia, defectos y general) (**Specialty Coffe Association, 2020**).

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Zona de estudio

El presente estudio se realizó en la finca Barlovento ubicada en la vereda la Tagua, Corregimiento de Minca, Municipio Santa Marta en las estribaciones de la Sierra Nevada donde son cultivadas las variedades *C. arabica* var. Geisha y *C. arabica* var. Castillo bajo sombrero intercalado con aguacate Hass a una altura entre 1583 – 1759 msnm. El procesamiento del fruto es realizado en la planta de Beneficio La María a una altura aproximada de 1618 msnm, ubicada a unos pocos kilómetros de la finca, donde se realiza la recepción del fruto, la clasificación, el despulpado, la fermentación en húmedo, el lavado y secado (Figura 3).

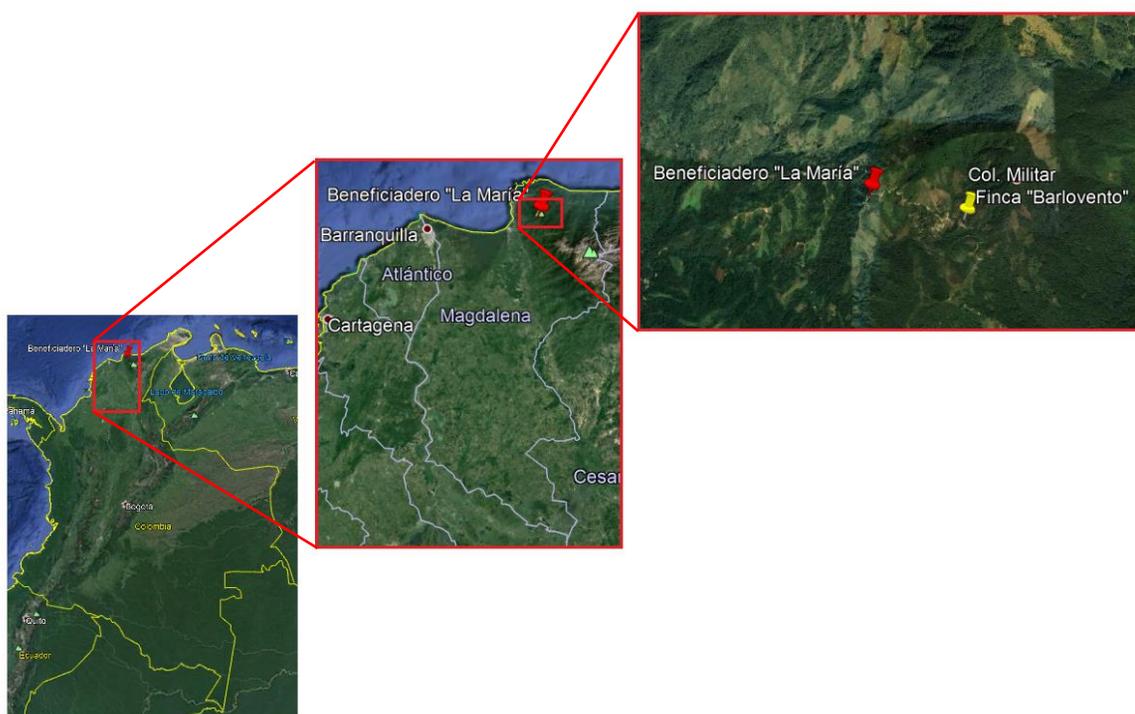


Figura 3. Ubicación de la Finca Barlovento y la planta de beneficio La María.

6.2. Toma de muestras

El análisis de las características fisicoquímicas fue realizado *in situ* tomando muestras de la masa de café a las 0 horas, 6 horas, 12 horas, 18 horas, 24 horas, 30 horas y 36 horas y para las características microbiológicas, en los mismos periodos de tiempo, se tomaron aproximadamente 50 g de café en fermentación en tubos falcon. Dichas muestras fueron

guardadas en una cava plástica con hielo seco durante el transporte hasta su almacenamiento a -20°C en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad del Magdalena.

6.3. Análisis fisicoquímico (pH, temperatura y grados Brix)

De la masa de café fermentada, se midió por triplicado el pH (Unidades) y la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) con un Potenciómetro multiparámetro Hanna (HI2020-02 edge) y los grados brix ($^{\circ}\text{Bx}$) con un Refractómetro Abbe de mesa ($0 - 95 \text{ Brix}^{\circ}$) a las 0 horas, 6 horas, 12 horas, 18 horas, 24 horas, 30 horas y 36 horas, al igual que la temperatura y la humedad ambiental. Los datos obtenidos se consignaron en una tabla en Excel.

6.4. Análisis microbiológico (bacterias)

Para el análisis de poblaciones bacterianas, fue tomada en cuenta la metodología planteada por Luna (2012; 2020). A cada una de las muestras tomadas a las 0 horas, 6 horas, 12 horas, 18 horas, 24 horas, 30 horas y 36 horas, se les realizaron diluciones seriadas comenzando con la primera dilución ($\times 10^{-1}$) donde se adiciono 10g de granos de café fermentados en un Erlenmeyer que tenía 90 ml de agua peptonada al 0,1%. Para realizar las demás diluciones, se utilizaron tubos de ensayos previamente esterilizados que poseían 9 ml de agua peptonada al 0,1% y con ayuda de una micropipeta se tomó 1 ml de la dilución $\times 10^{-1}$ y se adicionó en uno de los tubos de ensayo que correspondía a la dilución $\times 10^{-2}$. Este procedimiento se realizó hasta llegar a la dilución $\times 10^{-5}$.

Posteriormente se preparó el medio de cultivo para bacterias que corresponde al agar nutritivo teniendo en cuenta las especificaciones del producto y se esterilizó en la autoclave a 15 libras de presión (121°C) por 15 minutos para luego dejar enfriar a temperatura ambiente.

Antes de iniciar el cultivo de bacterias, cada caja Petri estéril se rotuló con el fin de diferenciarlas con respecto a la hora de fermentación y la dilución. Se realizó siembra a profundidad de las diluciones obtenidas en la cual se tomaron 1 ml de las diluciones y se adicionó en las cajas de Petri estériles que se encontraban vacías; este procedimiento se hizo por duplicado. Luego, a cada caja Petri se le agrego aproximadamente 15 ml del agar fundido y mantenido a 45°C , donde se mezcló con el inóculo haciendo suavemente un ocho (8) para dejarla solidificar. Las cajas se encubaron a 35°C durante 24 horas.

Una vez se cumplieron los 5 días del tiempo de incubación, se realizó el conteo de colonias bacterianas. Aquellas placas que contenían un número de colonias entre 30 y 300 fueron tenidas en cuenta. Finalmente, se sacó el promedio de los duplicados, se multiplicó por el determinado factor de dilución y se expresó como \log_{10} UFC/g para facilitar su interpretación.

6.5. Correlación entre las características fisicoquímicas y las poblaciones bacterianas

Se realizó Análisis de Varianza (ANOVA) a las características fisicoquímicas para establecer diferencias estadísticas significativas de cada característica a las diferentes horas y una prueba de Fisher para determinar si los resultados son significativamente diferentes entre ellos, para lo que se empleó el software estadístico InfoStat en su versión libre. Luego, se realizó análisis de correlación de Pearson realizado en el software estadístico R (disponible en: <https://www.r-project.org/>), donde se relacionaron las medias de las características fisicoquímicas de las muestras (pH, temperatura y grados Brix), las características ambientales a la hora de tomar las muestras (temperatura y humedad) y la cantidad de colonias bacterianas presentes.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el muestreo las condiciones ambientales se situaron con una temperatura entre los 14 y 19 °C y una humedad relativa entre 69 y 84% (**Tabla 2**).

Tabla 2. Condiciones ambientales durante el muestreo de la fermentación de café en finca Barlovento, Sierra Nevada de Santa Marta.

Tiempo de fermentación (Horas)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)
0	17,00	81,00
6	15,00	83,00
12	14,00	79,00
18	19,00	72,00
24	19,00	69,00
30	16,00	87,00
36	14,00	84,00

7.1. Características fisicoquímicas

Las características fisicoquímicas del proceso de fermentación del café en la Finca Barlovento están consignadas en la **Tabla 3**, las cuales poseen diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).

Tabla 3. Características fisicoquímicas durante el proceso de fermentación de café en la finca Barlovento, Sierra Nevada de Santa Marta.

Tiempo de fermentación (Horas)	Grados Brix (°Bx)	pH (Unidades)	Temperatura (°C)
0	6,53 ± 0,12 C	5,37 ± 0,16 D	22,50 ± 0,26 D
6	6,40 ± 0,17 C	5,17 ± 0,12 D	19,47 ± 0,12 B
12	5,00 ± 0,00 B	4,75 ± 0,14 C	19,13 ± 0,60 B
18	4,93 ± 0,06 B	4,31 ± 0,11 B	20,87 ± 0,25 C
24	4,27 ± 0,65 A	4,10 ± 0,11 AB	22,57 ± 0,31 D
30	4,30 ± 0,00 A	4,07 ± 0,12 A	19,27 ± 0,40 B
36	4,30 ± 0,00 A	3,96 ± 0,09 A	17,30 ± 0,26 A

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

En 36 horas, el pH y los grados Brix disminuyeron a medida que pasaba el tiempo de fermentación. El pH tuvo un valor inicial de 5,37 y final de 3,96 y los grados Brix pasaron de 6,53 a 4,30 °Bx. La temperatura que tuvo diferentes variaciones a través del tiempo de fermentación que oscilaban entre los 17,30 y 22,57 °C.

Se constató que los valores de pH obtenidos en las 0 y 6 horas de fermentación no son significativamente diferentes, al igual que las 24, 30 y 36 horas, y las 24 y 18 horas, en comparación de las 12 horas que si es significativamente diferente a las demas.

Los resultados obtenidos sobre los grados Brix, mostraron que a las 0 y 6 horas no son significativamente diferentes entre sí, al igual que las 12 y 18 horas, y las 24, 30 y 34 horas.

Para la temperatura, las horas 0 y 24 no son significativamente diferentes entre sí, al igual que el conjunto de las horas 6, 12 y 30, resaltando las horas 12 y 36 son significativamente diferente a las demas.

En la **Figura 4** se observa de manera detallada el comportamiento de las características fisicoquímicas del proceso de fermentación del café; el decrecimiento del pH y los grados Brix en 36 horas y las variaciones de la temperatura.

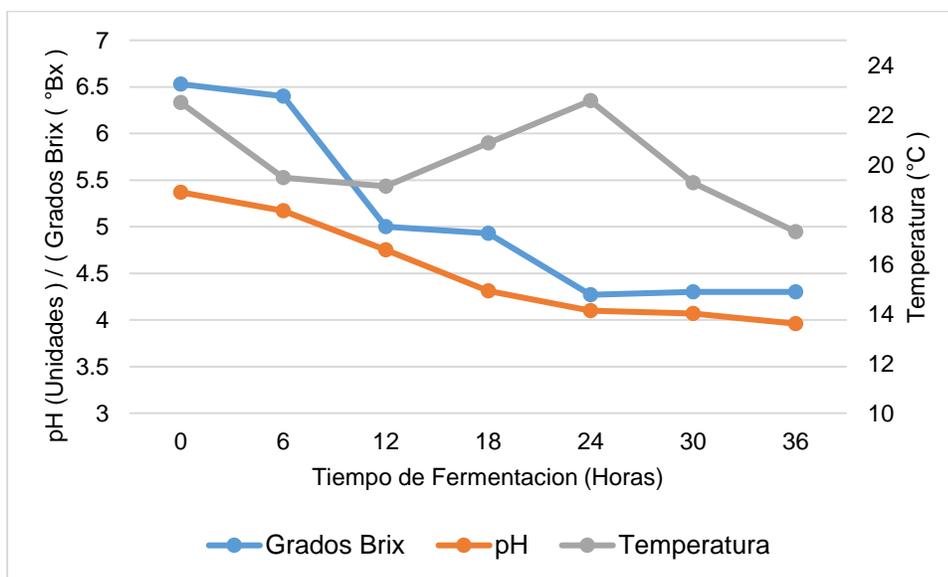


Figura 4. Características fisicoquímicas durante el proceso de fermentación de café en la finca Barlovento, Sierra Nevada de Santa Marta.

Al analizar la temperatura del café y la del ambiente, se identificó que, para una misma hora de fermentación, la temperatura del café es superior. Esto puede ser debido a los

procesos metabólicos de los microorganismos con la producción de energía resultante, por lo que en algunos momentos la temperatura del sistema es superior a la temperatura del aire exterior **(Puerta, 2012)**.

En consideración de los grados Brix y el pH, durante todo el proceso de fermentación del café disminuyeron a medida que transcurrió el tiempo, teniendo mayor significancia el pH al inicio de la fermentación al igual que los grados Brix. Todos estos comportamientos son provocados por la acción de microorganismos que, durante la fermentación, se encargan de transformar el mucílago en una sustancia soluble en agua a través de la acción enzimática. Las enzimas producidas por levaduras y bacterias en un mismo mucilago, modifican los compuestos pépticos y azúcares, en alcoholes y ácidos orgánicos **(Peñuela et al., 2011)**, considerando así que durante la fermentación del café, el pH del sustrato disminuyó más rápido en las primeras 24 horas, debido a la formación y disociación de ácidos, principalmente el ácido láctico que se genera en las fermentaciones lácticas **(Puerta, 2012)**.

7.2. Poblaciones bacterianas

En la **Tabla 4** se presentan los resultados de las poblaciones bacterianas durante todo el proceso de la fermentación del café, evidenciando mayor población al inicio de la fermentación (5,14 Log₁₀ UFC/g) y la menor población a las 18 horas (3,85 Log₁₀ UFC/g).

Tabla 4. Poblaciones bacterianas durante el proceso de fermentación de café en la finca Barlovento, Sierra Nevada de Santa Marta.

Tiempo de fermentación (Horas)	Poblaciones Bacterianas (Log ₁₀ UFC/g)
0	5,14
6	4,09
12	4,08
18	3,85
24	4,98
30	4,84
36	4,04

En la **Figura 5** podemos entender mejor el comportamiento de la población bacteriana durante todo el desarrollo de la degradación del café, contemplando una mayor población bacteriana a las horas 0 de la fermentación, la cual disminuyó hasta la hora 18 y se puede observar un aumento significativo a las 24 horas para volver a disminuir hasta el final del proceso fermentativo.

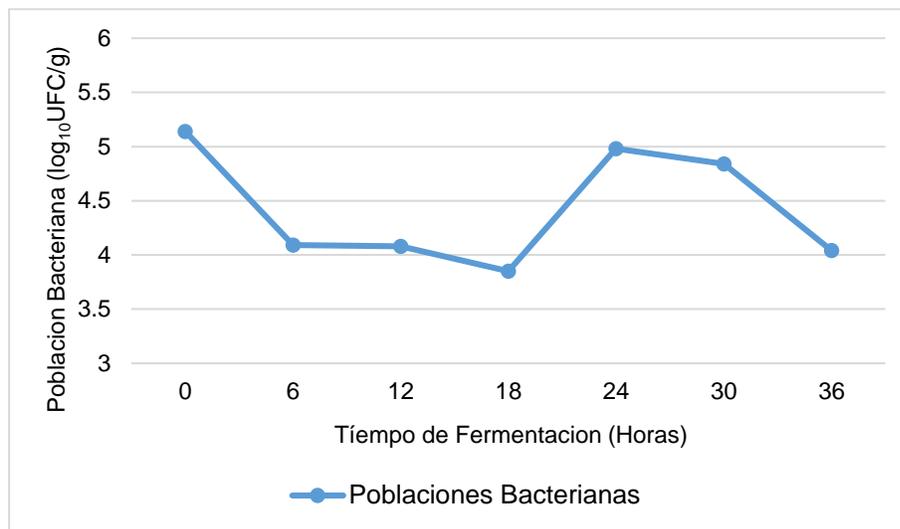


Figura 5. Poblaciones bacterianas durante el proceso de fermentación de café en la finca Barlovento, Sierra Nevada de Santa Marta.

El comportamiento de la población bacteriana durante el proceso de fermentación de café en la Sierra Nevada de Santa Marta fue similar a la encontrada por los investigadores **Ribeiro et al. (2018)** en su estudio de características microbiológicas y químico-sensoriales de tres variedades de café (Mundo Novo, Ouro Amarelo y Catuaí Vermelho) procesadas por fermentación húmeda en la cual obtuvieron una población inicial respectivamente de 4,84, 4,69 y 4,10 UFC/g, disminuyendo durante todo el proceso hasta alcanzar los valores de 2,48, 2,78 y 2,70 UFC/g, respectivamente. Esto es debido a que las clases de microorganismos presentes en un momento dado de la fermentación del café, dependen de la población inicial en los frutos y granos despulpados, de las condiciones ambientales como la temperatura, humedad, los gases como el CO_2 , la actividad del agua, el pH y el tiempo transcurrido (**Puerta, 2012**).

7.3. Correlación entre las características fisicoquímicas y las poblaciones bacterianas

En la **Figura 6** se presentan los valores obtenidos del coeficiente de correlación durante todo el proceso de la fermentación del café entre las características evaluadas. A su vez, dichos valores se pueden observar de manera gráfica en la **Figura 7**.

	Bx	pH	TC	TA	HR	Bact
Bx	1.00000000	0.9692061	0.3032355	-0.08593976	0.185739179	0.074978434
Ph	0.96920606	1.0000000	0.3266323	-0.14497408	0.158871469	0.124928658
TC	0.30323550	0.3266323	1.0000000	0.81573221	-0.641056006	0.636587870
TA	-0.08593976	-0.1449741	0.8157322	1.0000000	-0.756540188	0.356772002
HR	0.18573918	0.1588715	-0.6410560	-0.75654019	1.0000000	-0.002525729
Bact	0.07497843	0.1249287	0.6365879	0.35677200	-0.002525729	1.000000000

Figura 6. Valores de coeficientes de correlación entre las variables estudiadas durante el proceso durante el proceso de fermentación de café en la finca Barlovento, Sierra Nevada de Santa Marta. Bx: Grados Brix, pH: Potencial de hidrógeno, TC: Temperatura café, TA: Temperatura ambiente, HR: Humedad relativa, Bact: Bacterias.

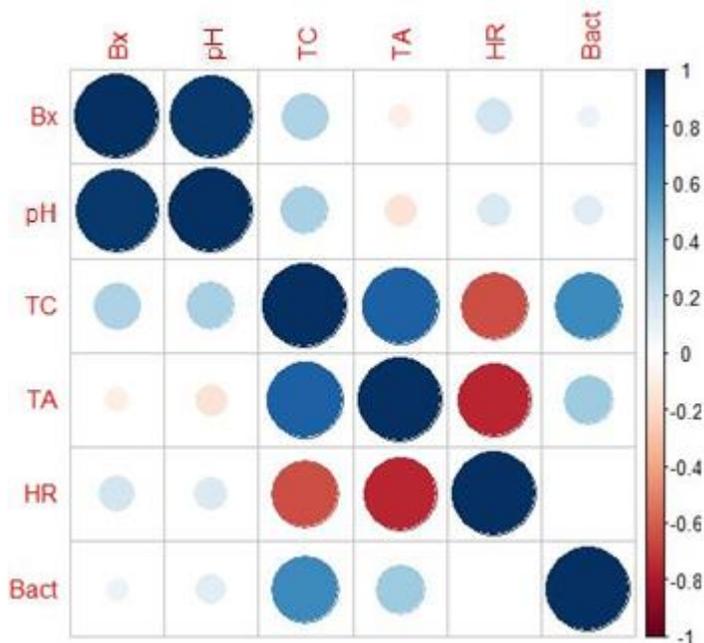


Figura 7. Correlación entre las variables estudiadas durante el proceso durante el proceso de fermentación de café en la finca Barlovento, Sierra Nevada de Santa Marta. Bx: Grados Brix, pH: Potencial de hidrógeno, TC: Temperatura café, TA: Temperatura ambiente, HR: Humedad relativa, Bact: Bacterias.

Se evidencia una correlación alta positiva ($r=0,97$) entre los grados Brix y el pH, mostrando una relación directa en la cual a medida que pasaba el tiempo de fermentación ambas se reducían en la misma proporción. Todo este comportamiento se debe a que las acciones de los microorganismos causan diferentes procesos bioquímicos en los cuales las enzimas producidas por las levaduras y bacterias presentes en el mismo mucílago fermentan y degradan sus azúcares, lípidos, proteínas y ácidos, y los convierten en alcoholes, ácidos, ésteres y cetonas **(Puerta, 2010; Puerta & Echeverry, 2015)**.

La temperatura ambiente y la temperatura del proceso de fermentación del café exhibieron una asociación directa ($r=0,82$), mostrando la influencia de la temperatura ambiental sobre la masa de fermentación también encontrada en la investigación llevada a cabo por **Ribeiro et al. (2018)**.

Existe asociación positiva entre las bacterias y temperatura del café ($r=0,64$). Las condiciones de temperaturas bajas generan como efecto la ralentización de los procesos metabólicos en los microorganismos y a mayor temperatura se tiene un efecto en la velocidad de las degradaciones del mucílago de **(Peñuela et al., 2014; Puerta & Rios, 2014)**. Adicionalmente, los procesos metabólicos de los microorganismos producen energía expresada mediante calor **(Feng et al., 2016)**, donde a mayores poblaciones de microorganismos y por consiguiente mayores procesos metabólicos, se experimenta un aumento en la temperatura de la masa del café en fermentación.

La humedad relativa con la temperatura del café y la humedad relativa junto a la temperatura ambiente mostraron asociación negativa ($r=-0,64$ y $r=-0,75$, respectivamente), lo que se debe que durante la fermentación se presentan cambios en la humedad del mucílago de café, que son mayores en cuanto mayor es la temperatura ambiente durante el proceso **(Puerta 2012)**.

8. CONCLUSIONES

Durante el proceso de fermentación de *Coffea arabica* L. en la Finca Barlovento ubicada en la Sierra Nevada de Santa Marta se mostró que la temperatura del café fue superior a la temperatura ambiente, debido al metabolismo de los microorganismos y adicionalmente mostraron una correlación positiva demostrando la influencia de la temperatura ambiental sobre la masa de fermentación en los tiempos de muestreo. El pH y los grados Brix disminuyeron a través de las 36 horas de fermentación y manifestaron una correlación positiva directa entre ellos, en la cual a medida que pasaba el tiempo de fermentación ambas se reducían en la misma proporción. Por otra parte, la dependencia entre las bacterias y temperatura del café fue una correlación positiva. Las poblaciones bacterianas mostraron su máxima población al inicio de la fermentación y alcanzaron su mínima población a las 18 horas.

Con esta investigación se espera generar nuevo conocimiento sobre la fermentación de café en la Sierra Nevada de Santa Marta que sirva como punto de partida para futuras investigaciones y sentar las bases para determinar el control de la fermentación en busca de potenciar la producción de cafés especiales en la región e incrementar la calidad del producto teniendo en cuenta el comportamiento fisicoquímico y microbiológico del proceso de fermentación.

BIBLIOGRAFÍA

- Agronet. (2018). *Estadísticas* home. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx>
- Aristizábal-Marulanda, V., Chacón-Perez, Y., & Cardona Alzate, C. A. (2017). The biorefinery concept for the industrial valorization of coffee processing by-products. In *Handbook of Coffee Processing By-Products: Sustainable Applications* (pp. 63–92). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811290-8.00003-7>
- Avallone, S., Guyot, B., Brillouet, J. M., Olguin, E., & Guiraud, J. P. (2001). Microbiological and biochemical study of coffee fermentation. *Current microbiology*, 42(4), 252-256. <https://link.springer.com/article/10.1007/s002840110213>
- Bailón, R. (2012). FERMENTACIONES INDUSTRIALES. *Universidad Nacional de Callao*, 07–239.
- Banco Mundial. (2018). *El agua en la agricultura*. <https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture>
- Barrera, Ó., Gutiérrez, N., & Orozco-Blanco, D. (2019). Caracterización y diferenciación de cafés, a partir de espectroscopía infrarroja. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 22(1), 2–7. <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1158>
- CEUPE. (2020). Centro Europeo de Posgrado - ¿ Que Es La Fermentación?, <https://www.ceupe.com/blog/que-es-la-fermentacion.html>
- De Los Santos-Briones, D. y Hernández-Sotomayor, SM (2006). Biotecnología del café. *Revista Brasileña de Fisiología Vegetal*, 18 (1), 217-227. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-015-6.00021-9>
- De Carvalho, D. P., de Melo Pereira, G. V., Tanobe, V. O., Thomaz Soccol, V., G da Silva, B. J., Rodrigues, C., & Soccol, C. R. (2017). Yeast diversity and physicochemical characteristics associated with coffee bean fermentation from the Brazilian Cerrado Mineiro region. *Fermentation*, 3(1), 11. <https://www.mdpi.com/2311-5637/3/1/11>
- Doria, J. (2010). GENERALIDADES SOBRE LAS SEMILLAS: SU PRODUCCIÓN, CONSERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO. In *Cultivos Tropicales* (Vol. 31, Issue 1, pp. 74–85).
- Evangelista, S. R., Miguel, M. G. da C. P., Silva, C. F., Pinheiro, A. C. M., & Schwan, R. F. (2015). Microbiological diversity associated with the spontaneous wet method of coffee fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 210, 102–112. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.06.008>
- FAO. (2018). FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Feng, X., Dong, H., Yang, P., Yang, R., Lu, & Sheng, J. (2016). Culture-dependent and-independent methods to investigate the predominant microorganisms associated with wet processed coffee. *Current microbiology*, 73(2), 190-195.
- Huch, M., & Franz, C. M. A. P. (2014). Coffee: Fermentation and microbiota. In *Advances in Fermented Foods and Beverages: Improving Quality, Technologies and Health*

- Benefits* (pp. 501–513). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-015-6.00021-9>
- ICO. (2020). *International Coffee Organization - Aspectos botánicos*. http://www.ico.org/es/botanical_c.asp
- ICO. (2020). *International Coffee Organization - Procesamiento de campo*. http://www.ico.org/ES/field_processingc.asp
- Kang, L., Li, Y., Hu, S., Chen, M., Yang, C., Yang, B. X., Wang, Y., Hu, J., Lai, J., Ma, X., Chen, J., Guan, L., Wang, G., Ma, H., & Liu, Z. (2020). The mental health of medical workers in Wuhan, China dealing with the 2019 novel coronavirus. In *The Lancet Psychiatry* (Vol. 7, Issue 3, p. e14). Elsevier Ltd. [https://doi.org/10.1016/S2215-0366\(20\)30047-X](https://doi.org/10.1016/S2215-0366(20)30047-X)
- Lopez-Tricas, J. M. (2015). *Café, origen, historia, química y efectos.pdf*. <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=aW5mby1mYXJtYWNPYS5jb218aW5mby1mYXJtYWNPYXxneDozMTJiYjUxY211NTFINjQx>
- Luna, J (2020). *Métodos analíticos de microbiología general y aplicada*. Santa Marta, Colombia: Unimagdalena. <https://editorial.unimagdalena.edu.co/Editorial/Publicacion/4136>
- Luna, J (2012). *Manual de prácticas de laboratorio de Microbiología general y aplicada*. Santa Marta, Colombia: Unimagdalena. <https://editorial.unimagdalena.edu.co/Editorial/Publicacion/3048>
- Masoud, W., & Jespersen, L. (2006, 1 agosto). *Pectin degrading enzymes in yeasts involved in fermentation of Coffea arabica in East Africa*. Pectin degrading enzymes in yeasts involved in fermentation of Coffea arabica in East Africa. *International Journal of Microbiology*, 110, 291-296. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.04.030>
- Mariel, D., & Noel, N. (2010). EL CAFÉ Y SUS DIVERSAS APLICACIONES EN LA PASTELERÍA. *Tecnico Superios En Gestion Gastronomica*, 3–74.
- Munoz, L. (2014). *ECONOMÍA CAFETERA Ensayos sobre FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA*. 5–6.
- Mussatto, S. I., Ballesteros, L. F., Martins, S., & Teixeira, J. A. (2011). Extraction of antioxidant phenolic compounds from spent coffee grounds. *Separation and Purification Technology*, 83(1), 173–179. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.09.036>
- Nielsen, J. (2002). Fermentation Monitoring, Design and Optimization Dissolved Oxygen. In *Encyclopedia of Bioprocess Technology*. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/0471250589.ebt092>
- NIGAM POONAM (2004). Cocoa and Coffee Fermentations. *Encyclopedia of Food Microbiology*, 466-473. <https://pure.ulster.ac.uk/en/publications/cocoa-and-coffee-fermentations-ii-3>
- PDG. (2019). *Perfect Daily Grind - Como almacenar café en casa*. <https://perfectdailygrind.com/es/2020/04/24/como-almacenar-el-cafe-en-casa/>

- Peñuela, A., Pabon, P., Oliveros, C., (2011).ENZIMAS, una alternativa para remover rapida y eficazmente el mucilago del café. Manizales, Colombia: Cenicafé. <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0406.pdf>
- Peñuela, A., Rodrigo, J., Oliveros, E., Sanz, U., (2014).Remocion del mucilago de café a traves de fermentacion natural. Manizales, Colombia: Cenicafé. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/494>
- Pineda, C., Reyes, C., Alonso, F., (2017). Beneficiado y calidad del café. Investigación Cafetalera IHCAFE-Honduras. Capítulo 13 <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/02/Tec-Guia-Beneficiado.pdf4>
- Puerta, G. (2010). *Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café*. (402nd ed.). Cenicafe. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/345/1/avt0402.pdf>
- Puerta, G. (2012). Factores, procesos y controles en la fermentación del café. Manizales, Colombia: Cenicafé. <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0422.pdf>
- Puerta, G. I., & Ríos, S. (2014). Composición química del mucilago de café según el tiempo de fermentación y refrigeración. *Cenicafé* 62(2):23- 40. 2011. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/478>
- Puerta q., g. i., & echeverry m., j. g. (2015). Fermentación controlada del café: Tecnología para agregar valor a la calidad. *Gerencia Tecnica*, 3–12. www.cenicafe.org
- Ribeiro, L. S., Evangelista, S. R., da Cruz Pedrozo Miguel, M. G., van Mullem, J., Silva, C. F., & Schwan, R. F. (2018). Microbiological and chemical-sensory characteristics of three coffee varieties processed by wet fermentation. *Annals of Microbiology*, 68(10), 705–716. <https://doi.org/10.1007/s13213-018-1377-4>
- Sánchez, D., & Anzola, C. (2012). CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA PELÍCULA PLATEADA DEL CAFÉ (Coffea arábica) EN VARIEDADES COLOMBIA Y CATURRA. *Revista Colombiana de Química*, 41(2), 211–226. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/39370>
- Sofía Torres-Valenzuela, L., Sanín-Villarrea, A., Arango-Ramírez, A., Johanna, ;, & Serna-Jiménez, A. (2019). Caracterización fisicoquímica y microbiológica de aguas mieles del beneficio del café Physicochemical and microbiological characterization of wastewater from coffee processing Caracterização físico-química e microbiológica de águas residuais a partir do benefício do café. *Ion*, 32(2), 59–66. <https://doi.org/10.18273/revion.v32n2-2019006>
- Specialty Coffe Association. (2020). *Protocols & Best Practices — Specialty Coffee Association*. <https://sca.coffee/research/protocols-best-practices>
- Superintendencia de Industria y Comercio. (2017, March 1). *La Superindustria declara la protección de las Denominaciones de Origen del “Café de la Sierra Nevada” y el “Café del Tolima” | Superintendencia de Industria y Comercio*. <https://www.sic.gov.co/noticias/la-superindustria-declara-la-proteccion-de-las-denominaciones-de-origen-del-cafe-de-la-sierra-nevada-y-el-cafe-del-tolima>
- Torres-Valenzuela, L. S., Martínez, K. G., Serna-Jiménez, J. A., & Hernández, M. C. (2019).

-
- Secado de pulpa de café: Condiciones de proceso, modelación matemática y efecto sobre propiedades fisicoquímicas. *Información tecnológica*, 30(2), 189-200. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642019000200189&script=sci_arttext
- Vargas, M. (2008). DESARROLLO SOCIOECONÓMICO DE CAFICULTORES SERRANOS VINCULADO A LA EXPORTACIÓN DE CAFÉ ORGÁNICO (2000-2006). *Universidad Del Magdalena*, 1–104.
- Velásquez, C., Mateo Trávez, A., Asesora, V., & Davalos Alvarez, E. (2019). *Café especial, una alternativa para el sector cafetero en Colombia*. Universidad EAFIT. <http://repository.eafit.edu.co/handle/10784/15236>
- Velmourougane, K. (2013). Impact of natural fermentation on physicochemical, microbiological and cup quality characteristics of Arabica and Robusta coffee. *Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B - Biological Sciences*, 83(2), 233–239. <https://doi.org/10.1007/s40011-012-0130-1>