

Evaluación de la influencia de la sal común en la etapa de fermentación de café buscando
perfiles de taza diferenciados

Johana Marcela Rey Galvis

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniera Química

Director

Carlos Jesús Muvdi Nova
Ingeniero Químico, Ph.D.

Codirector

Gonzalo Enrique Mancilla Díaz
Ingeniero agropecuario, MSc.

Universidad Industrial de Santander
Facultad De Ingenierías Físicoquímicas
Escuela De Ingeniería Química
Bucaramanga

2021

Dedicatoria

*A mis padres, Miriam Galvis y Omar Rey, por ser mi motor, mi pilar, mi TODO.
Porque gracias a ellos no me ha faltado nada.*

*A mis hermanas Mónica y Sofía, por tanto apoyo moral e incondicional.
Son el mejor regalo que mis padres y la vida me dio.*

*A mis abuelos, Fermin Rey, Flor de María Sequeda y Zorayda Guiza, por consentirme y
amarme de la manera en que lo hacen.*

*A Camilo, por ser parte de cada paso que doy, brindándome
leur soutien et leur amour inconditionnel.*

Agradecimientos

A Dios por ser mi guía y soporte, por colocar en mi camino personas maravillosas que me han acompañado y ayudado en todo momento, sin pedir nada a cambio.

A mis padres, Miriam y Omar, que sin ellos este logro no sería posible. Gracias por enseñarme a tener una proyección y no quedarme estancada en los contratiempos. A mis hermanas Mónica y Sofí, por ser mis amigas, por aguantarme y apoyarme a toda hora.

A Camilo Medina, Eduar Ochoa, Daniela Ramírez, Claudia Ordoñez, Daniela Peña, Rodrigo Valderrama, por acompañarme en momentos importantes de mi carrera y de mi vida, gracias por ser tan incondicionales y siempre brindarme una mano amiga. Sobre todo, gracias por cada experiencia vivida.

A el profesor Carlos Muvdi, por su paciencia, enseñanzas y tiempo, sin su ayuda, este proyecto no hubiera sido posible. A el Ingeniero Gonzalo Mancilla y su señor padre, por el compromiso y entrega, gracias por la confianza depositada.

A la Universidad Industrial de Santander, sus directivos, profesores, técnicos, por contribuir en mi crecimiento profesional y personal.

CONTENIDO

Introducción	10
1. Objetivos	14
2.1. Objetivo General.	14
2.2. Objetivos Específicos.....	14
3. Metodología	15
3.1. Ajuste de la infraestructura requerida para una escala de 10 kg.	15
3.2. Ejecución de las pruebas de fermentación.....	16
3.3. Caracterización microbiológica y sensorial del café fermentado.	19
4. Análisis y discusión de resultados	20
4.1. Ajuste de la infraestructura requerida para una escala de 10 kg.	20
4.2. Evolución de las características físico-químicas durante la fermentación.	23
4.3. Análisis microbiológico y sensorial del café fermentado.	30
4.3.1. Análisis microbiológico.....	30
4.3.2. Análisis sensorial del café.....	35
5. Conclusiones	39
6. Recomendaciones.....	40
Referencias	41
Apéndices	49

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de beneficio húmedo del café según NTC-3314.....	10
Figura 2. Diagrama metodológico.....	15
Figura 3. Selección del grano maduro por densidad y por color.....	16
Figura 4. Medidor Zen Test pH 60-Z utilizado para verificar la calidad del agua, pH-metro GroLine HI9810307 y medidor FC 2020, utilizados durante la fermentación.....	17
Figura 5. Muestras para recuento microbiológico.....	19
Figura 6. Proceso de lavado.....	19
Figura 7. Proceso de secado directo al sol y en marquesina.....	20
Figura 8. Proceso de beneficio lavado finca San Fernando.....	21
Figura 9. Sensor Push utilizado en la finca San Fernando durante la etapa de secado del café fermentado.....	22
Figura 10. Tanques utilizados para la fermentación.....	23
Figura 11. Comportamiento del pH durante las dos series de fermentaciones.....	24
Figura 12. Porcentaje de acidez de las series de fermentación realizadas.....	27
Figura 13. Evolución de la temperatura ambiente y de la temperatura interna de cada tratamiento.....	29
Figura 14. Recuento microbiológico de los aerobios mesófilos.....	31
Figura 15. Recuento microbiológico de las bacterias lácticas.....	32
Figura 16. Recuento microbiológico de mohos y levaduras.....	34

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Análisis de los diferentes parámetros del agua utilizada en los tratamientos.	23
Tabla 2. pH de los ingredientes de la sal de mesa utilizada.	25
Tabla 3. Resultados del análisis sensorial.....	36
Tabla 4. pH finales de las fermentaciones.	38
Tabla 5. Clasificación del perfil de taza según el puntaje obtenido en el análisis sensorial.....	50

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Protocolo de la SCA (Specialty Coffee Association).	49
Apéndice B. Método horizontal para el recuento de Microorganismos.	50
Apéndice C. Método horizontal para la enumeración de mohos y levaduras.	50
Apéndice D. Método horizontal para el recuento de bacterias lácticas.	50
Apéndice E. Análisis sensorial de la primera fermentación para tratamiento 0% NaCl.	51
Apéndice F. Análisis sensorial de la primera fermentación para tratamiento 3% NaCl.	52
Apéndice G. Análisis sensorial de la primera fermentación para tratamiento 9% NaCl.	53
Apéndice H. Análisis sensorial de la segunda fermentación para tratamiento 0% NaCl.	54
Apéndice I. Análisis sensorial de la segunda fermentación para tratamiento 3% NaCl.	55
Apéndice J. Análisis sensorial de la segunda fermentación para tratamiento 9% NaCl.	56

Resumen

Título: Evaluación de la influencia de la sal común en la etapa de fermentación de café buscando perfiles de taza diferenciados*.

Autor: Johana Marcela Rey Galvis**.

Palabras Clave: Fermentación, café, cloruro de sodio, NaCl, bacterias lácticas, aerobios mesófilos, levaduras, perfil sensorial.

Descripción:

Se determinó la influencia del NaCl en la etapa de fermentación con diferentes concentraciones de sal (0, 3 y 9% NaCl), en dos oportunidades, con el fin de obtener perfiles de taza diferenciados. La idea de este proyecto, surgió de la creencia de adicionar NaCl para hacer más rápido el desprendimiento de mucílago. Se trabajó con café de la granja San Fernando para las pruebas de fermentación. Se realizó un seguimiento a las variables: pH, T y acidez. Adicionalmente, se hizo un recuento microbiológico de aerobios mesófilos, bacterias lácticas y, mohos y levaduras. El tiempo de fermentación fue de 12 h. Antes de iniciar la fermentación, el pH de los tratamientos 3% y 9% NaCl disminuyó con respecto al tratamiento 0% NaCl, 0,6 y 0,8 respectivamente, debido al alto contenido de acidez del mucílago. Los mohos y levaduras tuvieron la mejor evolución y comportamiento en el tratamiento 9% NaCl, a diferencia de los demás microorganismos. Por otra parte, las bacterias lácticas de los tratamientos con NaCl, estuvieron inhibidas durante toda la fermentación. Las tazas con mayor puntaje en el perfil sensorial fueron las de los tratamientos de 9% NaCl (84,50-83,00), seguido de las tazas de los tratamientos de 0% NaCl (84,25-82,75), y finalmente, las del tratamiento 3% NaCl (82,25-81,50). Sin embargo, los resultados fueron similares, por lo que no permiten concluir el impacto del tratamiento con NaCl, para el proceso productivo, es por esto, que es necesario realizar más pruebas variando el tiempo de fermentación, sin que haya sobrefermentación para realizar una mejor conclusión sobre esta creencia.

*Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director Carlos Jesús Muvdi Nova, Ingeniero Químico, PhD. Codirector Gonzalo Enrique Mancilla Díaz, Ingeniero Agricultor, Msc.

Abstract

Title: Evaluation of the influence of common salt in the coffee fermentation stage, looking for differentiated cup profiles[†].

Author: Johana Marcela Rey Galvis^{**}

Key Words: Fermentation, coffee, sodium chloride, NaCl, lactic bacteria, mesophilic aerobes, yeasts, sensory profile.

Description:

The influence of NaCl in the fermentation stage was determined with different salt concentrations (0, 3 and 9% NaCl), on two occasions, in order to obtain differentiated cup profiles. The idea for this project arose from the belief to add NaCl to speed up the release of mucilage. We worked with coffee from the San Fernando farm for the fermentation tests. The variables were monitored: pH, T and acidity. Additionally, a microbiological count of mesophilic aerobes, lactic bacteria, and molds and yeasts was made. The fermentation time was 12 h. Before starting the fermentation, the pH of the 3% and 9% NaCl treatments decreased compared to the 0% NaCl treatment, 0.6 and 0.8 respectively, due to the high acidity content of the mucilage. Molds and yeasts had the best evolution and behavior in the 9% NaCl treatment, unlike the other microorganisms. On the other hand, the lactic acid bacteria from the NaCl treatments were inhibited throughout the fermentation. The cups with the highest score in the sensory profile were those of the 9% NaCl treatments (84.50-83.00), followed by the cups of the 0% NaCl treatments (84.25-82.75), and finally, those of the 3% NaCl treatment (82.25-81.50). However, the results were similar, so they do not allow to conclude the impact of the treatment with NaCl, for the production process, that is why it is necessary to carry out more tests varying the fermentation time, without there being over-fermentation to perform a better conclusion about this belief.

[†] Bachelor Thesis.

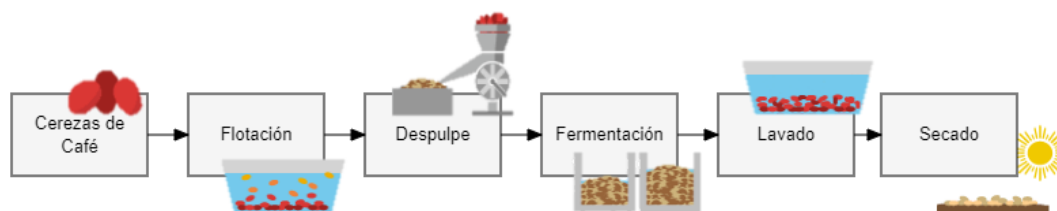
^{**} Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Advisor Carlos Jesús Muvdi Nova, Chemical Engineer, PhD. Co-advisor Gonzalo Enrique Mancilla Díaz, Agricultural Engineer, Msc.

Introducción

La producción y exportación de café en Colombia ha constituido un hito económico para el país, sin embargo, el modelo mundial económico implica que la producción de cualquier producto sea cada vez de mayor calidad. Ahora bien, para el caso colombiano la mayoría de producción de café se realiza en pequeñas fincas, con el proceso de beneficio tradicional, (Figura 1) (Córdoba & Guerrero, 2016) que subsana y aporta al mercado de las grandes empresas del país. Sin embargo, esta producción, aunque lleva más de 76 años en una constante evolución de conocimientos, aún tiene fallas en el control de los procesos de beneficio del café en las fincas (Puerta Quintero & Echeverry Molina, 2015), especialmente en la etapa de la fermentación.

Figura 1.

Diagrama de flujo del proceso de beneficio húmedo del café según NTC-3314.



La fermentación, es un proceso catabólico en el que se oxidan sustancias orgánicas para producir energía y otros compuestos, este proceso es realizado en ausencia de oxígeno por bacterias y levaduras. Es por esto, que es crucial en la industria del café, debido a que permite la degradación de los compuestos presentes en el mucílago como azúcares, lactosa, glucosa y proteínas, en sustancias orgánicas simples como etanol, ácido láctico, ácido butírico, aldehídos, cetonas, entre otros (Puerta Quintero, 2012; Puerta Quintero & Echeverry Molina, 2015). Estas sustancias obtenidas son las responsables de modificar la calidad del grano y las características organolépticas de la bebida. Es decir, cualquier defecto que se ocasione por falta de un buen control

en esta etapa, ocasionará un daño irreversible que no se podrá modificar en las demás etapas del beneficio (Puerta Quintero, 2010), siendo los defectos más comunes: granos manchados, mohosos, decolorados y vinagres, que producen sabores extraños, agrios, sucios y el conocido nauseabundo o stinker (ANÓNIMO, n.d.). Por lo que, desde hace algunos años se ha ido investigando con respecto a esta etapa, encontrando diferentes tipos, según las condiciones, el sustrato y el microorganismo (Puerta Quintero, 2010). Por ejemplo, en la fermentación del café, es posible que ocurra fermentación alcohólica y láctica, principalmente, por la presencia de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* y bacterias lácticas como bacterias *Lactobacillus* y otros microorganismos fermentadores (Puerta Quintero, 2010; I. G. Sánchez & Olivares, 2019).

Dado lo anterior, se han realizado diversos estudios, con el fin de mejorar el proceso de la etapa de la fermentación. Cenicafé (Centro Nacional de Investigación del Café), desde sus investigaciones, ha aportado a la comunidad técnicas y métodos que ayudan a tener un buen control en esta etapa. Entre ellos se encuentra la fermentación controlada (Puerta Quintero & Echeverry Molina, 2015), en la cual se aplican controles de temperatura, tiempo del proceso, calidad del agua y sanidad del café; esta intervención le da un valor agregado y consistencia a la calidad del producto. Asimismo, se han realizado investigaciones del uso de enzimas con el fin de degradar de manera rápida y eficiente el mucílago, siendo las más utilizadas: Ultrazym-100, Irgazim-100, Benefax y Cofepec (Cárdenaz, Juan Pablo. Pardo, 2014; Peñuela Martínez et al., 2011).

Por otra parte, Sánchez & Olivares (2019) investigaron el efecto de la adición de la levadura *Saccharomyces sp.* a la etapa de la fermentación realizada en un biodigestor, en diferentes tiempos de fermentación (4, 8 y 12 h) y en diferentes dosis de levadura (20, 40 y 60 ml), encontrando que efectivamente existe un efecto positivo en la calidad del perfil de taza del café, siendo el mejor perfil el tratamiento con adición de 60 ml de la levadura, por un tiempo de 12 h.

Las anteriores investigaciones se han hecho modificando la etapa de la fermentación, sin embargo, hasta el momento no se ha encontrado registros de investigaciones agregando NaCl en la fermentación. En ese sentido, para mejorar los procesos de calidad y producción de café, en esta investigación se realizaron diferentes tratamientos en la etapa de la fermentación; partiendo de que alrededor de esta etapa se han generado creencias que han sido transmitidas por generaciones, las cuales pueden estar influenciando el proceso de degradación del mucílago y, por tanto, la calidad del café, permitiendo obtener mejores resultados de taza (Servicio de extensión. Comité de Cafeteros de Caldas, n.d.), obedeciendo a las demandas del mercado y consumidores.

Teniendo en cuenta lo anterior, una de las creencias en el proceso de la fermentación es la adición de cloruro de sodio (NaCl) más conocido como sal de cocina, para degradar el mucílago más rápido. Esta práctica ha sido usada en el Cauca desde los 50's, lugar en el cual, se generó la creencia de que el proceso de desprendimiento era más rápido, obteniendo mejores resultados en el perfil de taza, comparado con los procesos tradicionales (sin NaCl) (Cucuñame Balcazar & Ossenblok, 2020).

Es de mencionar, que la sal inhibe el desarrollo microbiano. Como es el caso de los microorganismos patógenos; los cuales pueden ocasionar defectos (Calderón, 2021). Sin embargo, existen microorganismos capaces de vivir en ambientes salinos, llamados halófilos (Soria, 2004). Estos, hacen parte de los tres dominios de la vida, clasificándose de la siguiente manera (Valdez Gastélum, 2014):

- Halófilos extremos, crecen en una concentración de 20-30% de NaCl, como las arqueas (archaeas),

- Halófilos moderados, en una concentración entre 5–20% de NaCl predominando las bacterias, y,
- los Halófilos débiles, que se desarrollan entre 2-5% de NaCl como es el caso de las eucariotas (eukaryas).

En ese contexto, entre los diferentes microorganismos presentes en el café despulpado, (Puerta Quintero, 2012) están: bacterias lácticas pertenecientes al grupo Gram positiva (Universidad Nacional del Litoral, n.d.), mohos y levaduras que hacen parte del reino Fungi (Eucariotas) (Soto Hernandez, 2018) y microorganismos aerobios mesófilos pertenecientes a las proteobacterias (Archaeas) (Reyes, 2012). Estos microorganismos son importantes en la fermentación, principalmente las bacterias y levaduras, ya que se encargan de modificar el olor, color, acidez, densidad y pH del grano, además de la producción de azúcares, alcoholes y ácidos orgánicos (Gómez, 2019; Puerta Quintero, 2012).

Es así, como surge la idea de realizar diferentes fermentaciones variando la concentración de NaCl (0, 3 y 9% de NaCl), con el fin de corroborar la veracidad de dicha creencia. Adicionalmente, se realizó seguimiento a las variables fisicoquímicas pH, acidez y T, para tener un control detallado de lo ocurrido durante el proceso. Asimismo, el comportamiento de los microorganismos aerobios mesófilos, bacterias lácticas y, mohos y levaduras.

1. Objetivos

2.1. Objetivo General.

Evaluar la influencia de la concentración de sal de cocina en el proceso de fermentación de café de la granja San Fernando, buscando como resultado un café con perfil de taza diferenciado.

2.2. Objetivos Específicos.

Definir los protocolos y la infraestructura requerida para adaptar el estudio experimental de las fermentaciones a una escala de 10kg.

Desarrollar la fase de experimentación asegurando el seguimiento en el tiempo de variables de procesos importantes para la fermentación.

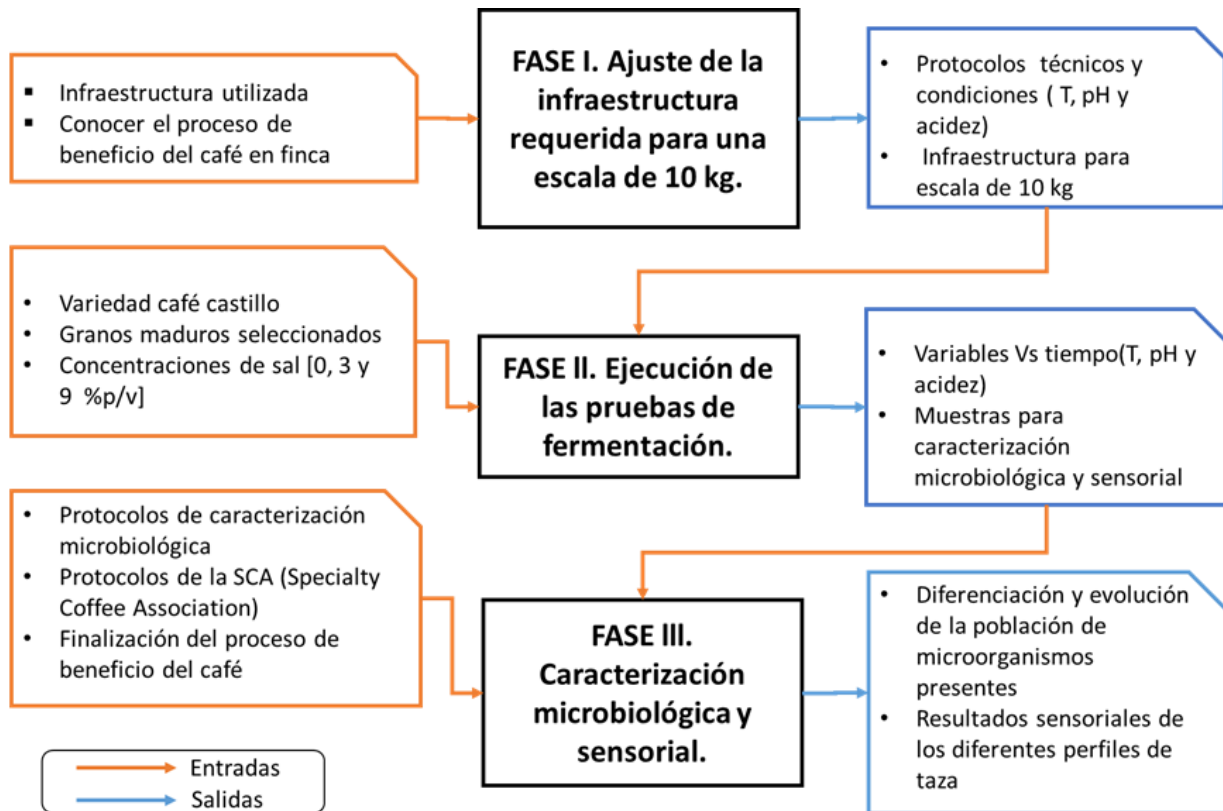
Identificar la población microbiana presente en la fermentación y caracterizar la calidad física y sensorial de los diferentes tratamientos de acuerdo con los parámetros de la *Specialty Coffee Association*.

3. Metodología

En la Figura 2 se describe de forma detallada el diagrama metodológico planteado para el presente proyecto.

Figura 2.

Diagrama metodológico.



3.1. Ajuste de la infraestructura requerida para una escala de 10 kg.

En esta fase se estudió y analizó el proceso de fermentación de café empleado en la finca San Fernando junto con la infraestructura utilizada, teniendo en cuenta que lo hacen a gran escala (1000 kg/día), para un beneficio húmedo. Esto con el fin de adaptar y diseñar el proceso de fermentación a una escala de 10 kg por tratamiento, haciendo uso de salmueras a diferentes

concentraciones de sal. Para ello, se documentó un protocolo experimental incluyendo el seguimiento de las variables: T, pH y acidez, para asegurar las condiciones de operaciones durante la realización del proceso con salmueras.

3.2. Ejecución de las pruebas de fermentación.

La parte práctica del proyecto se llevó a cabo en la finca San Fernando, ubicada geográficamente en el costado Nororiental de la Meseta de los Santos, en el municipio de Piedecuesta-Santander; a una altitud de 1.560 msnm, latitud 6° 56' 7.056'' N, y longitud 73° 03' 31.129'' W. Con una temperatura promedio entre 18-22°C y humedad promedio del 60%.

Como materia prima, se dispuso de 100 kg de café en cereza de la variedad Castillo, del lote 1 y 4 para cada fermentación respectivamente. El café recolectado se depositó en un tanque con agua (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.3**), con el fin de identificar los granos vanos por diferencia de densidad (flotación) quedando en el fondo los granos en buen estado y los vanos en la superficie, del café en cereza restante se seleccionaron y retiraron manualmente los frutos verdes, pintones y sobremaduros (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.3**), según la “Escala de maduración para el fruto del café” (Marín-López et al., 2003), la cual indica qué grado de maduración es óptimo en el fruto para realizar el proceso de beneficio del café (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Figura 3.

Selección del grano maduro por densidad y por color.



El café fue despulpado, pesado y dividido para tres tratamientos de fermentación. Esta fermentación se realizó sumergida y abierta (Puerta Quintero & Echeverry Molina, 2015), en tanques plásticos (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.4**) con soluciones de agua potable (10 l) y cloruro de sodio a tres concentraciones: 0, 3 y 9 % de NaCl, con 12 h de fermentación de acuerdo con el procedimiento realizado por el caficultor para este tipo de beneficio y fermentación. La fermentación se realizó sumergida en agua al 67% del peso del café en baba, con el fin de los granos quedaran sumergidos homogéneamente en las salmueras.

Previamente al proceso de la fermentación, se realizó sanitización a cada tanque con una solución de cloro al 0,2%; por cada litro de agua, 40 ml de hipoclorito de sodio comercial del 5%, según lo estipulado por la “Guía de Procedimientos para la Limpieza y Desinfección en Unidades de Rehidratación” (Ministerio de Salud Pública de República Dominicana, 2011). Adicionalmente, se verificó la calidad del agua utilizada para los tratamientos, haciendo uso del medidor inteligente llamado Zen Test PH 60-Z (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.4**).

Figura 4.

Medidor Zen Test pH 60-Z utilizado para verificar la calidad del agua, pH-metro GroLine HI9810307 y medidor FC 2020, utilizados durante la fermentación.



Durante la etapa de la fermentación, se tomaron muestras directamente a los tratamientos cada hora, a las variables: pH y T; se utilizó el pH-metro digital GroLine HI9810307 (Figura 4) de la marca Hanna Instruments y el medidor FC 2022 (Figura 4) de HALO, respectivamente.

Para analizar la acidez, cada dos horas se recolectaron 25 ml de muestra por tratamiento. Las muestras se envasaron, refrigeraron y conservaron a 4°C mientras el traslado al Parque Tecnológico de Guatiguará donde se realizó el correspondiente análisis. Primero se halló el volumen requerido para alcanzar el punto de equivalencia por el método 16.023 o valoración ácido-base (A.O.A.C., 1984); se utilizó como base solución de NaOH a 0,1 N, y como indicador fenolftaleína ($C_{20}H_{14}O_4$), 3 gotas por muestra. La acidez fue expresada como porcentaje de ácido láctico por ser el más representativo en la fermentación (Puerta Quintero, 2010), siguiendo la siguiente relación:

ml de NaOH 0,1 N= 0,009g de ácido láctico

Finalmente para hallar el porcentaje de acidez de las respectivas muestras, se utilizó la ecuación (Ec.1):

$$\%Acidez = \frac{(mL \text{ de } NaOH) * (N \text{ de } NaOH) * 9}{(\text{Peso de la muestra})} * 100 \quad (\text{Ec.1})$$

Para el recuento microbiológico, se extrajeron muestras de 100 g de café en baba en bolsas estériles (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.5**), con pinzas previamente esterilizadas cada 4 h (0, 4, 8 y 12 h). Esas muestras se refrigeraron a 4°C para su conservación, luego se transportaron al laboratorio Bialab S.A.S en cavas con geles refrigerantes para realizar el correspondiente recuento microbiológico.

Figura 5.

Muestras para recuento microbiológico.



3.3. Caracterización microbiológica y sensorial del café fermentado.

Luego de terminada la etapa de la fermentación se continuó con el proceso de beneficio del café; lavado y secado. En la Figura 6 se muestran los tres lavados realizados por tratamiento con 20 l de agua potable en cada ocasión para retirar los residuos de sal y mucílago, y también para retirar los granos vanos restantes. Luego se retiró el agua, y finalmente, se dejó reposando durante 1 h para eliminar el exceso de agua.

Figura 6.

Proceso de lavado.



Transcurrida la hora de reposo, el café se extendió en un piso de malla plástica, dejando en contacto directo con el sol alrededor de una hora (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.7**), retirando manualmente granos defectuosos, con el fin de obtener granos uniformes. Luego, las mallas con el café se transportaron al interior de la marquesina para continuar con un secado más lento en condiciones semicontroladas.

Figura 7.

Proceso de secado directo al sol y en marquesina.



Posteriormente, según los parámetros del protocolo de la SCA (*Specialty Coffee Association*) (SCA, 2015) el café se trilló, tostó y molió, para ser catado por el profesional sensorial y formador autorizado de la SCA, Qgrader, el cual determinó qué perfil de taza obtuvo el mejor puntaje. Por otra parte, para el análisis microbiológico se usaron las muestras recolectadas del café con mucílago durante la fermentación. Estas muestras se llevaron al laboratorio de microbiología Bialab S.A.S, en el cual se hizo un recuento de microorganismos aerobios mesófilos, bacterias ácido lácticas, mohos y levaduras, siguiendo los parámetros del manual de “Análisis

Microbiológico de los alimentos” (Passalacqua et al., 2014). Los métodos de análisis para el recuento microbiológico y la evaluación sensorial, se explican en los apéndices A, B, C y D.

4. Análisis y discusión de resultados

4.1. Ajuste de la infraestructura requerida para una escala de 10 kg.

Durante la visita a la finca San Fernando se evidenció que posee una infraestructura adecuada para la realización del beneficio lavado o tradicional (Figura 8). Este beneficio inicia con la recolección de los granos bajo el criterio de selección de que el fruto maduro debe ser de un color rojo intenso. Luego se realiza el proceso de flotación por densidad (principio de Arquímedes) en un tanque para 150 kg (Valcarce, 2014); este tanque está unido a una tolva cafetera de 230 kg que tiene una válvula que permite el paso del café hacia el tanque. Así mismo, se evidenció que se realiza un paso adicional, una tercera selección del grano de manera manual; este paso no está estipulado en el proceso de beneficio tradicional (Figura 1) (Córdoba & Guerrero, 2016), sin embargo, en esta finca consideran que es necesario para asegurar que los granos a despulpar sean uniformes en cuanto a tamaño y madurez, y así obtener un resultado diferenciado en la taza de café (Duicela et al., 2017). Según la puntuación del protocolo de la SCA (SCA, 2015), para que la taza de café sea diferenciada debe tener >80 puntos (Apéndice A), evaluando los atributos organolépticos (SCA, 2015).

Figura 8.

Proceso de beneficio lavado finca San Fernando.



La despulpadora está unida a una tolva que facilita el paso de los granos, la capacidad es de 280 kg. El café despulpado es fermentado en una pila construida en baldosas con capacidad de 280 kg, asimismo, el café se lava en un tanque plástico con capacidad para 230 kg. Finalmente, el café se traslada a la marquesina como se observa en la Figura 8 (Secado), la cual consiste en una estructura rígida en forma parabólica y una cubierta plástica transparente, que acumula energía en forma de calor, con el fin de que el secado del grano sea uniforme (Roa & Álvarez, n.d.). Esta marquesina puede secar hasta 460 kg de café en menos de una semana, además, tiene un sensor que mide y registra las condiciones de humedad y temperatura durante el secado (Figura 9). Hay que resaltar que, normalmente en las fincas cafeteras no hacen este tipo de control durante esta etapa y tampoco es un requisito en el beneficio (Figura 1), sin embargo, esta finca considera pertinente llevar el registro de sus procesos para posibles réplicas o estudios.

Figura 9.

Sensor Push utilizado en la finca San Fernando durante la etapa de secado del café fermentado.



Nota: Segunda imagen recuperada de sensorpush.com

La infraestructura y equipos mencionados anteriormente se pueden utilizar para este proyecto, debido a que la cantidad requerida (100 kg/día) no supera la capacidad que usualmente trabajan en la finca (1000 kg/día). Sin embargo, se deben hacer algunas modificaciones: en la etapa de flotación no es necesario usar la tolva por la cantidad que se va a trabajar, por lo que, el café se sumerge directamente en el tanque. En la etapa de la fermentación no se puede utilizar la pila, dado que son diferentes tratamientos, por lo que se seleccionaron los tanques de la Figura 10 para los respectivos tratamientos; estos tanques tienen capacidad de 20 l.

Figura 10.

Tanques utilizados para la fermentación.



4.2. Evolución de las características físico-químicas durante la fermentación.

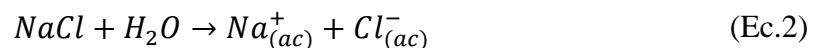
El agua previa a los tratamientos fue analizada por medio del dispositivo Zent Test, del cual sus resultados se encuentran en la Tabla 1.

Tabla 1.

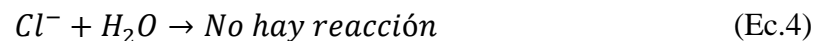
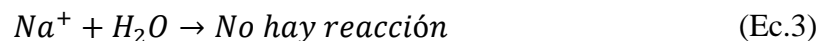
Análisis de los diferentes parámetros del agua utilizada en los tratamientos.

Parámetros	Agua
pH	7,94
Salinidad (ppt)	0,13
TDS (ppm)	183
Conductividad (μS)	263
Resistividad (MΩ)	3,8

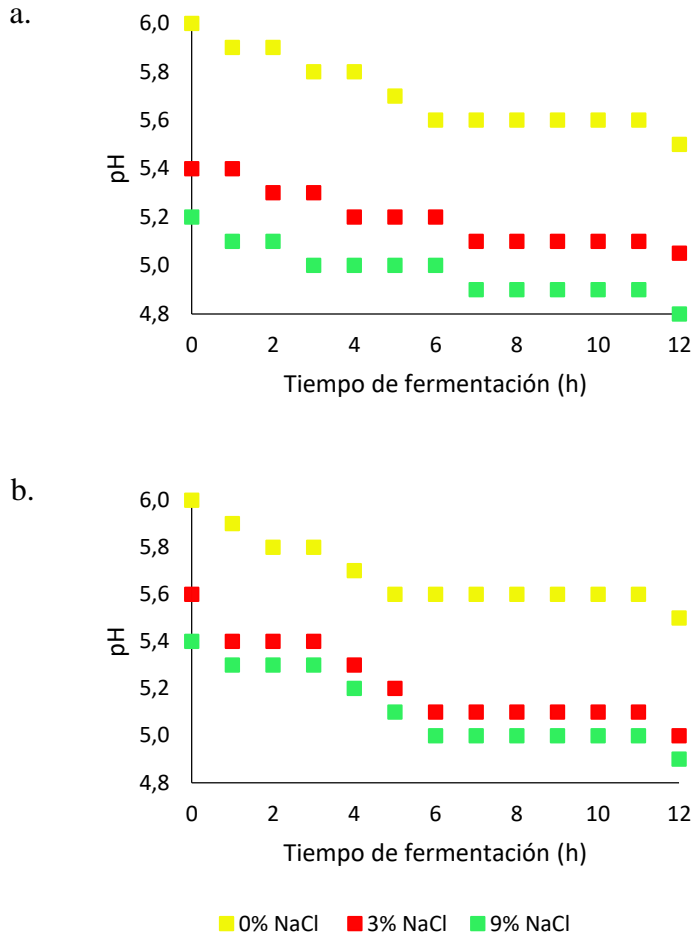
En la Figura 11 se muestra el comportamiento del pH durante la etapa de fermentación para los diferentes tratamientos evaluados (0, 3 y 9% de NaCl); todos los tratamientos tuvieron una duración de 12 h. Se observa una diferencia en promedio de 0,5 y 0,7 en el pH inicial de los tratamientos con sal (3 y 9% de NaCl) con respecto al tratamiento de 0% de NaCl; por lo que, se podría suponer que la disminución en los pH iniciales es consecuencia del contenido de NaCl, pero éste no es el caso, pues, para que esto suceda debe ocurrir una reacción (hidrólisis) entre los iones formados de la sal con el agua (Cedrón & Landa, 2011). Por ejemplo, el cloruro amónico (NH₄Cl), es una sal ácida, proveniente de un ácido fuerte y una base débil. Sin embargo, en este proyecto se utilizó NaCl, una sal neutra que se deriva de un ácido fuerte (HCl) y una base fuerte (NaOH), por lo que sus iones resultantes (Ec.2) son débiles y no reaccionan con el agua (Ec.3) y (Ec.4) (Morais et al., n.d.).



Donde,

**Figura 11.**

Comportamiento del pH durante las dos series de fermentaciones.



Nota: a. primera serie de fermentaciones. b. segunda serie de fermentaciones.

Asimismo, en la Tabla 2 se encuentran los ingredientes de la sal utilizada con sus respectivos pH, los cuales son alcalinos. Es decir, esta sal por sus componentes no genera esa disminución de pH al tener contacto con el agua (“Ficha Técnica Cloruro de Sodio,” n.d.; “Hoja de Datos de Seguridad Yoduro de Potasio,” n.d.).

Tabla 2.

pH de los ingredientes de la sal de mesa utilizada.

Ingrediente	pH
Cloruro de sodio	7

Fluoruro de potasio	8-9
Yoduro/Yodato de potasio	6,9

De igual forma, es posible que el café al mezclarse con los respectivos tratamientos haya modificado el pH inicial de los mismos. Lo anterior se puede corroborar con los datos de pH del tratamiento 0% NaCl; el pH del agua utilizada (sin café) fue de 7,94 (Tabla 1) y luego de agregarse el café disminuyó a 6,0 (Figura 11), es decir, 1,93. Cenicafé (2012) indica que el pH del café en baba fresco es ácido; con valores iniciales de 5,1 a 5,6 y un promedio de 5,4 (Puerta Quintero, 2012), esto quiere decir que, al añadir un ácido (café en baba) a una solución acuosa (agua) el pH disminuye por el aumento de la concentración de iones hidrógeno (H^+) de la solución (*Ácidos, Bases, PH y Soluciones Amortiguadoras*, n.d.; Boyd, 2018).

Por otra parte, se evidencia que, en las primeras horas, el pH disminuye como consecuencia de la degradación del mucílago, el cual contiene azúcares y pectinas, lo que permite la producción de ácidos, y, por consiguiente, que haya un aumento de la acidez de la masa; de modo que, a mayor acidez, menor pH (Córdoba & Guerrero, 2016).

Posteriormente, se evidencia un comportamiento constante en el pH para los tres tratamientos, en las dos fermentaciones. Esto puede ser, gracias a la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, uno de los principales microorganismos fermentadores del café (Puerta Quintero, 2012). Esta levadura, se caracteriza por ser glucofílica; prefiere glucosa antes que fructosa (LALLEMAND, n.d.). Por lo que, durante la fermentación, la glucosa se consume más rápido que la fructosa, aumentado proporcionalmente la cantidad de ésta, hasta cierto punto que se le agota el suministro de glucosa a la levadura y bajo condiciones de estrés se le dificulta consumir el azúcar no preferido (fructosa) (LALLEMAND, n.d.; Viñas & Usalli, 1998). De acuerdo con lo anterior,

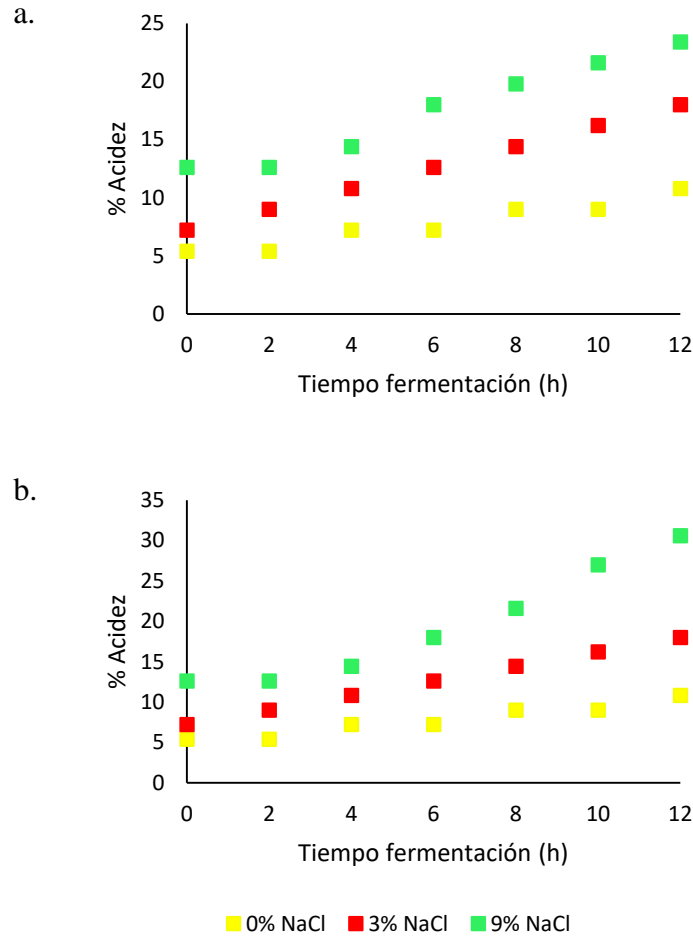
se puede deducir que en condiciones salinas el consumo de glucosa es más lento que el medio sin sal (Vital & Larralde, 2016), como se observa en la Figura 11; el tratamiento de 0% NaCl se detuvo una hora antes con respecto a los demás, durante las dos fermentaciones.

Luego de evidenciarse el comportamiento constante, se observa disminución en el pH en todas las fermentaciones, lo que podría deberse a una reactivación de la fermentación una hora antes del tiempo estipulado para interrumpir este proceso (12 h). Esta reactivación puede deberse a una posible adaptación de los microorganismos fermentativos al nuevo medio, los cuales continúan su proceso de crecimiento y metabolismo, haciendo uso del sustrato restante (Bisson, n.d.; Puerta Quintero, 2012).

En la Figura 12 se presenta el comportamiento de la acidez con respecto al tiempo de duración de la fermentación, para los tres tratamientos (0, 3 y 9% de NaCl).

Figura 12.

Porcentaje de acidez de las series de fermentación realizadas.



Nota: a. primera serie de fermentaciones. b. segunda serie de fermentaciones.

Durante las dos primeras horas se observa una fase de adaptación (fase de latencia) y posteriormente, un crecimiento exponencial a lo largo de la fermentación, en el cual se corrobora que a mayor acidez menor es el valor del pH (Córdoba & Guerrero, 2016). Tal como el tratamiento de 0% NaCl presentó mayor pH (Figura 11), también presentó la menor acidez (Figura 12). Esta acidificación se da principalmente por la disminución de azúcares totales y reductores, junto a la degradación de lípidos (Arcos, 2017). Además, por la producción de ácido láctico y acético, gracias a las bacterias lácticas y levaduras, respectivamente (Arcos, 2017).

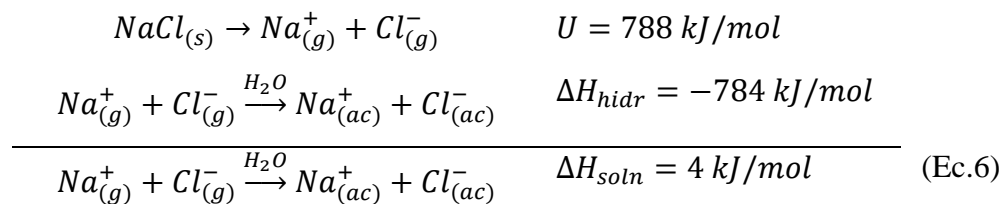
En la Figura 13 se muestra el comportamiento de la temperatura interna del sistema de los tratamientos (0, 3 y 9% de NaCl) y de igual manera, la temperatura ambiente durante las dos fermentaciones.

Cabe resaltar que los tres tratamientos se hicieron en simultáneo, con la misma cantidad de grano y solución. Sin embargo, la primera fermentación se llevó a cabo entre las 20:30h y las 8:30h, mientras que la segunda fermentación fue desde las 17:30h hasta 5:30h. Es por esto que se muestra una variación importante de la temperatura ambiente para la primera fermentación entre las horas 10 y 11, pues, a esas horas de la mañana ya se evidenciaba la influencia de la radiación solar.

A su vez, es de notar que, al inicio de la fermentación, la temperatura de los tratamientos con sal fue menor que el tratamiento sin NaCl. Lo anterior, es a causa del calor de disolución de la sal (ΔH_{soln}) que según la ley de Hess, es posible considerarlo como la suma de los cambios de energía de los siguientes pasos (Ec.5): la separación de iones del estado cristalino (energía reticular, U) y la hidratación de los iones gaseosos (calor de hidratación, ΔH_{hidr}). Es decir, se necesita suministrar 788 kJ de energía reticular (U), para separar 1 mol de NaCl sólido en 1 mol de iones de Na^+ y 1 mol de iones de Cl^- , y, 784 kJ para hidratar los iones gaseosos Na^+ y Cl^- (Chang, n.d.).

$$\Delta H_{soln} = U + \Delta H_{hidr} \quad (Ec.5)$$

De modo que,

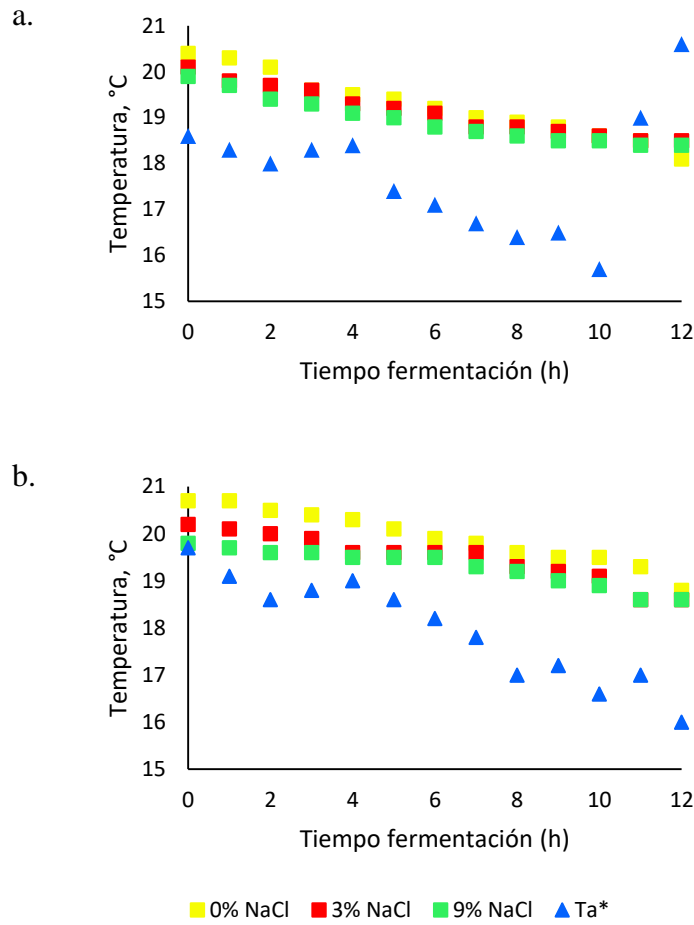


Con todo y lo anterior, se observa en el resultado de las reacciones, que al disolver 1 mol de NaCl en agua, se absorben 4 kJ del entorno, es decir, ocurre un proceso endotérmico (Chang,

n.d.). Por esta razón, los tratamientos con sal absorbieron más energía del medio ambiente y su temperatura fue menor comparados con del tratamiento 0% NaCl.

Figura 13.

Evolución de la temperatura ambiente y de la temperatura interna de cada tratamiento.



*Ta= Temperatura ambiente

Nota: a. primera serie de fermentaciones. b. segunda serie de fermentaciones.

Es importante mencionar que no solo la temperatura ambiente influyó en este proceso, el agua también, ya que, desempeña una función termorreguladora, gracias a su calor específico, 4186 J/ (kg °C) (R. Sánchez, n.d.). Esto permite ser un medio adecuado para regular la temperatura del entorno (*Propiedades Del Agua*, n.d.). En este caso, pese a que la temperatura ambiente fue

menor durante las fermentaciones, no influyó considerablemente en la temperatura interna, gracias a que el agua presente en cada tratamiento absorbió y estabilizó la energía liberada por el ambiente distribuyéndola en la temperatura interna de los tratamientos (Carbajal & González, n.d.).

4.3. Análisis microbiológico y sensorial del café fermentado.

4.3.1. Análisis microbiológico.

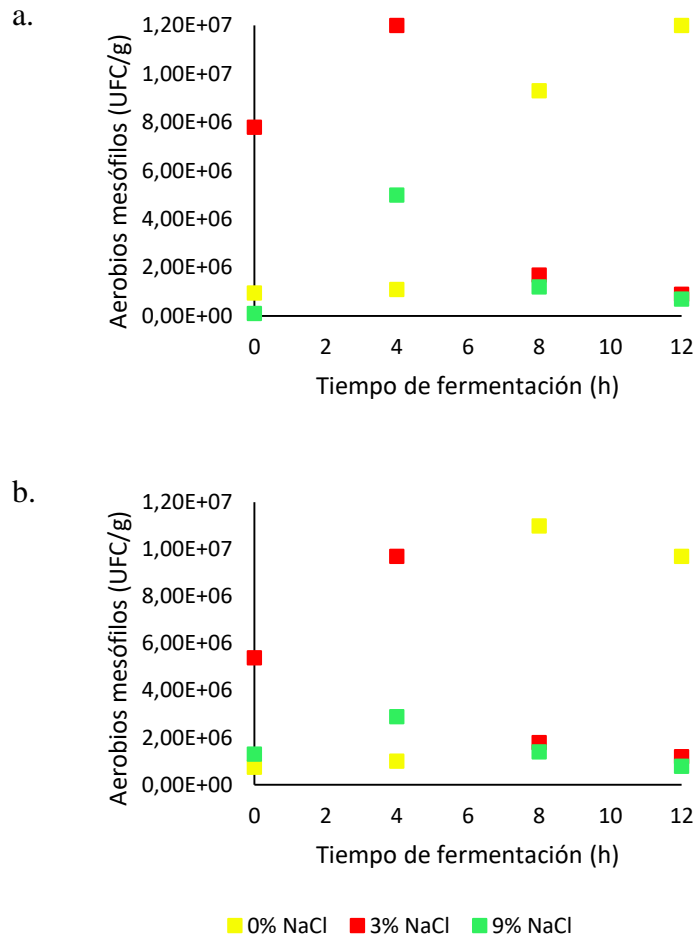
En la Figura 14 se observa el comportamiento de los microorganismos aerobios mesófilos, quienes presentan diferencia en su población desde antes de iniciada la fermentación, pese que fueron las mismas condiciones de soluto para cada tratamiento; quizás al agregar el café a la solución, ocurrió una selección entre el medio y los microorganismos. Por ejemplo, en el tratamiento 3% NaCl se observa una población inicial mayor a los demás tratamientos. Posiblemente, dentro de la población de los aerobios mesófilos había gran cantidad de halófilos débiles (Valdez Gastélum, 2014), quienes tienen la capacidad de crecer en concentraciones de 2 a 5 % de NaCl; quedando inhibidos los demás microorganismos por no ser tolerantes a la sal (Monzón, 2014). Asimismo, la población inicial de la segunda fermentación fue menor, esto pudo ser, porque el café no era del mismo lote que para la primera, por ende, la carga microbiana era distinta. Sin embargo, por ser aerobios mesófilos, estos engloban una gran cantidad de microorganismos de diferentes grupos que dificulta saber con exactitud qué tipo de éstos estaban presentes (*Análisis de Mesofílicos Aerobios*, n.d.).

Por otra parte, la población del tratamiento 0% NaCl durante las primeras cuatro horas muestra una fase de adaptación (latencia), y posteriormente, una fase de crecimiento exponencial hasta las 12 y 8 h de cada fermentación respectivamente. Lo anterior, puede deberse a que, los aerobios mesófilos crecen en medios sin inhibidores y como este tratamiento no tiene concentración de sal, la población tuvo mejor desarrollo con respecto a los demás tratamientos. En

pocas palabras, entre mayor sea la concentración de NaCl, los aerobios mesófilos se ven afectados negativamente, sin ser ninguna de las concentraciones de NaCl letales para esta población (Montaño et al., 1992).

Figura 14.

Recuento microbiológico de los aerobios mesófilos.



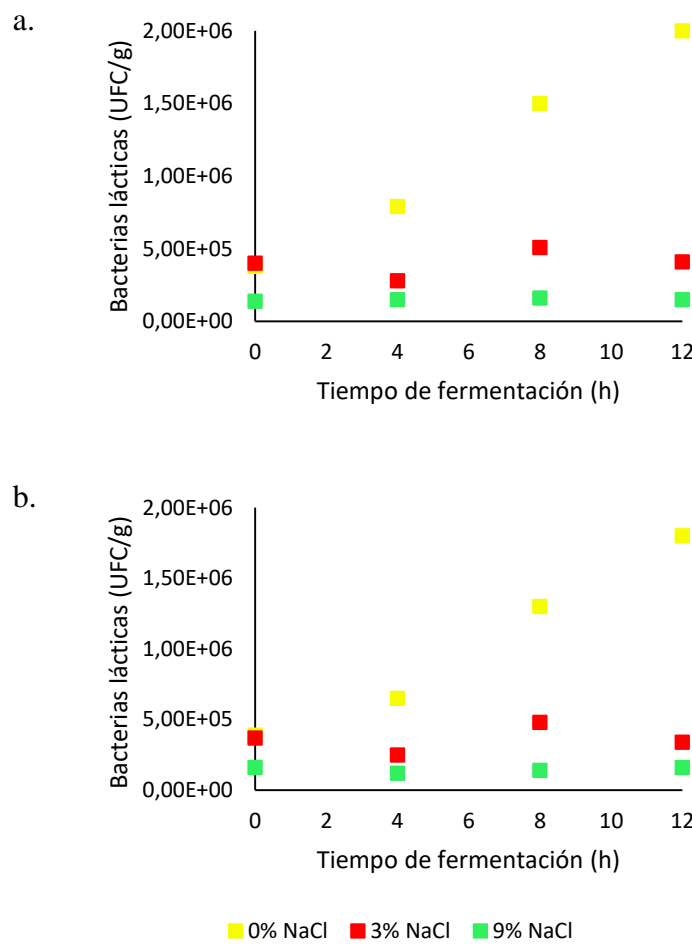
Nota: a. primera serie de fermentaciones. b. segunda serie de fermentaciones.

En la Figura 15 se evidencia el comportamiento de las bacterias lácticas en diferentes medios. Aunque, la literatura indica que estas bacterias poseen la habilidad de crecer bajo concentraciones de sal hasta de 10% (Mora & García, 2007; Valdez Gastélum, 2014), no es lo que se observa en la Figura 15; ya que, el tratamiento con mayor concentración de sal (9% NaCl),

estuvo en periodo de inhibición durante toda la fermentación con una baja población microbiana (Córdoba & Guerrero, 2016). Lo anterior, puede deberse a que por haber presencia de levaduras, se genera una fermentación alcohólica produciendo etanol, el cual, se encarga de inhibir las bacterias lácticas (Bordons & Reguant, n.d.; Puerta Quintero, 2010). Cuando la fermentación alcohólica finaliza y las levaduras mueren, las bacterias aprovechan para desarrollarse y tener un mejor crecimiento, dando lugar a una fermentación maloláctica (Bordons & Reguant, n.d.; Lonvaud, 2002; Puerta Quintero, 2010).

Figura 15.

Recuento microbiológico de las bacterias lácticas.



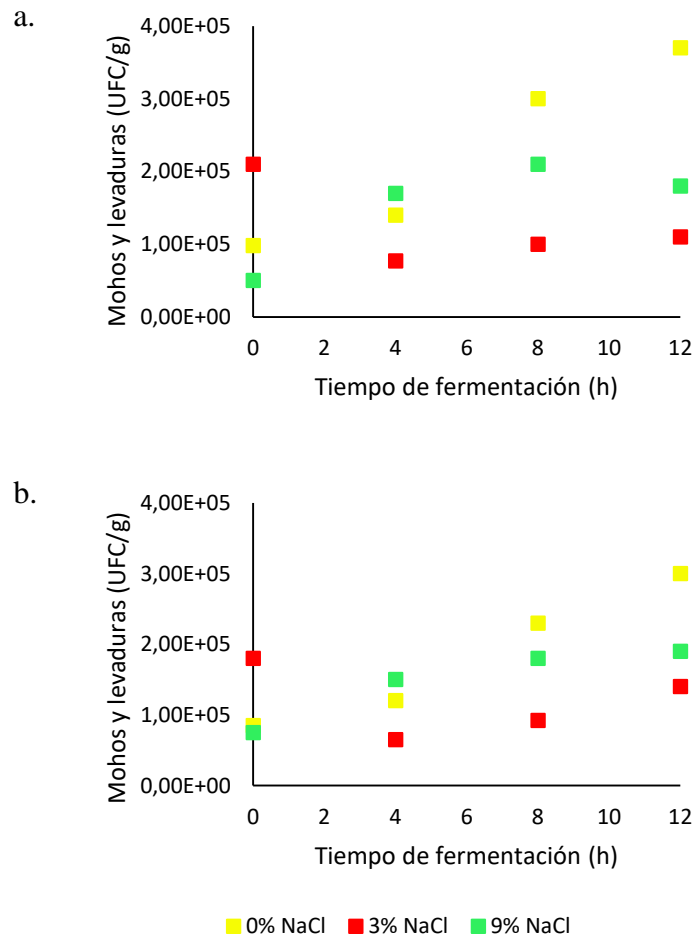
De hecho, en la Figura 16 se puede corroborar que la población del tratamiento 9% estuvo activa y en constante crecimiento durante toda la fermentación mientras las bacterias lácticas estaban inhibidas (Figura 16). También puede ser que el periodo de adaptación sea más demorado por el medio salino (Calderón Vargas, 2017), si bien son microorganismos que son capaces de desarrollarse en este medio, no se sabe con exactitud cuánto se demora la fase de adaptación (latencia), puesto que, las condiciones varían con cada fermentación.

Caso contrario, lo que sucede con el tratamiento 0% NaCl, las bacterias tienen un mejor comportamiento en medios no salinos, puesto que inicia su fase exponencial desde las 0 h, como si antes de iniciada la fermentación se encontrara ya adaptada al medio (Escobar et al., 2010). Además, su incremento por unidad de tiempo se mantuvo en un valor constante durante toda la fermentación (Microbiología General y de los Alimentos, n.d.). Del mismo modo, el pH pudo influir en el desarrollo y crecimiento de las bacterias, ya que, existen bacterias acidófilas como las *Lactobacillus*, presentes en la fermentación del café (Puerta Quintero, 2012). Entonces, a menor pH (Figura 11), mayor acidez (Figura 12) y, por ende, mayor población de estas bacterias (Figura 15).

En la Figura 16 se observa el comportamiento de los mohos y levaduras para cada tratamiento de las fermentaciones realizadas.

Figura 16.

Recuento microbiológico de mohos y levaduras.



Nota: a. primera serie de fermentaciones. b. segunda serie de fermentaciones.

Sin embargo, pareciera que no todos los microorganismos presentes en este tratamiento tuvieron la capacidad de tolerar la concentración de sal, ya que se observa una disminución significativa en la población microbiana ($1,33 \cdot 10^5$) hasta las 4 horas de transcurrida la fermentación. Finalmente, la población restante se adapta al medio e inicia su crecimiento hasta terminar la fermentación. Probablemente, las bacterias lácticas también influyeron, al tener necesidades nutricionales similares a las levaduras; generando competencia por el sustrato

disponible lo que ocasionó que disminuyera el consumo de carbohidratos y la producción de etanol por las levaduras, causando la muerte de una parte de la población (Sossa et al., 2009).

4.3.2. Análisis sensorial del café.

En la Tabla 3 se presentan los resultados del análisis sensorial para las dos fermentaciones, considerando los diez atributos según el protocolo de la SCA (SCA, 2015). Los puntajes finales de los tratamientos se situaron en el rango de calidad de puntuación total de 80-84,99 correspondiente al grupo catalogado como “Cafés especiales” de calidad “Muy Buena” (Apéndice A) (SCA, 2015).

Sin embargo, no se observa una diferencia entre los puntajes finales del perfil de taza de cada tratamiento, pero sí un puntaje de 10 para los siguientes atributos: uniformidad, taza limpia y dulzor. Aunque los puntajes resultantes son similares, los tratamientos de las diferentes concentraciones mostraron distintos perfiles sensoriales. Por ejemplo, el tratamiento 0% NaCl tiene notas de fragancia a miel, avellana y chocolate. El tratamiento 3% NaCl tiene notas a vainilla, nuez, lechosa y vegetal, y, por último, el tratamiento 9% NaCl tiene notas a caramelo de leche, almendra, herbal y frutal (Apéndices E, F, G, H, I, J).

Por otra parte, el tratamiento con mayor puntaje en el perfil de taza, fue el de 9% NaCl para las dos fermentaciones, con una diferencia de 0,25 puntos con respecto al puntaje del tratamiento de 0% NaCl. A pesar de esto, se considera que la diferencia no es importante, si se incluye el aspecto costo-beneficio del tratamiento con NaCl. Incluso en la Tabla 3 se muestra que para los atributos sabor, sabor residual, balance e impresión global, el puntaje fue el mismo.

Tabla 3.*Resultados del análisis sensorial.*

Atributos	Primera fermentación			Segunda fermentación		
	0% NaCl	3% NaCl	9% NaCl	0% NaCl	3% NaCl	9% NaCl
Fragancia/	8,00	7,75	7,50	7,75	7,50	8,00
Aroma						
Sabor	7,75	7,50	7,75	7,50	7,25	7,50
Sabor residual	8,00	7,25	8,00	7,50	7,25	7,75
Acidez	7,50	7,50	7,75	7,50	7,25	7,50
Cuerpo	7,50	7,25	8,00	7,50	7,50	7,25
Uniformidad	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Balance	7,75	7,50	7,75	7,50	7,25	7,50
Taza Limpia	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Dulzor	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Impresión Global	7,75	7,50	7,75	7,50	7,50	7,50
Defectos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Puntaje Final	84,25	82,25	84,50	82,75	81,50	83,00

Caso contrario, del atributo acidez que para la primera fermentación su puntaje fue diferente en 0,25 puntos, mientras que en la segunda el puntaje fue el mismo. Esta diferencia se puede evidenciar en el análisis sensorial, ya que, para la primera fermentación, el tratamiento 0% NaCl tuvo una acidez cítrica media y el de 9% una acidez cítrica málica media (Apéndices E, G), mientras que en la segunda fermentación los dos tratamientos tuvieron el mismo análisis sensorial (Apéndices H, J). Lo anterior puede ser debido principalmente a la acidez titulable, si bien no es la misma que la acidez como atributo sensorial, están relacionadas (Yara Colombia, n.d.). A mayor acidez, mayor es el resultado de los ácidos presentes en el café (García & Elizarraraz, 2019; Yara

Colombia); estos ácidos son el resultado de la degradación de azúcares, proteínas, lípidos y ácidos presentes en el mucílago (Puerta Quintero & Echeverry Molina, 2015) , y además, son los responsables de los diferentes sabores e intensidades según sea su concentración. Es por esto, que cuando ocurre un mal proceso en la fermentación, se generan sabores desagradables como a cebolla, agrio o *stinker*, debido a la presencia de ácidos como el propiónico, acético, butírico, y otros compuestos del mucílago (Puerta, 2015; Puerta Quintero, 2012).

El pH también es un factor importante al determinar la calidad del café, por estar relacionado con la acidez (García & Elizarraraz, 2019), y adicionalmente, también influye en el sabor del perfil de taza. Según la literatura, el pH debe estar entre valores de 4,9 y 5,2 (Valencia et al., 2015). Cuando el café tiene un pH mayor a 5,2 obtiene un sabor muy amargo y menor a 4,9 es muy ácido (García & Elizarraraz, 2019). En este sentido, como se muestra en la Tabla 4, los pH de los tratamientos 3% y 9% están entre el rango establecido por la literatura, lo que corresponde a un sabor más ácido que amargo, mientras que, el pH del tratamiento 0% NaCl hace referencia a un sabor muy amargo. Lo anterior podría atribuirse a que el NaCl, favorece a los microorganismos encargados de aportar, en mayor o menor medida, sensación dulce y ésta a su vez, modula el sabor amargo (Bonilla, 2017; López, 2014; Monzón, 2014). Estos microorganismos podrían ser las levaduras, ya que, durante la fermentación consumen glucosa y la transforman en alcoholes, quienes se encargan de aportar el sabor dulce como se mencionó anteriormente; los alcoholes responsables de ese proceso son los de origen fermentativo como el alcohol etílico, glicerol, butilenglicol (Carmona, 2017; PINTXO, 2013). De hecho, los microorganismos que tuvieron mayor participación en los tratamientos con NaCl, fueron las levaduras (Figura 16), por lo que, posiblemente sean las responsables de modular el sabor amargo y potenciar el sabor dulce (López, 2014).

Tabla 4.*pH finales de las fermentaciones.*

Tratamiento	pH	Tratamiento	pH
F1-0% NaCl	5,5	F2-0% NaCl	5,5
F1-3% NaCl	5,1	F2-3% NaCl	5,0
F1-9% NaCl	4,8	F2-9% NaCl	4,9

F1= Primera serie de fermentaciones.

F2= Segunda serie de fermentaciones.

No obstante, a pesar de que el tratamiento 0% NaCl tuvo un pH alto y acidez baja, fue el segundo mejor puntaje en el perfil de taza después del tratamiento 9% NaCl. Probablemente, los mohos y levaduras influyeron en estos resultados, puesto que, fueron los que tuvieron mejor evolución durante la fermentación. Por lo que, degradaron de manera rápida los azúcares, proteínas, lípidos y ácidos presentes en el mucílago (Puerta Quintero & Echeverry Molina, 2015), produciendo más ácido láctico, etanol y otros compuestos en comparación del tratamiento 3% NaCl (Puerta Quintero, 2012).

Por todo lo anterior, se evidencia que no es posible concluir sobre la hipótesis inicial del proyecto, la cual indica que el NaCl ayuda a agilizar el proceso de degradación del mucílago, y la calidad del grano fermentado. Además, cabe resaltar que ninguno de los perfiles de taza presentó defectos en los resultados sensoriales (Tabla 3). Quizás, el NaCl con su efecto bacteriostático general (Monzón, 2014; Otero, 2010); retardó el crecimiento de microorganismos indeseados, por ejemplo, hongos y algunas bacterias que puedan afectar la calidad sensorial del café, en lo que se conoce como defectos (Calderón, 2021; Pivaral & Cruz, 2018). La selección del café antes del beneficio busca disminuir los mismos y mantener la calidad del grano (Montilla et al., 2008; Puerta et al., 2012); la implementación del tratamiento con NaCl podría ayudar en ello. Sin embargo, en este proyecto se realizaron dos procesos de selección del grano, antes de iniciar el beneficio (por

flotación y de forma manual en zaranda), adicionalmente, se realizaron protocolos de desinfección de los elementos utilizados en este proceso, que disminuyeron el riesgo de presencia de defectos en el grano fermentado; en ese sentido se requiere seguir realizando pruebas experimentales y de caracterización para poder concluir al respecto.

5. Conclusiones

Se definieron los protocolos según el criterio del Comité Nacional de Cafeteros junto con las prácticas tradicionales realizadas por los propietarios de la granja San Fernando, con el fin de realizar el proceso de beneficio húmedo sumergido para 100 kg/día. Para la realización de las pruebas de fermentación se hicieron ajustes en la infraestructura adaptando un tanque de 20 l para cada tratamiento. Para las demás etapas del proceso, se utilizaron tolvas, tanques de lavado, despulpadora, marquesina, entre otros, sin requerir modificaciones.

Se analizó el seguimiento de las variables fisicoquímicas pH, acidez y T de los tratamientos, para las dos fermentaciones realizadas. Se evidenció que antes de iniciada la fermentación el pH de los tratamientos 3% y 9% NaCl, fue menor con respecto al tratamiento 0% NaCl, debido al alto contenido de acidez del mucílago, que al mezclarse con los respectivos tratamientos disminuyó el pH de las soluciones con NaCl. Por otra parte, gracias al calor de disociación de la sal, la temperatura interna de los tratamientos con NaCl fue menor con respecto al tratamiento sin sal.

Se realizó el recuento microbiológico de aerobios mesófilos, bacterias lácticas, mohos y levaduras para las fermentaciones. En los tratamientos sin NaCl se evidenció mayor actividad microbiana; la población aumentó proporcionalmente con el tiempo. Los mohos y levaduras del tratamiento 9% NaCl se adaptaron y evolucionaron mejor con respecto a las demás poblaciones

en medio salino. Por el contrario, las bacterias lácticas estuvieron inhibidas durante la fermentación, a pesar de tener la habilidad de desarrollarse en concentraciones de sal hasta 10%.

En las fermentaciones realizadas, las tazas con mayor puntaje en el perfil sensorial fueron las de los tratamientos de 9% NaCl (84,50-83,00), seguido de las tazas de los tratamientos de 0% NaCl (84,25-82,75), y finalmente, las del tratamiento 3% NaCl (82,25-81,50). Sin embargo, los puntajes obtenidos entre las respectivas fermentaciones no permiten concluir sobre el impacto del tratamiento para el proceso productivo.

6. Recomendaciones

Aumentar el tiempo de la fermentación, con el fin de analizar el comportamiento de las bacterias lácticas luego de las 12 h, llevando el control del pH para que no ocurra sobrefermentación.

Realizar más fermentaciones con las mismas concentraciones y granos sin seleccionar, para corroborar si la sal inhibe microorganismos que ocasionan defectos. Se recomienda seguir realizando una caracterización microbiana, para identificar los microorganismos presentes.

Referencias

A.O.A.C. (1984). Official Methods of Analysis. *E.U.A, 14a Ed.*

Ácidos, bases, pH y soluciones amortiguadoras. (n.d.). Khan Academy.
<https://es.khanacademy.org/science/biology/water-acids-and-bases/acids-bases-and-ph/a/acids-bases-ph-and-buffers>

Análisis de mesofílicos aerobios. (n.d.). Microlab Industrial.
<https://www.microlabindustrial.com/parametros/patogenos/415/mesofilicos-aerobios>

ANÓNIMO. (n.d.). La cata de café. *Fórum Café*, 6–15.
https://www.forumdelcafe.com/sites/default/files/biblioteca/f-35_la_cata_de_cafe.pdf

Arcos, C. (2017). *Efecto de la fermentación aerobia del grano de café orgánico, en el desarrollo de características sensoriales de la bebida en el Municipio de Pitalito*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

Bisson, L. (n.d.). Fermentaciones ralentizadas o detenidas. *Department of Viticulture and Enology, University of California*.

Bonilla, M. (2017). *Cómo combinar sabores para equilibrarlos y potenciarlos*. El Español.
https://www.elespanol.com/cocinillas/reportajes-gastronomicos/20170619/combinar-sabores-equilibrarlos-potenciarlos/224978722_0.html

Bordons, A., & Reguant, C. (n.d.). Bioquímica de las bacterias lácticas del vino y la fermentación maloláctica. *Bioquímica Del Vino*.
<https://www.sebbm.es/revista/articulo.php?id=214&url=bioquimica-de-las-bacterias-lacticas-del-vino-y-la-fermentacion-malolactica>

- Boyd, C. (2018). *Cambio constante de pH inevitable, completamente normal*. Global Aquaculture Advocate.
- Calderón, T. (2021). *Cómo los microorganismos afectan la fermentación y el perfil sensorial del café*. PDG Español. <https://perfectdailygrind.com/es/2021/02/03/como-los-microorganismos-afectan-la-fermentacion-y-el-perfil-sensorial-del-cafe/>
- Calderón Vargas, J. F. (2017). *Ajuste de un modelo o cinético para el crecimiento de Lactobacillus acidophilus en la fermentación de un sustrato complejo* [Fundación Universidad de América]. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6598/1/6121940-2017-2-IQ.pdf>
- Carbajal, Á., & González, M. (n.d.). Propiedades y funciones biológicas del agua. In *Agua para la salud*. Capítulo 3 (pp. 63–76).
- Cárdenaz, Juan Pablo. Pardo, J. D. (2014). *Caracterización de las etapas de fermentación y secado del café la primavera* (Vol. 7).
- Carmona, H. (2017). *El sabor dulce y salado del vino*. Diario de Cuyo. <https://www.diariodecuyo.com.ar/politica/El-sabor-dulce-y-salado-del-vino-20170108-0058.html>
- Cedrón, J., & Landa, V. (2011). *Hidrólisis de sales*. Pontificia Universidad Católica de Perú- Unidad 3.
- Chang, R. (n.d.). Termoquímica. In *Química. Novena edición* (p. 252).
- Córdoba, N., & Guerrero, J. (2016). Caracterización de los procesos tradicionales de fermentación de café en el departamento de Nariño. *Bioteología En El Sector Agropecuario y Agroindustria*, 14(2).

Cucuñame Balcazar, J. O., & Ossenblok, K. (2020). *Fermentación en el café*.

Duicela, L., Velásquez, S., & Farfán Talledo, D. S. (2017). Calidad organoléptica de cafés Arábigos en relación a las variedades y altitudes de las zonas de cultivo, Ecuador. *Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 18(1), 66–77.

Escobar, L. F., Rojas, C. A., Giraldo, G., & Padilla, L. (2010). Evaluación del crecimiento de *Lactobacillus casei* y producción de ácido láctico usando como sustrato el suero de leche vacuno. *Revista Investigación Universidad Del Quindío*, 20, 42–49.

Ficha técnica Cloruro de sodio. (n.d.). *Ministerio de Sanidad, Política Social e Igualdad*, 1–5.

García, J., & Elizarraraz, M. (2019). Caracterización colorimétrica y propiedades fisicoquímicas en bebidas a base de café soluble. *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 4, 907–913.

Gómez, S. (2019). *Fermentación del café: El secreto de la calidad en taza*. QueCafe.Info. <https://quecafe.info/fermentacion-del-cafe-calidad-en-taza/>

González, J. C., & Peña, A. (2002). Estrategias de adaptación de microorganismos halófilos y *Debaryomyces hansenii* (Levadura halófila). *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 44(3–4), 137–156. https://www.medigraphic.com/pdfs/lamicro/mi-2002/mi02-3_4g.pdf

Hoja de datos de seguridad Yoduro de Potasio. (n.d.). *CTR SCIENTIFIC*. <http://www3.uacj.mx/IIT/CICTA/Documents/Quimicos/Yoduro de Potasio.pdf>

LALLEMAND. (n.d.). Paradas de fermentación-Causas y remedios. *The Wine Expert*.

Lonvaud, A. (2002). Bacterias lácticas y fermentación maloláctica (FML). *Wine Internet Technical Journal*, 5. <https://www.infowine.com/intranet/libretti/libretto825-01-1.pdf>

- López, N. (2014). El gusto por el sabor salado. *Perspectivas En Nutrición Humana. Universidad de Antioquia*, 16(11), 99–109.
- Marín-López, S. M., Arcila-Pulgarín, J., Montoya-Restrepo, E. C., & Oliveros-Tascón., C. E. (2003). Escala de maduración para los frutos del cafeto *Coffea arabica* L. *Avances Técnicos Cenicafé*, 315, 1–8.
https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/consultaPDF/YXZ0MDMxNS5wZGY=
- Microbiología General y de los Alimentos. (n.d.). *Crecimiento microbiano*. <http://aulavirtual-exactas.dyndns.org/claroline/backends/download.php?url=L1Rlb3JpYXMvVGvtYV82Ll9DcmVjaW1pZW50b19NaWNyb2JpYW5vL0NyZW5pbWllbnRvX2NlbHV5YXJfMjAxNi5wZGY%3D&cidReset=true&cidReq=MICROALIMENT>
- Ministerio de Salud Pública de República Dominicana. (2011). Guía de Procedimientos para la Limpieza y Desinfección en Unidades de Rehidratación. *Series Guías y Protocolos Del Ministerio de Salud Pública*, 2, 1–22.
- Montaño, A., Castro, A., & Rejano, L. (1992). Transformaciones bioquímicas durante la fermentación de productos vegetales. *Consejo Superior de Investigaciones Científicas*, 43(6).
- Montilla, J., Arcila, J., Puerta, G. I., & Oliveros, C. (2008). Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio. *Avances Técnicos Cenicafé No. 370*.
- Monzón, M. (2014). *Cloruro de sodio y estandarización de sales, calidad y centrifugación*. Universidad Nacional de San Agustín.
- Mora, N., & García, A. (2007). *Susceptibilidad de bacterias ácido lácticas (BAL) frente a diversos*

antibióticos. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Morais, S., Noguera, P., Tortajada, L., & Atienza, J. (n.d.). Propiedades ácido-base de las sales. *Universidad Politécnica de Valencia*.

Otero, A. (2010). Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) en relación al efecto de la reducción de la sal en la seguridad microbiológica de los productos cárnicos curados. *Revista Del Comité Científico N° 13*.

Passalacqua, N., Cabrera, J., & RENALOA. (2014). *Análisis microbiológico de los alimentos-V.3*. http://www.anmat.gov.ar/renaloa/docs/Analisis_microbiologico_de_los_alimentos_Vol_III.pdf

Peñuela Martínez, A. E., Pabón Usaquén, J. P., & Oliveros Tascón, C. E. (2011). ENZIMAS: una alternativa para remover rápida y eficazmente el mucílago del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 406(0).

Peñuela Martínez, A. E., Pabón Usaquén, J. P., & Sanz Uribe, J. R. (2013). MÉTODO FERMAESTRO: Para determinar la finalización de la Fermentación del mucílago de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 431(0).

PINTXO. (2013). *El sabor dulce del vino*. Nuevamujer. <https://www.nuevamujer.com/lifestyle/2013/03/27/el-sabor-dulce-del-vino.html>

Pivaral, R., & Cruz, J. (2018). *Evaluación del efecto de Saccharomyces cerevisiae sobre la caracterización sensorial del café en dos sistemas de fermentación*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras.

Propiedades del agua. (n.d.). Biología-Geología.Com. <https://biologia->

geologia.com/BG1/53_propiedades_del_agua.html

Puerta, G. I. (2015). Buenas prácticas para la prevención de los defectos de la calidad del café: fermento, reposado, fenólico y mohoso. *Avances Técnicos Cenicafé No. 461*.

Puerta, G. I., Marín, J., & Osorio, G. (2012). Microbiología de la fermentación del mucílago de café según su madurez y selección. *Cenicafé*.

Puerta Quintero, G. I. (2010). Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café. *Avances Técnicos Cenicafé, 402(0)*, 1–11.

Puerta Quintero, G. I. (2012). Factores, Procesos Y Controles En La Fermentación Del Café. *Avances Técnicos Cenicafé No. 422*, 1–12.
<https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0461.pdf>

Puerta Quintero, G. I., & Echeverry Molina, J. G. (2015). Fermentación controlada del café: Tecnología para agregar valor a la calidad. *Avances Técnicos Cenicafé, 454(0)*.

Reyes, T. (2012). Biodiversidad bacteriana marina: nuevos taxones cultivables. *Repositori de Contingut Lliure*, 1–253. <http://roderic.uv.es/handle/10550/23964>

Roa, M., & Álvarez, G. (n.d.). Secado del Café. In *Ingeniería agrícola. Cenicafé* (pp. 147–188).

Sánchez, I. G., & Olivares, S. V. (2019). Efecto de la adición de levadura (*Saccharomyces cerevisiae* sp) en el proceso de fermentación de café (*Coffeiera arabica*). *Revista de Investigación Agroproducción Sustentable*, 3(1), 28–36.
<https://doi.org/10.25127/aps.20191.480>

Sánchez, R. (n.d.). *Capacidad de calor específico*. Academia de Física.
<https://rsanchez270.files.wordpress.com/2014/08/tema-3-cantidad-de-calor.pdf>

SCA. (2015). SCAA Protocols Cupping Specialty Coffee. *Specialty Coffee Association of America*, 1–10. <http://www.scaa.org/?page=resources&d=coffee-protocols>.

SensorPush. (n.d.). *Sensores inteligentes*. <https://www.sensorpush.com/>

Servicio de extensión. Comité de Cafeteros de Caldas. (n.d.). *Calidad del Café*.

Soria, I. M. (2004). Los microorganismos halófilos y su potencial aplicado en biotecnología. *Ciencia e Investigación*, 7(2), 13–17.

Sossa, D. P., Gonzáles, L. M., & Vanegas, C. (2009). Aislamiento e identificación de *Lactobacillus* contaminantes en una planta colombiana de fermentación alcohólica. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 12(2).
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262009000200017

Soto Hernandez, M. (2018). *Reino Fungi*.

Universidad Nacional del Litoral. (n.d.). *Taxonomía de las bacterias ácido lácticas*. Biblioteca Virtual.

<https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/15/Introduccion.pdf?sequence=6&isAllowed=y#:~:text=Bacterias del Ácido Láctico&text=Revisiones taxonómicas recientes sugieren que,Streptococcus%2C Tetragenococcus%2C y Vagococcus>.

Valcarce, A. (2014). Principio de Arquímedes, Ecuaciones de Continuidad y Bernoulli. *Pontificia Universidad Católica de Chile*.
https://www.astro.puc.cl/~avalcarc/FIS109C/17_CuerposFlotantes.pdf

Valdez Gastélum, K. K. (2014). *Estudio de la reducción de compuestos orgánicos en agua residual salina mediante microorganismos halotolerantes*. CENTRO DE INVESTIGACION

Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN ELECTROQUÍMICA, S.C.

Valencia, J., Pinzón, M., & Gutiérrez, R. (2015). Caracterización fisicoquímica y sensorial de tazas de café producidas en el departamento del Quindío. *Alimentos Hoy. Revista de La Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*.

Viñas, I., & Usalli, J. (1998). *Optimización de la producción del agente de biocontrol Candida sake (CPA-1)*.

Vital, P., & Larralde, C. (2016). Respuestas metabólicas al estrés de levaduras de importancia industrial. *Investigación y Ciencia de La Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 88.

Yara Colombia. (n.d.). *Características del Café*. Nuestro Café.

Apéndices

Apéndice A. Protocolo de la SCA (Specialty Coffee Association).

Para evaluar la calidad sensorial del café se hace por medio de cataciones, que evalúa los sabores y aromas. Las cataciones se realizan siguiendo los protocolos de la SCA (SCA, 2015) partiendo del café en estado pergamino y teniendo en cuenta lo siguiente:

- El café debe ser catado entre las 8 y 24 h después de haber sido tostado. El proceso de tueste, se debe realizar entre 8 a 12 min.
- Posteriormente la muestra debe ser pesada con los granos enteros. Se recomienda una dosis de 8,25 g por 150 ml de agua.
- Después, se muele por no más de 15 min antes de realizarse la infusión.
- El agua requerida para hacer el vertimiento en la tasa debe estar limpia y tener una temperatura ~93 °C, con un tiempo de infusión entre 3 a 5 min antes de romper la costra que se forma en la parte superficial de la taza.

Luego se procede a ser catada la muestra por el profesional autorizado, evaluando los siguientes atributos: Fragancia/Aroma, Sabor, Acidez, Cuerpo, Equilibrio, Uniformidad, Limpieza, Conjunto, Dulzor y Defectos, estos atributos tienen ciertos puntajes para que al momento de comparar las muestras se facilite el resultado, siendo 10 el mayor puntaje. La puntuación final se calcula sumando las puntuaciones individuales correspondiente a cada atributo anteriormente mencionado y el perfil de taza con el mayor puntaje es el mejor. En la Tabla 5 se muestra la clasificación del perfil de taza con respecto al puntaje obtenido.

Tabla 5.

Clasificación del perfil de taza según el puntaje obtenido en el análisis sensorial.

90-100	Excepcional	Cafés Especiales
85-89,99	Excelente	
80-84,99	Muy Buena	
< 80,00	Por debajo de la calidad especial	Cafés no Especiales

Apéndice B. Método horizontal para el recuento de Microorganismos.

Con el fin de realizar el recuento de los microorganismos aerobios mesófilos, se realizó el método de análisis ISO 4833, según la NTC 4519. Consiste en realizar primero la preparación de la muestra; por cada g de muestra se adiciona 9 ml del diluyente. Luego, se procede a realizar la inoculación, para esto, se transfiere doble 1 ml de las diluciones preparadas en las placas de Petri. Posteriormente, se mezcla entre 12 a 15 ml del agar PCA y se incuba a 30 °C, por 72 h. Finalmente, se hace el conteo de las colonias observadas en cada placa y se calcula el número de unidades formadoras de colonias presentes en 1 ml de muestra (Passalacqua et al., 2014).

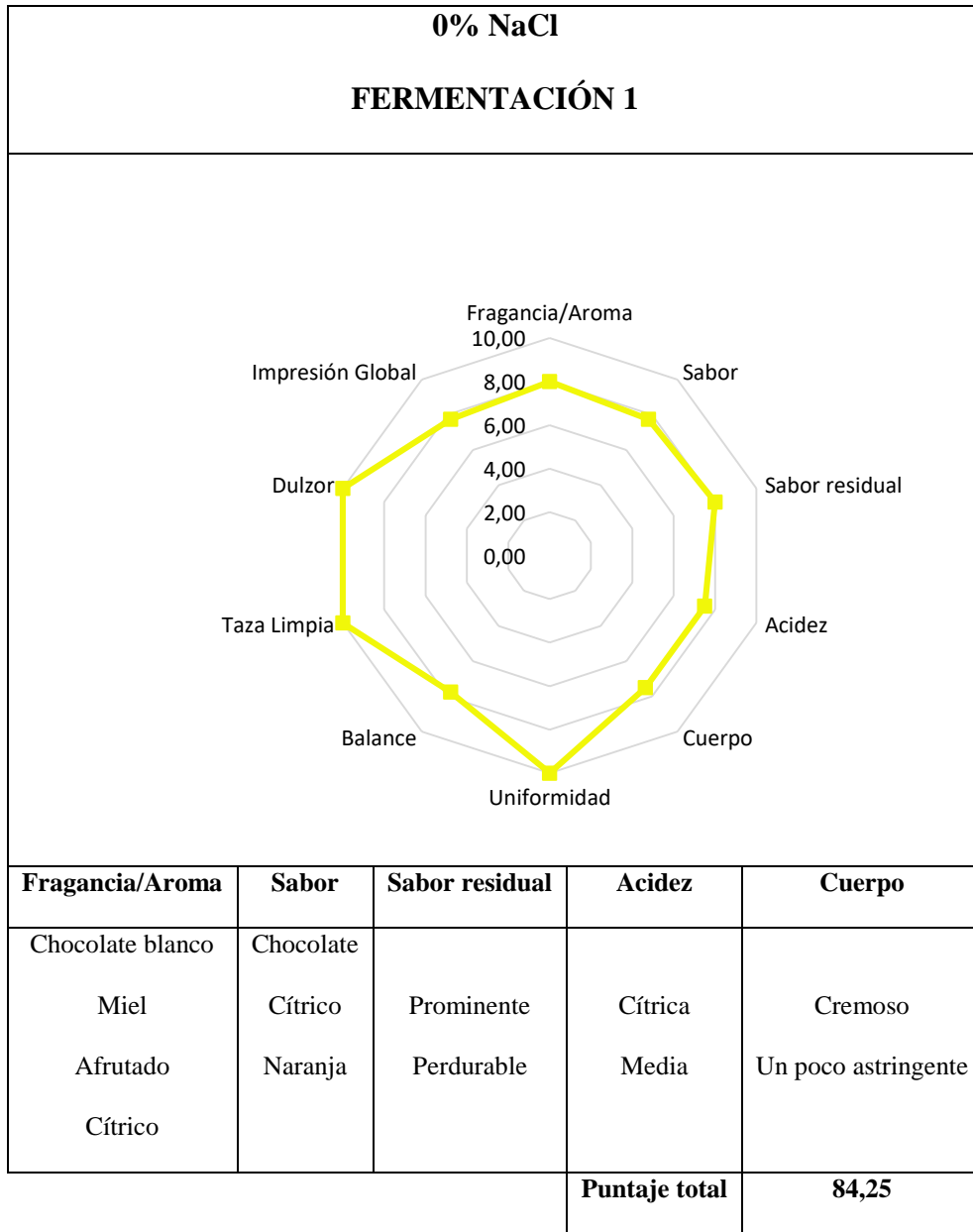
Apéndice C. Método horizontal para la enumeración de mohos y levaduras.

Para este recuento, se siguió el procedimiento según International Standard Organization, ISO 21527. Primero se prepara la muestra, por cada g de muestra se agrega 1 ml de diluyente y se realiza una homogenización entre 1 a 3 min. Adicionalmente, se preparan las diluciones decimales; en 1 ml de la suspensión inicial, se agrega 9 ml del diluyente. Después, se siembra una placa por dilución con 0,1 ml de suspensión inicial y 0,1 de dilución decimal en placas de Petri con agar DG18, posteriormente se incuba a 25 °C, por 5 a 7 días (Passalacqua et al., 2014) .

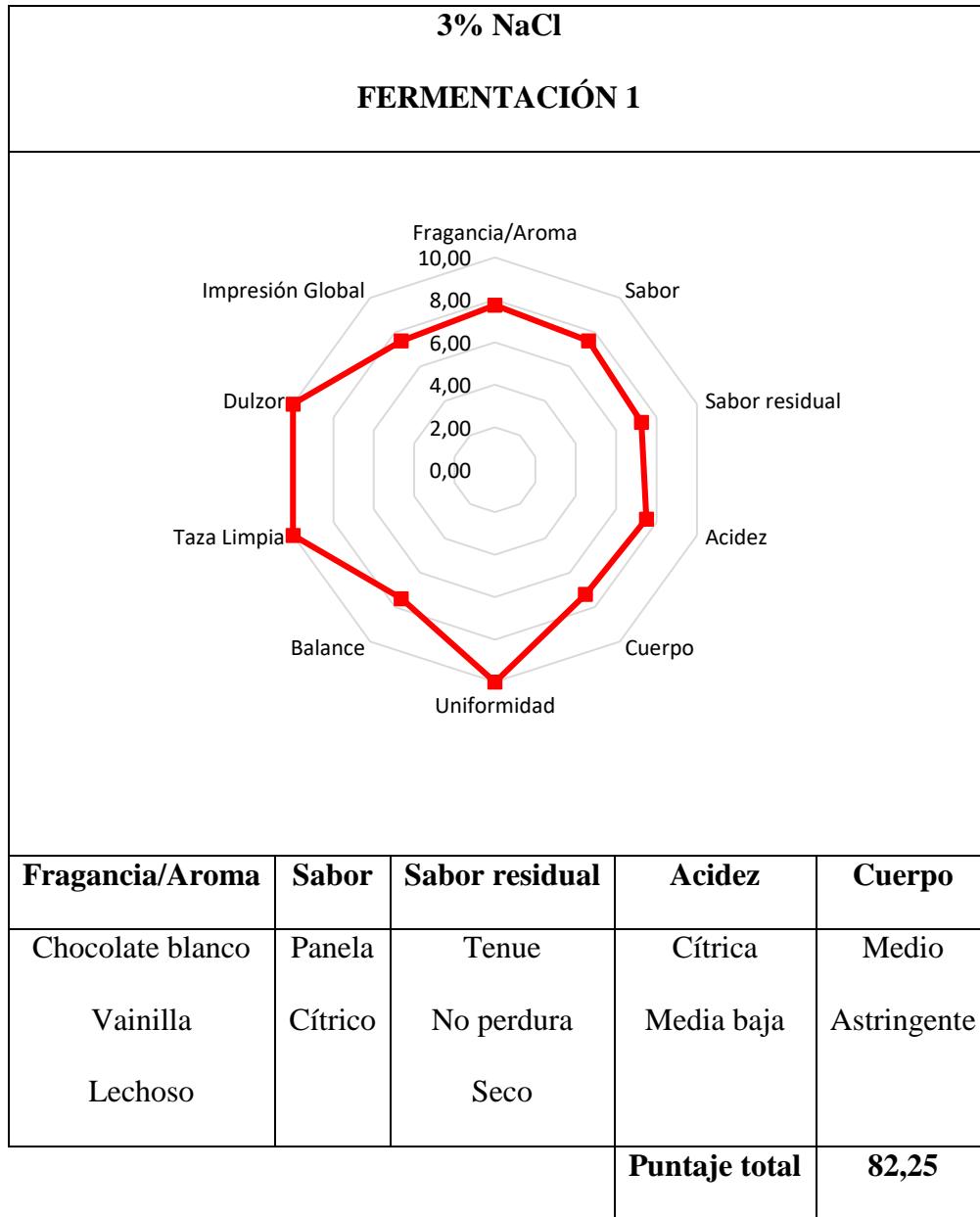
Apéndice D. Método horizontal para el recuento de bacterias lácticas.

El recuento de las bacterias lácticas, se realizó según la NTC 5034, procedimiento realizado por el laboratorio microbiología Bialab S.A.S, al igual que los demás recuentos microbiológicos.

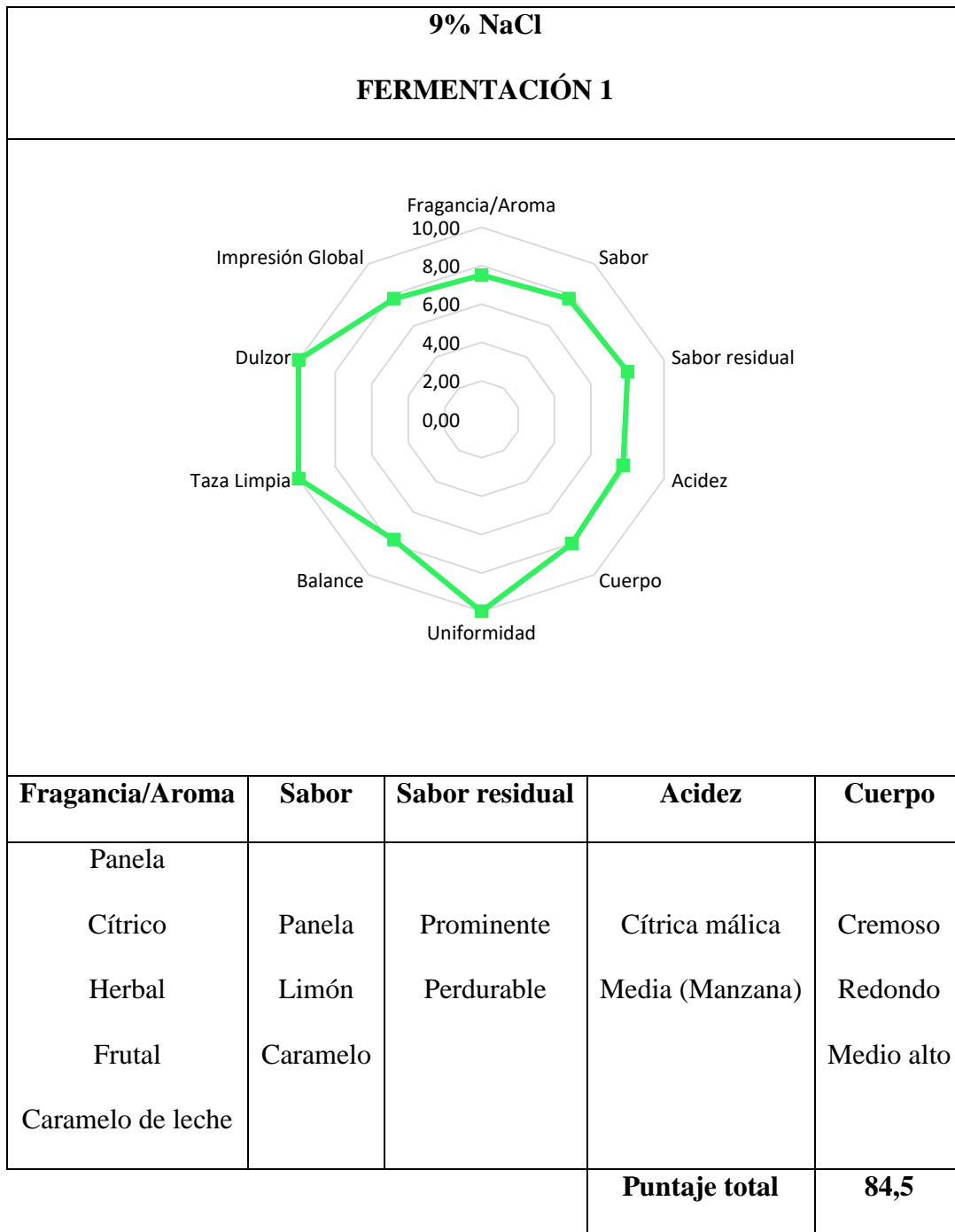
Apéndice E. Análisis sensorial de la primera fermentación para tratamiento 0% NaCl.



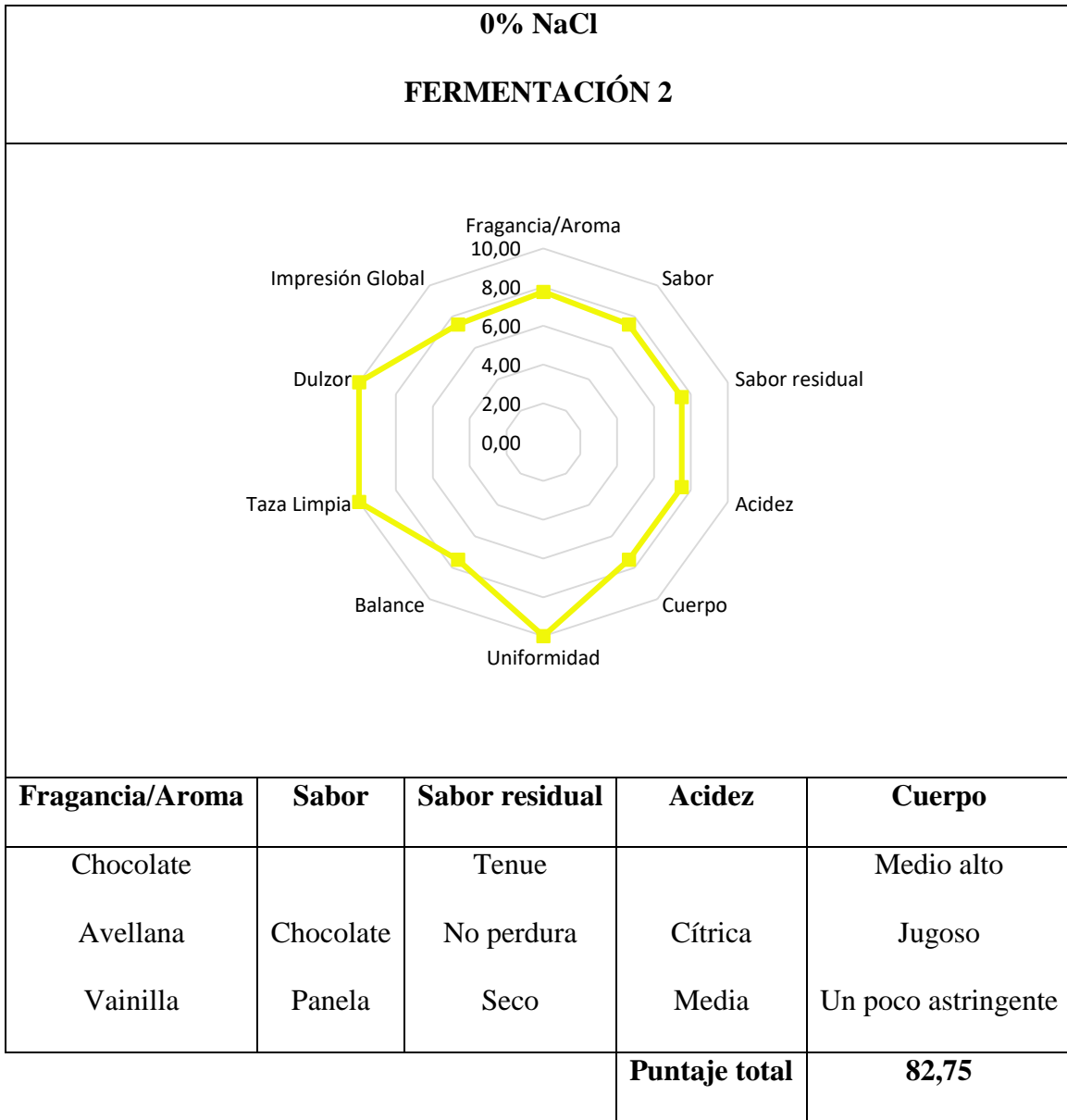
Apéndice F. Análisis sensorial de la primera fermentación para tratamiento 3% NaCl.



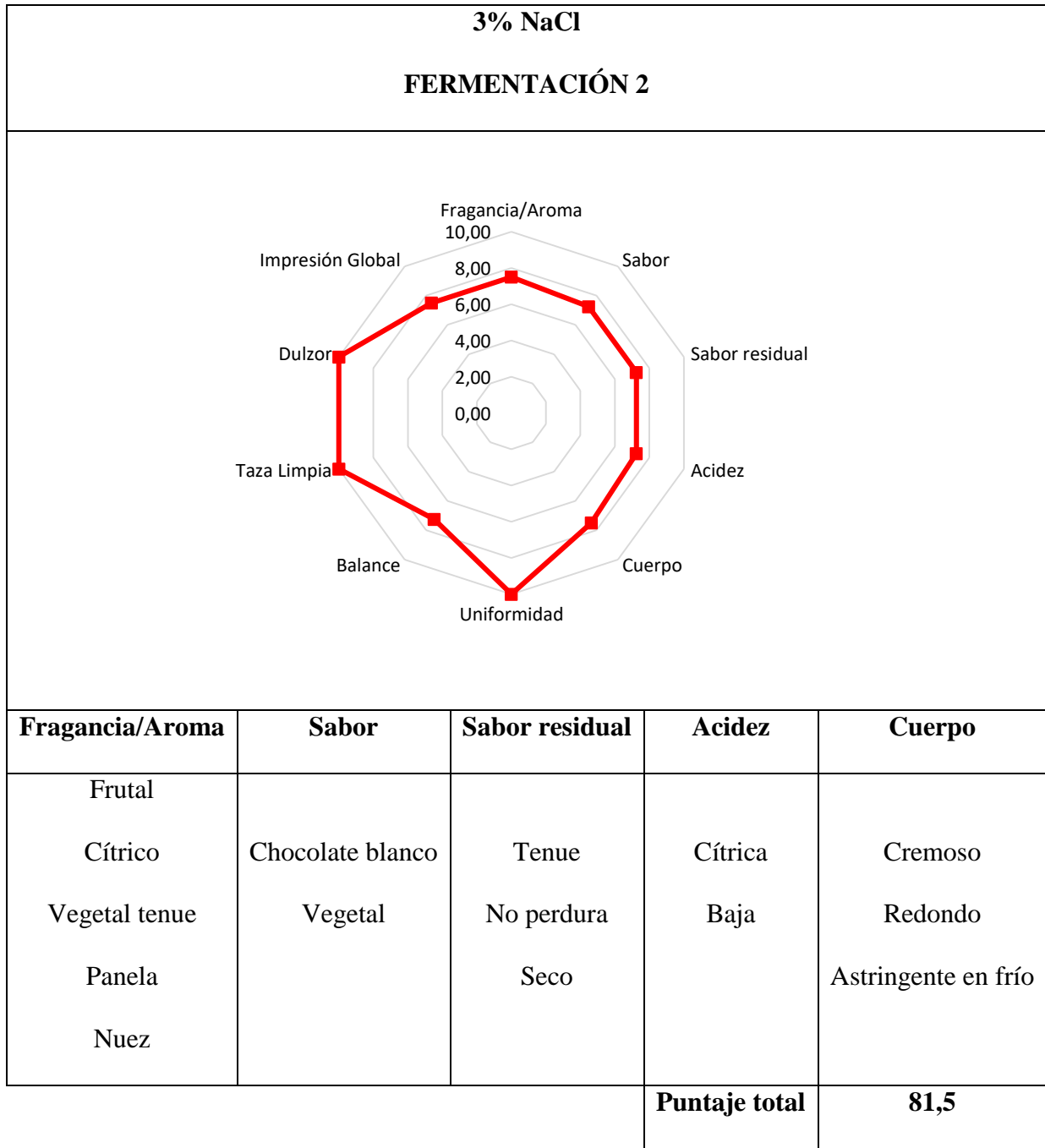
Apéndice G. Análisis sensorial de la primera fermentación para tratamiento 9% NaCl.



Apéndice H. Análisis sensorial de la segunda fermentación para tratamiento 0% NaCl.



Apéndice I. Análisis sensorial de la segunda fermentación para tratamiento 3% NaCl.



Apéndice J. Análisis sensorial de la segunda fermentación para tratamiento 9% NaCl.

