

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS



OPTIMIZACIÓN POR SUPERFICIE DE RESPUESTA DEL SECADO POR
LECHO FLUIDIZADO DE HOJAS DE *Urera laciniata* (ISHANGA)

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentado por:

GUEVARA ALARCÓN OMAR JHAIR

Tingo María – Perú

2026

Asesor

2026



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
FACULTAD DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
Carretera Central Km. 1.21. Apartado Postal 156 Tingo María
E.mail; fia@unas.edu.pe

"Año de la esperanza y el fortalecimiento de la democracia"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 002-2026

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos en acto público el 12 de febrero del 2026, a horas 11:00 a.m., en la Sala de Grados de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en la ciudad de Tingo María, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco, para calificar la tesis presentada por el Bach. **OMAR JHAIR GUEVARA ALARCON**, titulada:

"OPTIMIZACIÓN POR SUPERFICIE DE RESPUESTA DEL SECADO POR LECHO FLUIDIZADO DE HOJAS DE *Ureca laciniata* (ISHANGA)"

Después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran **..APROBADO.....** con el calificativo de **..MUY BUENA...**; en consecuencia, el sustentante, queda **APTO** para obtener el título de **Ingeniero en Industrias Alimentarias**, de conformidad con el artículo 45° numeral 45.2, de la Ley Universitaria 30220; los artículos 132 inciso "k" y 135 inciso "f" del Estatuto de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Tingo María, 12 de febrero del 2026

Dr. Williams Vicente Roldán Carbajal
Presidente

Dra. Yolanda Jesús Ramírez Trujillo
Miembro

M.Sc. Humberto Hugo Rivera Rojas
Miembro

Dr. Jaime Eduardo Basilio Atencio
Asesor



UNAS

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO REPOSITORIO INSTITUCIONAL

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N 154 - 2026 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% y contenido generado por Inteligencia Artificial menor o igual al 20%. Según establece el Art. 29° y 30° del Acuerdo Nro.017-2025-CIUNAS-VRI-UNAS.

Programa de Estudio:

Ingeniería en Industrias Alimentarias

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
OPTIMIZACIÓN POR SUPERFICIE DE RESPUESTA DEL SECADO POR LECHO FLUIDIZADO DE HOJAS DE <i>Urera laciniata</i> (ISHANGA)	GUEVARA ALARCÓN OMAR JHAIR	13 % Trece	Menor a 20 %

Tingo María, 22 de mayo de 2026.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO

ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES
JEFE

DEDICATORIA

A Dios

Por ser mi guía en todo momento y darme sabiduría como conocimiento durante mi carrera profesional.

A mi querida madre

Ena Mariluz Alarcón Pérez, por la formación que recibí, por todo el amor que me brinda y todos los consejos que me ha dado para poder lograr mi carrera profesional.

A mi querido padre

Aurelio Guevara Lezcano, que desde el cielo me ha guiado y cuidado para cumplir mis objetivos.

A mis hermanos

James Vilmar Guevara Alarcón, Junior Smith Salazar Alarcón y Alison Celeste Salazar Alarcón, por el apoyo, cariño y motivación constante que sigo teniendo.

AGRADECIMIENTO

- A la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias y a los docentes que me brindaron conocimiento en mi formación académica.
- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva por los servicios y la calidad de formación profesional.
- A mi asesor el Ing. Jaime Eduardo Basilio Atencio por su asesoramiento, comprensión, respaldo, tolerancia y dedicación que ha tenido durante mi proceso de elaboración y ejecución del trabajo de investigación.
- A los miembros del jurado, Ing. Williams Vicente Roldan Carbajal, Ing. Yolanda Jesús Ramírez Trujillo y al Ing. Humberto Hugo Rivera Rojas agradezco por su apoyo, confianza, disposición y aporte durante la investigación desarrollada
- Al técnico de laboratorio, Ariza Jean Carlos por su gran apoyo en la ejecución de mi tesis.
- A mis amigos Luzyn, Eduardo, Franklin, Taipe, Deivid por su amistad y motivación durante mi etapa universitaria.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISION DE LITERATURA	2
2.1. Aspectos generales de la Ishanga	2
2.1.1. Definición.....	2
2.1.2. Características de la planta.....	2
2.1.3. Clasificación Taxonómica.....	2
2.1.4. Beneficios de la Ishanga en la salud	3
2.2. Secado de los alimentos	3
2.2.1. Secado natural	4
2.2.2. Secado artificial.....	4
2.2.3. Secado por lecho fluidizado	4
2.3. Secado de plantas naturales	5
2.4. Metodología de superficie de respuesta	5
2.5. Evaluación sensorial de los alimentos.....	5
2.5.1. Aroma.....	6
2.5.2. Sabor	6
2.5.3. Color.....	6
2.6. Fenoles totales	6
III. MATERIALES Y MÉTODOS	7
3.1. Lugar de ejecución	7
3.2. Materia prima	7
3.3. Materiales, equipos y reactivos	7
3.3.1. Materiales.....	7
3.3.2. Equipos de proceso y análisis	7
3.3.3. Reactivos.....	8
3.4. Metodología Experimental	8
3.4.1. Proceso de acondicionamiento y secado por lecho fluidizado de las hojas de Ishanga	8
3.4.2. Optimización de la temperatura y velocidad de aire de secado por lecho fluidizado.	11
3.4.3. Determinación del contenido de polifenoles totales en las hojas de ishanga.....	11
3.4.4. Cuantificación de los flavonoides totales en las hojas de Ishanga.....	12
3.4.5. Evaluación sensorial de las hojas frescas y secas de Ishanga.....	12
3.4.6. Caracterización fisicoquímica de las hojas de Ishanga.....	13
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14

4.1. Efecto de las condiciones de secado por lecho fluidizado en las hojas de Ishanga.....	14
4.1.1. Curvas de secado por lecho fluidizado de las hojas de Ishanga.....	15
4.1.2. Variación del contenido de humedad con el tiempo de secado a diferente temperatura.....	17
4.2. Optimización de la temperatura y velocidad de aire de secado por lecho fluidizado.	20
4.3. Contenido de polifenoles totales en hojas de Ishanga seco	22
4.4. Contenido de flavonoides totales en hojas de Ishanga seco	23
4.5. Características sensoriales de hojas de ishanga frescas y secas	24
4.6. Caracterización fisicoquímica de las hojas de Ishanga	27
V. CONCLUSIONES.....	29
VI. PROPUESTAS A FUTURO	30
VII. REFERENCIAS	31
ANEXOS.....	378

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Contenido de humedad en base seca en las hojas de Ishanga a 180 minutos.....	14
Tabla 2. Humedad en base seca de las hojas de Ishanga secas a 180 minutos y prueba de Tukey.	19
Tabla 3. Análisis de Varianza para HBS.	20
Tabla 4. Prueba de Tukey para H _{BS} por Temperatura.	20
Tabla 5. Prueba de Tukey para HBS por velocidad.	20
Tabla 6. Valores óptimos para el secado en lecho fluidizado en las hojas de Ishanga.....	21
Tabla 7. Polifenoles totales de las hojas de Ishanga seco.....	23
Tabla 8. Flavonoides totales en las hojas de Ishanga seco	24
Tabla 9. Prueba de Kruskal-Wallis para el color.....	25
Tabla 10. Comparación de rangos del color para Kruskal-Wallis.....	25
Tabla 11. Prueba de Kruskal-Wallis para el aroma.	26
Tabla 12. Comparación de rangos del aroma para Kruskal-Wallis.....	26
Tabla 13. Prueba de Kruskal-Wallis para el sabor.	27
Tabla 14. Comparación de rangos del sabor para Kruskal-Wallis.	27
Tabla 15. Resultados de las características fisicoquímicas de las hojas de Ishanga	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujograma de secado mediante lecho fluidizado de hojas de Ishanga.....	10
Figura 2. Equipo de secado por lecho fluidizado	11
Figura 3. Cinética de secado de las hojas de Ishanga a velocidad de aire de 1,95 m/s a 50, 60 y 70 °C.	15
Figura 4. Cinética de secado de las hojas de Ishanga a velocidad de aire de 1,95 m/s a 50, 60 y 70 °C.	15
Figura 5. Cinética de secado de las hojas de ishanga a velocidad de aire de 5,85 m/s a 50, 60 y 70 °C.	16
Figura 6. Variación del contenido de humedad en base seca a velocidades de aire de 1,95; 3,9 y 5,85 m/s a 50 °C, en función al tiempo.....	17
Figura 7. Variación del contenido de humedad en base seca respecto al tiempo de secado a velocidades de aire de 1,95; 3,9 y 5,85 m/s a 60 °C.	18
Figura 8. Variación del contenido de humedad en base seca a velocidades de aire de 1,95; 3,9 y 5,85 m/s a 70 °C, en función al tiempo.....	18
Figura 9. Representación mediante superficie de respuesta para la humedad en equilibrio (base seca) de la Ishanga, procesada en lecho fluidizado bajo diferentes velocidades de aire y temperatura.....	21
Figura 10. Hojas de Ishanga	56
Figura 11. Oreado de las hojas de Ishanga	56
Figura 12. Hojas de Ishanga secas	57
Figura 13. Molido de las Muestras de cada tratamiento de las hojas de ishanga secas.....	57
Figura 14. Filtrado de extractos de las hojas de Ishanga secas y molidas.....	58
Figura 15. Determinación de pH.	58
Figura 16. Equipo espectrofotómetro modelo GENESYS-10 THERMO SCIENTIF (UV-Vis).....	59
Figura 17. A. Análisis sensorial de infusiones de hojas de Ishanga frescas y secas (tratamiento optimo).	59
Figura 18. B. Análisis sensorial de infusiones de hojas de Ishanga frescas y secas (tratamiento optimo).	60

RESUMEN

Urera laciniata, conocida como ishanga, es un arbusto nativo de la Amazonía peruana valorado en la medicina tradicional por sus propiedades antiinflamatorias y analgésicas. Sin embargo, su comercialización se ve limitada por su alta perecibilidad en estado fresco. El objetivo de esta investigación fue optimizar, mediante la metodología de superficie de respuesta (RSM), los parámetros de secado por lecho fluidizado de las hojas de ishanga. Se evaluó el efecto de la temperatura (50, 60 y 70 °C) y la velocidad del aire (1.95, 3.9 y 5.85 m/s) sobre la cinética de secado y la calidad del producto final. Las condiciones óptimas de operación se determinaron en 70 °C de temperatura y 4,3975 m/s de flujo de aire, logrando una humedad final de 0,136 g agua/g m.s. en un tiempo de 180 minutos. Bajo estas condiciones, se obtuvo la mayor retención de compuestos bioactivos, con un contenido de polifenoles totales de 823,21 mg EAG/100 g. El proceso de secado indujo cambios fisicoquímicos significativos, reduciendo el pH de 7,35 a 6,42 e incrementando la acidez de 0,08% a 0,14% debido a la concentración de solutos. El análisis sensorial confirmó que, aunque el secado modifica los atributos originales de color, aroma y sabor, el lecho fluidizado es un método eficaz para obtener un insumo funcional estable para infusiones.

Palabras clave: *Urera laciniata*, ishanga, Urticaceae, lecho fluidizado, procesamiento, deshidratación.

Optimization According to the Response Surface for Drying Leaves from *Urera laciniata* (Tropical Nettle) Using Fluidized Beds

Abstract

Urera laciniata, known as tropical nettle, is a bush that it is native to the Peruvian Amazon, which is [highly] valued in traditional medicine due to its anti-inflammatory and analgesic properties. Notwithstanding, its commercialization is limited due to it being highly perishable in a fresh state. The objective of this research was to optimize the parameters for drying the tropical nettle leaves in a fluidized bed using the response surface methodology (RSM). The effect of the temperature (50, 60 and 70 °C) and the air speed (1.95, 3.9 and 5.85 m/s) on the drying kinetics and the quality of the final product. The optimal operation conditions were determined to be at a temperature of 70 °C and an air flow of 4.3975 m/s, achieving a final humidity of 0.136 g of water/g of dry matter, for a time of 180 minutes. Under these conditions, the greatest retention of bioactive compounds was obtained, with a total polyphenol content of 823.21 mg EAG/100 g. The drying process induced significant physicochemical changes, reducing the pH from 7.35 to 6.42 and increasing the acidity from 0.08% to 0.14%, due to the solute concentration. The sensory analysis confirmed that, even though the drying modified the original color, aroma and flavor attributes, fluidized beds are an effective method for obtaining a functional ingredient that is stable for teas.

Keywords: *Urera laciniata*, tropical nettle, Urticaceae, fluidized bed, processing, dehydration.

I.INTRODUCCIÓN

El uso de hierbas medicinales es una práctica común en todo el mundo y lleva mucho tiempo de historia en muchas culturas. Muchas personas utilizan hierbas medicinales como remedios naturales para tratar una variedad de enfermedades y dolencias. En algunas partes del mundo, las hierbas medicinales son una parte integral de la atención médica, y se utilizan junto con la medicina occidental moderna (Borges et al., 2010)

La medicina tradicional en el Perú se sustenta en un conocimiento ancestral milenario sobre la flora nativa, consolidándose como una práctica vigente que complementa los sistemas de salud contemporáneos. Una de estas hierbas y poco conocida es la ishanga, su uso como agente antiinflamatorio, analgésico y antimicrobiano, hace de esta una de las plantas más usadas en la medicina popular, especialmente en la selva peruana.

La Ishanga es comercializada en forma fresca sin tratamientos previos, debido a esto su uso no se ha generalizado a nivel nacional. Los tratamientos de secado ayudan en la conservación de los alimentos, gracias a esto se facilita su comercialización y uno de estos es el secado por lecho fluidizado.

El secado por lecho fluidizado en alimentos es un proceso en el que las partículas de alimentos se mantienen en suspensión en un gas que fluye a través del lecho, lo que permite la transferencia de calor y masa para la eliminación de la humedad (Salgado et al., 2019), de esta manera el tiempo de secado es menor con respecto al secado por bandejas.

Este proyecto busca optimizar parámetros de temperatura y velocidad de aire para el secado de hojas de Ishanga por lecho fluidizado, que mantendrá sus propiedades bioactivos y sensoriales, para ser usados en infusión. De esta manera se establecerá una alternativa de uso de las hojas de Ishanga. Se consideró como objetivo general: Optimizar por superficie de respuestas el secado por lecho fluidizado de las hojas de *U. laciniata* (Ishanga) y como objetivos específicos:

- Evaluar el efecto de la velocidad de aire y temperatura de secado por lecho fluidizado sobre la velocidad de secado y humedad final de las hojas de ishanga.
- Optimizar por superficie de respuestas, la temperatura y velocidad de aire de secado. considerando como variable respuesta la humedad final de las hojas de ishanga.
- Determinación del contenido de fenoles totales en las hojas de ishanga secas.
- Evaluar las características fisicoquímicas y sensoriales (color, aroma y sabor) de las infusiones de las hojas de *Urera laciniata* (ishanga) en estado fresco y del tratamiento óptimo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Aspectos generales de la Ishanga

2.1.1. Definición

La especie *Urera laciniata* se caracteriza por ser un arbusto de origen nativo cuya estructura puede alcanzar los 4 metros de envergadura, desarrollándose óptimamente en altitudes cercanas a los 1200 msnm. Morfológicamente, destaca por la presencia de tricomas y espinas de carácter punzante sobre hojas laceradas, presentando además flores blancas de dimensiones reducidas organizadas en panículas. En el saber popular, esta planta es identificada frecuentemente como "huaquilla", "mula chalanka" o "ortiga negra", destacando su relevancia en la medicina tradicional para el tratamiento de afecciones renales y el proceso de desinfección de lesiones cutáneas (Grünwald et al., 2018).

Desde una perspectiva taxonómica, la familia Urticaceae agrupa a diversos arbustos y ejemplares herbáceos que poseen un follaje de disposición alterna u opuesta. Una particularidad de varios de sus géneros es la presencia de pelos urticantes en sus tallos; asimismo, suelen presentar sistemas reproductivos dioicos, monoicos o polígamos, con una polinización predominantemente anemófila (Assaf et al., 2021). Por otro lado, la etimología del término "ortiga" tiene raíces en el vocablo anglosajón *noedl* (aguja) y en el latín *urtica*, que se traduce como "quemar". Dentro de este grupo, el género *Urtica* engloba plantas herbáceas de ciclo perenne que logran alturas de hasta 2 metros (Kregiel et al., 2018).

2.1.2. Características de la planta

Según Monro y Rodríguez (2019) es una planta nativa que se puede encontrar como hierba, subarbusto, arbusto, o árbol, repartida en toda la región amazónica de países como Ecuador, Colombia, Perú, Venezuela y países de Mesoamérica. La ishanga crece en matorrales ribereños y en bosques perturbados, también se ha logrado encontrar desde el nivel del mar hasta elevaciones de 2600 m.s.n.m (Burger, 1977).

2.1.3. Clasificación Taxonómica

Villasis (2018) indica que la Ishanga (*Urera laciniata*). Es una especie de la familia Urticaceae utilizada como planta medicinal, desde una perspectiva botánica, la organización taxonómica que define a la *U. laciniata* se clasifica de la siguiente forma:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida
 Orden: Rosales
 Familia: Urticaceae
 Género: *Urera*
 Especie: *Urera Laciniata*

2.1.4. Beneficios de la Ishanga en la salud

La investigación en la flora medicinal ha avanzado significativamente en la identificación de compuestos biológicos, pero este progreso ha sido desigual. La *Urera laciniata*, conocida comúnmente como ishanga, ejemplifica esta brecha de conocimiento: pese a su extendido uso culinario y su relevancia nutricional en diversas regiones de América, no ha recibido la atención investigativa que se merece (Petkova et al., 2020).

Estudios etnobotánica refiere la ishanga para usos contra: enfermedades reumáticas, malaria, fiebre y dolores musculares, también se reporta su uso como analgésico. El ácido fórmico y los flavonoides son los compuestos activos que tienen en común las especies de esta familia Urticaceae, lo cual explica las características antiinflamatorias que se les asocian (Heredia et al., 2020).

2.2. Secado de los alimentos

El secado constituye una de las estrategias de preservación alimentaria con mayor trayectoria histórica y vigencia en la actualidad. Años recientes, han crecido las exigencias de optimizar la calidad del producto y al mismo tiempo disminuir el tiempo de secado, así como los costos y el consumo energético de este. Por lo tanto, se emplean pretratamientos antes del secado con el fin de incrementar la eficiencia del mismo y mejorar la transferencia de calor y masa. También se busca reducir la degradación de la calidad final del producto. Cuando se someten al proceso de secado, se esperan cambios que pueden ser de sabor, color, textura y propiedades físicas, químicas y microbianas (Pandiselvam et al., 2023).

El secado es una alternativa tradicional para fomentar la seguridad alimentaria de más del 20 % de las cosechas percederas globales; además, este proceso mejora la estabilidad del almacenamiento, minimiza considerablemente los requisitos de embalaje, aparte de reducir el peso y el costo de transporte.

Según Ocampo (2006), el secado es un proceso que busca reducir el contenido de humedad de un producto y que normalmente se utiliza con aire caliente. El secado es un procedimiento que además de disminuir los costos de transporte, empaque y almacenamiento,

además de conservar el producto. Esto previene el desarrollo de hongos y bacterias que pueden afectar la calidad del alimento.

El propósito fundamental del secado, así como su objetivo, es eliminar la humedad de un producto asegurando la calidad simultáneamente. El proceso de secado también toma en cuenta la reducción de los costos operativos. Los alimentos son un sistema que consta de varios elementos, y su integración es compleja, ya que combina distintos procesos físicos y químicos (Rahman et al., 2017). Como se indica a continuación, hay varios tipos de secado en los alimentos:

2.2.1. Secado natural

Es un método que, mediante la exposición al calor natural del sol, se logra la deshidratación del alimento sin comprometer sus cualidades alimenticias originales. Es la técnica más empleada para preservar productos agrícolas como frutas, verduras y cereales en la mayoría de países en desarrollo, es el secado al sol al aire libre; sin embargo, cuando las condiciones climáticas son adversas puede ocasionar pérdidas serias tanto en calidad como en cantidad del producto seco (Pangavhane, 2002).

2.2.2. Secado artificial

Este método se realiza empleando un horno en condiciones controladas ajustando específicamente la velocidad de aire, junto con los valores de temperatura y humedad. Además, permite que, en un breve lapso de tiempo, se logren productos con mejor calidad, una buena uniformidad y menor cantidad de humedad. Uno de los principales inconvenientes de esta técnica reside en su elevado impacto económico, derivado principalmente de la alta demanda energética necesaria para su funcionamiento (Córdova, 2005).

2.2.3. Secado por lecho fluidizado

El secado por lecho fluidizado es un método en el que el material húmedo se desplaza y flota como si fuera un fluido, dentro de un lecho constituido por partículas sólidas (Wang y Mujumdar, 2007).

El estudio de Kassem et al. (2011), señala que el secado por lecho fluidizado proporciona beneficios significativos, tales como una elevada transferencia de calor y masa, un secado rápido y una reducción uniforme de la humedad en corto tiempo. Los secadores incrementan la efectividad de estos procedimientos al posibilitar que la superficie del producto actúe como lava fundida y se mezcle eficientemente los componentes sólidos con el aire de

secado. Proporcionan una temperatura constante en el lecho durante todo el tiempo de secado, que se prolonga hasta que la humedad de la superficie se evapora completamente y llega al contenido crítico de humedad del material.

2.3. Secado de plantas naturales

El agua es el compuesto que está más presente en todos los seres vivos; además, es un disolvente universal en el que se disuelven las biomoléculas y las sales inorgánicas. Es fundamental para muchas reacciones químicas que suceden dentro de los organismos. El agua mantiene la estructura de las membranas celulares y macromoléculas de las plantas. Sin embargo, hay algunos organismos capaces de sobrevivir a la pérdida total de su contenido acuoso ($<0,1 \text{ g H}_2\text{O g}^{-1}$ masa seca). Cuando ocurre el proceso de secado, estos organismos tolerantes a la desecación entran en un estado latente conocido como anhidrobiosis, durante el cual detienen cualquier actividad metabólica hasta que las hojas son rehidratadas (Gasulla et al., 2021).

2.4. Metodología de superficie de respuesta

El objetivo de la metodología de superficie de respuesta es optimizar una respuesta que se ve influenciada por varias variables. Para ello, utiliza un conjunto de técnicas estadísticas y matemáticas en el modelado y análisis de problemas (Yaguas, 2017). La optimización, conforme a Vandenberghe y Boyd (1996), es la manera de buscar la solución más adecuada (máxima o mínima) entre un conjunto de soluciones posibles, siguiendo un criterio específico y bajo ciertas limitaciones.

2.5. Evaluación sensorial de los alimentos

Ruíz-Capillas y Herrero (2021) destacan que las características organolépticas emplean la capacidad perceptiva de los panelistas para analizar variables como la apariencia y sabor y olor. Durante años, este método ha servido como herramienta primordial en la toma de decisiones sobre la aceptabilidad de los productos en la industria alimentaria.

Según la norma ISO 5492, el análisis sensorial es la ciencia que se encarga de evaluar las propiedades organolépticas de un producto a través de los sentidos. En otras palabras, el objetivo del análisis sensorial es describir las cualidades perceptibles de un producto, más ampliamente, de un estímulo, empleando los sentidos humanos como instrumento de medición (ISO 5492:2008, s. f.). según Ruiz-Capillas y Herrero (2021), la evaluación sensorial estudia las características de un alimento o producto (textura, gusto,

aparición externa, olfato, entre otras) mediante los sentidos (gusto, vista, oído, tacto y olfato) de los panelistas. Durante siglos, este tipo de análisis ha sido empleado con el objetivo de aprobar o desaprobar productos alimenticios.

2.5.1. Aroma

Schieberle y Hofman (1997) afirman que el sabor de los alimentos está compuesto por gusto, aroma y sensación; el aroma es lo más relevante, ya que tiene un gran impacto en el sabor de los alimentos.

2.5.2. Sabor

Según Guichard (2002), el sabor es considerado como uno de los atributos más fundamentales que deciden si el consumidor acepta o no los alimentos, debido a que está relacionado con la combinación de estímulos olfativos y gustativos.

2.5.3. Color

El color se ha convertido en un aspecto cada vez más importante en la industria de alimentos, ya que determina la manera en que estos se exhiben y comercializan; por ende, es un parámetro indicativo que se emplea para el control de calidad (Dias et al., 2012). Los colores son útiles no solo para identificar alimentos, sino que también son particularmente relevantes para distinguir sabores asociados con el color.

Además, se indica que la fuerza de los colores tiene un impacto significativo en la intensidad percibida de los sabores asociados con el color; por lo general, a medida que la intensidad del color sobre, también lo hace la intensidad del sabor. Los colores, aunque en menor medida, también pueden tener un impacto sobre los juicios de gusto y otros factores del sabor que no están necesariamente relacionados con un único color (Christensen, 1983).

2.6. Fenoles totales

Los compuestos fenólicos se distinguen por ser un grupo heterogéneo de sustancias con una notable capacidad biológica. Según lo planteado por Vidal et al. (2022), estos metabolitos actúan como inhibidores del daño oxidativo a nivel celular. Al poseer estructuras fenólicas (anillos de seis carbonos con radicales hidroxilos), tienen la capacidad de mitigar los efectos adversos de los radicales libres, lo cual es determinante para prevenir enfermedades de carácter degenerativo vinculadas al desequilibrio oxidativo

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

Las fases experimentales de esta investigación se desarrollaron en las instalaciones de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), específicamente en los laboratorios de: Química, Ingeniería de Alimentos, Análisis Sensorial, Secado, Control de Calidad y Análisis de Alimentos. La zona de estudio se localiza en Tingo María (Huánuco), a una elevación de 660 m.s.n.m a 9°18'03" de latitud sur, y 76°02'11" de longitud oeste. Las condiciones ambientales del lugar se caracterizan por un clima tropical húmedo, con registros promedio de 24,2 °C de temperatura, 78 % de humedad relativa y una pluviosidad anual de 2300 mm.

3.2. Materia prima

Fue obtenida del distrito de Mariano Dámaso Beraún, específicamente en la localidad de Clorinda Matto de Turner (Provincia de Leoncio Prado) las hojas de *U. laciniata* para este estudio. El sitio de muestreo, ubicado a 647 m de altitud (9°22'07,4" latitud Sur y 75°57'44,5" latitud Oeste), registra una media térmica anual de 20,5 °C y niveles de precipitación que alcanzan los 3337,1 mm, manteniendo una humedad ambiental promedio del 81,7 %.

3.3. Materiales, equipos y reactivos

3.3.1. Materiales

Para el desarrollo de las pruebas, se dispuso de vasos precipitados de vidrio de 100 mL, matraz de 250 mL, bureta graduada de 50 mL, frascos de vidrio, varilla de vidrio, embudos de filtración, gotero, piseta, tubos falcón de 15 mL, tubos de microcentrífuga de 1,5 mL, cubetas semimicro de poliestireno para espectrofotómetro de 1,5 mL, puntas para micropipeta de 10 a 100 µL y 100 a 1000 µL, porta cubetas de 2,0 a 3,0 mL, porta tips, microtubos de 1,5 a 2 mL, porta Microtubos de 1,5 a 2 mL, balde de plástico, bandeja de plástico, jarra de 1 L, vasos de polipropileno, bolsas de polipropileno, mesa de acero inoxidable, tijera, papel filtro Whatman ($\varnothing=125$ mm), soporte universal de madera.

3.3.2. Equipos de proceso y análisis

Secador de lecho fluidizado marca INDUSTRIAS MERINO, espectrofotómetro modelo GENESYS-10 THERMO SCIENTIFIC (UV/Vis), molinillo marca

Bosch, centrífuga marca HETTICH modelo EBA 20, pH metro digital marca ORION STAR, cocina eléctrica marca PRACTIKA, selladora a mano marca STANDER.

3.3.3. Reactivos

Folin-Ciocalteu's diluido 1/10, carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 7,5 %, nitrito de sodio (NaNO_2) al 5 %, Fenolftaleína 1 %, hidróxido de sodio (NaOH) 1M, cloruro de aluminio (AlCl_3) al 10 %, agua destilada, alcohol etanol 96 °GL, solución de hipoclorito 22,27 ppm.

3.4. Metodología Experimental

3.4.1. Proceso de acondicionamiento y secado por lecho fluidizado de las hojas de Ishanga

En la Figura 1 se ilustra la secuencia de etapas aplicadas al acondicionamiento y secado por lecho fluidizado de las hojas de ishanga. A continuación, se profundiza en la fundamentación técnica y ejecución de cada una de estas operaciones.:

Cosecha: La materia prima (*U. laciniata*) fue obtenida del centro poblado Clorinda Matto de Turner.

Traslado: Una vez recolectadas, las muestras se trasladaron inmediatamente empleando bolsas plásticas para evitar su deterioro.

Recepción: Las hojas recolectadas fueron recepcionadas en el laboratorio de secado.

Separado / selección: Las hojas se colocaron sobre una mesa de trabajo de acero inoxidable y se procedió a la separación de los peciolos con la ayuda de unas tijeras previamente desinfectada, y como criterio de selección se dio prioridad a las hojas más tiernas y descartando las hojas maltratadas, demasiado maduras, deterioradas por insectos y otras imperfecciones.

Lavado: Posteriormente se realizó el lavado utilizando agua potable con el fin de eliminar residuos de materiales ajenos generados durante la cosecha y el posterior procesamiento de las hojas.

Desinfectado: La reducción de la flora microbiana se llevó a cabo sumergiendo las hojas en una mezcla de agua e hipoclorito de sodio (10 gotas/L) por un lapso de 10 minutos. Esta dosificación permitió obtener una concentración de 22,27 ppm de cloro activo. Para el cálculo preciso de las partes por millón, partiendo de una solución madre al 4%, se utilizó la Ecuación (1) como referencia técnica.

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \dots\dots\dots (1)$$

Donde: **C₁**: concentración en ppm del hipoclorito de sodio, **V₁**: volumen inicial del hipoclorito de sodio, **C₂**: concentración a determinar del hipoclorito de sodio, **V₂**: volumen de la disolución

del hipoclorito de sodio.

Enjuagado: Para garantizar la remoción de agentes químicos desinfectantes, se llevó a cabo un enjuagado final. Este procedimiento consistió en sumergir las hojas en agua corriente, asegurando la limpieza de las muestras.

Escurrido: Posteriormente, las muestras se sometieron a una etapa de drenaje en un colador para asegurar la eliminación del agua libre capturada durante la inmersión previa.

Oreado: Con el objetivo de reducir la carga de humedad externa, las muestras de ishangá se colocaron de forma extendida a temperatura ambiente. Dicha fase de reposo se prolongó por 120 minutos, facilitando la eliminación del agua libre captada en los procesos de lavado previos.

Pesado: Se determinó el peso inicial de las muestras empleando una balanza digital, asegurando la obtención de valores precisos para la evaluación del rendimiento y la pérdida de agua en las etapas subsecuentes.

Secado por lecho fluidizado:

Con el fin de determinar la pérdida de humedad, se dispusieron 400 g de hojas de ishangá en el equipo de lecho fluidizado por cada tratamiento (con tres repeticiones). Se configuraron variables de temperatura (50, 60 y 70 °C) y velocidad de aire (1,95; 3,9 y 5,85 m/s). El seguimiento del peso se efectuó de forma rigurosa: cada media hora durante las dos horas iniciales y, a partir de ese punto, cada hora durante las seis horas finales. Este procedimiento continuó hasta que cada tratamiento registró un peso constante, utilizando para ello una balanza electrónica de alta precisión. Finalmente, el cálculo de la humedad en base seca (HBS), definida como la relación de masa de agua por unidad de sólido seco en las hojas de ishangá, se realizó siguiendo la metodología y el modelo matemático propuesto por Tasirin et al. (2007), según se detalla en la Ecuación (2):

$$HBS=(P_M-M_S) / M_S \dots\dots\dots (2)$$

Donde: **HBS:** humedad en base seca (g agua/g m.s), **P_M:** peso de la muestra, **M_S:** peso de la muestra seca.

Pesado: Tras completarse el secado establecido, el peso definitivo de cada unidad experimental se registró utilizando un sistema de pesaje digital para asegurar la exactitud de los resultados.

Molido: Se procedió a la molienda del material secado utilizando un equipo de rotación rápida en este caso un molino manual por un lapso de 15 segundos, asegurando la homogeneidad física de la muestra final.

Empacado / sellado: Para garantizar la integridad del material procesado, se procedió al sellado manual en bolsas de polipropileno con el propósito de preservar las propiedades organolépticas,

tales como el aroma y la pigmentación natural de la ishanga.

Almacenado: Para asegurar la conservación óptima de las muestras procesadas, los empaques se dispusieron en un espacio libre de humedad, resguardados de la radiación solar directa y a temperatura ambiente, garantizando así un ambiente fresco y oscuro.

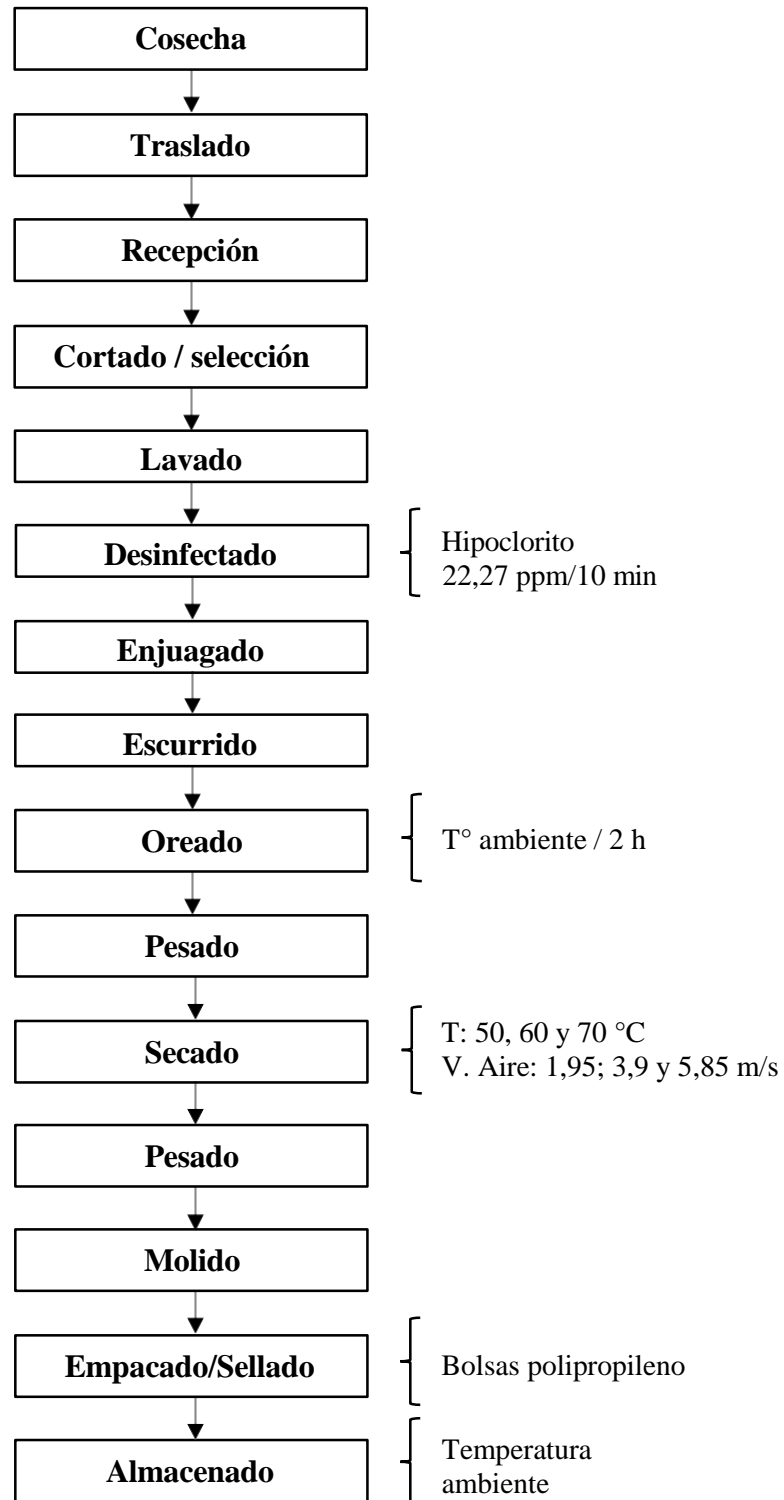


Figura 1. Flujograma de secado mediante lecho fluidizado de hojas de Ishanga.

En la Figura 2 se presenta el equipo de lecho fluidizado donde se llevaron a cabo los ensayos de secado bajo las condiciones térmicas y de flujo previamente descritas



Figura 2. Equipo de secado por lecho fluidizado

3.4.2. Optimización de la temperatura y velocidad de aire de secado por lecho fluidizado.

Con el propósito de optimizar el proceso, se analizó el impacto de las variables operativas (velocidad de aire y temperatura) sobre la curva de secado de las hojas. Para ello, se aplicó un modelo de superficie de respuesta con un diseño de tres puntos centrales, tomando como referencia el tratamiento que mostró un mejor desempeño en los ensayos previos.

La optimización de las condiciones de secado, específicamente la velocidad del flujo de aire y la temperatura, se llevó a cabo a través del modelado por superficie de respuesta. En este análisis, se estableció la humedad en base seca (HBS) como la variable dependiente. Los resultados derivados de dicha superficie revelaron que, entre los factores evaluados, la temperatura ejerce un efecto significativamente superior sobre la reducción del contenido de humedad final del producto.

3.4.3. Determinación del contenido de polifenoles totales en las hojas de ishanga

Para la obtención del extracto se realizó mediante una infusión controlada, pesando 2,5 g de muestra seca que se añadieron a 100 mL de agua destilada en ebullición. Este

proceso de extracción se mantuvo por un periodo de 3 minutos, seguidamente se dejó enfriar a temperatura ambiente, para que luego este extracto sea utilizado en la determinación de polifenoles y flavonoides totales.

La determinación del contenido de compuestos fenólicos se realizó siguiendo el protocolo de Peláez et al. (2021). Inicialmente, se centrifugó el extracto a 4500 rpm durante 10 minutos. Posteriormente, se preparó la reacción mezclando 100 μL del sobrenadante diluido con 500 μL del reactivo Folin-Ciocalteu (1/10) y 400 μL de (Na_2CO_3) al 7,5 %. Tras un periodo de incubación de dos horas en ausencia de luz y a temperatura ambiente, se midió la absorbancia a 740 nm mediante espectrofotometría UV-VIS. Los valores obtenidos se transformaron a mg de equivalentes de ácido gálico por gramo (mg EAG/g muestra) empleando una curva de calibración estándar.

3.4.4. Cuantificación de los flavonoides totales en las hojas de Ishanga

La determinación de flavonoides totales de los extractos de hojas secas de ishanga se realizó siguiendo la metodología de Muñoz et al. (2012). El sistema de cuantificación se fundamentó en una curva de calibración de catequina, empleando una solución stock de 1000 $\mu\text{g/mL}$ para obtener estándares en un rango de 1 a 10 $\mu\text{g/mL}$.

Siguiendo el protocolo de Muñoz et al. (2012), se determinaron los flavonoides totales sin diluir el extracto original. El procedimiento inició con la mezcla de 100 μL de muestra y 30 μL de nitrito de sodio (NaNO_2) al 5 %. Tras una reacción inicial de 6 minutos, se incorporaron 30 μL de cloruro de aluminio (AlCl_3) 10 %, permitiendo un segundo reposo de 5 minutos. Posteriormente, se añadieron 200 μL de hidróxido de sodio a 1M (NaOH) y se completó el volumen final con 640 μL de agua destilada. Tras una incubación final de 30 minutos en oscuridad, se midió la absorbancia a 510 nm. La concentración final se estableció a partir de una curva estándar de catequina (mg CAT/g), asegurando la validez de los datos mediante el análisis de tres réplicas por cada muestra.

3.4.5. Evaluación sensorial de las infusiones de hojas frescas y del tratamiento óptimo de Ishanga

Para determinar las propiedades organolépticas (aroma, color y sabor), se analizaron hojas frescas y procesadas de ishanga mediante un test de evaluación de 5 puntos basado en Teneda et al. (2017). La metodología de extracción consistió en hervir las muestras (0,8 g de polvo y 2 g frescas) en 100 mL de agua destilada por cada gramo de muestra durante 3 minutos. El líquido resultante, una vez filtrado y conservado en termos, fue sometido a un

análisis estadístico comparativo empleando los modelos de Kruskal-Wallis y ANOVA.

3.4.6. Caracterización fisicoquímica de las hojas de Ishanga

En el tratamiento óptimo y en las hojas frescas se realizaron los siguientes análisis fisicoquímicos

Humedad: El cálculo del porcentaje de humedad de la Ishanga, basado en la ecuación (3), se realizó tras un proceso de secado por estufa de 12 horas a 110 °C. En este análisis fisicoquímico, que incluyó la muestra óptima y hojas frescas, se utilizaron 2 g de material fresco debidamente cortado en placas Petri, siguiendo la metodología estandarizada de la AOAC (1997). El registro del peso final tras la exposición térmica permitió establecer la pérdida de masa de la muestra.

$$\% \text{ Humedad} = ((W_i - W_f) / W_i) \times 100 \dots \dots \dots (3)$$

Donde: **W_i**: peso inicial de la ishanga fresco, **W_f**: Peso final de la ishanga seco.

pH: Siguiendo el procedimiento de Abadía et al. (1973), se determinó el potencial de hidrógeno (pH) empleando un equipo digital HANNA. Para la obtención del extracto directo, se procesaron 5 g de muestra en 50 mL del solvente (agua destilada), se mantuvo en ebullición por un periodo de 3 minutos. Una vez que el filtrado alcanzó la temperatura ambiente, se procedió con la lectura digital. Cabe precisar que se analizaron comparativamente las variantes del tratamiento óptimo y frescas para este parámetro.

Acidez:

El procedimiento de titulación, basado en la metodología de Caisahuana (2012), consistió en emplear hidróxido de sodio (NaOH 0,1 N) para determinar el porcentaje de acidez. Previamente, la solución se filtró empleando papel filtro WHATMAN (Ø= 125 mm) en embudos de vidrio, soporte universal y matraces de vidrio de 250 mL. Para el análisis, se tomó una fracción de 10 mL del filtrado, se mezcló con 20 mL de agua destilada y se añadieron 3 gotas de indicador fenolftaleína al 1 %. El registro del consumo del agente titulante permitió aplicar la Ecuación (4).

$$\% \text{ Acidez} = ((C \times N \times \text{meq. del ácido}) / P_M) \times 100 \dots \dots \dots (4)$$

Donde: **C**: consumo de NaOH, **N**: Normalidad de NaOH al 0,1 N, **P_M**: Peso de la muestra, **meq. del ácido**: ácido cítrico (0,064).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Efecto de las condiciones de secado por lecho fluidizado en las hojas de Ishanga

Los registros obtenidos durante los ensayos, que vinculan la evolución del peso respecto al tiempo bajo tres regímenes térmicos (50, 60 y 70 °C) y velocidades de aire diferenciados (1,95; 3,9 y 5,85 m/s), se encuentran organizados detalladamente en el **Anexo 3**. Por otro lado, la **Tabla 1** ofrece un resumen de los contenidos de humedad final calculados en base seca (g agua/g m.s) una vez finalizado el proceso de secado por lecho fluidizado.

Tabla 1. Contenido de humedad en base seca en las hojas de Ishanga a 180 minutos

Tratamientos / Repeticiones	R ₁	R ₂	R ₃	Promedio
	g agua/g m.s	g agua/g m.s	g agua/g m.s	g agua/g m.s
T ₁ (50 °C/1,95m/s)	0,24	0,18	0,19	0,20 ± 0.03 ^{cd}
T ₂ (50 °C/3,9m/s)	0,14	0,20	0,19	0,18 ± 0.03 ^{bcd}
T ₃ (50 °C/5,85m/s)	0,26	0,11	0,26	0,21 ± 0.08 ^d
T ₄ (60 °C/1,95m/s)	0,22	0,21	0,22	0,22 ± 0.00 ^d
T ₅ (60 °C/3,9m/s)	0,18	0,09	0,17	0,14 ± 0.05 ^{bcd}
T ₆ (60 °C/5,85m/s)	0,09	0,05	0,09	0,08 ± 0.02 ^{ab}
T ₇ (70 °C/1,95m/s)	0,06	0,08	0,09	0,08 ± 0.02 ^{ab}
T ₈ (70 °C/3,9m/s)	0,01	0,00	0,01	0,00 ± 0.00 ^a
T ₉ (70 °C/5,85m/s)	0,14	0,01	0,10	0,08 ± 0.07 ^{abc}

Los valores representan (promedio ± SEM) datos del experimento (n=3) y prueba de Tukey.

Según los resultados obtenidos, las hojas de ishanga alcanzaron una humedad final promedio de entre 0,00 y 0,22 g agua/g m.s. Estos valores guardan correspondencia con los hallazgos de Flores (2019) en investigaciones sobre sachá culantro mediante lecho fluidizado. En dicho estudio, se reportaron niveles de 0,09 g agua/g m.s tras 240 minutos a 70 °C y 7,1 m/s. Del mismo modo, el autor observó que al reducir la temperatura a 60 °C (manteniendo la misma velocidad de flujo), el tiempo requerido para alcanzar ese nivel de humedad se duplicó a 480 minutos, lo que ratifica la influencia de la temperatura en la cinética de secado observada en este trabajo.

4.1.1. Curvas de secado por lecho fluidizado de las hojas de Ishanga

El comportamiento del contenido de humedad a través del tiempo para las hojas de Ishanga se ilustra en las Figuras 4, 5 y 6. En estas representaciones gráficas, se detalla la cinética de secado bajo la influencia de distintos niveles térmicos y diversas velocidades de aire.

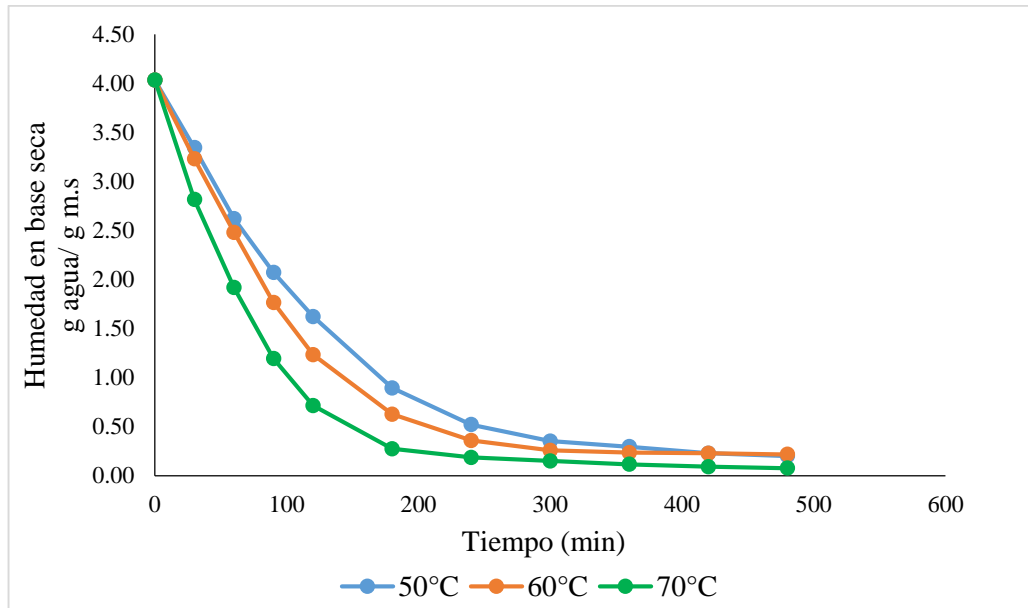


Figura 3. Cinética de secado de las hojas de Ishanga a velocidad de aire de 1,95 m/s a 50, 60 y 70 °C.

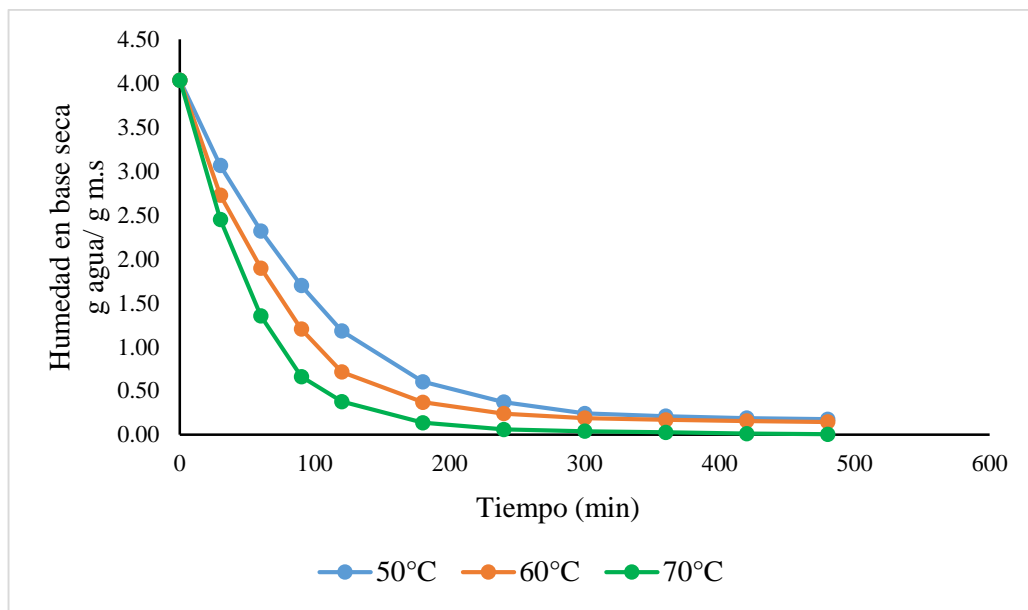


Figura 4. Cinética de secado de las hojas de Ishanga a velocidad de aire de 1,95 m/s a 50, 60 y 70 °C.

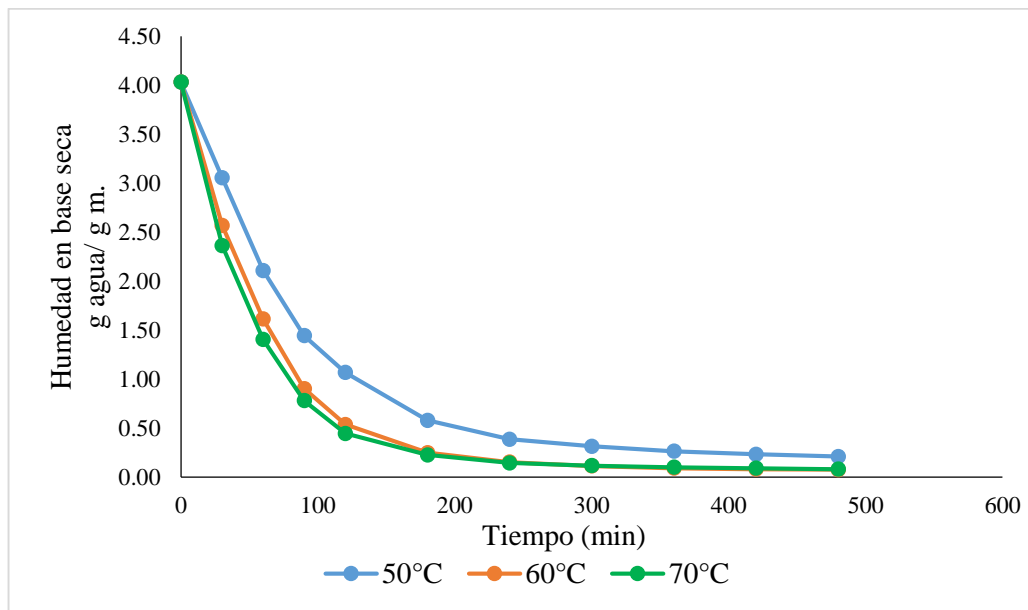


Figura 5. Cinética de secado de las hojas de ishangá a velocidad de aire de 5,85 m/s a 50, 60 y 70 °C.

El análisis de los primeros 60 minutos revela una caída drástica en los niveles de humedad, siendo este descenso más moderado en los ensayos realizados a 50 °C en comparación con los de 60 °C y 70 °C. La similitud entre las curvas de estas dos últimas temperaturas sugiere que el incremento térmico es el factor determinante para acortar los periodos de secado. Por el contrario, a niveles térmicos más bajos (50 °C), el proceso se prolonga debido a una menor tasa de evaporación. Estos hallazgos concuerdan con la investigación de Mendoza et al. (2014), la cual establece que la velocidad de secado es directamente proporcional a la temperatura y el flujo de aire, favoreciendo una remoción de agua más eficiente en menor tiempo.

La influencia de los parámetros en la cinética de secado se manifiesta en la reducción de los periodos de exposición al calor. Autores como Paz et al. (2022) observaron una aceleración en la tasa de evaporación al incrementar el calor, logrando reducir el tiempo de secado de 480 a 210 minutos al pasar de 40 °C a 60 °C en hojas de muña. Castro et al. (2008), nos dicen que la relación entre la temperatura y la velocidad de deshidratación resultó ser directamente proporcional; a mayor calor suministrado, la pendiente de la curva de secado se volvió más pronunciada. En consecuencia, la optimización térmica permitió acortar los tiempos de residencia de la muestra en el lecho fluidizado, mejorando la eficiencia operativa del tratamiento, a esto se suma que a mayor temperatura la humedad relativa del aire es menor, lo que aumenta su capacidad para absorber agua, favoreciendo la remoción de humedad. Según

Reyes et al. (2007), señalan que el secado por lecho fluidizado es la opción más eficiente ya que minimiza la degradación de nutrientes y principios activos durante el procesamiento.

4.1.2. Variación del contenido de humedad con el tiempo de secado a diferente temperatura

Al analizar las Figuras 7, 8 y 9, se aprecia que la humedad en base seca disminuye progresivamente en función del tiempo. Los resultados demuestran que la velocidad del aire de secado actuó como un factor determinante a 50, 60 y 70 °C, provocando cambios sustanciales en la tasa de transferencia de masa y facilitando una reducción más eficiente de la humedad en las hojas de ishanga.

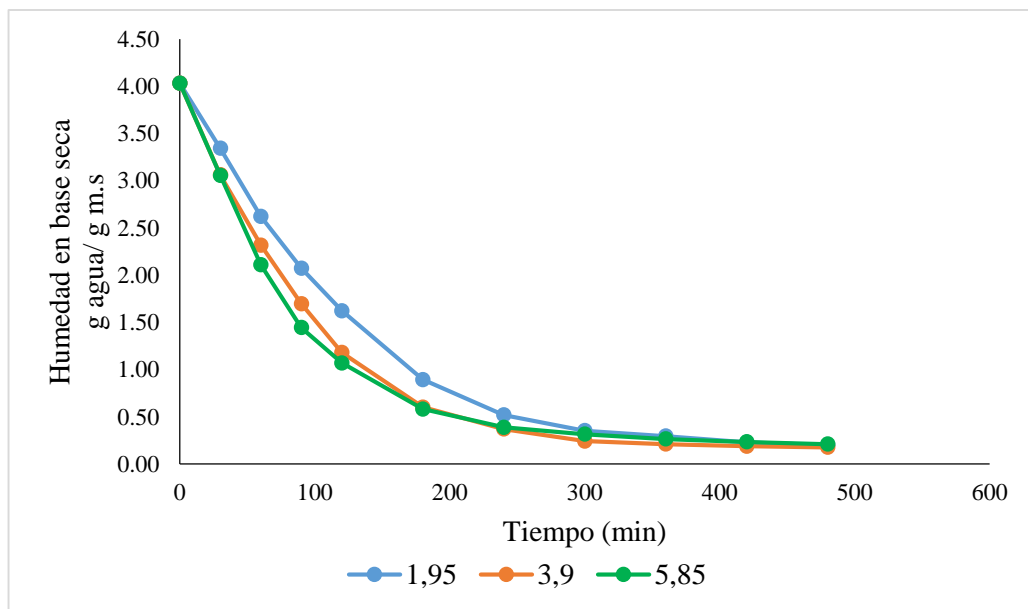


Figura 6. Variación del contenido de humedad en base seca a velocidades de aire de 1,95; 3,9 y 5,85 m/s a 50 °C, en función al tiempo.

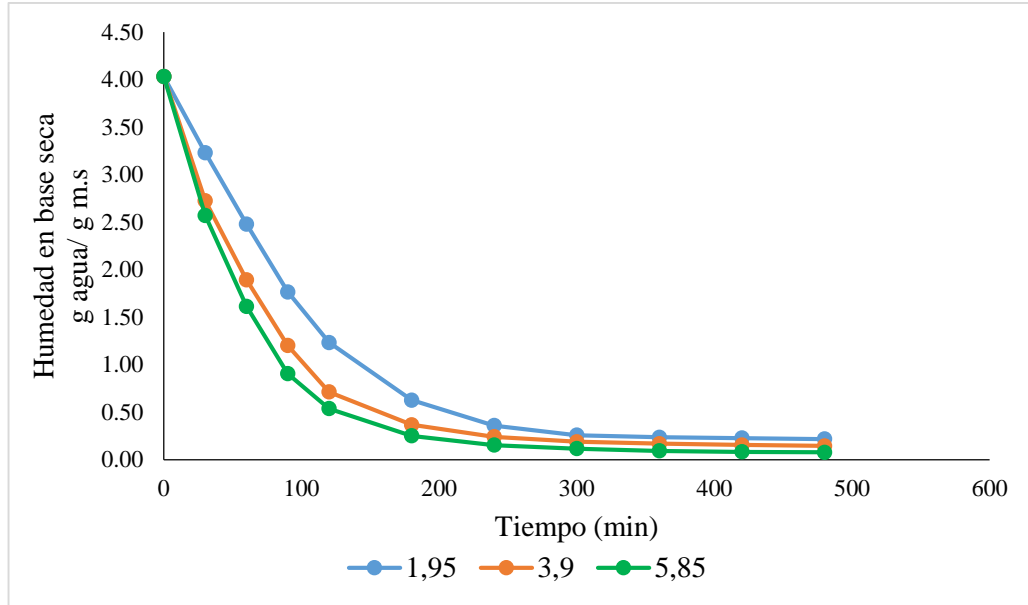


Figura 7. Variación del contenido de humedad en base seca respecto al tiempo de secado a velocidades de aire de 1,95; 3,9 y 5,85 m/s a 60 °C.

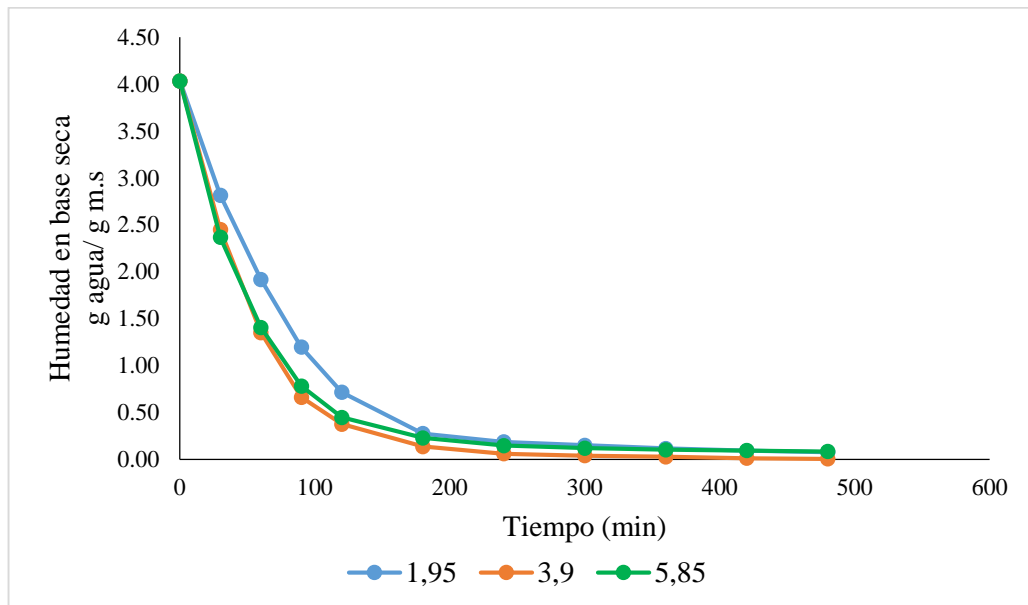


Figura 8. Variación del contenido de humedad en base seca a velocidades de aire de 1,95; 3,9 y 5,85 m/s a 70 °C, en función al tiempo.

Las variaciones significativas detectadas confirman que la velocidad del aire actúa como una variable de control fundamental. Los hallazgos de Basilio y Flores (2021) resaltan la influencia que ejercen tanto la temperatura como la velocidad del aire sobre el contenido de humedad, por lo cual concluyeron que el punto operativo ideal se alcanza a 67,1 °C con un flujo de 7,1 m/s, condiciones que favorecen una remoción de agua superior en el

sacha culantro. Según Vela y Hoyos (2015), existe una correlación inversa entre el flujo de aire y el tiempo de exposición térmica: a mayor velocidad aerodinámica, menor es el periodo requerido para el secado. En investigaciones sobre el secado de yuca mediante sistemas de bandejas, Porras y Figueroa (2019) identificaron que la dinámica del flujo de aire es un factor determinante en la eficiencia del proceso. Según sus hallazgos, el rendimiento ideal se alcanza a una temperatura de 50 °C y una velocidad de flujo constante de 1,0 m/s.

La relación entre el tiempo de secado y la pérdida de humedad se detalla en el Anexo 4. Para el análisis estadístico de los resultados, se tomó como referencia el valor obtenido a los 180 minutos de exposición térmica, considerando este lapso como representativo para observar el comportamiento cinético de la Ishanga bajo las condiciones evaluadas.

Los resultados de la cinética de secado, expresados como humedad en base seca, se presentan en la Tabla 2. Esta matriz de datos permite analizar la respuesta del material vegetal frente a la combinación de las temperaturas de ensayo 50, 60 y 70 °C y las velocidades de aire (1,95; 3,9 y 5,85 m/s) empleados en la investigación.

Tabla 2. Humedad en base seca de las hojas de Ishanga secas a 180 minutos y prueba de Tukey.

Temperatura (°C)	Velocidad (m/s)	H _{BS} (Promedio)
50	1,95	0,89 ± 0,02 ^c
50	3,90	0,63 ± 0,02 ^{bc}
50	5,85	0,27 ± 0,13 ^a
60	1,95	0,60 ± 0,05 ^b
60	3,90	0,37 ± 0,06 ^{ab}
60	5,85	0,14 ± 0,06 ^a
70	1,95	0,58 ± 0,14 ^b
70	3,90	0,25 ± 0,02 ^a
70	5,85	0,23 ± 0,05 ^a

El análisis estadístico detallado en la Tabla 3 examina cómo la temperatura, la velocidad del aire y la interacción de ambos influyen en la humedad en base seca (HBS) tras 180 minutos de proceso. Dado que los valores *p* obtenidos son menores al umbral de 0,05, se confirma que ambos factores ejercen una influencia estadísticamente significativa sobre la humedad en base seca, sustentando estos hallazgos con un nivel de confianza del 95,0 %.

Tabla 3. Análisis de Varianza para HBS.

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	1,03579	2	0,517893	52,61	0,0000
B: Velocidad	0,334007	2	0,167004	16,96	0,0001
AB	0,0963926	4	0,0240981	2,45	0,0836
Error total	0,1772	18	0,00984444		
Total (corr.)	1,64339	26			

Tabla 4. Prueba de Tukey para H_{BS} por Temperatura.

Temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
70	9	0,214444	0,0330731	A
60	9	0,415556	0,0330731	B
50	9	0,692222	0,0330731	C

Tabla 5. Prueba de Tukey para HBS por velocidad.

Velocidad	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
5,85	9	0,354444	0,0330731	A
3,9	9	0,37	0,0330731	A
1,95	9	0,597778	0,0330731	B

La identificación de las condiciones óptimas de operación se realizó mediante la prueba de Tukey, destacando los 70 °C como la temperatura que ofrece mejores rendimientos (Tabla 4). Asimismo, se observó una homogeneidad estadística en los resultados obtenidos con velocidades de aire de 3,9 y 5,85 m/s, según los datos en la Tabla 5. La combinación de estos factores constituye el escenario óptimo para el secado de la ishanga, logrando una deshidratación más acelerada de la muestra.

4.2. Optimización de la temperatura y velocidad de aire de secado por lecho fluidizado.

El análisis de optimización, basado en una función polinomial de segundo orden, se presenta a través de la superficie de respuesta en la Figura 9. Este modelo estadístico facilita la visualización de la interacción entre las variables de estudio y la determinación de los parámetros óptimos para el tratamiento térmico de las hojas de ishanga.

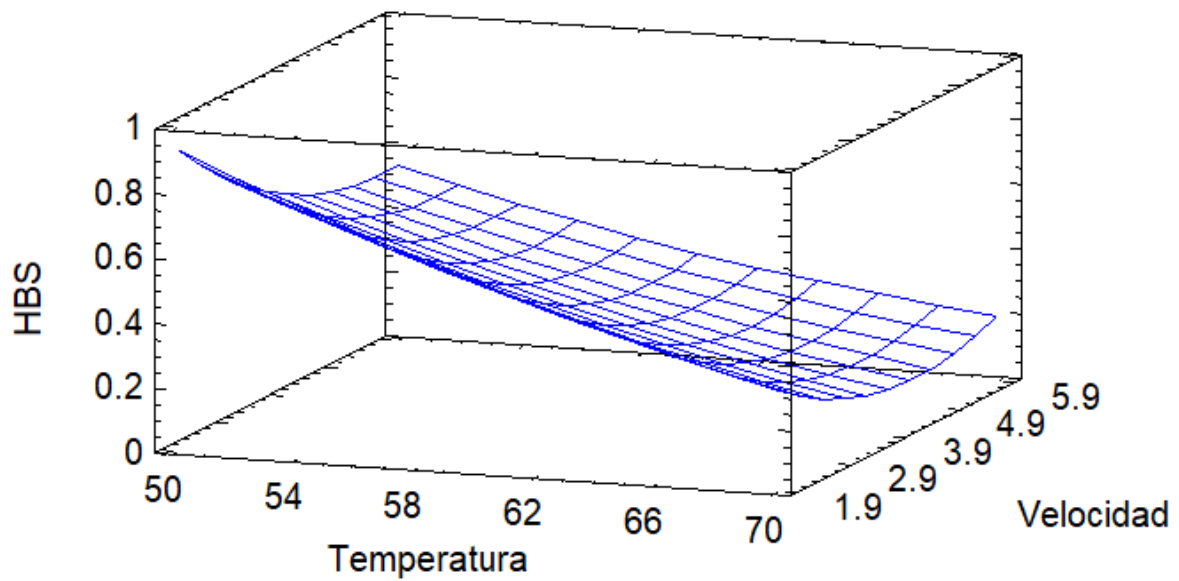


Figura 9. Representación mediante superficie de respuesta para la humedad en equilibrio (base seca) de la Ishanga, procesada en lecho fluidizado bajo diferentes velocidades de aire y temperatura.

$$H_{BS} = 4,61583 - 0,0827222 * T_S - 0,487749 * V_A + 0,000377778 * T_S^2 + 0,00346154 * T_S * V_A + 0,0279056 * V_A^2 \quad (5)$$

Donde: T_S = Temperatura de secado en °C, V_A = Velocidad de aire en m/s.

Los coeficientes correspondientes a la temperatura y la velocidad del aire, cuya combinación permite alcanzar la mínima humedad en base seca (HBS) dentro del rango de estudio (50 a 70 °C de temperatura y 1,95 a 5,85 ms/s de velocidad de aire), se detallan en la Tabla 6. Estos valores representan el punto óptimo del proceso para las hojas de Ishanga según el modelo de superficie de respuesta aplicado.

Tabla 6. Valores óptimos para el secado en lecho fluidizado en las hojas de Ishanga.

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura (°C)	50,0	70,00	70,00
Velocidad (m/s)	1,95	5,85	4,3975

De acuerdo con el análisis de optimización realizado en el software

STATGRAPHICS, se determinó que las condiciones ideales para el proceso corresponden a una temperatura de 70 °C y una velocidad de secado de 4,3975 m/s. Al aplicar estos parámetros en el modelo matemático (Ecuación 5), se predice una humedad en base seca (HBS) de 0,136 g agua/g m.s tras un periodo de 180 minutos de secado.

Existe una variación entre los valores óptimos aquí presentados y los publicados por Jácome (2015) para el procesamiento de buganvilia (80 °C y 3,35 m/s). Esta diferencia confirma que la configuración de un sistema de lecho fluidizado es altamente dependiente de la estructura y composición de la hoja, justificando la necesidad de ajustar la velocidad del aire y la temperatura según los requerimientos específicos de la ishanga.

Se confirmó que el modelo polinomial se ajusta adecuadamente al proceso de secado estudiado. Según se observa en la Figura 10, la humedad residual (HBS) responde a la influencia combinada de la velocidad de aire y la temperatura. Dicha superficie de respuesta actúa como una herramienta visual clave para comprender cómo estas variables modulan la pérdida de agua en el sistema de lecho fluidizado.

4.3. Contenido de polifenoles totales en hojas de Ishanga seco

Los análisis mostraron que el contenido fenólico fue máximo en el tratamiento T3 y mínimo en el T4, con registros de 823,21 y 605,98 mg EAG/100 g, respectivamente. Esta tendencia muestra un comportamiento diferenciado frente a los estudios de Roshanak et al. (2015) y Yap et al. (2020), quienes documentaron valores de 216,16 mg EAG/g y 2 093 mg GAE/100 g en té verde y papaya, respectivamente. La disparidad en los resultados de polifenoles resalta que la temperatura de 60 °C afecta de manera única a cada tejido vegetal, dependiendo de la estabilidad de sus metabolitos secundarios.

El análisis estadístico reveló que el contenido de polifenoles totales mantuvo una notable estabilidad frente a las variaciones de velocidad y temperatura de secado. Los valores p obtenidos ($p = 0,3311$ y $p = 0,7676$, respectivamente) confirman la ausencia de una influencia significativa de estos factores sobre la retención fenólica (Anexo I). Asimismo, los resultados de la prueba de Tukey presentados en la Tabla 7 corroboran la homogeneidad estadística entre todos los tratamientos, indicando que las condiciones evaluadas no alteran drásticamente la integridad de estos bioactivos en la Ishanga.

Tabla 7. Polifenoles totales de las hojas de Ishanga seco.

Muestra de hojas de Ishanga	Polifenoles totales (mg EAG/100 g muestra)
T ₁ (50 °C/1,95 m/s)	746,20 ± 132,19
T ₂ (50 °C/3,9 m/s)	729,64 ± 142,21
T ₃ (50 °C/5,85 m/s)	823,21 ± 50,03
T ₄ (60 °C/1,95 m/s)	605,98 ± 231,43
T ₅ (60 °C/3,9 m/s)	609,03 ± 116,79
T ₆ (60 °C/5,85 m/s)	682,98 ± 238,86
T ₇ (70 °C/1,95 m/s)	741,30 ± 207,68
T ₈ (70 °C/3,9 m/s)	735,88 ± 378,71
T ₉ (70 °C/5,85 m/s)	755,88 ± 195,04

La concentración de compuestos fenólicos varía notablemente entre diversas especies botánicas. En comparación con los niveles hallados en esta investigación, Díaz (2019) reportó valores superiores en hojas de guanábana (*Annona muricata*) con 2 207 g EAG/100 g, mientras que Selvi (2020) documentó un contenido excepcionalmente alto en hojas de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.) alcanzando los 99,75 g GAE/100 g. No obstante, al contrastar con hierbas aromáticas, los valores de la Ishanga son comparables a los registrados por Moqbeli et al. (2011) en melisa (820,3 mg GAE/100 g) y superan los rangos reportados para la menta (399,8-515 mg/100 g), la salvia (532 mg GAE/100 g) y el tomillo (452-530 mg GAE/100 g) en estudios de Shan et al. (2005) y Kaur et al. (2002). Esta variación se explica por lo expuesto por Dadi et al. (2018), que mencionan que los métodos de secado pueden tener un efecto negativo debido a la reducción de contenido de polifenoles totales de las hojas, que podría atribuirse a la oxidación y descomposición de los compuestos bioactivos

4.4. Contenido de flavonoides totales en hojas de Ishanga seco

El análisis determinó que la temperatura y la velocidad del flujo de aire no ejercen una influencia significativa sobre la retención de flavonoides totales ($p = 0,6514$ y $0,3142$, respectivamente; (Anexo II). Esta estabilidad se confirma en la Tabla 8, donde la prueba de Tukey clasifica a todos los tratamientos como estadísticamente equivalentes. En términos cuantitativos, el tratamiento T3 (440,21 mg CAT/g) alcanzó la mayor concentración, mientras que el T4 registró el valor mínimo (283,38 mg CAT/g). Estos hallazgos muestran una marcada diferencia respecto a lo reportado por Youseff y Mokhtar (2014) en hojas de verdolaga (4 958,24 mg/100 g), lo cual podría atribuirse a la variabilidad genética de las especies y al uso de

distintos estándares de referencia (Catequina frente a Quercetina).

Tabla 8. Flavonoides totales en las hojas de Ishanga seco

Muestra de hojas de ishanga	Flavonoides totales (mg CAT/g muestra)
T ₁ (50 °C/1,95 m/s)	363,29 ± 71,20
T ₂ (50 °C/3,9 m/s)	375,26 ± 36,78
T ₃ (50 °C/5,85 m/s)	440,21 ± 45,00
T ₄ (60 °C/1,95 m/s)	283,38 ± 106,37
T ₅ (60 °C/3,9 m/s)	298,33 ± 25,74
T ₆ (60 °C/5,85 m/s)	342,35 ± 130,85
T ₇ (70 °C/1,95 m/s)	370,98 ± 145,42
T ₈ (70 °C/3,9 m/s)	360,30 ± 200,63
T ₉ (70 °C/5,85 m/s)	379,10 ± 117,73

La diversidad en el contenido de flavonoides totales se evidencia al revisar los trabajos de Garrido et al. (2013) y Pérez-Pérez et al. (2014), quienes reportaron 115,8 mg/100 g en lampaya y hasta 2 845,21 mg/100 g en guayabo, respectivamente. La Ishanga se posiciona en un punto intermedio de este espectro. Vargas et al. (2005), demuestran que el estrés provocado por la poda altera los perfiles químicos de los árboles de guayabo, impactando directamente en la concentración final de estos metabolitos.

4.5. Características sensoriales de hojas de ishanga frescas y secas

Con el propósito de evaluar los atributos organolépticos, se seleccionó el tratamiento óptimo para el análisis sensorial. Los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis, procesados mediante el software INFOSTAT, se detallan en la Tabla 9, donde se analiza específicamente la estabilidad y percepción del color en las hojas de Ishanga tras el proceso de deshidratación.

Tabla 9. Prueba de Kruskal-Wallis para el color.

Tratamientos	N	Medias	D.E.	Rango				
				Promedio	G.L.	C	H	p
Fresco	30	4,37	0,49	39,75	1	0,82	16,83	0,0001
Seco	30	3,57	0,63	21,25				

La evaluación sensorial reveló que las condiciones de secado ejercen un impacto determinante en la apariencia visual de la muestra. De acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis, se identificaron diferencias estadísticamente significativas en el color de las hojas ($p = 0,0001$), lo que sugiere que la percepción cromática de la Ishanga es altamente sensible a las variaciones en los parámetros operativos del lecho fluidizado.

Tabla 10. Comparación de rangos del color para Kruskal-Wallis.

Tratamientos	Rangos	Grupos Homogéneos
Seco	21,25	A
Fresco	39,75	B

La degradación cromática observada coincide con lo expuesto por Palomino (2016), quien, al estudiar el romero, advirtió que la combinación de altas temperaturas y bajas velocidades de aire genera un oscurecimiento del producto. Este fenómeno se atribuye a la degradación oxidativa de la clorofila, la cual deriva en la formación de compuestos pardos. En una línea similar, Galindo (2017) secó hojas de salvia a temperaturas de 40, 50 y 60 °C y velocidades de aire de 0,5 y 1,0 m/s con un secador convectivo de bandejas y reportó que el incremento térmico afecta de manera más drástica al color que las variaciones en la velocidad del aire. Este deterioro se fundamenta en lo planteado por Guiné y Barroca (2012), quienes señalan que el uso de altas temperaturas acelera la tasa de degradación —posiblemente vinculada también a la pérdida de carotenoides— debido a la elevada transferencia de energía hacia la estructura celular del alimento.

La Tabla 11 muestra los resultados del análisis sensorial del aroma de acuerdo a la prueba de Kruskal-Wallis.

Tabla 11. Prueba de Kruskal-Wallis para el aroma.

Tratamientos	N	Medias	D.E.	Rango		G.L.	C	H	P
				Promedio					
Fresco	30	4,33	0,61	36,93		1	0,83	8,14	0,0018
Seco	30	3,77	0,68	24,07					

Respecto al perfil aromático, la evaluación sensorial evidenció una influencia significativa de las condiciones de secado sobre la percepción de los panelistas. De acuerdo con el test de Kruskal-Wallis, se obtuvo un valor de significancia de $p = 0,0018$, lo que ratifica que el aroma de la Ishanga es sensible a los cambios térmicos y de flujo de aire. No obstante, al realizar el análisis detallado en la Tabla 12, se observa que ambos tratamientos no son iguales estadísticamente.

Tabla 12. Comparación de rangos del aroma para Kruskal-Wallis.

Tratamientos	Rangos	Grupos Homogéneos
Seco	24,07	A
Fresco	36,93	B

La alteración del perfil aromático identificada en esta investigación concuerda con lo expuesto por Mahecha et al. (2010) en hojas de perejil, donde se determinó que temperaturas entre 50 y 60 °C provocan cambios significativos. Este fenómeno se vincula a la volatilización de componentes esenciales y a procesos químicos como la oxidación de lípidos y pigmentos, además de la aparición de la reacción de Maillard. En este sentido, Tuesta (2020) sostiene que el incremento térmico en el secado de hojas de achiote compromete el aroma, posiblemente por la degradación de compuestos fenólicos y antioxidantes.

Finalmente, respecto al sabor, la prueba de Kruskal-Wallis (Tabla 13) confirmó una diferencia estadísticamente significativa ($p = 0,0001$), validando que el tratamiento térmico modifica la palatabilidad de la ishanga de manera determinante.

Tabla 13. Prueba de Kruskal-Wallis para el sabor.

Tratamientos	N	Medias	D.E.	Rango		C	H	P
				Promedio	G.L.			
Fresco	30	4,40	0,50	41,40	1	0,85	23,37	0,0001
Seco	30	3,43	0,57	19,60				

Los resultados detallados en la Tabla 14 ratifican la existencia de brechas significativas entre los ensayos analizados. Al no ser estadísticamente equivalentes, se concluye que la aceptabilidad del sabor depende directamente del tratamiento aplicado.

Tabla 14. Comparación de rangos del sabor para Kruskal-Wallis.

Tratamientos	Rangos	Grupos Homogéneos
Seco	19,60	A
Fresco	41,40	B

La tendencia observada en el sabor de la Ishanga guarda una estrecha relación con lo reportado por Salas (2022), quien al evaluar hojas de limón sutil en lecho fluidizado (50, 60 y 70 °C), determinó diferencias significativas en este atributo. Coincidiendo con la presente investigación, aquel estudio concluyó que el sabor de la muestra fresca supera al del tratamiento optimizado (70 °C y 5,85 m/s), validando que el proceso térmico modifica inevitablemente la palatabilidad. Asimismo, esta alteración encuentra respaldo en el trabajo de Coral (2018), quien atribuye el cambio en el sabor de las hojas de sunfo secadas a 60 °C a la pérdida de componentes volátiles críticos de la especie.

4.6. Caracterización fisicoquímica de las hojas de Ishanga

Las propiedades fisicoquímicas de las hojas de Ishanga se compilan en la Tabla 15, destacando un contenido de humedad inicial del 80,13 %. Este valor guarda una estrecha relación con lo reportado por Porcuna (2010) para hojas frescas de ortiga (*Urtica dioica*) procedentes de Ecuador, las cuales registraron un 77,59 %. Asimismo, este porcentaje de humedad es consistente con los hallazgos de Ramírez (2016) en hojas de romero (*Salvia rosmarinus*), quien documentó una humedad del 83,2 %, los resultados de la presente investigación se mantienen dentro de los márgenes estándar para especies vegetales de características similares.

Tabla 15. Resultados de las características fisicoquímicas de las hojas de Ishanga

Análisis	Fresco	Optimo (Secado)
Humedad (%)	80,13 ± 0,06	-
pH	7,35 ± 0,02	6,42 ± 0,04
Acidez	0,08 ± 0,02	0,14 ± 0,02.

Los valores representan (promedio ± SEM) datos del experimento (n=3)

Según los resultados obtenidos en la Tabla 15, reveló que tanto la velocidad del aire como la temperatura ejercen un efecto significativo sobre el pH de las hojas de Ishanga. Se observó un descenso desde un pH inicial de 7,35 en el material fresco hasta un valor de 6,42 en el tratamiento optimizado (70 °C y 3,9 m/s). Esta tendencia a la acidificación concuerda con lo reportado por Díaz (2019) en hojas de guanábana, quien determinó que el pH es altamente sensible a las variaciones térmicas; en su estudio, un incremento en la temperatura de secado provocó una disminución del pH de 5,64 a 5,286. Esta variación sugiere que el tratamiento térmico induce cambios en la concentración de ácidos orgánicos o la degradación de ciertos componentes del tejido foliar.

Los resultados evidenciaron un incremento en el contenido de acidez tras el proceso de deshidratación, pasando de 0,08 % en las hojas frescas a 0,14 % en el tratamiento óptimo (70 °C y 3,9 m/s). Este hallazgo difiere de lo reportado por Salas (2022), quien documentó una acidez significativamente mayor (0,37 % de ácido cítrico) bajo condiciones de secado similares. Asimismo, el incremento observado contradice lo planteado por De Bertorelli et al. (2004), quienes sugieren que la acidez tiende a disminuir por la evaporación conjunta de ácidos volátiles y agua. En el caso de la Ishanga, el aumento podría atribuirse a un efecto de concentración de los ácidos orgánicos no volátiles ante la reducción del volumen hídrico en la muestra vegetal.

V. CONCLUSIONES

- Los parámetros óptimos de operación en el sistema de lecho fluidizado para el procesamiento de la Ishanga se fijaron en 70 °C de temperatura y 4,3975 m/s de flujo de aire. Estas condiciones permitieron la obtención de un producto con una humedad final de 0,136 g agua/g m.s. a los 180 minutos de tratamiento.
- En cuanto a la preservación de compuestos bioactivos, el tratamiento T3 destacó por presentar la mayor retención de polifenoles totales con 823,21 mg EAG/100 g. Respecto al contenido de flavonoides, los niveles más altos se registraron en los tratamientos T3 y T9, con valores de 440,21 mg CAT/g y 379,10 mg CAT/g, respectivamente. La estabilidad de estos metabolitos en la matriz foliar sugiere que el lecho fluidizado es un método eficaz para la obtención de productos con alto valor funcional.
- En cuanto a la preservación de compuestos bioactivos, el tratamiento T3 (70 °C y 1.95 m/s) destacó por presentar la mayor concentración de polifenoles totales con 823.21 mg EAG/100 g; y con respecto al contenido de flavonoides los niveles más altos se registraron en los tratamientos T3 (70 °C y 1.95 m/s) y T9 (70 °C/5,85 m/s), con valores de 440,21 mg CAT/g y 379,10 mg CAT/g, respectivamente. Se concluye que la estabilidad de estos metabolitos en la matriz foliar sugiere que el lecho fluidizado es un método eficaz para la obtención de productos con alto valor funcional.
- Se determinó que el secado optimizado modifica los parámetros fisicoquímicos originales de la Ishanga, reduciendo el pH de 7,35 a 6,42 e incrementando la acidez del 0,08% al 0,14% por efecto de la concentración de solutos. No obstante, la evaluación sensorial mediante la prueba de Kruskal-Wallis confirmó que no existen diferencias significativas ($p > 0.05$) entre la infusión de hoja fresca y la del tratamiento óptimo en los atributos de color, aroma y sabor. Esto valida la tecnología de lecho fluidizado como un método eficaz para obtener una infusión con alta aceptabilidad sensorial.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

- Diseñar nuevos productos farmacéuticos y en alimento a partir de la planta de Ishanga.
- Analizar la cinética de degradación térmica de los compuestos bioactivos en la *U. laciniata* para determinar la temperatura que garantiza la máxima retención de sus propiedades medicinales.
- Evaluar el consumo energético del proceso de lecho fluidizado a escala piloto para determinar la viabilidad económica de su implementación a nivel industrial.
- Determinar la estabilidad en la inclusión del polvo de hojas de Ishanga en productos tecnológicos.
- Se recomienda realizar estudios de estabilidad y vida de anaquel del producto deshidratado bajo diferentes condiciones de almacenamiento (temperatura, luz y tipos de empaque).
- Dado que se logró una alta retención de compuestos fenólicos y flavonoides, se propone llevar a cabo ensayos *in vitro* e *in vivo* para cuantificar la capacidad antioxidante (mediante métodos como DPPH, ABTS o FRAP)

VII. REFERENCIAS

- Abadía, A., Cadahía, C., Casado, M., Sánchez, C., Garrido, L., Lasala, M., Pérez, V., Pérez, L, P., Romero, M., & Rodríguez, B, S, (1973), Determinaciones analíticas en suelos, Normalización de métodos, (I) pH, materia orgánica y nitrógeno, *Anales de Edafología y Agrobiología*.
- Aguilar, L, G, y Guzmán G, (2015) *Formulación de una bebida a base de té verde (Camelia sinensis), y menta (Mentha piperita), previa maceración en caliente*, [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa], Repositorio UNSA, <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/237>
- AOAC, (1997), Official Methods of Analysis of AOAC (Association of Official Analytical Chemists), International; Agricultural Chemicals, Foods, Contaminants and drugs, V1 y V2 Arlington: A, O, A, C, Inc. 2658 p.
- Basilio, J., & Flores, J. (2021). Optimización de parámetros para la deshidratación por lecho fluidizado del sachá culantro (*Eryngium foetidum L.*). *Revista de Investigación Agropecuaria Science And Biotechnology*, 1(3), 13-28. <https://doi.org/10.25127/riagrop.20213.700>
- Borges, S. V., Mancini, M. C., Corrêa, J. L. G., & Leite, J. (2010). Drying kinetics of medicinal plants: *Lippia alba* (Mill.) N.E. Brown. *Interciencia*, 35(10), 741-747.
- Buitrón, X. (1999). Ecuador: uso y comercio de plantas medicinales, situación actual y aspectos importantes para su conservación. En *TRAFFIC International eBooks*. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/3007>
- Burger, W., (1977) 'Urera', in *Flora Costaricensis*, Fieldiana, Bot, Chicago, pp, 218–284.
- Caisahuana, S, (2012), *Evaluación de vitamina c, polifenoles totales y capacidad antioxidante en dos estados de madurez del camu (Myrciaria dubia H,B,K, Mc vaugh) de Mazamari – Satipo* [Tesis en Ingeniería en Industrias alimentarias, Universidad nacional del centro del Perú]. Repositorio UNCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/1879>
- Castro, P., Chacón–Villalobos, A., & Gamboa, C. (2008). Efecto de las condiciones de secado sobre la cinética de deshidratación de las hojas de morera (*Morus alba*). *Agronomía Mesoamericana*, 20(2), 275. <https://doi.org/10.15517/am.v20i2.4944>
- Christensen, C, M, (1983), Effects of Color on Aroma, Flavor and Texture Judgments of Foods, *Journal Of Food Science*, 48(3), 787-790.

- Coral, J. S. (2018). Diseño e implementación de un sistema de control para un secador de lecho fluidizado de plantas medicinales [Tesis de grado, Universidad de Nariño]. Repositorio Institucional.
- Córdoba, R. (2005), Conceptos básicos sobre el secado de la madera, *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 2(5), 88-92.
- Dadi, D. W., Emire, S. A., Hagos, A. D., & Bultosa, G. (2018). Effect of drying temperature and duration of Moringa oleifera leaves on total phenolics and antioxidant properties. *International Journal of Food Science*, 2018, 1-9.
- De Bertorelli, L. O., Camacho, G., & De Fariñas, L. G. (2004). Efecto del secado al sol sobre la calidad del grano fermentado de cacao. *Agronomía Tropical (Maracay)*, 54(1), 31-43. <https://biblat.unam.mx/es/revista/agronomia-tropical-maracay/articulo/efecto-del-secado-al-sol-sobre-la-calidad-del-grano-fermentado-de-cacao>
- Dias, N. A. A., Lara, S. B., Miranda, L. S., Pires, I. S. C., Pires, C. V., & Halboth, N. V. (2012). Influence of color on acceptance and identification of flavor of foods by adults. *DOAJ (DOAJ: Directory of Open Access Journals)*. <https://doaj.org/article/1932f0883f70415095c6608c5abe2016>
- Díaz, E. X. (2019). *Efecto de tres niveles de temperaturas de secado en la actividad antioxidante y contenido de polifenoles totales presentes en hojas de guanábana (Annona muricata), Pucallpa, Perú*. [Tesis Ingeniería, Universidad Nacional de Ucayali]. Repositorio UNU. <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/3902>
- Ferranti, P., Berry, E., Anderson, J. (2019). Encyclopedia of Food Security and Sustainability, Book Aid International, 6-8. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22063>
- Figueroa, S. L., Porrás, M. (2019). *Evaluación del efecto de la temperatura y velocidad del aire en la rapidez de secado de la yuca en un secador de bandejas*. [Tesis Ingeniería, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio UNCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/6330>
- Flores, J. L. (2019). *Optimización de los parámetros para la deshidratación por lecho fluidizado del sachá culantro (Eryngium foetidum l.)*. [Tesis Ingeniería, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/1718>
- Galindo, R. A. (2017). Evaluación de un sistema de secado por lecho fluidizado para hojas de plantas medicinales [Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UNAL.

- Garrido, M., Quinto, R., & Figueroa, J. (2013). Cinética de secado de las hojas de llantén (*Plantago major* L.) en un secador de lecho fluidizado. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela*, 28(1), 37-46.
- Gasulla, F., Del Campo, E. M., Casano, L. M., & Guéra, A. (2021). Advances in Understanding of Desiccation Tolerance of Lichens and Lichen-Forming Algae. *Plants (Basel, Switzerland)*, 10(4), 807. <https://doi.org/10.3390/plants10040807>
- Guichard, É. (2002). Interactions between flavor compounds and food ingredients and their influence on flavor perception, *Food Reviews International*, 18(1), 49-70. <https://doi.org/10.1081/fri-120003417>
- Guiné, R. P. F., & Barroca, M. J. (2012). Effect of drying temperature on the color and texture of peas and mushrooms. *Food and Bioproducts Processing*, 90(3), 584-590.
- Heredia, M. A. S., Granja, C. D. A., & Franco, J. G. V. (2020). Definición de la utilidad del método de Arrhenius en el estudio de estabilidad térmica de compuestos fenólicos en *Urera laciniata* Goudot ex Wedd. *FIGEMPA Investigación y Desarrollo*, 1(1), 40-46. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.1892>
- Jácome, M. E. (2015). *Condiciones de operación de un secador de lecho fluidizado en el procesamiento de hoja de buganvilia para infusión rica en betalainas* [Maestría en Ciencias en Proceso Biológicos, Universidad Veracruzana]. Repositorio Institucional de la Universidad Veracruzana. <http://cdigital.uv.mx/handle/123456789/46815>
- Kassem, A., Shokr, A., El-Mahdy, A., Aboukarima, A., & Hamed, E. (2011). Comparison of drying characteristics of Thompson seedless grapes using combined microwave oven and hot air drying. *Journal of The Saudi Society of Agricultural Sciences*, 10(1), 33-40. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2010.05.001>
- Kaur, K., Singh, A. K., & Gupta, A. K. (2002). Drying kinetics of mustard leaves in a fluidized bed dryer. *Journal of Food Science and Technology*, 39(6), 683-686.
- Luziatelli, G., Sørensen, M., Theilade, I., & Mølgaard, P. (2010). Asháninka medicinal plants: a case study from the native community of Bajo Quimiriki, Junín, Peru. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/1746-4269-6-21>
- Mahecha, L., Escobar, J. P., & Suárez, J. F. (2010). Efecto del secado de las hojas de algunas especies arbóreas y arbustivas sobre su composición química. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 23(1), 105-115.
- Mendoza, J. S., Mercado, J., Vanegas, M. P., & Q, A. F. (2014). Cinética de secado de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) variedad CORPOICA M-tai en función de la temperatura y

- de la velocidad de aire. *Revista ION*.
<https://www.redalyc.org/pdf/3420/342033068004.pdf>
- Monro, A. K., & Rodríguez, A. (2009). Three New Species and a Nomenclatural Synopsis of *Urera* (Urticaceae) from Mesoamerica. *Annals Of The Missouri Botanical Garden*, 96(2), 268-285. <https://doi.org/10.3417/2006121>
- Moqbeli, S., Hinneh, M., & Sutar, N. (2011). Drying of medicinal plants (*Mentha piperita*) in a fluidized bed dryer. *Journal of Agricultural Technology*, 7(5), 1181-1189.
- Mujumdar, A. S. (2006). Handbook of Industrial Drying. En *CRC Press eBooks*.
<https://doi.org/10.1201/9781420017618>
- Muñoz, V, E, E., Rivas, D, K., Loarca, P, M, G, F., Mendoza, D, S., Reynoso, C, R., Ramos, G, M. (2012). Comparación del contenido fenólico, capacidad antioxidante y actividad antiinflamatoria de infusiones herbales comerciales. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(3), 481-495.
- Noyola-Altamirano, G. I., Peláez-Estrada, U. V., Muñiz-Elizalde, J. D., & Martínez-Cruz, M. A. (2021). Secado de estevia (*Stevia rebaudiana*) en lecho fluidizado: Cinética y calidad. *Agrociencia*, 55(6), 493-508.
- Ocampo, A. (2006). MODELO CINÉTICO DEL SECADO DE LA PULPA DE MANGO. *Revista EIA*, 3(5), 119-128. <https://doi.org/10.24050/reia.v3i5.153>
- Olivo, S., & Pazmiño, J. (2016). Estudio comparativo de la utilización de plantas medicinales durante el parto tradicional por organizaciones de parteras de Otavalo y Loreto 2016. [Tesis Licenciatura, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio UTN.
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/5337>
- OPS (2019). *Situación de las plantas medicinales en Perú. Informe de reunión del grupo de expertos en plantas medicinales*. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/50479>
- Pandiselvam, R., Aydar, A. Y., Kutlu, N., Aslam, R., Sahni, P., Mitharwal, S., Gavahian, M., Kumar, M., Raposo, A., Yoo, S., Han, H., & Kothakota, A. (2023). Individual and interactive effect of ultrasound pre-treatment on drying kinetics and biochemical qualities of food: A critical review. *Ultrasonics sonochemistry*, 92, 106261. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106261>
- Pangavhane, D. R. (2002). Design, development and performance testing of a new natural convection solar dryer. *Energy*, 27(6), 579-590. [https://doi.org/10.1016/s0360-5442\(02\)00005-1](https://doi.org/10.1016/s0360-5442(02)00005-1)

- Paz, L. P., Gualdrón, L. C., & García, P. A. (2022). Energy and exergy analysis of the fluidized bed drying of medicinal plant leaves. *Journal of Food Engineering*, 314, 110784.
- Paz, R. J. S., Paz, R. J. S., Mendoza, D. K. M., Sota, A. E., & Della Rocca, P. A. (2022). Secado de hojas de muña (*minthostachys mollis*): Modelado, cinética y propiedades termodinámicas. *Enfoque*, 13(4). <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.827>
- Pérez-Pérez, E. M., Ortiz-García, M., & Rosas-García, S. J. (2014). Cinética de secado de hierbabuena (*Mentha spicata*) en lecho fluidizado. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 15(2), 163-171.
- Petkova, Z. Y., Antova, G. A., & Angelova-Romova, M. Y. (2020). Biologically active components and health benefits of nettle seed oil. *Grasas y Aceites*, 71(1), e347. <https://doi.org/10.3989/gya.0108191>
- Porcuna, J. L. (2010). La Ortiga, *Urtica Urens* y *Urtica Dioica*, Ficha Técnica Plantas, Servicio de Sanidad Vegetal, 60.
- Quiroz, R. (2013). *Evaluación de la actividad cicatrizante de un gel elaborado a base de los extractos de nogal (*Juglans neotrópica* Diels), ortiga (*Urtica dioica* L.), sábila (*Aloe vera*), en ratones (*Mus musculus*)*. [Tesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo] Repositorio ESPOCH. <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/2568>
- Rahman, M. M., Joardder, M. U. H., Khan, M. I. H., Pham, N. D., & Karim, M. A. (2017). Multi-scale model of food drying: Current status and challenges. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(5), 858-876. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1227299>
- Ramírez, N. (2016). Antioxidant effect of rosemary extract (*Rosmarinus officinalis* L.) on arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) vacuum packed. *Agroindustrial Science*, 1, 107-115. <https://doi.org/10.17268/agroind.science.2016.01.12>
- Reyes, A., Moyano, P., & Paz, J. (2007). Drying of Potato Slices in a Pulsed Fluidized Bed. *Drying Technology*, 25(4), 581-590. <https://doi.org/10.1080/07373930701227011>
- Roshanak, S., Rahim-Gul, M., & Najaf-Najafi, M. (2015). Evaluation of seven different drying methods on the antioxidant activity, total aromatic compounds and color of green tea (*Camellia sinensis* L.) leaves. *Food Science & Nutrition*, 4(4), 564-571.
- Ruiz-Capillas, C., & Herrero, A. M. (2021). Sensory Analysis and Consumer Research in New Product Development. *Foods*, 10(3), 582. <https://doi.org/10.3390/foods10030582>
- Salas, J. D. (2022). Modelamiento matemático de la cinética de secado por lecho fluidizado de hojas de matico (*Piper aduncum* L.) [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS.

- Salgado, S. M., Gomes, J. P., Figueirêdo, R. M. F., & Queiroz, A. J. M. (2019). Drying of "Ora-pro-nobis" (*Pereskia aculeata* Miller) leaves in a fluidized bed: Kinetics and mathematical modeling. *Journal of Agricultural Science*, 11(12), 115-125.
- Sánchez, P. P. P., Carbajal, W. R., Ruiz, A. C., & Quiroz, R. C. R. (2021). Evaluación de la capacidad antioxidante y estabilidad térmica de la cáscara, zumo y semilla de lima dulce, limón rugoso y limón tipo mandarina. *RevIA*, 9(7), 38-46.
<https://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/download/214/197>
- Schieberle, P., & Hofmann, T. (1997). Evaluation of the Character Impact Odorants in Fresh Strawberry Juice by Quantitative Measurements and Sensory Studies on Model Mixtures. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(1), 227-232.
<https://doi.org/10.1021/jf960366o>
- Selvi, K. C., Gunasekaran, S., & Kennedy, Z. J. (2020). Influence of drying temperature on kinetics and quality of curry leaves (*Murraya koenigii* L.) in a fluidized bed dryer. *Journal of Food Science and Technology*, 57(1), 324-332.
- Shan, H., Zhao, Z., & Zhu, X. (2005). Kinetic study on the drying of Ginkgo biloba leaves in a fluidized bed. *Journal of Food Engineering*, 66(2), 257-262.
- Tasirin, S., Kamarudin, S., Ghani, J., & Lee, K. (2007). Optimization of drying parameters of bird's eye chilli in a fluidized bed dryer. *Journal of Food Engineering*, 80(2), 695-700.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.06.030>
- Teneda, LL, W, F., Ah-Hen, K., Lemus, M, R. (2017). Caracterización de una infusión de cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L, var. Arriba) con hierbas aromáticas, *Agrosur*, 43(3), 47-55.
- Tuesta, J. L. (2020). Efecto de la temperatura y velocidad del aire en el secado por lecho fluidizado de hojas de mático (*Piper aduncum* L.) [Tesis de grado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. Repositorio Institucional UNAP.
- Upton R, (2013). Stinging nettles leaf (*Urtica dioica* L.): Extraordinary vegetable medicine, *Journal of herbal medicine*, 9-38.
- Vandenberghe, L., & Boyd, S. (1996). Semidefinite programming. *SIAM Review*, 38(1), 49-95. <https://doi.org/10.1137/1038003>
- Vargas, A., García, P. A., & Costa, J. (2005). Cinética de secado de hojas de plantas medicinales en lecho fluidizado. *Ingeniería y Competitividad*, 7(2), 35-42.

- Vela, A. M., & Hoyos, J. L. (2015). Evaluación del secado de *Lippia alba* (Mill) N.E. Brown en secador de lecho fluidizado. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(2), 121-131.
- Vela, K. J., Hoyos, I. (2015). *Influencia de la velocidad y la temperatura del aire de secado en la obtención de harina de SACHA CULANTRO (Eryngium foetidum) proveniente de Michina, Provincia de Rodríguez de Mendoza – Amazonas*. [Tesis Ingeniería, Universidad Nacional Toribio de Mendoza de Amazonas]. Repositorio UNTRM. <https://hdl.handle.net/20.500.14077/1015>
- Vidal, E., Ramírez, R. S., & Reina, L. J. C. (2022). Recuperación de compuestos fenólicos de la pulpa del café por medio de una percolación a través de un extractor Soxhlet en escala piloto. *Encuentro Internacional de Educación En Ingeniería*. <https://doi.org/10.26507/paper.2312>
- Wang, S., & Mujumdar, A. (2007). Flow and mixing characteristics of multiple and multi-set opposing jets. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 46(8), 703-712. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2006.09.006>
- Wells, T., Maurin, O., Dodsworth, S., Friis, I., Cowan, R., Epiawalage, N., Brewer, G., Forest, F., Baker, W. J., & Monro, A. K. (2021). Combination of Sanger and target-enrichment markers supports revised generic delimitation in the problematic ‘*Urera* clade’ of the nettle family (Urticaceae). *Molecular Phylogenetics And Evolution*, 158, 107008. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2020.107008>
- Yaguas, O. J. (2017). Metodología de superficie de respuesta para la Optimización de una producción agrícola. *Revista Ingeniería Industrial*, 16(2), 205-222. <https://doi.org/10.22320/s07179103/2017.13>
- Yap, S. P., Chuah, L. O., Ab Aziz, N., & Low, D. Y. S. (2020). Effects of drying methods on the phytoconstituents and antioxidant capacity of *Carica papaya* L. leaves. *Journal of Food Quality*, 2020, 1-13.
- Youssef, K. M., & Mokhtar, S. M. (2014). Effect of drying methods on retention of total phenolics, carotenoids and antioxidant activity of some common edible leaves. *Food Chemistry*, 159, 128-140.

ANEXOS

Anexo I. Anova de polifenoles totales durante el secado de las hojas de Ishanga

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	21299,5	2	10649,8	0,27	0,7676
B: Velocidad	92513,5	2	46256,7	1,16	0,3311
RESIDUOS	875229	22	39783,2		
TOTAL (CORREGIDO)	989042	26			

Anexo II. Anova de flavonoides totales durante el secado de las hojas de Ishanga

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	12443,9	2	6221,96	0,44	0,6514
B: Velocidad	34755	2	17377,5	1,23	0,3142
RESIDUOS	313161	22	14234,6		
TOTAL (CORREGIDO)	360360	26			

Anexo 1. Cartilla de evaluación.**PRODUCTO:** infusión filtrante a base de hoja de ishanga**Nombre:** _____ **Fecha:** _____

Se le presenta una cartilla para la evaluación sensorial, y mediante una escala hedónica del 1 al 5 vas a marcar con una X indicando su sentir para cada uno de los atributos.

MUESTRA: 743

PUNTAJE	APRECIACIÓN	ATRIBUTOS		
		COLOR	AROMA	SABOR
5	Me gusta mucho			
4	Me gusta			
3	No me gusta ni me disgusta			
2	Me disgusta			
1	Me disgusta mucho			

MUESTRA: 530

PUNTAJE	APRECIACIÓN	ATRIBUTOS		
		COLOR	AROMA	SABOR
5	Me gusta mucho			
4	Me gusta			
3	No me gusta ni me disgusta			
2	Me disgusta			
1	Me disgusta mucho			

Observaciones:

.....

Anexo 2. Humedad inicial de las hojas de ishanga

Repeticiones	Porcentaje de humedad %
R ₁	80,13
R ₂	80,07
R ₃	80,19
Promedio	80,13
Des. estándar	0,06
Max	80,19
Min	80,07

Anexo 3. Datos obtenidos a diferentes tiempos y pesos finales de las hojas de ishanga secadas a temperaturas de 50, 60 y 70 °C y velocidades de aire de 1,95; 3,9 y 5,85 m/s con tres repeticiones.

R₁ (1,95) m/s					
50 °C		60 °C		70 °C	
Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g
0	400,0	0	400,0	0	400,0
30	345,2	30	332,1	30	306,8
60	283,2	60	273,2	60	233,3
90	241,5	90	220,2	90	184,4
120	205,5	120	178,0	120	150,5
180	152,2	180	128,0	180	113,7
240	123,1	240	106,4	240	101,5
300	109,4	300	99,4	300	95,7
360	103,7	360	98,2	360	89,4
420	100,5	420	97,5	420	85,8
480	98,5	480	96,6	480	84,6

R₂ (1,95) m/s					
50 °C		60 °C		70 °C	
Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g
0	400,0	0	400,0	0	400,0
30	342,8	30	339,3	30	299,6
60	289,7	60	276,9	60	227,6
90	246,1	90	218,2	90	167,6
120	210,2	120	176,6	120	128,2
180	149,4	180	128,5	180	94,5
240	118,9	240	107,5	240	89,0
300	105,8	300	99,8	300	88,0
360	99,0	360	98,5	360	87,2
420	95,4	420	97,8	420	86,6
480	93,5	480	96,5	480	85,5

R₃ (1,95) m/s					
50 °C		60 °C		70 °C	
Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g
0	400,0	0	400,0	0	400,0
30	347,8	30	337,5	30	299,6
60	290,6	60	279,7	60	227,6
90	245,1	90	221,0	90	167,6
120	209,5	120	178,1	120	128,2
180	150,0	180	131,4	180	94,5
240	120,3	240	110,1	240	89,0
300	107,2	300	100,7	300	88,0
360	106,0	360	97,8	360	87,2
420	96,9	420	97,4	420	86,6
480	94,1	480	97,1	480	85,5

R₁ (3,9) m/s					
50 °C		60 °C		70 °C	
Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g
0	400,0	0	400,0	0	400,0
30	313,3	30	304,6	30	280,4
60	259,2	60	234,4	60	188,4
90	205,9	90	179,2	90	138,0
120	166,0	120	140,8	120	115,6
180	123,3	180	114,2	180	94,2
240	106,2	240	101,8	240	85,8
300	98,0	300	97,2	300	83,4
360	94,5	360	95,3	360	82,3
420	92,4	420	93,8	420	80,7
480	90,8	480	93,5	480	80,1

R₂ (3,9) m/s					
50 °C		60 °C		70 °C	
Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g
0	400,0	0	400,0	0	400,0
30	322,0	30	291,4	30	261,5
60	261,1	60	228,6	60	182,4
90	213,8	90	172,4	90	122,7
120	171,5	120	133,7	120	99,6
180	122,8	180	102,8	180	84,6
240	104,6	240	93,7	240	82,3
300	98,9	300	89,7	300	81,4
360	97,1	360	88,5	360	80,4
420	95,9	420	88,1	420	80,1
480	95,0	480	86,8	480	79,5

R₃ (3,9) m/s					
50 °C		60 °C		70 °C	
Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g
0	400,0	0	400,0	0	400,0
30	333,3	30	292,3	30	280,2
60	270,9	60	227,2	60	189,8
90	223,3	90	173,2	90	135,3
120	182,3	120	133,8	120	112,8
180	136,0	180	109,2	180	92,0
240	115,9	240	100,2	240	84,6
300	99,3	300	96,5	300	82,9
360	97,0	360	94,7	360	82,0
420	95,0	420	93,5	420	80,4
480	94,6	480	92,7	480	80,0

R₁ (5,85) m/s					
50 °C		60 °C		70 °C	
Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g
0	400,0	0	400,0	0	400,0
30	330,5	30	285,8	30	265,5
60	268,0	60	211,9	60	189,3
90	217,9	90	153,2	90	141,3
120	177,6	120	124,2	120	117,1
180	136,7	180	100,6	180	101,6
240	118,8	240	92,9	240	95,9
300	111,4	300	89,9	300	93,7
360	106,4	360	87,9	360	92,0
420	103,3	420	87,4	420	91,0
480	100,5	480	87,0	480	90,5

R₂ (5,85) m/s					
50 °C		60 °C		70 °C	
Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g
0	400,0	0	400,0	0	400,0
30	309,2	30	280,3	30	270,5
60	230,7	60	199,9	60	195,5
90	174,7	90	148,0	90	141,8
120	143,2	120	118,9	120	110,7
180	106,1	180	97,5	180	91,9
240	95,9	240	89,8	240	84,2
300	91,3	300	86,5	300	82,4
360	89,2	360	84,9	360	81,5
420	88,2	420	83,7	420	81,2
480	88,2	480	83,2	480	80,0

R₃ (5,85) m/s					
50 °C		60 °C		70 °C	
Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g
0	400,0	0	400,0	0	400,0
30	327,8	30	285,3	30	266,4
60	242,5	60	211,6	60	188,7
90	190,2	90	152,9	90	141,6
120	172,5	120	123,7	120	117,2
180	134,2	180	100,0	180	99,3
240	116,2	240	92,3	240	93,2
300	110,9	300	89,6	300	90,6
360	106,0	360	87,7	360	89,2
420	102,7	420	87,1	420	88,2
480	100,0	480	86,8	480	87,5

Anexo 4. Datos promedios para la optimización del secado por lecho fluidizado de las hojas de ishanga.

50 °C / 1,95		50 °C / 3,9		50 °C / 5,85		60 °C / 1,95		60 °C / 3,9		60 °C / 5,85		70 °C / 1,95		70 °C / 3,9		70 °C / 5,85	
m/s		m/s		m/s		m/s		m/s		m/s		m/s		m/s		m/s	
min	HBS	min	HBS	min	HBS	min	HBS	min	HBS	min	HBS	min	HBS	min	HBS	min	HBS
0	4,03	0	4,03	0	4,03	0	4,03	0	4,03	0	4,03	0	4,03	0	4,03	0	4,03
30	3,34	30	3,06	30	3,06	30	3,23	30	2,73	30	2,57	30	2,81	30	2,45	30	2,37
60	2,62	60	2,32	60	2,11	60	2,48	60	1,89	60	1,61	60	1,92	60	1,35	60	1,41
90	2,07	90	1,70	90	1,44	90	1,77	90	1,20	90	0,90	90	1,20	90	0,66	90	0,78
120	1,62	120	1,18	120	1,07	120	1,23	120	0,71	120	0,54	120	0,71	120	0,38	120	0,45
180	0,89	180	0,60	180	0,58	180	0,63	180	0,37	180	0,25	180	0,27	180	0,14	180	0,23
240	0,52	240	0,37	240	0,39	240	0,36	240	0,24	240	0,15	240	0,19	240	0,06	240	0,15
300	0,35	300	0,24	300	0,32	300	0,26	300	0,19	300	0,12	300	0,15	300	0,04	300	0,12
360	0,29	360	0,21	360	0,26	360	0,24	360	0,17	360	0,09	360	0,11	360	0,03	360	0,10
420	0,23	420	0,19	420	0,23	420	0,23	420	0,16	420	0,08	420	0,09	420	0,01	420	0,09
480	0,20	480	0,18	480	0,21	480	0,22	480	0,14	480	0,08	480	0,08	480	0,00	480	0,08

Anexo 4. pH de las hojas de ishanga fresco

Repeticiones	pH
R ₁	7,33
R ₂	7,35
R ₃	7,37
Promedio	7,35
Des. estándar	0,02
Max	7,37
Min	7,33

Anexo 5. pH de las hojas de ishanga secas del tratamiento óptimo.

Repeticiones	pH
R ₁	6,38
R ₂	6,46
R ₃	6,42
Promedio	6,42
Des. estándar	0,04
Max	6,46
Min	6,38

Anexo 6. Acidez de las hojas de ishanga fresco.

Repeticiones	Porcentaje de acidez %
R ₁	0,10
R ₂	0,08
R ₃	0,06
Promedio	0,08
Des. estándar	0,02
Max	0,10
Min	0,06

Anexo 7. Acidez de las hojas de ishanga secas del tratamiento óptimo.

Repeticiones	Porcentaje de acidez %
R ₁	0,12
R ₂	0,16
R ₃	0,14
Promedio	0,14
Des. estándar	0,02
Max	0,16
Min	0,12

Anexo 8. Resultados de la evaluación sensorial de las hojas de ishanga frescas y del tratamiento óptimo.

PANELISTAS	ATRIBUTOS					
	COLOR		AROMA		SABOR	
	F	S	F	S	F	S
P1	4	4	3	5	4	4
P2	5	3	2	5	4	5
P3	5	3	4	3	4	3
P4	4	4	4	3	4	3
P5	4	5	4	4	4	5
P6	5	3	4	5	5	4
P7	4	3	3	4	4	4
P8	4	3	3	4	3	4
P9	4	3	4	3	3	4
P10	4	5	5	3	5	4
P11	3	4	4	5	4	4
P12	5	4	2	4	3	4
P13	4	4	4	3	4	3
P14	4	5	4	4	4	5
P15	4	4	3	4	5	4
P16	4	4	4	4	3	4
P17	5	4	4	3	3	4
P18	4	4	4	3	2	3
P19	4	5	5	4	5	2
P20	3	3	5	3	3	3
P21	4	5	4	5	5	2
P22	4	4	4	5	3	3
P23	3	3	5	4	5	3
P24	4	5	5	4	5	5
P25	3	4	4	3	3	3
P26	4	4	5	5	4	3
P27	5	4	5	5	3	4
P28	4	5	5	4	4	3

P29	4	4	5	3	5	5
P30	4	3	4	5	3	5

Anexo 9. Cálculos de secado

9.1. Determinación de humedad en base seca de las hojas de ishanga.

Si:

Humedad inicial = 80,13%

Peso de muestra = 400,00 g

Agua de la muestra (H₂O) = 400,00 g. (80,13) = 320,52 g

Materia seca de la muestra (m.s) = 400,00 g – 320,52 g = 79,48 g

$$HBS = \frac{W_i - m.s}{m.s}$$

Donde:

W_i: Peso inicial de las hojas de ishanga fresco

W_f: Materia seca de la muestra

$$HBS = \frac{400,00 - 79,48}{79,48} = 4,03$$

9.2. Cálculo de la optimización de la humedad en base seca.

$$HBS = 4.61583 - 0,0827222 * T - 0,487749 * V + 0,000377778 * T^2 + 0,00346154 * T * V + 0,0279056 * V^2$$

$$HBS = 4.61583 - 0,0827222 * (70,00) - 0,487749 * (4,3975) + 0,000377778 * (70,00)^2 + 0,00346154 * (70,00) * (4,3975) + 0,0279056 * (4,3975)^2$$

$$HBS = 0,136$$

Anexo 10. Fotografías de la investigación.



Figura 10. Hojas de Ishanga



Figura 11. Oreado de las hojas de Ishanga



Figura 12. Hojas de Ishanga secas



Figura 13. Molido de las Muestras de cada tratamiento de las hojas de ishanga secas.



Figura 14. Filtrado de extractos de las hojas de Ishanga secas y molidas.



Figura 15. Determinación de pH.



Figura 16. Equipo espectrofotómetro modelo GENESYS-10 THERMO SCIENTIF (UV-Vis)



Figura 17. A. Análisis sensorial de infusiones de hojas de Ishanga frescas y secas (tratamiento óptimo).

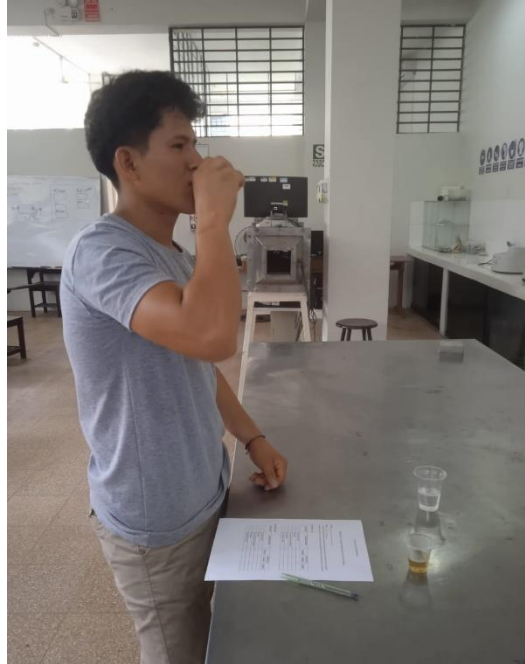


Figura 18. B. Análisis sensorial de infusiones de hojas de Ishanga frescas y secas (tratamiento optimo).