

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, LEÓN

Área de Conocimiento de Ciencias y Tecnología

Área Específica de Química

Licenciatura en Química



“Estudio exploratorio de la aplicabilidad de un método potenciométrico para la determinación de acidez titulable en café molido nicaragüense”

Trabajo monográfico para optar al título de Licenciado en Química

Autores:

- ✓ Br. Elizabeth Junieth Romero Jiménez.
- ✓ Br. Nicolás de Jesús Bárcenas Zavala.

Tutora: Dra. María Ernestina Soto Sarria

León, 6 de Noviembre de 2025

2025: 46/19 Siempre más allá! Avanzamos en la Revolución!

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, LEÓN

Área de Conocimiento de Ciencias y Tecnología

Área Específica de Química

Licenciatura en Química



“Estudio exploratorio de la aplicabilidad de un método potenciométrico para la determinación de acidez titulable en café molido nicaragüense”

Trabajo monográfico para optar al título de Licenciado en Química

Autores:

- ✓ Br. Elizabeth Junieth Romero Jiménez.
- ✓ Br. Nicolás de Jesús Bárcenas Zavala.

Tutora: Dra. María Ernestina Soto

León, 6 de Noviembre de 2025

2025: 46/19 Siempre más allá! Avanzamos en la Revolución!

RESUMEN

Este estudio exploratorio evaluó la aplicabilidad de un método potenciométrico para determinar la acidez titulable en café molido de especialidad (arábica) procedente del departamento de Jinotega, Nicaragua. Se verificó la repetibilidad del método NTC 5247, realizando determinaciones por quintuplicado en tres días alternos. El método demostró alta repetibilidad, con coeficientes de variación (CV) inferiores al 2% y sin diferencias significativas (p -valor = 0.78) en el análisis de varianza (ANOVA) entre los días de ensayo, confirmando su robustez.

Se compararon dos protocolos de extracción de ácidos orgánicos: el método estandarizado NTC 5247 y el protocolo de la Specialty Coffee Association (SCA), evaluando además el efecto del tipo de agua (destilada vs. purificada). El ANOVA reveló que el tipo de agua influye significativamente (p -valor < 0.05), obteniéndose valores de acidez más altos y consistentes con agua destilada. La comparación directa entre métodos utilizando agua destilada mostró una diferencia significativa (p -valor = 0.021), siendo el método NTC 5247 más sensible, con un promedio de 51.16 mg EAC/g frente a 48.27 mg EAC/g del protocolo SCA en la muestra Caturra.

La aplicación del método NTC 5247 con agua destilada a siete muestras de café de especialidad (arábica) permitió identificar asociaciones preliminares entre la acidez titulable y factores como la variedad, el proceso de beneficio y el grado de tueste. Los resultados sugieren que la variedad Caturra y el proceso anaeróbico favorecen una mayor acidez, mientras que el tueste medio parece optimizar su expresión en comparación con tuestes claros u oscuros.

Se concluye que el método NTC 5247 es aplicable y confiable para la determinación de acidez titulable en café molido nicaragüense, recomendándose su uso con agua destilada. Para futuras investigaciones se sugiere incrementar el número de réplicas y muestras, evaluar la reproducibilidad del método e incorporar técnicas cromatográficas para identificar ácidos orgánicos individuales y correlacionarlos con el perfil sensorial.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, damos gracias a Dios, por ser nuestra guía constante, por darnos la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesaria para llegar a este momento tan significativo en nuestras vidas

A nuestros padres, por su amor incondicional, su apoyo incansable y económico, su fe en nosotros, incluso en los momentos en que dudábamos de nuestras capacidades. A nuestras familias, por estar siempre presente, animándonos, comprendiéndonos y celebrando cada logro porque también es de ellos.

A nuestra tutora de tesis, por su invaluable orientación académica, su paciencia, sus consejos y por habernos transmitido no solo conocimientos, sino también pasión por la ciencia y el compromiso con la excelencia.

Agradecemos profundamente a las personas que, de manera desinteresada y con generosidad, nos proporcionaron las muestras analizadas en este trabajo. Su contribución fue esencial para el desarrollo de esta investigación, y aunque han preferido permanecer en el anonimato, su apoyo no pasa desapercibido ni será olvidado por nosotros.

A todos aquellos que, de una u otra forma, estuvieron presentes en este camino: amigos, compañeros, mentores y seres queridos... gracias por ser parte de esta historia.

DEDICATORIA

Dedicamos este logro académico resultado de perseverancia, estudio y compromiso a Dios, fuente de toda sabiduría y luz en los momentos de incertidumbre, por habernos concedido la claridad, la salud y la esperanza para culminar este camino.

A nuestros padres, cuyo amor, sacrificio y ejemplo han sido el cimiento de nuestras vidas y de cada decisión que nos ha traído hasta aquí; su apoyo incondicional y su fe en nosotros han sido el motor silencioso de este esfuerzo.

A nuestra querida tutora de tesis, por su dedicación, comprensión, orientación rigurosa y genuino interés en nuestro crecimiento profesional y humano; este trabajo no habría sido posible sin su invaluable guía.

Y de manera muy especial, a Kevin Romero y Danilo Lanuza, cuya presencia, consejos, apoyo incondicional y ánimo en los momentos más retadores marcaron la diferencia; ustedes fueron parte esencial de este camino, y este logro también les pertenece.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS.....	3
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos.....	3
III. MARCO TEÓRICO	4
III.1. Generalidades del café	4
III.1.1. Definición del café	4
III.2. Clasificación del café	5
III.3. Factores que influyen en la calidad del café	6
III.3.1. Aspectos de la Agricultura que intervienen en la calidad del café	6
III.3.2. Tueste del café	8
III.3.3 Molienda de los granos de café	10
III.4. Cata del café	11
III.5. Química del café	12
III.5.1. Cafeína	12
III.5.3. Ácidos Orgánicos	13

III.6. Química del sistema de infusión agua – café	15
III.7. Acidez Titulable	16
III.8. Método Potenciométrico	17
III.9. ANOVA	18
IV. DISEÑO METODOLÓGICO.....	19
IV.1. Estandarización del hidróxido de sodio (NaOH).....	19
IV.2. Verificación de la aplicabilidad del método NTC 5247	20
IV.2.1. Proceso de extracción de los ácidos orgánicos	20
IV.2.2. Determinación de acidez titulable en las muestras de café molido mediante el método potenciométrico NTC 5247	20
IV.2.3. Criterios de aceptación para la repetibilidad del método	21
IV.3. Condiciones de los procesos de extracción de ácidos para los métodos NTC 5247 y SCA.....	21
IV.4. Determinación de acidez titulable en muestras de café de especialidad	23
IV.5. Cristalería y materiales	23
IV.6. Reactivos	23
IV.7. Equipos	24

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN25

VI. CONCLUSIÓN36

VII. RECOMENDACIONES37

VIII. REFERENCIAS38

IX. ANEXOS43

I. INTRODUCCIÓN

El café es una de las bebidas más consumidas a nivel mundial y constituye un pilar fundamental en la economía de numerosos países productores, entre ellos Nicaragua, cuya tradición cafetalera se remonta a más de un siglo (Escobedo, et al. 2017). En este contexto, la calidad del café no solo determina su valor comercial, sino también su aceptación en mercados especializados, donde factores sensoriales como el aroma, el cuerpo y, en particular, la acidez, juegan un rol decisivo (Viana, et al. 2024). La acidez en el café percibida como frescura, viveza o brillo en taza, está estrechamente relacionada con la presencia de ácidos orgánicos como el cítrico, málico, acético y clorogénico, cuyas concentraciones varían según la variedad del grano, las condiciones edafoclimáticas, el proceso y el grado de tueste (Oestreich, 2019; Silva et al., 2024).

En la industria cafetera, la acidez titulable se ha consolidado como un parámetro químico clave para cuantificar objetivamente esta característica sensorial. A diferencia del pH, que mide la concentración de iones hidronio en solución, la acidez titulable refleja la capacidad total de los ácidos presentes en el café para reaccionar con una base fuerte, que se expresa como equivalente de ácido clorogénico, generalmente hidróxido de sodio (NaOH), hasta alcanzar un punto final de neutralización (típicamente pH 6.5) (Hasini, 2024; NTC 5247, 2004). Este análisis se realiza comúnmente mediante titulación potenciométrica, técnica reconocida por su precisión en matrices complejas como la bebida de café (Skoog, et al. 2014).

Por otro lado, el protocolo de extracción de la Asociación de Café de Especialidad (SCA, por sus siglas en inglés), diseñado originalmente para el análisis sensorial, ha sido adaptado en diversos laboratorios para fines analíticos (Bernardes, 2025), pero su desempeño en términos de precisión y comparabilidad con métodos estandarizados requiere evaluación rigurosa en el contexto local.

Ante este panorama, surge la necesidad de realizar un estudio exploratorio que evalúe la aplicabilidad de estos procesos de extracción aplicando potenciometría en café de

especialidad nicaragüense, considerando variables críticas como el tipo de agua utilizada en la extracción, la repetibilidad de los resultados, a fin de establecer las condiciones de ensayo para evaluar la asociación de factores sobre la acidez del café molido (variedad, proceso y tueste). Este trabajo no solo busca valorar metodologías analíticas, sino también sentar las bases para una caracterización química más confiable en café nicaragüense, contribuyendo así a su diferenciación, valorización y posicionamiento en mercados nacionales e internacionales. (Escobedo et al., 2017; Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2020).

II. OBJETIVOS

Objetivo General.

Realizar el estudio exploratorio para la aplicabilidad de un método potenciométrico para la determinación de acidez titulable en café de especialidad (arábica) molido nicaragüense.

Objetivos Específicos.

- Verificar la aplicabilidad en términos de repetibilidad del método “NTC 5247 *Café tostado en grano o molido. Determinación de la acidez titulable*” en café de especialidad molido nicaragüense.
- Comparar estadísticamente los resultados de acidez titulable expresada como equivalente de ácido clorogénico (EAC), en muestras de café molido aplicando el protocolo de extracción de método NTC 5247 y de cata de SCA.
- Determinar la acidez titulable del café de especialidad molido procedente del departamento de Jinotega.

III. MARCO TEÓRICO

III.1. Generalidades del café

III.1.1. Definición del café

El café es una semilla proveniente del arbusto de cafeto, el cual es originario de la planta familiar de las Rubiáceas del género *coffea*. Entre las principales especies de cafeto cultivadas con finalidades comerciales se encuentran: *coffea canephora* (Robusta) y *coffea arábica*. Ambas especies abarcan el 95% de la producción de café a nivel mundial.

Por lo general, la formación del café dura entre 32 a 44 semanas una vez se dé la aparición de la flor, en el que se percibe un cambio en la tonalidad de la cereza (fruto maduro) desde el color verde claro hasta un rojo oscuro o amarillo, como se indica en la Figura 1, siendo este un indicador de su maduración para continuar con su recolección (Cárdenas y Pardo, 2014).

DDA	Muestreo	Fruto	Color medio
182			
189			
196			
203			
210			
217			
224			
231			
238			

Figura 1.

Estados de desarrollo y maduración del fruto de café

Fuente: Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín

Nota. Adoptado de “Colorimetría del fruto de café (*Coffea arabica* L.) durante su desarrollo y maduración”

[Imagen], por I. Darío, 2011

III.2. Clasificación del café

El café se clasifica principalmente en cuatro especies: *Coffea arabica*, *Coffea canephora*, *Coffea excelsa* y *Coffea liberica*, siendo *C. arabica* y *C. canephora* (también conocida como Robusta) las especies de mayor relevancia comercial (Cárdenas y Pardo, 2014). Estas dos especies difieren significativamente en sus características agronómicas, composición química y perfil sensorial, lo que determina su uso y valor en el mercado global.

Coffea arábica es la especie más cultivada en el mundo, representando aproximadamente el 70 % de la producción total, gracias a su aroma fino, sabor suave y acidez equilibrado. Requiere condiciones de cultivo específicas, como altitudes superiores a 700 msnm, y madura entre 6 y 8 meses. Desde el punto de vista bioquímico, posee 44 cromosomas, bajo contenido de cafeína (0.9 – 1.3 %), y altas proporciones de carbohidratos (50 - 60 %), lípidos (<2 %) y proteínas (10 - 15 %) (Cárdenas y Pardo, 2014).

Dentro de *C. arábica*, se distinguen dos categorías según el proceso: los arábigos suaves lavados y los arábigos no lavados. Los primeros, procesados por vía húmeda (despulpado, fermentación, lavado y secado), son altamente valorados en mercados especializados y predominan en países como Colombia, Kenia y Tanzania. Los segundos, procesados por vía seca sin uso de agua, son comunes en Brasil y Etiopía, y suelen tener perfiles más intensos y terrosos (Cárdenas y Pardo, 2014).

Por su parte, *Coffea canephora* madura más lentamente (9 - 11 meses), se cultiva en zonas de baja altitud y es resistente a plagas, lo que la hace más rústica. Posee 22 cromosomas, mayor contenido de cafeína (1.6 – 2.5 %) y sólidos solubles, lo que le confiere un sabor amargo, astringente y baja acidez, características que la hacen ideal para café instantáneo. Aunque puede procesarse por vía húmeda, su preferencia en el mercado es menor en comparación con *C. arábica* (Cárdenas y Pardo, 2014; Viana y Lorrane et al., 2024). En la Tabla 14 de anexos se presentan en detalle las variedades y subvariedades de la especie arábica.

III.3. Factores que influyen en la calidad del café

La calidad del café depende de una variedad de etapas, entre los cuales se encuentran procesos vinculados a la agricultura, procesamiento de tueste y molienda de los granos de café, además de la técnica de preparación de la bebida y la manera de consumirlo (Viana, Lorrane, et al. 2024).

III.3.1. Aspectos de la Agricultura que intervienen en la calidad del café

Los principales factores agrícolas responsables de la calidad del café están compuestos de la madurez de los granos, el método de cosecha, los períodos estacionales, altitud, el clima de la zona, el sistema de cultivo y la composición genética de los granos.

La ubicación geográfica de los cafetales tiene un papel fundamental en la calidad del café, ya que la altitud de los cafetales influye en otros factores importantes como la temperatura, humedad y exposición solar. Algunos estudios aseguran que a mayor altitud se obtiene café de mayor calidad, esto debido a mayores concentraciones de trigonelina y ácidos clorogénicos, presentes en el café. En cambio, ciertas investigaciones afirman que el cultivo a menores altitudes (aproximadamente 700 metros sobre el nivel del mar) con sombra en la mayor parte de la plantación puede favorecer la calidad del café, proporcionando una maduración uniforme en el grano.

Es necesario tomar en cuenta el clima de la región, debido a que las altas temperaturas y las precipitaciones irregulares pueden afectar la producción de café, promoviendo la propagación de plagas y enfermedades en los cafetales, interrumpiendo el proceso de floración y desarrollo del grano de café. El sistema de sombreado proporciona variaciones de temperatura más bajas durante el día y la noche, provocando la inhibición del crecimiento de malezas y la reducción de erosión del suelo. Además de contribuir a una mayor disponibilidad de nutrientes en el suelo (Viana, Lorrane, et al. 2024).

La cosecha del café es otro factor importante a tomar en cuenta para la calidad final, la cual debe realizarse cuando las cerezas del fruto se encuentren en el estado ideal de

madurez. Posteriormente a esta fase, los granos de café pueden procesarse de tres distintas maneras: seco, semiseco y húmedo (Viana, Lorrane, et al. 2024).

III.3.1.1. Proceso Seco o natural

Los frutos de café se clasifican según sus estados de maduración, y luego se colocan sobre plataformas de cemento durante un aproximadamente de 3 semanas, hasta lograr un 12% del contenido de humedad. Por tal razón a este tipo de proceso se le conoce como café “plataforma”.

Como resultado del procesamiento en seco, se pueden obtener cafés con sabores más complejos y afrutados, debido a un secado de los granos con piel y pulpas intactas. Sin embargo, la exposición ambiental y posibles riesgos de fermentación no deseada, pueden ocasionar una variedad en la calidad del café (Viana, Lorrane, et al. 2024).

III.3.1.2. Proceso Semiseco o despulpado natural

Los granos de café son separados del fruto a través de un proceso de despulpado, en donde se retira gran parte del mucílago mecánicamente. Según las condiciones climáticas, tales granos se secan al aire libre durante un período de 10 a 15 días, concluyendo el proceso cuando se alcanza un contenido de humedad entre 10 y 12% (Viana, Lorrane, et al. 2024).

III.3.1.3. Proceso Húmedo o lavado

Este procesamiento consiste en lavar los granos de café, y posteriormente se seleccionarán los granos flotantes, en el cual se despulparán o desmuscilarán las semillas del fruto.

El C. Arábica es una especie proveniente de climas subtropicales, por lo tanto, cuando iniciaron sus primeros cultivos en zonas con climas tropicales, se presentaron procesos fermentativos en los frutos de cereza, luego de finalizar su cosecha. Esto se debe a que el mesocarpio tiene alto contenido de azúcares, por tal razón fue necesario su eliminación

para evitar esta problemática de fermentación, ya que esta influye en la calidad del producto final.

El proceso húmedo aporta a la bebida un sabor más refinado y consistente debido al removimiento de la pulpa previamente a la fase de secado (Viana, Lorrane, et al. 2024).

III.3.1.4. Proceso anaeróbico

El proceso anaeróbico se refiere a la fermentación del café en un entorno sin oxígeno (anaeróbico). Durante este proceso, los azúcares presentes en el mucílago del grano de café son metabolizados por microorganismos como levaduras y bacterias, produciendo compuestos que influyen directamente en el sabor final del café (Elhalis, et al. 2023).

La fermentación anaeróbica del café se realiza en recipientes herméticos sin oxígeno, lo que favorece la actividad de microorganismos que producen perfiles sensoriales complejos, como notas frutales, florales o vinosas (Silva et al., 2022).

Tradicionalmente, el café se procesa mediante métodos como el lavado (húmedo), natural (seco) y/o semiseco, en el cual la fermentación en estos métodos suele ser aeróbica (con oxígeno) o parcialmente controlada. En cambio, el proceso anaeróbico permite un control más preciso del entorno de fermentación, llevando a cabo el control del oxígeno, la temperatura, el pH y el tiempo de fermentación, el cual permite a los productores manipular el perfil sensorial del café de manera más predecible (Vargas & Herrera, 2021).

III.3.2. Tueste del café

El proceso de tostado de los granos de café consta de una serie de etapas, en la que se transforman los granos de café verdes a granos tostados listos para su consecuente preparación en taza (Viana, Lorrane, et al. 2024).

Los granos de café son seleccionados, sanitizados y clasificados previamente de disponerlos a un proceso de secado, con el fin de reducir el contenido de humedad hasta

un 12% según el parámetro requerido, ya que esto ayuda a prevenir la formación de hongos, además de brindar un tostado uniforme. Posteriormente, los granos se colocan en el tostador a una temperatura determinada de 160 - 240°C y una variación de tiempo entre 8 a 25 minutos.

En el proceso de tostado ocurren ciertos cambios físicos y químicos en los granos de café, siendo un indicador del cambio de un grano verde a uno tostado, una primera grieta que ocurre en estos cuando el grano se expande, liberando vapor y dióxido de carbono, además de experimentar un ligero sonido de estallido y sucesivamente la expulsión de un humo tenue.

Durante el tueste ocurre la reacción de Maillard y otras reacciones de caramelización, en el cual sucede una interacción entre azúcares y aminoácidos que generan los característicos sabores y aromas en la bebida del café, desde esencias frutales u florales, hasta aromas de chocolate, nuez y caramelo.

Cuando el grano de café es tostado durante un mayor tiempo con la intención de obtener un tueste más oscuro, ocurre una segunda grieta en el grano, en el que sucede un estallido mucho más perceptible en comparación al de la primera grieta. Es importante destacar que un excesivo tueste en el grano podría provocar la degradación de los componentes primordiales en el café, entre estos: proteínas, polisacáridos, cafeína, trigonelina, ácidos clorogénicos, además de la formación del compuesto 5-hidroximetil furfural (5-HMF). La aparición del 5-HMF se da a través de la desnaturalización térmica de azúcares causada por la reacción de Maillard o caramelización. Dependiendo de los métodos poscosecha, como el proceso de tostado, el tiempo de tostado, las condiciones de almacenamiento e incluso otros factores como el tipo de café, determinarán las concentraciones (mg/g) de 5-HMF presentes en el grano de café.

Inicialmente en el proceso del tostado, los aminoácidos libres y azúcares reductores son rápidamente consumidos durante la reacción de Maillard, mientras que la sacarosa que

está presente en un 4 a 8% en el grano de café, experimenta una disminución conforme la temperatura del tueste supera los 160°C.

En el transcurso de las formaciones de grietas en el grano de café, ocurren reacciones de pirólisis producidas por la presión del agua y dióxido de carbono dentro del grano. Cuando se obtiene la segunda grieta en el tostado del grano, el aceite de café se desplaza hacia la superficie, generando una apariencia brillante. Generalmente, esto acontece cuando la temperatura alcanza los 200 - 240°C.

Las variaciones de temperatura durante el tueste influyen en la intensidad y velocidad de las reacciones químicas, en cambio el factor tiempo afecta la complejidad de sabor. La Figura 2 indica los distintos niveles de tueste en los granos de café (Viana, Lorrane, et al. 2024).



Figura 2.

Niveles de tueste en el café: Ligero (A); Medio (B); Oscuro (C)

Fuente: Federal University of Viçosa, Viçosa – Brazil

Nota. Adoptado de “Coffee: A comprehensive overview of origin, market, and the quality process” [Imagen], por V. Viana, L. Lorrane, et al. 2024

III.3.3 Molienda de los granos de café

Del tamaño de las partículas molidas depende la facilidad con la que los compuestos solubles de interés son extraídos, tales como aceites esenciales, azúcares y ácidos.

Los molidos con mayor grosor son aptos para una extracción lenta, produciendo bebidas con menor acidez, mientras que los molidos medios requieren del método de goteo. En cambio, las partículas finas son ideales para utilizar métodos de extracción rápida. La consistencia en la uniformidad de molienda es crucial para una adecuada extracción. Es importante mencionar, que cuando las partículas son muy grandes pueden ocasionar una

extracción insuficiente, mientras que las partículas demasiado pequeñas pueden causar una extracción excesiva, produciendo sabores amargos e insatisfactorios (Viana, Lorrane, et al. 2024).

Cada método de preparación requiere un grado específico de molienda para optimizar el equilibrio entre extracción, tiempo y sabor (Viani et al., 2018; Rao & Haddad, 2020), esta información se puede apreciar en la siguiente Tabla 1.

Tabla 1.

Tipos de molienda de los granos de café

Tipo de Molienda	Granulometría	Descripción
Molienda fina	< 300 μm	similar a la sal de mesa, se usa en métodos rápidos como espresso o moka (25–30 s), ya que permite una extracción eficiente, aunque con riesgo de sobreextracción si no se controla el tiempo (López & Montanari, 2015; Rao & Haddad, 2020)
Molienda media	300-600 μm	textura de azúcar granulado, es ideal para métodos de 3 - 5 minutos como V60 o café por goteo, logrando una extracción equilibrada que maximiza aromas y minimiza amargor (Viani et al., 2018; Rao & Haddad, 2020).
Molienda gruesa	> 600 μm	comparable a la sal kosher, se emplea en infusiones largas (prensa francesa, cold brew) para evitar la extracción excesiva de compuestos amargos, obteniendo bebidas más suaves y menos astringentes (Wang & Lelievre, 2019)

III.4. Cata del café

Para evaluar la calidad sensorial del café es necesaria la utilización de un método estandarizado, siendo este la cata. Este procedimiento permite conocer las variedades de aromas y sabores en la bebida del café, además de determinar un tueste adecuado y posibles defectos sensoriales (Kornmamn, 2021).

La práctica de la cata del café se remonta a finales del siglo XIX, cuando los comerciantes la empleaban para evaluar distintas muestras con el fin de seleccionar sus adquisiciones

y garantizar la consistencia. No obstante, fue en 1999, con la incorporación de este método en las competencias de la Taza de Excelencia, que la Asociación de Cafés de Especialidad de Estados Unidos (actualmente la Specialty Coffee Association, SCA) desarrolló un protocolo estandarizado. Dicho protocolo ha sido desde entonces ampliamente adoptado por la comunidad internacional del café de especialidad como marco de referencia para la evaluación sensorial objetiva y uniforme del grano tostado (Grant, 2020).

Entre estos estándares se establece que se requieren de 8.5 g de café por cada 150 mL de agua a una temperatura de 95°C. También se sugiere que la molienda debe de ser tipo gruesa (850 µm), además de incluir que el tiempo adecuado para el tostado del grano es entre los 8-12 minutos, asegurando su realización 8-24 horas previos a la cata (Bernardes, 2025).

III.5. Química del café

El café está compuesto por una variedad de sustancias químicas que se encuentran en sus granos. Dentro de estos componentes se encuentran:

III.5.1. Cafeína

La cafeína, 1,3,7-trimetil-xantina (Figura 3), un alcaloide purínico, es una sustancia secundaria que se deriva del metabolismo de la planta de café, específicamente en las hojas y en el pericarpio, luego se transloca hacia las semillas a través de las membranas. La concentración de esta en los granos, va a depender de la variedad. Además del tostado, la cafeína también aporta el sabor amargo a la bebida (Oestreich, 2019).

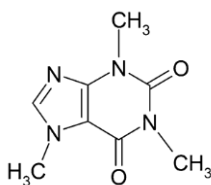


Figura 3.

Cafeína

III.5.3. Ácidos Orgánicos

En el café verde se destaca el ácido clorogénico, ácido cítrico, ácido málico, ácido acético, ácido láctico y ácido tartárico. El ácido quínico contribuye al sabor amargo de la bebida. Este ácido se forma durante el proceso de tostado de los granos de café, y su concentración varía dependiendo del tiempo y la temperatura de tostado. El ácido oxálico está presente en cantidades más pequeñas, sin embargo, puede influir en la percepción del sabor al agregar una ligera acidez a la bebida y darle un sabor caramelizado (Oestreich, 2019).

Cuando el ácido acético está presente en concentraciones adecuadas, puede agregar notas parecidas al vinagre al sabor final de la bebida. Por otro lado, el ácido cítrico contribuye al sabor ácido y cítrico del café, además de desempeñar un papel en la regulación del pH durante la extracción del café, influyendo en la acidez general de la bebida. El ácido succínico es un ácido orgánico menor que se encuentra en el café y su funcionalidad específica en la bebida aún se está investigando, pero se sabe que contribuye al perfil sensorial general del café. Aunque el ácido propiónico se encuentra en cantidades muy pequeñas en el café, aporta un sabor herbáceo al café en taza (Viana, Lorrane, et al. 2024).

En el café tostado, un aumento en la acidez general en comparación con el verde se atribuye a un aumento de los ácidos fórmico, acético, glicólico y láctico que se forman durante el tostado. Debido a su volatilidad, el ácido acético y fórmico se pierden al menos parcialmente a temperaturas de tostado más altas. La sacarosa sirve como el principal precursor de estos ácidos, lo que significa que una diferencia en la cantidad de sacarosa en el café verde contribuirá en última instancia a diferentes cantidades finales de ácido (Oestreich, 2019).

A medida que los granos de café se someten al proceso de tostado, la formación de melanoidinas contribuye aún más al perfil antioxidante. Estos compuestos son cruciales para combatir el estrés oxidativo al neutralizar los radicales libres dentro del cuerpo. Los compuestos del café también se asocian a menudo con otros efectos beneficiosos sobre

enfermedades crónicas, como el cáncer, la obesidad y la diabetes. Algunos estudios sugieren que ciertos compuestos que se encuentran en el café, como el ácido clorogénico, pueden tener propiedades anticancerígenas. El consumo moderado de café también se ha asociado con un riesgo reducido de desarrollar diabetes mellitus tipo 2 (DM2), siendo la cafeína y los ácidos clorogénicos, los compuestos bioactivos del café vinculados a estas propiedades. El ácido clorogénico reduce el riesgo de DM2 al inhibir los transportadores dependientes de sodio en el intestino, suprimir la actividad de la enzima translocasa glucosa-6-fosfato y ofrecer efectos protectores contra el estrés oxidativo en las células beta pancreáticas (Viana, Lorrane, et al. 2024).

La acidez general percibida al probar la bebida de café se correlaciona con la acidez titulable total hasta un punto final, que imita el ajuste del pH de la saliva, que varía de 6 a 7; un valor preferencial podría estar pH 6.7. El efecto sensorial de cada ácido se debe a su grado de disociación, indicado mediante los valores de pKs (Oestreich, 2019).

III.5.3.1 Ácidos Clorogénicos (CGA)

Los CGA son una familia de ésteres que son análogos estructurales del ácido quínico con varios derivados del cinamato. El ácido clorogénico más común es el ácido 5-O-cafeoil-quínico (5CQA), el cual se puede apreciar en la Figura 4. El término CGA abarca muchas variedades de ésteres de ácido quínico y ácido cafeico (que se unen al ácido quínico y cafeico por medio de un átomo de oxígeno) y, como tal, las estructuras de los CGA pueden llegar a ser bastante complejas y grandes. Los CGA sufren muchos cambios durante el tostado, isomerización, epimerización, lactonización y degradación a compuestos de bajo peso molecular. Una gran parte de los CQA del café verde desaparece mediante reacciones de tipo Maillard en macromoléculas. Parcialmente descompuestos en ácido quínico y ácido cafeico, forman quinidas y se incorporan en melanoidinas más complejas. Otra transformación conduce, mediante descarboxilación y ciclación, a fenilindanos, identificados como un componente fuertemente amargo del café (Oestreich, 2019). Normalmente los ácidos clorogénicos aportan 183 mg/g, siendo el 5-CQA el de mayor contribución con 157 mg/g en café verde, y 30 mg/g en café tostado oscuro (Yeager, et al. 2021).

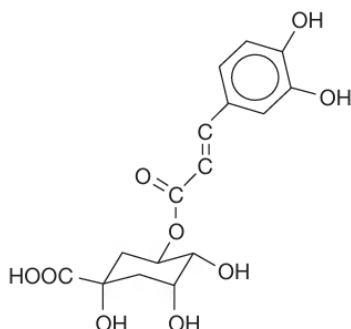


Figura 4.

5-O-cafeoil-quínico (5CQA)

III.6. Química del sistema de infusión agua – café

En la preparación de la bebida del café, los compuestos volátiles y no volátiles responsables de su sabor, se extraen por medio de agua caliente, dispersándose en fases acuosa, oleosa y sólida. La extracción con agua caliente en el café regular aporta 0.2 g/L de lípidos a la preparación. Otro factor importante para considerar es la temperatura, ya que la variación de esta puede alterar la energía libre, y por lo tanto la entalpía y entropía de la bebida, influyendo en la distribución de los compuestos aromáticos entre las fases dispersas y la evaporación en la interfaz café-aire (Steen, Waehrens et al. 2017).

Según estudios realizados, el ácido cítrico es el único de todos los ácidos presentes en el café que tiene una concentración superior a la detectabilidad sensorial, y aunque todos aporten a la acidez general del café, resulta improbable la percepción de estos de manera individual, por lo tanto, esto conlleva a la conclusión de que es más eficiente realizar la acidez total del café, en lugar de analizar los ácidos por separado (Birke, Giacalone et al. 2023).

A pesar que el café está conformado por una variedad de ácidos, los clorogénicos o cafeoilquínico (CQA) al ser los más representativos de este y de mayor abundancia (Puerta, 2011) son considerados como ácido patrón. Por tal motivo, al calcular la acidez total del café, algunas normativas presentan el CQA como ácido referente, aunque se comprenda que al titular con NaOH se neutralizan los protones (H^+) de los grupos $-COOH$ de todos los ácidos presentes en la solución de café.

Por cada 2 g de café soluble existen 50-150 mg de 5-CQA. En general, los CQAs con un mayor número de grupos hidroxilo ecuatoriales libres en el residuo de ácido quínico son más solubles en agua que aquellos con un mayor número de grupos hidroxilo axiales libres. Los CQAs son altamente susceptibles a la influencia de la temperatura. A medida que la temperatura aumenta, no solo son más fácilmente sometidos a isomerización intramolecular y transesterificación, sino también a degradación. Los diCQAs se degradan a los correspondientes monoCQAs, y luego al ácido cafeico y ácido quínico. La cantidad de cada componente formado depende del tiempo de calentamiento y de la temperatura (Gil, Wianowska, 2017).

III.7. Acidez Titulable

La acidez titulable mide la cantidad de ácido presente en una solución mediante la adición de una base hasta que la solución alcanza un punto final de pH específico. Se expresa como la cantidad de base necesaria para neutralizar el ácido y se utiliza a menudo en la industria de alimentos y bebidas para determinar la acidez de un producto. El proceso de valoración consiste en añadir una base, normalmente hidróxido de sodio (NaOH), a la solución mientras se controla el pH hasta alcanzar el punto final de la valoración. El volumen de la base requerida para alcanzar el punto final se utiliza para calcular la acidez titulable de acuerdo a la reacción general presentada en la Figura 5. En la ciencia de los alimentos, la acidez titulable desempeña un papel vital en la determinación del sabor, la calidad y la vida útil de los alimentos y bebidas (Hasini, 2024).

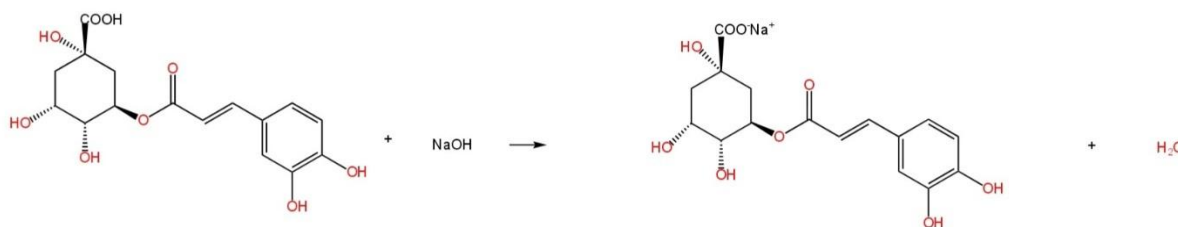


Figura 5.

Reacción ácido – base (ácido clorogénico y NaOH)

Esta propiedad se expresa en unidades dependiendo del contexto y la normativa aplicable. La elección del ácido de referencia responde a convenciones sectoriales: por ejemplo, en vinos se usa ácido tartárico, en cítricos ácido cítrico, y en café, ácido clorogénico (Harris, 2020).

La determinación se realiza mediante titulación ácido - base, que puede ser visual (usando indicadores como la fenolftaleína) o potenciométrica (usando un electrodo de pH). El punto final dependerá del valor establecido según la naturaleza de la muestra y el propósito del análisis. Por ejemplo, en productos lácteos se titula hasta pH 8.3 (punto de equivalencia del ácido láctico), mientras que en café se usa pH 6.5 por razones fisiológicas y sensoriales (NTC 5247, 2004).

A diferencia de la acidez percibida, una cualidad sensorial subjetiva que los catadores describen como “frescura”, “brillo” o “viveza” en taza y que está influenciada por el tipo específico de ácidos presentes y su interacción con otros compuestos como azúcares y cafeína (Stanek, et al. 2021), la acidez titulable es un parámetro físico-químico objetivo.

La acidez titulable es un parámetro clave en la industria alimentaria, ya que influye en la estabilidad microbiológica, el sabor, la textura y la vida útil de los productos. Además, sirve como indicador de madurez, fermentación o calidad, y es ampliamente utilizado en control de procesos y cumplimiento normativo (Belitz, et al. 2009).

III.8. Método Potenciométrico

La valoración potenciométrica se refiere a un método químico de análisis en el que el punto final de la valoración se controla mediante un electrodo indicador que mide el cambio de potencial en función del volumen del valorante añadido (Skoog et al. 2014).

La potenciometría consiste en la implementación de electrodos para las medidas de voltajes, y de tal forma proporcionar información química del analito problema. A través del tiempo se han diseñado electrodos que funcionan con ciertos analitos específicos, ya sea en un medio de disolución o en estado gaseoso. Al analito se le conoce como especie

electroactiva, el cual conforma una celda galvánica, teniendo la capacidad de dar o recibir electrones por medio de un electrodo; este tipo de electrodo lleva por nombre electrodo indicador. El analito con un electrodo introducido en su disolución es una semicelda, que es conectada a una segunda semicelda utilizando un puente salino. Esta última al presentar un potencial constante, recibe el nombre de electrodo de referencia (Harris, 2003).

III.9. ANOVA

El Análisis de Varianza (ANOVA) es una técnica estadística inferencial fundamental desarrollada por Sir Ronald A. Fisher en la década de 1920, que "consiste en un procedimiento para probar la igualdad de tres o más medias poblacionales mediante el análisis de las varianzas muestrales" (Anderson et al., 2018, p. 401), basándose en la partición sistemática de la variabilidad total en componentes atribuibles a diferentes fuentes, específicamente la variación entre grupos (tratamientos) y la variación dentro de los grupos (error aleatorio). El concepto básico del ANOVA se fundamenta en la comparación de la variabilidad entre medias de diferentes grupos con respecto a la variabilidad dentro de los grupos, utilizando la distribución F de Fisher-Snedecor para determinar si las diferencias observadas entre las medias son estadísticamente significativas (Montgomery, 2019, p. 79). La importancia del ANOVA radica en su capacidad para superar las limitaciones del procedimiento t de Student cuando se comparan más de dos grupos, evitando el problema de la inflación del error tipo I que ocurre al realizar múltiples comparaciones por pares, además de proporcionar un marco estadístico riguroso para el análisis de datos experimentales en diseños multifactoriales complejos (Anderson et al., 2018, p. 403).

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

El desarrollo de esta investigación de la aplicabilidad del método potenciométrico es de tipo experimental exploratorio y cuantitativa. Los ensayos se realizaron en los laboratorios de docencia del área específica de Química, ubicada en el área de conocimiento de Ciencias y Tecnología de la UNAN-León.

La población de estudio para la determinación de acidez titulable por potenciometría correspondió a muestras donadas por productores de café de especialidad cultivado en el departamento de Jinotega (1200 msnm), específicamente de las variedades Caturra, Parainema, Pacamara y Catuaí. Todas las muestras con molienda media, para su presentación en un panel de cata, reportándose una acidez palatable de 8. En la Tabla 2 se muestran las características proporcionadas por los productores de las siete muestras.

Tabla 2.

Características de las muestras del café de especialidad molido

Variedad	Proceso	Tueste
Parainema	Lavado	Oscuro
Parainema	Lavado	Claro
Parainema	Lavado	Medio
Parainema	Natural Anaeróbica	Medio
Pacamara	Natural	Medio
Caturra	Natural anaeróbica	Medio
Catuaí	Natural	Claro

Preparación de la solución de NaOH 0.1 M

En un beaker se disolvió 1.0 g de NaOH en agua destilada, y se aforó en un matraz de 250 mL.

IV.1. Estandarización del hidróxido de sodio (NaOH)

Para la valoración del hidróxido de sodio se necesitó del pesaje aproximado de 0.15 g de biftalato de potasio, el cual fue calentado durante 1 hora a 110°C dentro de un horno antes de su disolución. Una vez calentado, se disolvió en 100 mL de agua destilada y de esta manera se procedió a la titulación potenciométrica utilizando el hidróxido de sodio previamente preparado, agregando dicha solución en volúmenes de 0.1 mL, hasta alcanzar el primer punto en el que el pH superó el valor de 7, siendo este el punto de

equivalencia (Jeffery, et al. 1989). Para calcular la concentración (Molaridad) de la estandarización del NaOH se utilizó la siguiente ecuación:

$$M_{NaOH} = \frac{(m_{KHP} \times 1000)}{(V_{NaOH} \times Mm_{KHP})}$$

Donde:

m_{KHP} = masa en gramos del ftalato ácido de potasio

1000 = factor de conversión de unidad, mL a L

V_{NaOH} = volumen en mililitros de NaOH gastado

Mm_{KHP} = masa molar del ftalato ácido de potasio, 204.22 g/mol

Verificación de la calibración del potenciómetro

Fue necesario verificar la calibración del potenciómetro haciendo uso de las soluciones amortiguadoras de pH 4.00 y 7.00; según las indicaciones del equipo. (Manual del equipo Fisher Scientific XL25)

IV.2. Verificación de la aplicabilidad del método NTC 5247

IV.2.1. Proceso de extracción de los ácidos orgánicos

Una vez realizada la valoración del NaOH se llevó a cabo el proceso de extracción de los ácidos orgánicos, en un Erlenmeyer 125 mL, en el cual se pesaron 5 g de muestra café, y se agregaron 100 mL de agua a 90°C, con ayuda de un agitador magnético se agitó por 3 min, para luego ser filtrado, sobre un papel filtro N°1, seguidamente se lavó el Erlenmeyer y el papel filtro 3 veces con alícuotas de 5 mL de agua destilada. Este extracto se llevó a volumen en un matraz aforado de 100 mL.

IV.2.2. Determinación de acidez titulable en las muestras de café molido mediante el método potenciométrico NTC 5247

Se tomó una alícuota de 50 mL del extracto de café para su titulación con el potenciómetro previamente verificado. Se tituló este extracto con el NaOH 0.1M estandarizado con volúmenes de 0.1 mL hasta alcanzar el pH 6.5. Esto se realizó con cinco réplicas de muestra Catuaí (n=5) en tres días alternos en el periodo de 1 semana. Se utilizó esta muestra por conveniencia del estudio.

Para calcular la acidez titulable en muestra de café, se implementó la siguiente ecuación (NTC 5247, 2004):

$$Ac_{Titulable} = \frac{(V_{NaOH} \times C_{NaOH} \times f \times Mm_{Ac\ Clorogénico})}{m_{muestra}}$$

Donde:

V_{NaOH} = Volumen en mililitros gastado de la solución NaOH 0.1M

C_{NaOH} = Concentración en molaridad del NaOH estandarizado

f = factor de dilución (**2**) proveniente de la alícuota (50 mL de 100 mL en NTC 5247, y 25 mL de 50 mL en SCA)

Mm_{Ac Clorogénico} = Masa molar del Ácido Clorogénico, 354.31 g/mol

m_{muestra} = masa en gramos de la muestra café molido

Todos los resultados de acidez se expresaron en mg equivalentes de ácido clorogénico (EAC).

IV.2.3. Criterios de aceptación para la repetibilidad del método

Para aceptar la aplicabilidad del método se evaluó el coeficiente de variación ($\leq 5\%$), además se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula (H_0): No existen diferencias significativas en las medias de acidez titulable en los diferentes días.

Hipótesis alternativa (H_1): Al menos una de las medias es significativamente diferente.

El criterio de decisión fue que se acepta H_0 cuando el p-valor es mayor que 0.05 y se rechaza H_1 .

IV.3. Condiciones de los procesos de extracción de ácidos para los métodos NTC 5247 y SCA

Una vez aplicado el método NTC 5247, se evaluó el efecto del proceso de extracción de los ácidos orgánicos para el método potenciométrico, para lo cual se empleó el café variedad caturra por conveniencia de proporciones de la muestra a utilizar,

comparándose las condiciones del protocolo de cata SCA donde se usa agua purificada con las de la NTC, dichas condiciones se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3.

Condiciones de extracción de ácidos clorogénicos del café molido

Parámetro	NTC 5247		SCA	
Masa, g	5		2.75	
Extractante	Agua destilada	Agua purificada	Agua destilada	Agua purificada
Volumen, mL	100		50	
Temperatura del extractante, °C	90		100	

En el protocolo SCA se mantuvo la proporción estándar de 55 g de café por litro de agua (Specialty Coffee Association, 2020), pero se escaló a 50 mL de agua para ajustarse al volumen requerido en la titulación potenciométrica. Esto dio una masa de 2.75 g de café, que conserva la misma concentración relativa del extracto. Además, se ajustaron proporcionalmente los volúmenes de lavado y se mantuvo el mismo factor de dilución ($f=2$) para garantizar la comparabilidad con el método NTC 5247.

Para evaluar si existen diferencias significativas en la acidez titulable debido a factores como, método de extracción o tipo de agua, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA). Las hipótesis planteadas fueron:

Hipótesis nula (H_0): No existen diferencias significativas en las medias de acidez titulable entre los niveles del factor analizado.

Hipótesis alternativa (H_1): Al menos una de las medias es significativamente diferente.

Se aplicó un nivel de significancia $\alpha = 0.05$. Así, si el valor p fue menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula, concluyendo que el factor analizado tiene un efecto significativo sobre la acidez titulable. Una vez se determinaron las mejores condiciones (tipo de agua) del método, según ANOVA, se continuó a realizar la determinación de acidez titulable en muestras de café de especialidad y evaluar la asociación de los factores (variedad, proceso y tueste) mediante gráficas de barra.

IV.4. Determinación de acidez titulable en muestras de café de especialidad

Para el resto de las variedades objeto de estudio se aplicó la misma metodología de extracción y de análisis estadístico que para las variedades caturra y catuaí. Dado el carácter exploratorio de este estudio y la limitada cantidad de muestras disponibles ($n = 7$) se exploró de manera visual la variabilidad en la acidez titulable para este conjunto. Las muestras se analizaron por duplicado.

IV.5. Cristalería y materiales

- Beaker de 50, 125 y 250 mL
- Matraz Erlenmeyer de 250 mL
- Matraz aforado de 50, 100 y 250 mL
- Bureta de 10 mL
- Probeta de 25 y 100 mL
- Embudo de espiga
- Soporte de decantación
- Pipeta volumétrica de 25 y 50 mL
- Magneto
- Pizetas
- Espátula de metal
- Soporte de universal
- Clamp de bureta
- Pera
- Termómetro
- Varilla de vidrio
- Papel filtro N°1
- Papel toalla

IV.6. Reactivos

- Soluciones tampón de pH estándar (4.00, 7.00 y 10.00), marca Fisher Scientific

- Hidróxido de sodio, marca Fisher Scientific
- Biftalato de potasio (patrón primario), marca Fisher Scientific
- Agua destilada
- Agua purificada

IV.7. Equipos

- pH-metro, Accumet Excel XL25 – marca Fisher Scientific
- Balanza Analítica, CP225D – SARTORIUS
- Agitador magnético, Isotemp – Fisher Scientific
- Cocina, COMBIMAG RCT – IKA

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

V.1. Estandarización de la solución de Hidróxido de Sodio 0.1M

Antes de la titulación, es necesario verificar la concentración de la solución valorante de NaOH a utilizar. El motivo de esto es el de poder comprobar que tal concentración de solución preparada sea relativamente igual al que se requiere en la teoría. Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4.

Resultados obtenidos en la valoración de ftalato ácido de Potasio (KHP) con Hidróxido de Sodio 0.1M

Réplica	masa de KHP (g)	volumen de NaOH (mL)	concentración de la estandarización del NaOH
1	0.150	7.60	0.0968
2	0.151	7.85	0.0942
3	0.151	7.55	0.0978
Promedio			0.0963

El resultado de la concentración de NaOH fue de 0.0963 mol/L, indicando que la solución valorante cumple con la concentración teórica establecida en el método NTC 5247.

V.2. Aplicabilidad del método NTC 5247 en muestras de café de variedad Catuaí

Inicialmente, se evaluó la repetibilidad del método NTC 5247 “Café tostado en grano o molido – Determinación de la acidez titulable” en la muestra Catuaí realizado por quintuplicado en tres días alternos. En la Tabla 5. se muestran los resultados, observándose los coeficientes de variación (CV) obtenidos, 1.29% para el primer día de ensayos, 1.27% en el segundo día y 1.03% en los análisis del tercer día. Dado que todos los valores se encuentran por debajo del límite de aceptación de 5% establecido para métodos cuantitativos (Skoog, 2017), se determina que el método NTC 5247 es aplicable al análisis de café molido en el contexto nicaragüense.

Tabla 5.

Evaluación de la aplicabilidad del método NTC 5247 en muestras de café variedad Catuai

Día	Réplica	Masa de café (g)	volumen NaOH (mL)	Acidez (mg EAC/g)
1	1	5.013	2.25	30.61
	2	5.022	2.20	29.88
	3	5.018	2.25	30.58
	4	5.015	2.25	30.60
	5	5.020	2.20	29.89
	Promedio 1			30.31
	Desv. Estándar			0.3911
	CV ($\leq 5\%$)			1.290
2	1	5.015	2.25	30.60
	2	5.020	2.20	29.89
	3	5.015	2.25	30.60
	4	5.018	2.25	30.58
	5	5.021	2.20	29.89
	Promedio 2			30.31
	Desv. Estándar			0.3871
	CV ($\leq 5\%$)			1.277
3	1	5.018	2.25	30.58
	2	5.020	2.20	29.89
	3	5.017	2.25	30.59
	4	5.015	2.25	30.60
	5	5.014	2.25	30.61
	Promedio 3			30.46
	Desv. Estándar			0.3148
	CV ($\leq 5\%$)			1.033

Además, a los resultados obtenidos se les aplicó el análisis de varianza de un factor, los resultados se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6.

Análisis de Varianza de un factor de la repetibilidad de muestra Catuai para evaluar la aplicabilidad del método NTC 5247

RESUMEN				
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
DIA 1	5	151.573	30.3147	0.152978
DIA 2	5	151.567	30.3134	0.149901

DIA3	5	152.277	30.4554	0.0991474
------	---	---------	---------	-----------

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.0665716	2	0.0332858	0.248384	0.783972	3.88529
Dentro de los grupos	1.60811	12	0.134009			
Total	1.67468	14				

Como puede observarse el p-valor resultó de 0.78, siendo este mayor que el nivel de significancia de 0.05, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa (Reverter, 2020). Esto indica que los promedios en los tres días de análisis no presentan diferencias significativas, lo que conlleva a una alta confiabilidad en la aplicabilidad del método NTC 5247 en muestras de café de especialidad nicaragüense cuando este se encuentra tostado y con molienda media.

V.3. Evaluación del proceso de extracción de ácidos

El protocolo SCA de cata establece la extracción acuosa con agua purificada calentada a 100°C. Estas condiciones se aplicaron con agua destilada para evaluar la influencia en la determinación potenciométrica. Iniciando con las condiciones de extracción del método NTC 5247 con ambos tipos de agua, los resultados se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7.

Resultados de acidez titulable (mg EAC/g) en café caturra empleando agua destilada (AD) y agua purificada (AP) mediante el método potenciométrico de NTC 5247

AD	AP
51.59	33.29
50.73	33.37

Aunque la norma técnica colombiana NTC 5247 especifica el uso de agua destilada para la determinación de acidez titulable en café, surge la necesidad de evaluar el impacto que tiene este parámetro en los resultados analíticos, por tal razón también se utilizó el método NTC 5247 con agua purificada. La inclusión de ambos tipos de agua responde a

la importancia de asegurar que los resultados sean confiables y compatibles con los requisitos de la norma, incluso cuando se emplean prácticas alternativas al agua destilada. En la Tabla 8 se muestran los resultados del ANOVA para evaluar la influencia de los tipos de agua utilizado en el método NTC 5247.

Tabla 8.

Análisis de Varianza de un factor de la comparación del tipo de agua utilizada en la muestra Caturra para evaluar su influencia en el método NTC 5247

RESUMEN						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
AD y NTC 5247	2	102.321	51.1609	0.370307		
AP y NTC 5247	2	66.6583	33.3291	0.00318136		

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	317.972	1	317.972	1702.71	0.000586781	18.5128
Dentro de los grupos	0.373489	2	0.186744			
Total	318.346	3				

Para los promedios de acidez del primer análisis, el p-valor fue de 0.00058, ubicándolo por debajo del nivel de significancia del 5%, lo que conlleva a rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, señalando que la diferencia en el promedio entre los dos tipos de agua (destilada y purificada) no es aleatoria, sino que la influencia del agua representa un efecto muy significativo. El uso de agua destilada produce valores de acidez significativamente más altos que en el uso de agua purificada, esto se debe a que el agua purificada neutraliza parcialmente los ácidos en el café durante la extracción. La explicación química radica en que el agua purificada, con un pH promedio de 6.94, presenta una tendencia alcalina que puede neutralizar parcialmente los ácidos orgánicos del café durante la extracción, reduciendo su disponibilidad para ser titulados con NaOH (Farah, et al. 2006). En contraste, el agua destilada (pH 5.72) no interfiere con la extracción, permitiendo una medida más precisa de la acidez total.

Dado que el protocolo de extracción de la Specialty Coffee Association (SCA) no especifica el tipo de agua a utilizar, limitándose a recomendar “agua de buena calidad” para la preparación de café, fue necesario evaluar su desempeño analítico con dos tipos: agua destilada y agua purificada, con el fin de analizar la influencia que tiene el tipo de agua en la extracción de los ácidos orgánicos en la muestra café. Estos resultados de acidez se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9.

Resultados de acidez titulable (mg EAC/g) en muestra de café caturra utilizando los tipos de agua (destilada y purificada) con el protocolo de extracción SCA

AD	AP
48.28	35.95
48.26	33.46

En la Tabla 10 se muestran los resultados del análisis de varianza de la influencia de los tipos de agua en la muestra caturra a través del protocolo de extracción SCA.

Tabla 10.

Análisis de Varianza de un factor de la comparación del tipo de agua utilizada en la muestra Caturra para evaluar su influencia en el protocolo de extracción SCA

RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
AD y SCA	2	96.53	48.26	0.0001534
AP y SCA	2	69.41	34.70	3.104

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	183.981	1	183.981	118.538	0.00833080	18.5128
Dentro de los grupos	3.10416	2	1.55208			
Total	187.085	3				

En la comparación de efecto del tipo de agua dentro del método SCA representado en la Tabla 10, se encontró una diferencia entre los promedios (48.26 y 34.70), siendo esta estadísticamente significativa. El p-valor fue de 0.0083, siendo menor que el valor de significancia de 0.05, por lo cual se rechaza la H_0 y se acepta la H_1 . Estos resultados nos indica que las diferencias en la media de ambas comparaciones no son aleatorias, y aunque en el método SCA hay un menor efecto del tipo de agua en comparación con el método NTC 5247, aún existe un alto valor de significancia.

El protocolo SCA recomienda que el tipo de agua que se utilice para la extracción sea de buena calidad (SCA, 2020). Pero si dicha agua tiene tendencia a pH alcalino (como la purificada), interfiere significativamente en la acidez titulable. Este resultado confirma que el tipo de agua influye directamente en la medición, independientemente del método utilizado.

Con el objetivo de evaluar la equivalencia analítica entre un método estandarizado a nivel regional (NTC 5247) y un protocolo ampliamente utilizado en la industria del café de especialidad (SCA), se realizó una comparación directa de ambos enfoques bajo condiciones controladas, utilizando agua destilada como medio de extracción común. Esta elección permite eliminar la variabilidad introducida por el tipo de agua, y centrar el análisis en las diferencias propias entre el método NTC 5247 y el protocolo de extracción SCA. La Tabla 11 presenta dicha comparación, mostrando los valores de acidez obtenidos en ambos métodos de extracción, lo que permite evaluar su equivalencia analítica sin la interferencia introducida por el tipo de agua.

Tabla 11.

Resultados de acidez (mg EAC/g) de la muestra caturra implementando el método NTC 5247 y el protocolo de extracción SCA con agua destilada

NTC 5247	SCA
51.59	48.28
50.73	48.26

En la Tabla 12 se muestran los resultados del análisis de varianza de la influencia del agua destilada en la muestra caturra comparando el método NTC 5247 con el protocolo de extracción SCA.

Tabla 12.

Análisis de Varianza de un factor de la comparación entre el método NTC 5247 y el protocolo de extracción SCA con agua destilada, empleado en la muestra caturra

RESUMEN				
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
NTC 5247	2	102.32	51.160	0.37030
SCA	2	96.539	48.269	0.00015343

ANÁLISIS DE VARIANZA							
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	
Entre grupos	8.3582	1	8.3582	45.123	0.021450	18.512	
Dentro de los grupos	0.37046	2	0.18523				
Total	8.7287	3					

En el tercer análisis “NTC 5247 - SCA con agua destilada” (Tabla 12), el método NTC 5247 dio valores ligeramente mayores que el SCA (51.16 y 48.27). El p-valor fue de 0.021, rechazando H_0 al estar por debajo del valor de significancia. Esto demuestra que sus diferencias son significativas. Por lo tanto, cuando se usa agua destilada, el método NTC 5247 produce valores de acidez más altos que el protocolo SCA, siendo estas condiciones las más óptimas a utilizar en la determinación de acidez titulable por potenciometría. Esta diferencia se especifica a las condiciones experimentales distintas: el método NTC 5247 brinda una extracción más completa de ácidos orgánicos (Skoog, et al. 2017). En contraste, el protocolo SCA, aunque más eficiente en términos de recursos, produce valores ligeramente menores debido a la diferencia en las condiciones de extracción.

V.4. Determinación de la acidez titulable en muestras de café de especialidad molido procedente del departamento de Jinotega

El método NTC 5247 con agua destilada que presentó las mejores condiciones según los resultados de ANOVA se aplicó en las siete muestras de café de especialidad, donadas por productores de Jinotega, para determinar la acidez titulable del café molido, de los ácidos extraídos expresada como mg de ácidos clorogénicos por un gramo de café, los resultados se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13.

Resultados de acidez titulable (duplicado y promedio) de cada variedad de café con sus respectivos procesos y tueste, a través del método NTC 5247 con agua destilada

Variedad	Proceso	Tueste	Acidez titulable (mg EAC/g)			CV ($\leq 5\%$)
					Promedio	
Parainema	Lavado	Oscuro	27.93	27.28	27.61	1.647
Parainema	Lavado	Claro	25.92	26.46	26.19	1.470
Parainema	Lavado	Medio	37.48	36.80	37.14	1.283
Parainema	Natural Anaeróbico	Medio	40.21	39.44	39.83	1.364
Pacamara	Natural	Medio	35.46	35.33	35.39	0.2681
Caturra	Natural Anaeróbico	Medio	51.59	50.73	51.16	1.189
Catuái	Natural	Claro	30.61	29.88	30.25	1.716

El análisis de los datos de la Tabla 13. revela patrones claros que permiten postular asociaciones preliminares entre los factores estudiados (variedad, proceso, tueste) y la acidez final del café molido.

El resultado más destacado corresponde a la variedad Caturra sometida a un proceso anaeróbico y tueste medio, la cual presenta el valor de acidez titulable significativamente más alto del estudio (51.16 mg EAC/g). Este valor es mayor que el de las muestras Pacamara y Parainema de tueste claro. Esta marcada diferencia sugiere una asociación intrínseca entre la genética de la variedad Caturra y su potencial para desarrollar una alta acidez. Desde una perspectiva bioquímica, esto podría deberse a que el perfil genético de esta variedad de café favorece una mayor biosíntesis de precursores ácidos en el grano verde, como ácidos clorogénicos, cítrico y málico, los cuales se preservan y transforman durante el procesamiento y tueste (Farah & Donangelo, 2006).

En cuanto a la comparación del proceso (Natural vs. Lavado) se observa que para la Parainema (Lavado, Medio - 37.14 mg EAC/g) y la Catuai (Natural, Claro - 30.25 mg EAC /g) sugiere que el proceso por sí solo no es un predictor único de acidez. Aunque el proceso natural a menudo se asocia con perfiles más complejos y afrutados, en este caso, el factor variedad y tueste parecen tener un peso mayor. No obstante, la combinación de proceso natural con tueste claro en la Catuaí resultó en una acidez media, lo que indica que esta combinación podría preservar una acidez más suave y menos transformada por el calor.

Desde la perspectiva de la interacción del proceso Anaeróbico y Variedades con Alto Potencial Ácido, se tuvo que no solo la variedad Caturra, sino también la Parainema en proceso anaeróbico mostró uno de los valores más altos de acidez (39.83 mg EAC/g). Al compararla con las otras muestras de la misma variedad (Parainema) pero con proceso lavado, se observa un aumento sustancial, como se aprecia en la Figura 6.

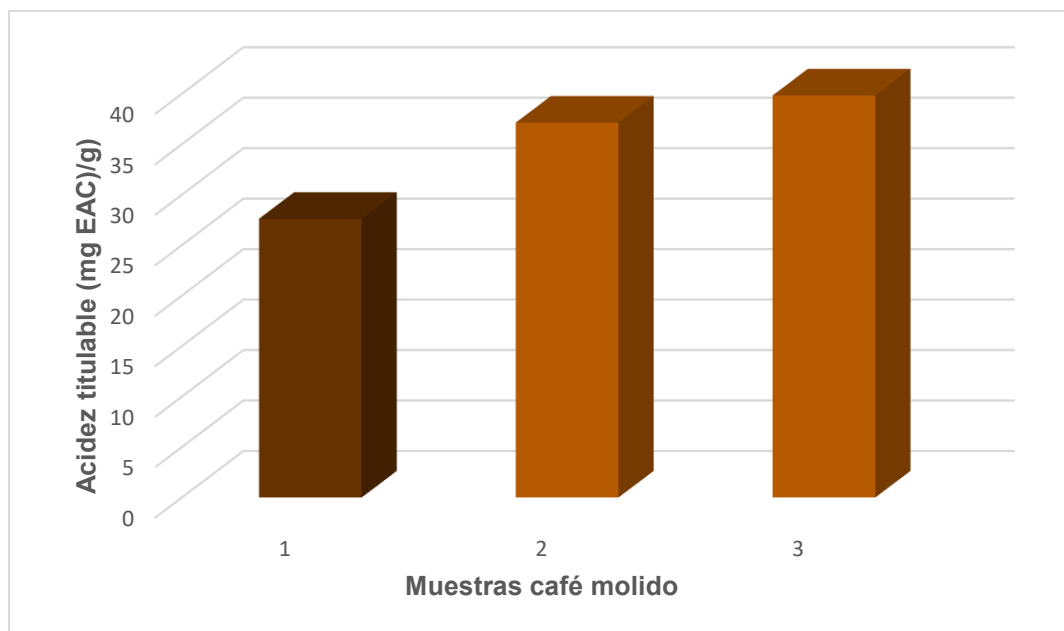


Figura 6.

Comparación de acidez titulable en café variedad Parainema con diferentes procesos y tueste. 1. Lavado y oscuro, 2. Lavado y medio y 3. Anaeróbico y medio.

La comparación de la acidez titulable (Figura 6.) sugiere una posible interacción sinérgica entre el proceso anaeróbico y variedades con predisposición a la acidez. La fermentación anaeróbica, al realizarse en condiciones controladas sin oxígeno, favorece la actividad de levaduras y bacterias específicas que pueden metabolizar los azúcares del mucílago produciendo ácidos orgánicos (como láctico y acético) de manera más eficiente o preservando los ácidos naturales del grano, lo que resulta en un perfil de acidez más complejo y elevado (Silva et al., 2022; Elhalis et al., 2023).

El análisis de las muestras de la variedad Parainema con proceso lavado permite aislar el efecto del tueste, se representa en la Figura 7.

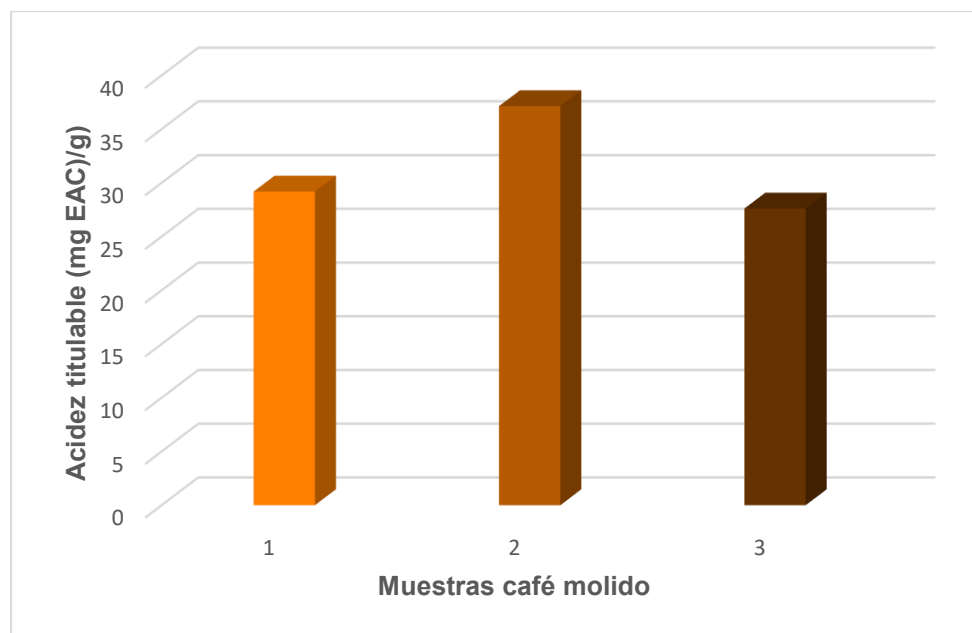


Figura 7.

Comparación de acidez titulable en café variedad Parainema con proceso lavado y diferente tueste. 1. claro, 2. medio y 3. oscuro.

Se observa en la Figura 7. un aumento en la acidez al pasar de un tueste claro a uno medio, seguido de una disminución notable en el tueste oscuro. Este comportamiento se atribuye a que, durante el tueste medio se produce una degradación térmica óptima de los azúcares y una transformación de los ácidos clorogénicos que puede liberar protones y aumentar la acidez titulable percibida. Sin embargo, en un tueste oscuro, la pirólisis

avanzada degrada irreversiblemente una gran proporción de estos ácidos orgánicos termolábiles (como el clorogénico, cítrico y málico), conduciendo a una pérdida neta de acidez (Ludwig et al., 2014; Oestreich, 2019). Por lo tanto, se debe corroborar con mayor número de ensayos si existe una relación de tipo cuadrática (no lineal) entre el grado de tueste y la acidez, con un punto máximo en el tueste medio.

VI. CONCLUSIÓN

El método NTC 5247 demostró ser aplicable para la determinación de acidez titulable en café molido nicaragüense, evidenciando una buena repetibilidad con coeficientes de variación (CV) que oscilan entre el 1 y 1.3% en tres días alternos de análisis y un valor de $p = 0.78$ en el ANOVA, lo que indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los días de medición.

Se logró comparar dos procesos de extracción de ácidos orgánicos: estandarizado NTC 5247 y el protocolo SCA. Ambos procesos de extracción mostraron alta repetibilidad, en donde el uso de agua destilada permitió una mejor extracción de los ácidos titulables, mientras que el agua purificada generó una neutralización parcial de los ácidos durante la infusión.

La comparación estadística mediante ANOVA reveló diferencias significativas ($p = 0.021$) entre los valores de acidez obtenidos con el método NTC 5247 y el protocolo SCA cuando ambos se aplicaron con agua destilada. El método NTC 5247 presentó valores más altos en la muestra Caturra (promedio: 51.16 mg EAC/g) que el protocolo SCA (promedio: 48.27 mg EAC/g), debido a una mayor sensibilidad del método NTC 5247. Por lo tanto, para la determinación de acidez titulable, se debe seguir el método NTC 5247 completo.

El método fue aplicado a siete muestras reales de café molido de especialidad, los resultados permiten postular un modelo de causalidad preliminar para la acidez titulable en el café nicaragüense de especialidad. En cuanto a la variedad, la composición genética, por ejemplo, Caturra establece el potencial máximo de acidez. Además, el proceso de beneficio, como el anaeróbico, puede actuar como un modulador positivo, acentuando la expresión del potencial ácido inherente a la variedad, probablemente a través de las vías metabólicas de la fermentación. Respecto al grado de tueste, funciona como un modulador no lineal, con un rango medio que optimiza la expresión de la acidez, mientras que los extremos (claro u oscuro) la limitan, ya sea por una extracción insuficiente o una degradación térmica excesiva.

VII. RECOMENDACIONES

- En futuras investigaciones se recomienda verificar la aplicabilidad del método NTC 5247 en términos de reproducibilidad.
- Se recomienda realizar más ensayos para la evaluación del tipo de agua (destilada y purificada) en los métodos de extracción (NTC 5247 y SCA) utilizando más variedades de café muestra.
- Considerando que el presente estudio se realizó con solo dos réplicas por muestra y un número limitado de variedades (Caturra, Parainema, Pacamara y Catuaí), se recomienda en futuras investigaciones incrementar tanto el número de réplicas analíticas como la diversidad de muestras. Esto incluye incorporar más variedades de Coffea arábica, así como cafés provenientes de otras regiones productoras de Nicaragua (como Matagalpa o Nueva Segovia), lo que permitiría generalizar los hallazgos y fortalecer la validez estadística del método.
- Aunque se determinó la acidez total, no se identificaron ni cuantificaron los ácidos orgánicos individuales (cítrico, málico, acético, clorogénico, etc.) responsables del perfil ácido. Se recomienda complementar futuros estudios con técnicas cromatográficas (como HPLC) para cuantificar estos compuestos y correlacionarlos tanto con la acidez titulable como con evaluaciones sensoriales realizadas por catadores certificados, lo que permitiría vincular datos químicos con percepción sensorial.
- Las asociaciones, identificadas de manera exploratoria, proporcionan un marco sólido y justifican la realización de futuros estudios con diseños experimentales específicos, que permitan cuantificar y validar estadísticamente la magnitud de cada uno de estos efectos y sus interacciones.

VIII. REFERENCIAS

- Anderson, D. R., Sweeney, D. J., Williams, T. A., Camm, J. D., Cochran, J. J., Fry, M. J., & Ohlmann, J. W. (2018). *Statistics for Business & Economics* (14th ed.). Cengage Learning.
- Asociación Nacional del Café. (2021). Estándares de calidad para cafés especiales. Recuperado de <https://www.anacafe.org>
- Belitz, H.-D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). *Food Chemistry* (4th ed., pp. 345–348). Springer. Recuperado de https://ipa-pasca.unpak.ac.id/pdf/Food_Chemistry_4th_Edition_by_Belitz_W_G.pdf
- Bernardes, J. (2025). Guía completa para preparar la cata de café según el protocolo SCA. IDCoffeeLAB. <https://idcoffeelab.com/guia-completa-para-preparar-la-cata-de-cafe-segun-el-protocolo-sca-%E2%98%95%E2%8F%F0%9F%8C%B1/>
- Birke, C. Giacalone, D., & Steen, I. (2023). Acids in brewed coffees: Chemical composition and sensory threshold. *Science Direct*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2665927123000539>
- Cárdenas, J. & Pardo, J. (2014). *Caracterización de las etapas de fermentación y secado del café La Primavera*. [Tesis de Pregrado, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito]. <https://es.scribd.com/document/352408161/Caracterizacion-de-Las-Etapas-de-Fermentacion-y-Secado-Del-Cafe-La-Primavera>
- Carvajal, J. Aristizábal, I.; Oliveros, C. & Mejía, J. (2011). Colorimetría del fruto de café (*Coffea arabica* L.) durante su desarrollo y maduración. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*. V 64 n. 2, p 6229-6240. Recuperado de https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Caracterizacion-de-los-estados-de-desarrollo-y-color-medio-de-los-frutos-de_fig1_256079739
- Darío, I. Carvajal, J. Oliveros, C. & Mejía, J. (2011). Colorimetría del fruto de café (*coffea arabica* L.) durante su desarrollo y maduración. *Revista Facultad Nacional De Agronomía Medellín*. Vol 64 N° 2, pp6229-6240. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472011000200020

- Elhalis, H. Cox, J. Zhao, J. (2023). Coffee fermentation: Expedition from traditional to controlled process and perspectives for industrialization. ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772502222002086>
- Escobedo, A. Bendaña, E. & Gutiérrez, R. (2017). Café de Nicaragua. Repositorio CATIE. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8657>
- Farah, A. & Donangelo, C.M. (2006). Phenolic compounds in coffee. Brazilian Journal of Plant Physiology. 18, 23-36. [https://www.scrip.org/\(S\(ny23rubfvg45z345vbrepxml\)\)/reference/referencespapers?referenceid=2367985](https://www.scrip.org/(S(ny23rubfvg45z345vbrepxml))/reference/referencespapers?referenceid=2367985)
- Farah, A., Monteiro, M. C., Calado, V., Franca, A. S., & Trugo, L. C. (2006). ScienceDirect. Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. Food Chemistry, 98(2), 373–380. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030881460500614X>
- Gil, M. Wianowska, D. (2017). Chlorogenic acids-their properties, occurrence and analysis. UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKLODOWSKA. Vol LXXII, 1. https://www.researchgate.net/publication/332084163_Chlorogenic_acids_-_their_properties_occurrence_and_analysis
- Grant, T. (2020). Guía para principiantes: como catar café y mejorar el paladar. Perfect Daily Grind. <https://perfectdailygrind.com/es/2020/04/03/guia-para-principiantes-como-catar-cafe-y-mejorar-el-paladar/>
- Harris, D. (2003). Electrodo y Potenciometría. (V. Berenguer, Trad.). Editorial Reverté. *Análisis Químico Cuantitativo*. Vols. 3-6 (pp. 315-325)
- Hasini, A. (2024). What is the Difference Between pH and Titratable Acidity. Pediaa. <https://pediaa.com/what-is-the-difference-between-ph-and-titratable-acidity/>
- Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). The Elements of Statistical Learning (2^a ed.). Springer. <https://hastie.su.domains/ElemStatLearn/>
- Jeffery, G.H. Bassett, J. Mendham, J. Denney, R.C. (1989). General Procedures. Vogel's Textbook of Quantitative Chemical Analysis (5th ed.). Longman Group UK.

- Kornmamn, C. (2021). Procedimientos y protocolos de la catación. Colonia de los Yungas. <https://coloniadelosyungas.bo/procedimientos-y-protocolos-de-la-catacion/>
- Lopez, P., & Montanari, C. (2015). Extraction dynamics in espresso brewing. *Journal of Food Engineering*, 156, 42–49.
- Ludwig, I. A., Mena, P., Calani, L., Cid, C., & Del Rio, D. (2014). Variations in caffeine and chlorogenic acid contents of coffees: what are we drinking? *Food Chemistry*, 151, 506–512. Recuperado de <https://www.semanticscholar.org/paper/Variations-in-caffeine-and-chlorogenic-acid-of-what-Ludwig-Mena/fbf9d018d7c937d0e06f85658c8bd9e8a3425bc9>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Consejo Salvadoreño del Café, Unión Europea, & Catholic Relief Services. (2020). Guía Práctica de Caficultura. Repositorio de conocimiento institucional. <https://repositorio.iica.int/items/0b0c1aca-53b9-4daa-8a31-9636be7b46cf>
- Montgomery, D. C. (2019). *Design and analysis of experiments* (10th ed.). John Wiley & Sons.
- Norma Técnica Colombiana. (2004). Café tostado, en grano o molido. Determinación de la acidez titulable. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- Oestreich, S. (2019). *Chemistry of Coffe*. ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780124095472027864?via%3Dihub>
- Puerta, G. (2011). Composición química de una taza de café. Cenicafé. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/340/1/avt0414.pdf>
- Reverter, F. (2020). Mecánica del ANOVA. Análisis de la Varianza (ANOVA). Fundació Universitat Oberta de Catalunya (FUOC), (1ª ed.). p10. Recuperado de <https://openaccess.uoc.edu/server/api/core/bitstreams/bdcd9dbd-16b4-4830-a314-abde3a91a37d/content>
- Silva, C. F., Cordeiro, F. A., Teixeira, J. A., & Schwan, R. F. (2022). Microbial dynamics and metabolite profiles during anaerobic fermentation of coffee cherries. *Current Research in Food Science*, 5, 1548–1559.

- Silva, L. Pereira, P. Cruz, M. Costa, M. Rocha, R. Bertarini, P. Amaral, L. Gomes, M. Santos, L. (2024). Enhancing Sensory Quality of Coffee: The Impact of Fermentation Techniques on *Coffea arabica* cv. Catiguá MG2. *Foods*. 13(5):653. doi: 10.3390/foods13050653. PMID: 38472766
- Skoog, D. West, D. Holler, F. & Crouch, S. (2014). *Fundamentos de química analítica* (9ª & 10ª ed., L. E. López, Trad.). Cengage Learning.
- Specialty Coffee Association. (2020). Evolución del protocolo y la forma de ventosas SCA: descripción general del proceso de prueba piloto. <https://sca.coffee/sca-news/read/evolving-the-sca-cupping-protocol-and-form-an-overview-of-the-pilot-testing-process>
- Stanek, N. Zarebska, M. Bilos, L. Barabosz, K. Bogdan, E. Semeniuk, I. Blaszkiewicz, J. Kulesza, R. Matejuk, R. & Szkutnik, K. (2021). Influence of coffee brewing methods on the chromatographic and spectroscopic profiles, antioxidant and sensory properties. *Scientific reports*. <https://www.nature.com/articles/s41598-021-01001-2>
- Steen, I. Waehrens, S. Petersen, M. Munchow, M. & Bredie, W. (2017). Influence of serving temperature on flavour perception and release of Bourbon Caturra coffee. *ScienceDirect*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814616315084>
- Vargas, M., & Herrera, J. (2021). Innovative Fermentation Techniques in Specialty Coffee. *Journal of Coffee Research*, 45(2), 34–41.
- Viana, V. Lorrane, L. Teixeira, C. Santos, M. & Stringheta, P. (2024). Café: una visión integral del origen, el mercado y el proceso de calidad. *ScienceDirect*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224424000876?via%3Dihub>
- Viani, S. P. M. B., et al. (2018). The science of coffee: From bean to cup. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(44), 11230–11241.
- Wang, D., & Lelievre, E. (2019). Cold brew coffee: Extraction and sensory profile. *Journal of Food Science*, 84(7), 1785–1793.
- Yeager, S. E., Batali, M. E., Guinard, J.X., & Ristenpart, W. D. (2021). Acids in coffee: A review of sensory measurements and meta-analysis of chemical composition.

Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 63(8), 1010–1036. Recuperado de <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408398.2021.1957767>

IX. ANEXOS

Tabla 14: Variedades del Coffea Arábica

Especie	Variedad	Subvariedad
Coffea arábica	Caturra	
	Pache Colís	
	Catuaí	
	Pache Común	
	Mundo Novo	
	Pacamara y Maracaturra	
	Bourbón	
	Anacafé 14	
	Typica o pajarito	
	Icatú	
	Tabi	
	Geisha	
	Castillo	
	Obatá	
	Catucaí	
	Híbridos F1	Centroamericano (H-1) y Milenio (H-2), Casiopea (H-3)
	Maragogipe	
	Catimor	Lempira o Catimor T- 8667, Anacafé 90 o Catimor T-5175, Catimor T-5269, Castillo
	Sarchimor	Parainema, Cuscatleco, Marsellesa, Tupi

Fuente: Asociación Nacional del café (Anacafé)