



¿Qué tomamos cuando tomamos mate?
Caracterización fisicoquímica de variedades comerciales de yerba mate (*Ilex paraguariensis*)

Resumen

En este trabajo se realizó una caracterización fisicoquímica básica del producto y de las infusiones derivadas de tres marcas comerciales y populares de yerba mate de Argentina y Brasil (Chamigo®, Amanda® y Rei Verde®). Se determinó que la yerba mate Amanda® presentó la mayor concentración de cafeína y los menores contenidos de humedad y cenizas, mientras que la yerba mate Rei Verde® es la que presentó mayores índices de hierro (II), sólidos totales (TS), sólidos totales disueltos (TDS), sólidos totales suspendidos (TSS) y polvillo. El análisis de polifenoles empleando el método de Folin-Ciocalteu mostró que todas las marcas cumplen con los contenidos exigidos por la legislación vigente. Finalmente, se realizó una prueba de aceptación en una muestra de 50 personas, donde la marca más elegida fue la yerba mate Amanda®.

Palabras clave: análisis de alimentos; didáctica CURE; yerba mate.

What do we drink when we drink mate?
Physicochemical characterization of commercial brands of yerba mate (*Ilex paraguariensis*)

Abstract

This paper presents the results of the basic physicochemical characterization of the product and infusions derived from three popular commercial brands of yerba mate from Argentina and Brazil (Chamigo®, Amanda®, and Rei Verde®). From analysis it was observed that yerba mate Amanda® was found to have the highest caffeine concentration and the lowest moisture and ash contents, while yerba mate Rei Verde® had the highest levels of iron (II), total solids (TS), total dissolved solids (TDS), total suspended solids (TSS), and dust. Polyphenol analysis using the Folin-Ciocalteu method showed that all brands met the levels required by current legislation. Finally, an acceptance test was conducted on a sample of 50 people, with yerba mate Amanda® being the most frequently chosen brand.

Keywords: Food analysis; CURE teaching methods; Yerba mate.

O que bebemos quando tomamos mate?
Caracterização físico-química de variedades comerciais de erva-mate (*Ilex paraguariensis*)

Resumo

Este artigo apresenta os resultados da caracterização físico-química básica do produto e das infusões derivadas de três marcas comerciais populares de erva-mate da Argentina e do Brasil (Chamigo®, Amanda® e Rei Verde®). A erva-mate Amanda® apresentou a maior concentração de cafeína e os menores teores de umidade e cinzas, enquanto a erva-mate Rei Verde® apresentou os maiores níveis de ferro (II), sólidos totais (ST), sólidos totais dissolvidos (STD), sólidos totais em suspensão (STS) e matéria particulada. A análise de polifenóis pelo método de Folin-Ciocalteu mostrou que todas as marcas atendem aos níveis exigidos pela legislação vigente. Por fim, um teste de aceitação foi realizado com uma amostra de 50 pessoas, e a erva-mate Amanda® foi considerada a marca mais popular.

Palavras-chave: análise de alimentos; métodos de ensino CURE; erva-mate.

Aplicada y Analítica



Introducción

La yerba mate es el producto zapecado y seco de las hojas de *Ilex paraguariensis*, una especie arbórea de la familia de las aquifoliáceas que es característica del Cono Sur [1]. A partir de este producto se prepara una infusión denominada mate, muy popular y típica en Paraguay, Argentina, el sur de Brasil y Uruguay [2]. Esta infusión se bebe en un recipiente denominado mate con una bombilla metálica y empleando agua caliente entre 70 y 80 °C. La bibliografía científica reporta que tanto el volumen como la temperatura del agua influyen directamente en la eficiencia de extracción de los componentes fitoquímicos solubles de las hojas de yerba mate, como por ejemplo terpenos, polifenoles, micro y macronutrientes minerales, entre otros [3–5].

Para preparar la infusión en su forma más popular, el mate debe llenarse con yerba hasta tres cuartas partes de su capacidad. Luego se tapa su boca con la palma de la mano y se agita reiteradas veces para eliminar restos de polvillo. Posteriormente, se debe recostar la yerba dentro del recipiente para formar un hueco (de tal forma que quede inclinada respecto a la boca del mate), se agrega un poco de agua tibia y se deja en reposo por unos minutos. Después se introduce la bombilla en el mate hasta que toque su fondo y, por último, se vierte agua a la temperatura adecuada hasta completar la capacidad del recipiente. Así, la infusión resultante (mate) queda lista para ser bebida. Se denomina “cebada” a esta última etapa de llenado con agua y bebida de la infusión, que puede repetirse varias veces en forma individual o en compañía de otras personas. De esta forma, la costumbre de “cebar unos mates” es un momento que combina el gusto por la bebida y a veces la compañía, ya que, según Johan, “el mate ante todo es una infusión que nos da placer, y dentro de ese placer podríamos decir que existen dos momentos: el del cebador solitario y el de la comunión de manos. En el primer caso, nos invitará a la reflexión, a la introspección. En el segundo caso, el mate compartido es uno de los mejores símbolos de la amistad. Es abrir nuestra intimidad a otros. Es complicidad” [6].

Según datos del Instituto Nacional de la Yerba Mate de la República Argentina, el total de yerba mate comercializada en el país en el año 2024 fue de 258.813.653 kg [7], lo que representa un consumo promedio de 6 kg por habitante. Estas cifras dan una idea de la popularidad de la infusión en el país y permiten deducir que tomar mate forma parte de la idiosincrasia argentina, por lo que es una excelente excusa para emplear la yerba mate como materia de estudio en diferentes áreas como la química analítica [8]. Por ejemplo, los análisis fisicoquímicos rutinarios que usualmente se hacen empleando reactivos convencionales podrían ser adaptados al estudio y caracterización de la yerba mate, aprovechando la gran cantidad de sustancias y minerales que esta posee. Por otra parte, también podría resultar interesante comparar cómo varían estas propiedades en diferentes marcas comerciales, ya sean nacionales o extranjeras, o cuál es la marca comercial preferida para un grupo particular de consumidores.

Hacia finales de 1999, la bibliografía científica comenzó a reportar investigaciones sobre diferentes abordajes de enseñanza-aprendizaje en contextos universitarios y, a partir de la primera década de este siglo, muchos reportes se orientaron a los cursos de pregrado que promovían experiencias investigativas en los alumnos (Course-based undergraduate research experiences – CURE) [9]. Los CURE son una forma novedosa de cursos que ofrecen a los estudiantes la posibilidad de realizar investigaciones (muchas veces originales) como parte del programa curricular de asignaturas específicas y que, a su vez, permiten a los docentes generar nueva información dentro de su área disciplinar [10–11].

Estos cursos permiten ampliar las oportunidades en las que los estudiantes universitarios de pregrado participan en auténticas investigaciones en disciplinas que abarcan el conjunto STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas), entre las que se encuentra incluida la química. Además, los CURE permiten potenciar cinco aspectos fundamentales de la educación y formación universitaria: la práctica científica, la producción de conocimiento, el impacto (local o regional), el trabajo colaborativo y la resignificación de conceptos y aprendizajes [12].

Teniendo en cuenta los aspectos anteriormente discutidos, en este trabajo se reportan los resultados de la caracterización fisicoquímica y evaluación de algunos atributos de tres marcas comerciales de yerba mate de Argentina y de Brasil. Gracias a la implementación del CURE, la investigación fue realizada en la cátedra de Laboratorio de Ingeniería Química del ciclo lectivo 2024 por un grupo de estudiantes del segundo año de la carrera de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Sur. Su hipótesis de trabajo se basó en la influencia del tipo de molienda de los productos tanto en la apreciación de atributos sensoriales como en sus propiedades fisicoquímicas [13]. Entre los parámetros fisicoquímicos estudiados se analizó el contenido de humedad, cenizas, hierro, cafeína, polifenoles, sólidos totales (TS), sólidos totales disueltos (TDS), sólidos suspendidos (TSS) y polvillo. Además, se compararon y analizaron estadísticamente algunos de sus atributos a partir de una encuesta preparada por los propios estudiantes. El objetivo de esta investigación fue promover la práctica científica, el trabajo colaborativo y la resignificación de conceptos y aprendizajes, aspectos fundamentales de los CURE.

Además de los objetivos estrictamente curriculares y académicos, los CURE pretenden potenciar otro tipo de habilidades como, por ejemplo, la cooperación entre pares, el liderazgo y las habilidades de comunicación oral y escrita [19–22]. El objetivo final de este trabajo fue mostrar cómo un elemento de uso cotidiano para los estudiantes argentinos, como lo es la yerba mate, permite desarrollar un proyecto de investigación científica a partir de sus propiedades.

Materiales y métodos experimentales

Metodología de trabajo

Las actividades de la cátedra de Laboratorio de Ingeniería Química se programaron para un tiempo total de cuatro meses. Los alumnos se dividieron en comisiones de tres o cuatro estudiantes que se repartieron en los diferentes turnos semanales. La carga horaria por comisión fue de ocho horas, repartidas en dos encuentros de cuatro horas. En el primer mes y medio de actividades, los alumnos llevaron adelante prácticas de laboratorio guiadas y se familiarizaron con conceptos básicos de riesgo y seguridad, análisis e interpretación de datos experimentales, gestión de residuos y redacción escrita de informes. Además, se reforzaron conceptos de espectrofotometría, análisis cuantitativo clásico, titulaciones ácido/base o electroquímicas y uso de instrumental de laboratorio específico, entre otros. Luego, llevaron adelante su proyecto de investigación por medio de CURE. Para llevar adelante este proyecto, dispusieron de aproximadamente dos meses completos para realizar ensayos fisicoquímicos de caracterización, análisis de datos, redacción del informe escrito y elaboración de una presentación oral para comunicar sus resultados. El tiempo total destinado a los CURE fue de 16 encuentros semanales de cuatro horas de duración.

Grilla de evaluación de los alumnos

La actividad de todos los estudiantes se evaluó a través de una grilla de calificaciones, facilitada a todo el curso desde el inicio de las actividades académicas. En la **tabla 1** se presenta la grilla empleada, se destaca en negrita aquellos aspectos abordados específicamente por los CURE.

Tabla 1. Grilla de evaluación de cátedra (en negrita, los aspectos empleados para evaluar CURE).

Dimensión individual		
Aspecto evaluado	Máximo	Alcanzado
Asistencia a clases	10	
Cuestionarios de laboratorio	10	
Presentación oral propuesta	5	
Desempeño en el laboratorio	10	
Presentación oral proyecto	5	
Total	40	A
Dimensión grupal		
Actividades de laboratorio		
Aspecto evaluado	Máximo	Alcanzado
Informes de TP	15	
Problema Aplicado	5	
Total	20	B
Presentación oral del proyecto		
Aspecto evaluado	Máximo	Alcanzado
Organización de la presentación	2	
Edición/Diseño	2	
Análisis, discusión y conclusiones	6	
Total	10	C
Informe escrito del proyecto		
Aspecto evaluado	Máximo	Alcanzado
Edición y organización	3	
Lenguaje	3	
Resultados (CS - Figuras - Tablas)	8	
Análisis y discusión	10	
Conclusiones obtenidas	4	
Originalidad y aportes	2	
Total	30	D

Esta grilla surgió del consenso entre los docentes involucrados en las actividades de la cátedra, quienes a lo largo de los diferentes ciclos lectivos ajustan sus criterios de dictado de contenidos y evaluación en función de nuevos abordajes pedagógicos o el uso de herramientas de libre acceso (por ejemplo, software libre, aplicaciones específicas en dispositivos móviles e inteligencia artificial, entre otras). La nota final alcanzada por cada estudiante resultó de la sumatoria de las celdas identificadas con las letras A, B, C y D en la grilla. La asignatura se promocionó con una nota superior a 70/100; en caso contrario, el alumno debía rendir un examen final convencional, donde se le evaluarían aspectos teóricos y puestos en práctica durante el desarrollo de la asignatura.

Encuesta de evaluación de cátedra

Al finalizar su trabajo y luego de la presentación escrita y oral de sus resultados, la Cátedra realizó una encuesta anónima en línea empleando la herramienta libre de formularios de Google® para recopilar de los estudiantes sus opiniones, sugerencias y su evaluación del proceso educativo realizado. El cuestionario se dividió en cuatro secciones: evaluación de la etapa inicial de actividades (constituida por laboratorios convencionales guiados y sus respectivos informes); evaluación de la comisión de trabajo; evaluación del grado de satisfacción con los objetivos propuestos y actividades realizadas; y sugerencias de propuestas y cambios para cursos futuros.

Para agilizar el mecanismo y lograr una rápida retroalimentación, las opciones de respuesta fueron del tipo “de acuerdo” o “no estoy de acuerdo”.

Productos analizados

La materia prima (yerba mate) se obtuvo de tres marcas comerciales que son muy populares en Argentina y en Brasil: Chamigo® (molienda gruesa, Corrientes, Argentina), Amanda® (molienda gruesa, Misiones, Argentina) y Rei Verde® (molienda fina, Rio Grande do Sul, Brasil). Los análisis de caracterización fisicoquímica se realizaron en los diferentes días de clase destinados a los CURE.

Para la caracterización fisicoquímica del producto comercial seco se tomó la cantidad necesaria de yerba mate del paquete, mientras que para caracterizar las infusiones el análisis se realizó a partir del producto resultante del protocolo de simulación de cebadas que se describe más adelante. Respecto a los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica, los valores expresados corresponden a datos obtenidos a partir de tres a cinco réplicas de cada medición, esto con el fin de proporcionar valores promedio representativos que permitieran realizar el análisis de la varianza (ANOVA) correspondiente.

Todos los análisis de caracterización se realizaron empleando los siguientes reactivos: agua destilada, cloruro de metileno (Dorwill®, Argentina), hidróxido, acetato y carbonato de sodio (Anedra®, Argentina), o-fenantrolina, clorhidrato de hidroxilamina, sal de Mohr, ácido sulfúrico, ácido gálico (AG) y reactivo de Folin-Ciocalteu (Ciccarelli®, Argentina). Se utilizó material de laboratorio convencional e instrumental específico para algunas determinaciones (como, por ejemplo, el análisis espectrofotométrico). Estos ensayos se describen a continuación.

Caracterización de los productos comerciales secos

Las caracterizaciones se realizaron sobre las hojas secas estacionadas y molidas de los paquetes de Chamigo®, Amanda® y Rei Verde® (paquete amarillo, padrón uruguayo).

Distribución de tamaño por tamizado

Se pesaron aproximadamente 50 g de cada yerba mate y se colocaron sobre una serie de tamices apilados (Rey & Ronzoni S.R.L., C.A.B.A, Argentina) con un tamaño de malla de 900, 450, 355 y 125 µm. Se agitó manualmente durante 30 s y se pesaron las fracciones de polvillo que no fueron retenidas. El porcentaje de polvillo presente en cada una de las variedades estudiadas se calculó utilizando la Ec. (1):

% P = m/M × 100 (1)

donde % P es el porcentaje de polvillo presente en la variedad de yerba mate estudiada, m es la masa de polvillo no retenida por los tamices y M es la masa inicial de yerba.

Humedad

Se pesaron aproximadamente 4 g de cada yerba mate y se colocaron en crisoles de porcelana previamente secos y tarados, estos se llevaron a una estufa a 105 °C durante 3 h. Transcurrido ese lapso de tiempo, los crisoles se depositaron en un desecador y se registró periódicamente su peso hasta obtener un valor constante. El porcentaje de humedad presente en cada una de las variedades estudiadas se calculó utilizando la Ec. (2):

% H = (m - (P2 - P1) / m) × 100 (2)

donde % H es el porcentaje de humedad de la yerba mate estudiada, m es la masa de yerba mate empleada y P_1 y P_2 son las masas del crisol tarado y luego del secado, respectivamente.

Cenizas

Se pesaron aproximadamente 3 g de cada yerba mate y se colocaron en crisoles de porcelana. Empleando un trípode, triángulo de pipa y un mechero se calentaron los crisoles para iniciar el proceso de combustión de las muestras. Posteriormente, se llevaron a una mufla a 900 °C, donde se mantuvieron durante 3 h. Luego de ese lapso de tiempo, los crisoles se depositaron en un desecador y se registró periódicamente su peso hasta obtener un valor constante. El porcentaje de cenizas presente en cada una de las marcas estudiadas se calculó utilizando la Ec. (3):

$$\% \text{ ceniza} = \frac{(P_2 - P_1)}{M} \times 100 \quad (3)$$

donde M es la masa de yerba mate empleada y P_1 y P_2 son las masas de los crisoles vacíos y luego de la calcinación, respectivamente.

Caracterización de las infusiones

Se obtuvieron infusiones de la yerba mate Chamigo®, Amanda® y Rei Verde® a partir de un protocolo experimental que simuló una ronda de mate convencional, cuyas particularidades se describen a continuación.

Simulación de cebadas

Las cebadas se simularon por medio de un dispositivo elemental compuesto por un vaso de precipitado de 500 mL y una tela porosa de almidón (similar a una cofia de laboratorio) ajustada a su boca. Sobre esta tela se depositó la cantidad promedio de yerba mate empleada en una ronda de cebadas (aproximadamente 15 g) y se simularon cebadas agregando volúmenes iguales (15 - 20 mL) de agua a una temperatura de 80 °C hasta completar un volumen total agregado de aproximadamente 150 mL. Este procedimiento se repitió varias veces, colectando los líquidos de cada filtrado para simular una ronda de mate. Finalizada la ronda de cebadas, se recogió el líquido de filtrado en el vaso de precipitados (cebadas simuladas) para su posterior caracterización [18]. Con el líquido correspondiente a la quinta cebada se realizó la caracterización de sólidos solubles y suspendidos, asumiendo que en esa etapa la infusión alcanza una condición de estabilidad.

Sólidos totales (TS)

Los TS corresponden al peso que gana un crisol previamente tarado, luego de la evaporación total a 105 °C de un volumen definido de infusión (1 mL). Se calcula como indica la Ec. (4):

$$TS = P_2 - P_1 \quad (4)$$

donde TS es el total de sólidos presentes en la muestra, P_1 es el peso del crisol vacío y P_2 es el peso después del tratamiento a 105 °C con el volumen de infusión.

Sólidos totales disueltos (TDS)

Los TDS corresponden al peso que gana un crisol previamente tarado, luego de la evaporación total a 105 °C de un volumen definido de infusión (1 mL) previamente filtrado al vacío. Se calcula como indica la Ec. (5):

$$TDS = P_2^f - P_1 \quad (5)$$

donde TDS es el total de sólidos disueltos presentes en la muestra y P_1 y P_2^f son los pesos del crisol vacío y del crisol después del tratamiento a 105 °C con el volumen de infusión filtrado, respectivamente.

Sólidos suspendidos totales (TSS)

Los TSS se calcularon directamente como la diferencia entre TS y TDS, como indica la Ec. (6):

$$TSS = TS - TDS \quad (6)$$

donde TSS es el total de sólidos suspendidos presentes en la muestra, TS son los sólidos totales y TDS son los sólidos totales disueltos previamente determinados.

pH

Se recogieron los volúmenes de simulaciones de la primera, tercera y quinta cebada para cada yerba mate estudiada, después se midió directamente el valor de pH de cada infusión a temperatura ambiente empleando un pH-metro digital Hanna® Checker Plus.

Contenido de cafeína

El contenido de cafeína en las yerbas mate analizadas se determinó empleando diclorometano (CH_2Cl_2) como solvente de extracción [19]. Se simularon cebadas con cada yerba mate hasta alcanzar un volumen de infusión de aproximadamente 100 mL. Sobre este volumen se agregaron 3 g de carbonato de sodio (Na_2CO_3) y se filtró al vacío, para luego agregar 5 mL de solución de hidróxido de sodio (NaOH) 5% y 15 mL de CH_2Cl_2 . La mezcla resultante se volcó a un embudo de decantación, se agitó y se dejó reposar durante 15 min para visualizar las fases acuosa superior y orgánica inferior. Se separó esta última y se repitió dos veces más la extracción con CH_2Cl_2 , agregando idénticos volúmenes y recuperando la fase orgánica. Los volúmenes de fase orgánica separados se colocaron en un cristizador previamente tarado, y se dejó evaporar lentamente el solvente bajo campana, hasta que se registró un peso constante. El contenido de cafeína en el volumen de infusión inicial se calculó por la diferencia entre el peso del cristizador vacío y el peso del cristizador luego de la evaporación del solvente.

Contenido de hierro

El contenido de hierro en las yerbas mate analizadas se calculó empleando el método de la o-fenantrolina, siguiendo el procedimiento descrito por Quiñones *et al.* [20]. Para ello, se construyó una curva de calibración con cantidades crecientes de hierro (II) empleando sal de Mohr como patrón. El análisis espectrofotométrico se realizó empleando clorhidrato de hidroxilamina como agente reductor de hierro (III) a hierro (II) y ácido sulfúrico concentrado como agente acidificante. Se utilizó un espectrofotómetro UV-Vis Shimadzu® y cubetas de vidrio de 1 cm de paso óptico. Las mediciones sobre las muestras analizadas se realizaron a 510 nm. Las cantidades empleadas para preparar la solución de madre de hierro (II) fueron las siguientes: $0,3500 \pm 0,0001$ g de sal de Mohr, 650 µL de ácido sulfúrico y agua destilada hasta alcanzar un volumen de 250 mL.

Posteriormente, y siguiendo el procedimiento experimental reportado, se prepararon diluciones de esta solución madre en matraces de 25 mL tomando diferentes volúmenes de solución (0, 150, 300, 450, 600, 750, 900 y 1050 µL) a los que se les agregó 1 mL de solución de clorhidrato de hidroxilamina 10% m/v, 5 mL de solución de acetato sódico, 2,5 mL de solución de o-fenantrolina y agua destilada hasta enrasar. La curva de calibrado se obtuvo a partir de las mediciones de absorbancia de las soluciones preparadas a la longitud de onda especificada, se realizaron al menos tres repeticiones para cada medida de absorbancia.

El contenido de hierro en las infusiones se determinó simulando cebadas y calcinando un volumen específico del extracto (1 mL) en mufla, a 900 °C durante 3 h, y recuperando las cenizas para su análisis. Para ello, se agregaron 650 µL de ácido sulfúrico y 20 mL

de agua destilada. Se homogeneizó y posteriormente filtró para recuperar el líquido de filtrado. Después se trasvasó a un matraz de 25 mL y se agregaron 1 mL de solución de clorhidrato de hidroxilamina 10% m/v, 5 mL de solución de acetato sódico, 2,5 mL de solución de *o*-fenantrolina y agua destilada hasta enrasar. Sobre esta muestra se realizaron las mediciones espectrofotométricas a la longitud de onda especificada, se realizaron al menos tres repeticiones para cada medida de absorbancia.

Contenido de polifenoles

El contenido de polifenoles en las yerbas mate se determinó empleando el método de Folin-Ciocalteu, siguiendo el procedimiento descrito por Pérez *et al.* [21]. Se construyó una curva patrón con AG como referencia y empleando una solución de carbonato de sodio al 20% para regular el pH. Todas las mediciones se hicieron en un espectrofotómetro UV-Vis Shimadzu®, empleando cubetas de vidrio de 1 cm de paso óptico. Los valores de absorbancia de las muestras analizadas se realizaron a una longitud de onda de referencia de 765 nm. La curva de calibración se obtuvo a partir de una solución madre de AG de 5 g/L. Las diferentes diluciones se prepararon a partir de esta solución madre en matraces de 10 mL, tomando volúmenes previamente definidos (0, 100, 400, 800, 1200 y 1500 µL) y agregando 500 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu, 1500 µL de solución de carbonato de sodio al 20% p/v y el agua destilada necesaria para enrasar. Las diluciones preparadas se cubrieron con papel de aluminio y se dejaron incubar en oscuridad y a temperatura ambiente durante 1 h. La curva de calibrado se obtuvo a partir de las mediciones de absorbancia de las soluciones preparadas a la longitud de onda especificada, se realizaron al menos tres repeticiones para cada medida de absorbancia.

Las determinaciones sobre las infusiones se realizaron diluyendo 1 mL de la infusión en 250 mL de agua destilada. De esta solución se extrajeron 2,5 mL y se llevó a un volumen de 100 mL con agua destilada. Finalmente, sobre esta última solución se extrajeron 600 µL que se llevaron a un volumen de 10 mL con agua destilada. La absorbancia de esta última muestra se midió en el espectrofotómetro, siguiendo idéntico tratamiento al realizado con las diferentes diluciones de solución con el patrón de AG empleadas para construir la curva de calibración.

Encuesta de aceptación

Para realizar la encuesta de aceptación sobre las diferentes yerbas mate caracterizadas, se eligió como muestra a 50 personas del grupo de familiares y amigos de los estudiantes que realizaron esta investigación. Primero se evaluaron sus percepciones respecto al “olor” y la “apariencia” de las yerbas mate por medio de una prueba de categorías de preferencia con la que se estableció una escala descendente. Después se les proporcionó infusiones de mate elaboradas con cada yerba para que indicaran cuál era la de su preferencia, así se evaluó el “sabor”. Este tipo de recopilación de datos sirvió para que los estudiantes incursionaran en la elaboración, registro y análisis de datos a partir de encuestas, un tema que no suele ser abordado en el currículo.

Análisis estadístico de la caracterización fisicoquímica

Los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente empleando el software libre JASP® [22] y la herramienta Microsoft Excel® 2016. Además del análisis estadístico convencional para cada serie de datos, también se realizó ANOVA de un factor, empleando un nivel de significancia $\alpha = 0,05$ para determinar si existían o no diferencias estadísticamente significativas en el conjunto de datos experimentales registrados.

Análisis estadístico de la encuesta de preferencia

En el caso de la encuesta de preferencia, los resultados obtenidos se

analizaron estadísticamente empleando una prueba de Kramer [23]. En esta prueba, se pide a los panelistas que cataloguen el atributo del producto elegido según una calificación previamente asignada (por ejemplo, 1: más preferido, 3: menos preferido) y no se aceptan empates en la clasificación (esto es, dos productos no pueden tener la misma calificación en número). Posteriormente, se suman los valores obtenidos para cada producto y se compara la suma de uno vs. la suma de los otros. Los resultados obtenidos se llevaron a una tabla y, a partir de los valores proporcionados y el valor crítico para las tres variedades estudiadas según una tabla de Basker y Kramer ($n = 50$; valor crítico = 23,4), se determinó el nivel de aceptación del producto en el atributo considerado.

Resultados y discusión

Resultados de la caracterización fisicoquímica del producto comercial seco y sus extractos

La **tabla 2** muestra los parámetros fisicoquímicos del producto seco y de la infusión para las tres variedades comerciales de yerba mate estudiadas.

Tabla 2. Caracterización fisicoquímica de tres variedades comerciales de yerba mate.

Parámetro	Amanda®	Chamigo®	Rei Verde®
% polvillo	6,18 ± 0,42	6,98 ± 0,17	18,66 ± 3,32
% humedad	6,06 ± 0,97	5,01 ± 0,27	6,87 ± 0,46
% cenizas	1,23 ± 0,50	2,47 ± 1,41	3,36 ± 2,78
TS (mg/mL) ^{a)}	8,70 ± 0,01	5,20 ± 0,01	12,30 ± 0,04
TSS (mg/mL) ^{a)}	4,80 ± 0,02	3,70 ± 0,03	6,60 ± 0,03
TDS (mg/mL) ^{a)}	3,90 ± 0,03	1,50 ± 0,02	5,70 ± 0,05
pH ^{b)}	5,66 ± 0,04	5,56 ± 0,06	5,68 ± 0,05
Cafeína (mg/g)	17,30 ± 3,90	10,30 ± 3,10	15,70 ± 6,30

a) Valores experimentales obtenidos para la simulación de una quinta cebada.

b) Valor promedio para las simulaciones de cebadas primera, tercera y quinta.

TS: sólidos totales.

TSS: sólidos suspendidos totales.

TDS: sólidos totales disueltos.

*Los valores están expresados como media ± desvío estándar.

El análisis estadístico por ANOVA empleando JASP® mostró que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < \alpha = 0,05$) en el % polvillo y el % cenizas entre Amanda® y Chamigo® respecto de Rei Verde®; además, no se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p < \alpha = 0,05$) para los valores registrados del % humedad. Estos valores se encuentran dentro de los reportados por otras investigaciones para la caracterización de diferentes yerbas mate argentinas [24–26].

Por otra parte, se observa que Rei Verde® es la que presenta los mayores contenidos de TS, TSS y TDS. Estos últimos resultados concuerdan con los registrados para % polvillo, dado que la yerba Rei Verde® es la que se caracteriza por presentar un tipo de molienda diferente a las otras (padrón uruguayo), esto explicaría el aumento tanto de la cantidad de material en forma de polvo como de suspendido en solución. Respecto de los valores de pH, el software libre JASP® determinó que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < \alpha = 0,05$) entre Chamigo® y Rei Verde®, asignando a la primera el valor de pH más ácido. Asimismo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para los contenidos de cafeína determinados ($p < \alpha = 0,05$).

La **figura 1** muestra la curva de calibración obtenida para la formación del complejo entre hierro (II) y *o*-fenantrolina (cruces azules), también muestra los valores experimentales obtenidos para las

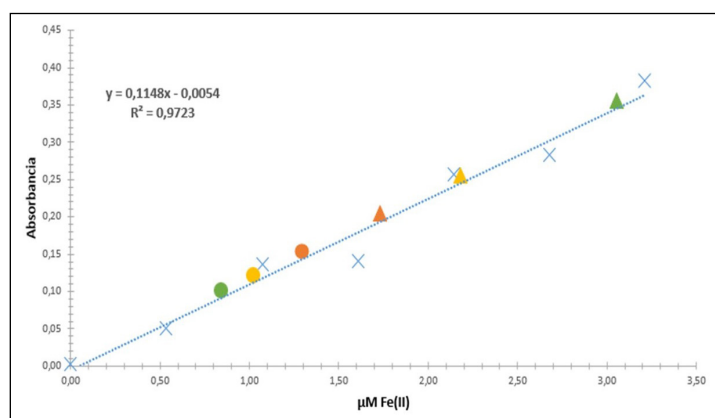


Figura 1. Curva de calibración (obtenida empleando la ley de Lambert-Beer para el complejo hierro (II)/o-fenantrolina a 510 nm) y resultados obtenidos para el contenido de hierro en las diferentes yerbas mate estudiadas. Los triángulos representan los valores obtenidos para la simulación de la primera cebada, mientras que los círculos representan los valores obtenidos para la simulación de la quinta cebada. Las cruces azules corresponden a los puntos experimentales de las soluciones de hierro (II) preparadas para determinar la curva de calibración. Códigos de colores: Amanda®, rojo; Chamigo®, amarillo; y Rei Verde®, verde.

infusiones correspondientes a la primera (triángulos) y la quinta (círculos) cebada preparadas con las tres yerbas mate estudiadas.

En la **figura 1** se observa una buena correlación lineal con los puntos experimentales para las soluciones de hierro (II) preparadas (coeficiente de correlación $R^2 > 0,95$) y que Rei Verde® es la que presenta el mayor contenido de hierro (II) en la primera cebada. Se infiere que el tipo de molienda que presenta esta variedad influye directamente en el contenido de hierro (II) disponible en la infusión. También puede observarse que el contenido de hierro (II) disminuye de la primera a la quinta cebada en todos los casos, pero más significativamente en las variedades Rei Verde® y Chamigo®. Este resultado permite especular que también existe una diferencia en la molienda de las variedades Amanda® y Chamigo®, a pesar de que ambas variedades se tipifican como de molienda gruesa. Finalmente, los valores determinados para el contenido de hierro (II) en todas las marcas y en todas las cebadas se encuentran dentro del rango informado por Prosch et al. (51,1 – 1059 mg/kg) [27].

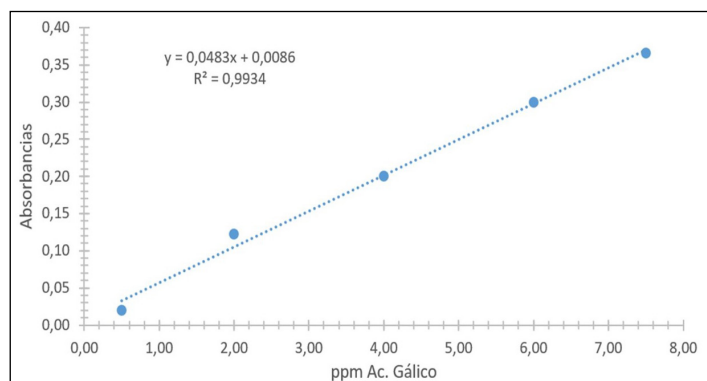


Figura 2. Curva de calibración obtenida empleando la ley de Lambert-Beer para el complejo formado por ácido gálico (AG) y el reactivo de Folin-Ciocalteu a 765 nm.

La **figura 2** muestra la curva de calibración obtenida empleando AG como sustancia patrón y el reactivo de Folin-Ciocalteu para la determinación de compuestos fenólicos y polifenoles. Allí se observa una buena correlación lineal (coeficiente de correlación $R^2 > 0,95$) con los puntos experimentales determinados para las diferentes soluciones de AG en el rango de concentraciones estudiado. Los valores obtenidos para el contenido de compuestos fenólicos y polifenoles en las marcas de yerba mate, expresados como gramos de equivalentes de AG por litro de solución (g EAG/L) fue de 1,63 g EAG/L para Amanda®, 4,12 g EAG/L para Chamigo® y de 3,89 g EAG/L para Rei Verde®. Estos valores se encuentran dentro del rango informado por Arancibia et al. [28].

Resultados de la encuesta de preferencia

Las características sensoriales evaluadas en el presente trabajo son reducidas comparadas con el conjunto de atributos que se evalúan en análisis sensoriales estandarizados para esta clase de bebidas, pero permiten tener una primera aproximación para establecer elecciones y preferencias del universo encuestado [29]. La **figura 3** muestra los gráficos circulares en 3D con los porcentajes de preferencia para tres atributos de las distintas variedades comerciales de yerbas mate: apariencia (percepción visual de la muestra de yerba mate), olor y sabor (sensación percibida al degustar la infusión). Esta forma de representación es una manera simple y práctica de mostrar gráficamente los resultados del análisis estadístico realizado.

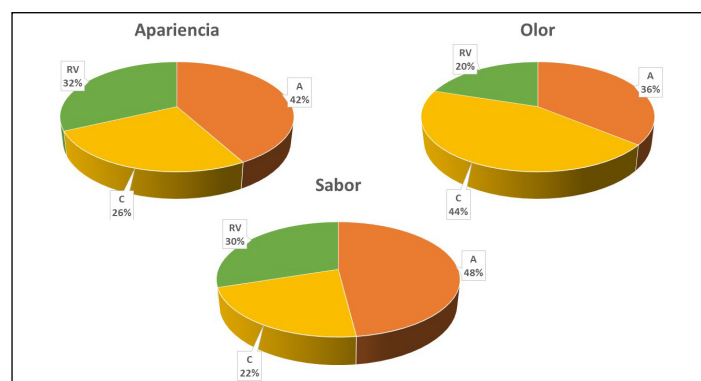


Figura 3. Gráficos circulares para los resultados de la encuesta de preferencias ($n = 50$) de las yerbas mate estudiadas. Códigos de colores: Amanda® (A), rojo; Chamigo® (C), amarillo; y Rei Verde® (RV), verde.

De acuerdo con los resultados obtenidos, Amanda® resultó ser la marca de yerba mate más elegida en los atributos de apariencia y sabor, mientras que Chamigo® fue la más elegida en el atributo olor. No resulta extraño que Rei Verde® haya sido la marca menos elegida en el atributo “olor” si se tiene en cuenta que, para la población encuestada, las características del tipo de yerba mate que se comercializa en Brasil presentan notables diferencias con las del comercializado en Argentina, tanto en apariencia como en el aspecto al preparar el mate. Se dedujo que uno de los factores determinantes de este resultado es la poca familiaridad de los encuestados con este tipo de variedades de yerba mate, ya sea por desconocimiento o, directamente, por preferir marcas nacionales.

Como comentario adicional resulta importante aclarar que, en líneas generales, las yerbas de origen brasileño muestran diferencias que las distinguen sustancialmente de otras variedades de yerbas mate, tanto en su color como en su molienda [30]. En particular (y como ya se comentó al discutir los resultados de la caracterización fisico-química), Rei Verde® paquete amarillo (padrón uruguayo) presenta una molienda mucho más fina que, a la vista del encuestado, podría sugerir un mayor contenido de polvillo y, de esta forma, influir en su valoración. No obstante, los atributos “apariencia” y “sabor” la ubican en un término medio según los resultados obtenidos para la población encuestada.

Presentación oral de los resultados alcanzados por cada comisión

Al finalizar el cuatrimestre, los alumnos presentaron un informe escrito preliminar del proyecto elegido y una presentación oral. El informe escrito preliminar recibió una lectura y corrección de los docentes para que los alumnos observaran los cambios y sugerencias realizados para la elaboración del informe final. La presentación oral se realizó al finalizar el curso. Cada comisión dispuso de un tiempo de 15 minutos para informar sobre el tema estudiado, los métodos analíticos y estadísticos empleados y los principales resultados y conclusiones alcanzadas. Esta presentación oral se realizó

para todos los compañeros del turno, los docentes involucrados y los docentes de otras cátedras especialmente invitados.

Luego de la presentación, el público asistente realizó preguntas específicas que los expositores debían responder. Además, los docentes a cargo puntualizaron detalles sobre algunos aspectos específicos de la presentación, como por ejemplo la gestión del tiempo para cada participante, los modos y formas de expresarse y la calidad de las imágenes presentadas, entre otros aspectos. Luego de que todas las comisiones expusieran sus resultados, los docentes las entrevistaron para intercambiar impresiones y sugerencias respecto del trabajo realizado a lo largo del curso. Este espacio de diálogo sirvió para recopilar las impresiones, comentarios y sugerencias de los alumnos y se tuvieron en cuenta para realizar modificaciones del curso a futuro.

Resultados de la encuesta de evaluación de cátedra

Entre los estudiantes que respondieron la encuesta ($n = 19$, 63% del curso), el 100% valoró el hecho de que la elección del tema del proyecto fuera libre; el acompañamiento de la cátedra durante el desarrollo de las actividades fue considerado positivo por el 94,7%; un porcentaje similar manifestó estar conforme con la división de roles y actividades en la comisión de trabajo; y un 26,3% manifestó insuficiente el tiempo asignado a la realización del proyecto. El resultado de estas encuestas se tomó como un indicador del grado de aceptación de los CURE implementados en la asignatura durante el ciclo lectivo 2024.

Evaluación didáctico-pedagógica CURE

El tema elegido para esta investigación facilitó la comprensión de las técnicas básicas de caracterización de compuestos y sustancias químicas (por ejemplo, el análisis espectrofotométrico), la preparación de diluciones y las operaciones rutinarias de laboratorio. La determinación cuantitativa de diferentes concentraciones de interés en los productos analizados permitió establecer semejanzas y diferencias entre las variedades, reforzando conceptos estadísticos como ANOVA o análisis de datos dudosos estudiados en asignaturas previas. Los alumnos que eligieron la temática descrita en este trabajo para desarrollar el CURE y adquirieron calificaciones de 90/100 según la grilla de evaluación presentada en la **tabla 1**.

Es importante mencionar que tanto antes como durante el desarrollo de la experiencia, los estudiantes enfrentaron algunas dificultades, como por ejemplo la falta de materiales adecuados en el laboratorio o la recopilación de resultados dudosos por errores experimentales. Estas complicaciones inherentes al ejercicio de la investigación se subsanaron mediante el análisis y la consulta con sus docentes y aplicando soluciones ingeniosas (por ejemplo, la simulación de cebadas) para alcanzar los objetivos propuestos.

Por otra parte, entre los aspectos valorados como negativos, el 25% consideró insuficiente el tiempo destinado a la propuesta. Esta observación es pertinente porque la carga horaria asignada al curso no es suficiente para los temas y actividades que en él se desarrollan y que son amplios, estos merecerían una carga horaria anual para abordarlos en profundidad; además, es un comentario que los docentes pueden considerar como positivo ya que da indicios del interés de los estudiantes en disponer de mayor cantidad de actividades prácticas que faciliten su aprendizaje experimental.

Conclusiones

En este artículo se presentaron los resultados obtenidos para la implementación de CURE en alumnos de segundo año de la carrera de Ingeniería Química. El tema de investigación se basó en la caracterización de diferentes marcas comerciales de yerba mate nacionales y extranjeras. A partir de los resultados obtenidos es posible concluir que los CURE son un enfoque integrador que favorece un apren-

dizaje integral donde se ofrece a los estudiantes un espacio para desarrollar habilidades blandas (pensamiento cooperativo, trabajo en grupo, capacidades de expresión escrita y oral, etc.) necesarias para su posterior desempeño profesional.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los encargados de laboratorio, la Técnica Gabriela Martínez Ipucha y el Licenciado Miguel Ángel Nievas, por su ayuda y asistencia para llevar adelante esta investigación. También agradecen el apoyo económico en equipamiento científico específico, reactivos químicos y el acompañamiento humano brindado por el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Sur (DIQ-UNS), que hizo posible el desarrollo de esta actividad.

Referencias

- [1] A. Gawron-Gzella et al., "Yerba Mate-A Long but Current History", *Nutrients*, vol. 13, nro. 11, 3706, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu13113706>.
- [2] C. Folch, "Stimulating Consumption: Yerba Mate Myths, Markets, and Meanings from Conquest to Present", *Comparative Studies in Society and History*, vol. 52, nro. 1, pp. 6–36, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0010417509990314>.
- [3] T. Ferreira Ferreira Da Silveira et al., "The effect of the duration of infusion, temperature, and water volume on the rutin content in the preparation of mate tea beverages: An optimization study", *Food Research International*, vol. 60, pp. 241–245, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2013.09.024>.
- [4] P. Kaltbach et al., "Mate (*Ilex paraguariensis*) tea preparations: Understanding the extraction of volatile and non-volatile compounds upon variations of the traditional consecutive infusions", *Food Chemistry*, vol. 374, 131756, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131756>.
- [5] I. Olivari et al., "Macroelement, trace element, and toxic metal levels in leaves and infusions of yerba mate (*Ilex paraguariensis*)", *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 27, pp. 21341–21352, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08681-9>.
- [6] S. Santoro, "Entrevista a Karla Johan, la misionera sommelier de mate. Experta en el arte de cebar", *Página 12*, 2019. [En Línea]. Disponible en: <https://www.pagina12.com.ar/178946-experta-en-el-arte-de-cebar>.
- [7] Instituto Nacional de la Yerba Mate. "Estadísticas del sector yerbatero argentino". [En Línea]. Disponible en: <https://inyem.org.ar/descargar/publicaciones/estadisticas/2024.html>.
- [8] J. K. Schenknecht et al., "Va um chimarrão aí? Uma UEPS abordando a temática da erva-mate para as aulas de química", en *8º Encontro Nacional de Aprendizagem Significativa*, Universidade Federal de Pernambuco Caruaru, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://editorarealize.com.br/edicao/detalhes/anais-do-8-enas>.
- [9] D. S. Donin, "A Review of Laboratory Instruction Styles", *Journal of Chemical Education*, vol. 76, nro. 4, pp. 543–547, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1021/ed076p543>.
- [10] F. M. Watts y J-M. G. Rodriguez, "A Review of Course-Based Undergraduate Research Experiences in Chemistry", *Journal of Chemical Education*, vol. 100, nro. 9, pp. 3261–3275, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00570>.
- [11] T. J. Bixby y M. Miliauskas, "Assessment of the Short-Term Outcomes of a Semester-Long CURE in General Chemistry Lab", *Journal of Chemical Education*, vol. 99, nro. 12, 3849–3857, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00384>.
- [12] L. C. Auchincloss et al., "Assessment of Course-Based Undergraduate Research Experiences: A Meeting Report", *CBE-Life-Science Education*, vol. 13, nro. 1, pp. 29–40, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1187/cbe.14-01-0004>.
- [13] S. A. Holowaty et al., "Differences in physicochemical properties of yerba maté (*Ilex paraguariensis*) obtained using traditional and alternative manufacturing methods", *Journal of Food*

- Processing Engineering, vol. 41, e12911, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpe.12911>.
- [14] Y. Kong. "The Role of Experiential Learning on Students' Motivation and Classroom Engagement", *Frontiers in Psychology*, vol. 12, 771272, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.771272>.
- [15] S. Brownell et al., "Science Communication to the General Public: Why We Need to Teach Undergraduate and Graduate Students this Skill as Part of Their Formal Scientific Training", *The Journal of Undergraduate Neuroscience Education*, vol. 12, nro. 1, 2013. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3852879/>.
- [16] L. C. Espina-Romero et al., "Soft skills in personnel training: Report of publications in scopus, topics explored and future research agenda", *Helyon*, vol. 9, nro. 4, e15468, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15468>.
- [17] E-M Zahn et al., "Mapping soft skills and further research directions for higher education: a bibliometric approach with structural topic modelling", *Studies in Higher Education*, pp. 1–21, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1080/03075079.2024.2361831>.
- [18] M. V. Panzl et al., "Evaluation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Dried Leaves of Yerba Mate (*Ilex paraguariensis*) and Their Extraction into Infusions", *Polycyclic Aromatic Compounds*, vol. 43, nro. 2, pp. 1575–1589, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/10406638.2022.2030770>.
- [19] M. Mir Memon y M. Idress, "Optimization of Caffeine Extraction from Various Tea Types Using Dichloromethane as an Organic Solvent", *Engineering Proceedings*, vol. 67, nro. 1, 81, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/engproc2024067081>.
- [20] R. Quiñones et al., "Quantification of Iron(II) in Supplements Using Redox Titration and UV-Visible Spectroscopy", *Journal of Chemical Education*, vol. 101, nro. 12, pp. 5484–5491, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c01090>.
- [21] M. Pérez et al., "The Chemistry Behind the Folin-Ciocalteu Method for the Estimation of (Poly)phenol Content in Food: Total Phenolic Intake in a Mediterranean Dietary Pattern", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 73, nro. 46, 17543–17553, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c04022>.
- [22] JASP – A Fresh Way to Do Statistics. [En Línea]. Disponible en: <https://jasp-stats.org/>.
- [23] M. R. L. Domínguez, *Guía para la Evaluación Sensorial de Alimentos*, Lima, Instituto de Investigación Nutricional, 2007.
- [24] G. Goetten De Lima et al., "Prediction of yerba mate caffeine content using near infrared spectroscopy", *Spectroscopy Letters*, vol. 52, nro. 5, pp. 282–287, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/00387010.2019.1622567>.
- [25] S. Baldor et al., "Assessment of physicochemical parameters in argentinian Yerba Mate: Variability among different commercial brands", *Food and Humanity*, vol. 1, pp. 1082–1090, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.09.002>.
- [26] K. Najman et al., "Changes in the Physicochemical and Bioactive Properties of Yerba Mate Depending on the Brewing Conditions", *Molecules*, vol. 29, 2590, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules29112590>.
- [27] J. Proch et al., "Elemental and Speciation Analyses of Different Brands of Yerba Mate (*Ilex paraguariensis*)", *Foods*, vol. 10, 2925, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10122925>.
- [28] N. Arancibia et al., "Response surface methodology for the green obtention of polyphenols from yerba mate", *Canadian Journal of Chemical Engineering*, vol. 102, pp. 3052–3060, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/cjce.25236>.
- [29] M. J. Santa Cruz et al., "Note: Relationships of Consumer Acceptability and Sensory Attributes of Yerba Mate (*Ilex Paraguariensis* St. Hilarie) using Preference Mapping", *Food Science and Technology International*, vol. 9, nro. 5, pp. 347–352, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1177/108201320303837>.
- [30] Yerba Mate Lab, "4 Types Yerba Mate", 2017. [En Línea]. Disponible en: https://www.yerbamatelab.com/types-of-yerba-mate/?srsltid=AfmBOooVHPzbBXmJ4dPSp8bul3vHICk7O-65ttvYc552AzETQfP_dLG_M.

Citación del artículo:

T. González, R. Noel Moreno, B. Notararigo, K. Schneider Colombi, J. E. Bayona Solano, P. De Genaro y A. E. Ciolino, "¿Qué tomamos cuando tomamos mate? Caracterización fisicoquímica de variedades comerciales de yerba mate (*Ilex paraguariensis*)", *Rev. Colomb. Quim.*, vol. 54, nro. 2, pp. 13–20, 2025. DOI: <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v54n2.121480>.