

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 *Citrus aurantifolia* S. (LIMÓN SUTIL)

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

PRESENTADO POR:

SALAS PEDRAZA NOEMI

Tingo María - Perú

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
FACULTAD DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
Carretera Central Km. 1.21. Teléfono (062) 561385
Apartado Postal 156 Tingo María E.mail: fia@unas.edu.pe

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 010-2022

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos en acto público el 27 de setiembre del 2022, 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, departamento de Huánuco, para calificar la tesis presentada por la Bach. **NOEMÍ SALAS PEDRAZA**, titulada:

“OPTIMIZACIÓN POR SUPERFICIE DE RESPUESTA DEL SECADO POR LECHO FLUIDIZADO DE HOJAS DE *Citrus aurantifolia* S. (LIMÓN SUTIL)”

Después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran ... **APROBADO** con el calificativo de **MUY BUENO**; en consecuencia, la sustentante, queda apta para obtener el título de **Ingeniero en Industrias Alimentarias**, de conformidad con el artículo 45º 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, 27 de setiembre del 2022

Ing. M.Sc. Williams Vicente Roldán Carbajal
Presidente

Ing. M.Sc. Yolanda Jesús Ramírez Trujillo
Miembro

Ing. M. Sc. Luz Milagros Follegatti Romero
Miembro

Dr. Jaime Eduardo Basilio Atencio
Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL
(RIDUNAS)

Correo: repositorio@unas.edu.pe



“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 093 - 2023 - CS-RIDUNAS

El Coordinador de la Oficina de Repositorio Institucional Digital 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% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Facultad:

Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de investigación	
-------	---	--------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
OPTIMIZACIÓN POR SUPERFICIE DE RESPUESTA DEL SECADO POR LECHO FLUIDIZADO DE HOJAS DE <i>Citrus aurantifolia</i> S. (LIMÓN SUTIL)	SALAS PEDRAZA NOEMI	23% Veintitrés

Tingo María, 18 de abril de 2023


Mg. Ing. García Villegas, Christian
Coordinador del Repositorio Institucional Digital (RIDUNAS)

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 *Citrus aurantifolia* S. (LIMÓN SUTIL)

Autor : Salas Pedraza Noemi
Asesor : Dr. Basilio Atencio Jaime Eduardo
Programa de investigación : Ingeniería de alimentos
Línea de investigación : Ingeniería de alimentos
Eje temático : Desarrollo y simulación de procesos y/o operaciones
Lugar de ejecución : Laboratorio de secado de la UNAS
Duración : Fecha inicio: 01/10/21
Fecha final: 01/10/22
Financiamiento : S/ 5,879.50

Bach. Salas Pedraza Noemi
Tesisista

Dr. Basilio Atencio Jaime Eduardo
Asesor

DEDICATORIA

A Dios por proteger mi familia, por brindarme salud y fortaleza para poder culminar mis estudios universitarios.

A mi esposo e hija por darme su amor y las ganas de seguir avanzando profesionalmente.

A mis padres por darme educación y sobre todo su apoyo incondicional en todo momento.

A mis hermanas por estar conmigo en las buenas y en las malas, siempre ayudándome moralmente para cumplir mis metas.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva con su facultad de Industrias Alimentarias que me permitió realizar y concluir mis estudios.

Al Ing. Jaime Eduardo Basilio Atencio, por su asesoramiento, comprensión y permitir el uso de los equipos para los diferentes análisis y el uso de la máquina de secado a mi completa disposición durante el proceso de elaboración y ejecución del trabajo de investigación.

Al técnico de laboratorio, señor Celedonio Yacha por el apoyo en la ejecución de mi tesis.

A todos mis profesores por compartir conocimientos, amistad, consejos y tiempo brindados durante mi carrera universitaria.

A mi amigo Max Jhon Cuya Córdova por su apoyo moral.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Antecedentes	3
2.2. Secado	4
2.1.1. Tipos de secado.....	4
2.3. Lecho fluidizado.....	5
2.4. Metodología de superficie de respuesta	5
2.5. Capacidad antioxidante	5
2.5.1. Compuestos con capacidad antioxidante	6
2.6. Generalidades del limón sutil.....	7
2.6.1. Origen y distribución	7
2.6.2. Descripción y división taxonómica	7
2.6.3. Composición química	8
2.7 Análisis sensorial	9
2.7.1. Color	9
2.7.2. Aroma	9
2.7.3. Sabor	9
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
3.1. Lugar de ejecución	10
3.2. Materia prima.....	10
3.3. Materiales, equipos y reactivos	10
3.3.1. Materiales	10
3.3.2. Equipos	10
3.3.3. Reactivos.....	11
3.4. Métodos de análisis	11
3.5. Metodología	11
3.5.1. Secado mediante lecho fluidizado de las hojas de limón sutil.....	11
3.5.2. Determinación del contenido de humedad de las hojas de limón sutil frescas.....	15
3.5.3. Determinación de humedad en base seca (H _{BS}) en el transcurso del secado de las hojas de limón sutil frescas	15

3.5.4. Determinación del valor de pH en las hojas de limón sutil frescas y secas.....	16
3.5.5. Determinación de la acidez en las hojas de limón sutil frescas y secas ..	16
3.5.6. Determinación de la capacidad antioxidante en las hojas de limón sutil secas.....	17
3.5.7. Determinación del contenido de polifenoles totales en las hojas de limón sutil secas	18
3.5.8. Determinación del contenido de flavonoides totales en las hojas de limón sutil secas	18
3.5.9. Análisis sensorial de las hojas de limón sutil frescas y secas.....	18
3.6. Diseño experimental.....	19
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
4.1. Contenido de humedad en las hojas de limón sutil frescas	20
4.2. Contenido de humedad para cada tratamiento de las hojas de limón sutil secas .	20
4.3. Cinética de secado mediante lecho fluidizado de las hojas de limón sutil.....	21
4.4. Eficacia de la temperatura y velocidad de aire en el secado de las hojas de limón sutil.....	24
4.5. Optimización de los parámetros de secado	28
4.6. pH en las hojas de limón sutil frescas y secas.....	29
4.7. Acidez en las hojas de limón sutil frescas y secas	30
4.8. Capacidad antioxidante en las hojas de limón sutil secas.	30
4.9. Polifenoles totales en las hojas de limón sutil seco.....	32
4.10. Flavonoides totales en las hojas de limón sutil seco.	34
4.11. Análisis sensorial (color, aroma y sabor) en las hojas de limón sutil frescas y secas del mejor tratamiento.....	35
V. CONCLUSIONES.....	39
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	40
VII. REFERENCIAS.....	41
ANEXO.....	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Pagina
1. Composición química del limón sutil (<i>Citrus aurantifolia</i> S.).....	8
2. Contenido de humedad final de las hojas de limón sutil en base seca.	20
3. Humedad en base seca en las hojas de limón sutil seco a 120 minutos y prueba de Tukey.....	26
4. Análisis de Varianza para H _{BS}	27
5. Prueba de Tukey para H _{BS} por Temperatura.	27
6. Prueba de Tukey para H _{BS} por Velocidad.	27
7. Valores óptimos para el secado en lecho fluidizado en las hojas de limón sutil.	29
8. pH en las hojas de limón sutil fresco y seco del mejor tratamiento.	30
9. Acidez de las hojas de limón sutil fresco y seco del mejor tratamiento.	30
10. Análisis de Varianza de la capacidad antioxidante.	31
11. Capacidad antioxidante en las hojas de limón sutil secas.	31
12. Análisis de Varianza de polifenoles totales.	32
13. Polifenoles totales de las hojas de limón sutil seco.	33
14. Análisis de Varianza de flavonoides totales.	34
15. Flavonoides totales en las hojas de limón sutil seco.	35
16. Prueba de Kruskal-Wallis para el color.	35
17. Prueba de Kruskal-Wallis para el aroma.	36
18. Comparación de rangos del aroma para Kruskal-Wallis.	37
19. Prueba de Kruskal-Wallis para el sabor.	37
20. Comparación de rangos del sabor para Kruskal-Wallis.	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pagina
1. Flujograma de secado mediante lecho fluidizado de hojas de limón sutil.	13
2. Secadora de lecho fluidizado.	15
3. Diseño experimental para la investigación.	19
4. Cinética de secado de las hojas de limón sutil a velocidad de aire de 1,95 m/s a 50, 60 y 70 °C.	21
5. Cinética de secado de las hojas de limón sutil a velocidad de aire de 3,9 m/s a 50, 60 y 70 °C.	22
6. Cinética de secado de las hojas de limón sutil a una velocidad de aire de 5,85 m/s a 50, 60 y 70 °C.	22
7. Conducta de la humedad en base seca respecto al tiempo de secado a velocidades de aire de 1,95; 3,9 y 5,85 m/s a 50 °C.	24
8. Conducta de la 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.	24
9. Conducta de la humedad en base seca respecto al tiempo de secado a velocidades de aire de 1,95; 3,9 y 5,85 m/s a 70 °C.	25
10. Superficie de respuesta de la humedad en base seca en las hojas de limón sutil seco mediante lecho fluidizado a diversas temperaturas y velocidades de aire.	28

RESUMEN

La investigación se realizó en los laboratorios de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicado en la ciudad de Tingo María. Consistió en optimizar el secado por lecho fluidizado de hojas de limón sutil (*Citrus aurantifolia* S.), usando la metodología de superficie de respuesta, con diseño factorial con tres puntos centrales, los parámetros usados fueron temperatura (50, 60 y 70 °C) y velocidad de aire (1,95; 3,9 y 5,85 m/s). Se evaluó la humedad, pH, acidez, actividad antioxidante, contenido de polifenoles totales y flavonoides totales y análisis sensorial en las hojas de limón sutil fresco y seco. El análisis estadístico de los resultados fue por ANOVA, prueba de Tukey con el software STATGRAPHICS Centurión y prueba de Kruskal-Wallis XV con el software INFOSTAT respectivamente. La temperatura y velocidad de aire influyó significativamente en la humedad final ($p < 0,05$) obteniéndose como parámetros óptimos de secado 70 °C y 5,04 m/s, la humedad final fue de 0,002 g agua/g m.s. en 120 minutos de secado. El modelo matemático de secado describe satisfactoriamente el proceso de secado por lecho fluidizado. La humedad inicial de las hojas de limón sutil fue $64,47 \pm 0,04$ %, y en el secado se encontró que existe influencia significativa de la temperatura de secado en la actividad antioxidante y en el contenido de flavonoides totales e influencia significativa de la velocidad sobre el contenido de polifenoles totales ($p > 0,05$), así mismo hubo influencia significativa de los tratamientos en los resultados sensoriales de aroma y sabor ($p > 0,05$).

Palabras claves: secado, tratamiento de lecho fluido, secado en lecho fluido, *citrus*, *citrus aurantifolia*.

The Optimization by Response Surface of Drying Using a Fluidized Bed for *Citrus aurantifolia* S. (Lime) Leaves

Abstract

The research was done in the Universidad Nacional Agraria de la Selva's laboratories located in the city of Tingo María, [Peru]. It consisted in optimizing the drying using fluidized beds for lime leaves (*Citrus aurantifolia* S.). The response surface methodology was used with a factorial design with three central points; the parameters used were temperature (50, 60, and 70 °C) and air speed (1.95, 3.9, and 5.85 m/s). The humidity, pH, acidity, antioxidant activity, total polyphenol content, and total flavonoids were evaluated, and a sensory analysis was done for the fresh and dry lime leaves. The statistical analysis of the results was done using ANOVA, the Tukey test with the Statgraphics Centurion software, and the Kruskal-Wallis XV test with Infostat software, respectively. The temperature and air speed significantly influenced the final humidity ($p < 0.05$), were the optimal drying parameters obtained were 70 °C and 5.04 m/s, and the final humidity was 0.002 g water/g m.s. for 120 minutes of drying. The mathematical method for drying satisfactorily described the drying process using fluidized beds. The initial humidity of the lime leaves was $64.47 \pm 0.04\%$; and during the drying, it was found that a significant influence existed from the drying temperature on the antioxidant activity and the total flavonoid content; as well as a significant influence from the speed on the total polyphenol content ($p > 0.05$). At the same time, there was a significant difference from the treatments on the sensory results for the aroma and flavor ($p > 0.05$).

Keywords: drying, fluidized bed treatment, drying in fluidized bed, *citrus*, *citrus aurantifolia*.

I. INTRODUCCIÓN

El “limón sutil” (*Citrus aurantifolia S.*) es un árbol, perteneciente a la familia *Rutaceae*, reconocida por muchos como “limón peruano” y está ampliamente distribuido en la zona norte y selva del Perú, las hojas son utilizadas para preparar infusiones ya que estas poseen propiedades relajantes, mejora la digestión, alivia la migraña y es uno de los ingredientes importantes de diversos platos típicos y no solo es utilizado en bebidas sino también que posee un buen potencial de vitamina C, es un buen cicatrizante y controlador de la fiebre.

Hoy en día a nivel mundial el 80 % de las personas aproximadamente consumen plantas medicinales gracias a sus diversos beneficios para la salud. En nuestro país, el comercio de plantas aromáticas medicinales no es tecnificado porque la mayoría de las personas lo consumen en estado fresco sin hacerlo un tratamiento anticipado. Posee mercado nacional y es cultivado a mediana escala, cuenta con promoción por parte de las autoridades que ven el desarrollo de la agricultura y exportación; también cuenta con investigaciones de diversas plantas aromáticas que existe en nuestro país (Tejada, 2016).

Con el paso del tiempo, la productividad de plantas aromáticas ha ido incrementando en más del 77 % (Tejada, 2016). El limón sutil es cultivado comercialmente en México, Unión Europea, Turquía, Argentina, Sudáfrica, Estados Unidos, etc. (Quirumbay, 2021).

El secado es una operación que permite la conservación de alimentos reduciendo reacciones químicas y la acción de los microorganismos logrando obtener un producto con mayor tiempo de vida útil (Monsalve y Machado, 2007). El secado por lecho fluidizado es utilizado en diversas áreas de procesamiento de alimentos; donde la velocidad de aire es mayor que la de un secador con aire caliente lo cual se utiliza materias en forma de partículas para que así se pueda dar una buena transmisión de calor y masa en el área superficial del material (Martínez et al. 2010; Flores, 2019). Las hojas de limón sutil seco tienen mayor tiempo de vida útil y mejor presentación para su comercialización permitiendo darle un valor agregado al producto.

El limón sutil (*Citrus aurantifolia S.*) debido a la presencia de aceites esenciales esta posee capacidad antioxidante y este a la misma vez es el responsable del aroma (Franco, 2015; Ruiz et al. 2015).

Los siguientes objetivos fueron formulados en este marco de la investigación:

- Optimizar por superficie de respuesta parámetros de temperatura y velocidad de aire de secado, considerando como variable respuesta la humedad mínima en las hojas de limón sutil.
- Evaluar el comportamiento en la cinética de secado de las hojas de limón sutil.
- Evaluar el efecto de la velocidad de aire y temperatura del secado en lecho fluidizado sobre la humedad final y capacidad antioxidante de las hojas secas de limón sutil.
- Evaluar las características fisicoquímicas y sensoriales (color, aroma y sabor) en las infusiones de las hojas en estado fresco y del tratamiento óptimo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Castillo et al. (2017) deshidrataron hojas de naranja mediante secador no convectivo con calentador eléctrico y un secador solar modelo gabinete a temperaturas controladas en un rango de 45, 55 y 65 °C, llegando a la conclusión de que el secado solar en gabinete es posible debido a las importantes ventajas frente al secado en hornos eléctricos, ya que se pueden conseguir importantes ahorros energéticos con una baja inversión y un mínimo mantenimiento, dando como resultado productos deshidratados de alta calidad, favoreciendo además la protección del ecosistema.

Badillo (2011), deshidrató limón persa mediante secado por bandeja a un rango de temperatura de 60, 70 y 80 °C y deshidratado en microondas a potencias de 70, 140 y 210 W para comparar el potencial nutritivo, finalmente concluyó que el proceso más idóneo para deshidratar es mediante el secador en bandejas porque sus valores de composición nutricional son más altos.

Ramos et al. (2012) determinaron la actividad antioxidante *in vitro* mediante el método de ABTS [2,2'-azinobis-(3-etilbezotiazoline-6-ácido sulfónico)], evaluaron los extractos de las hojas de los diferentes cítricos como naranjo dulce, naranjo agrio, limón sutil, lima persa y mandarina a diferentes concentraciones de flavonoides totales (0,5; 1; 1,5 mg/mL), llegaron a la conclusión de que todos los extractos de las hojas de los cítricos evaluados muestran actividad antioxidante a diferentes concentraciones de flavonoides totales.

Hernández (2018), secó hojas de limón sutil mediante el secado a temperatura ambiente y liofilizado, con el fin de extraer y caracterizar compuestos fitoquímicos de las hojas. También menciona que los extractos de limón sutil poseen un campo amplio de actividades biológicas ya que presentan actividad antibacteriana, antiviral, antioxidante, analgésico y antiinflamatoria.

Noyola (2017), secó hojas de stevia mediante el secado por lecho fluidizado a temperaturas de 40, 50 y 60 °C con velocidad de aire de 2 y 3,5 ms⁻¹ para cada tratamiento respectivamente, llegando a la conclusión de que el estado adecuado para el secado fueron suficientes para preservar las propiedades fisicoquímicas en hojas de stevia con LE a 50 °C, 2 ms⁻¹ y 1,5 kgm⁻².

Flores (2019), deshidrató sachá culantro mediante el secado por lecho fluidizado en un rango de temperatura de 50, 60 y 70 °C con velocidad de aire de 3,9; 5,5 y 7,1 m/s para cada

tratamiento respectivamente, llegando a la conclusión de que las condiciones óptimas para el secado del sachu culantro es con una temperatura de 67,1 °C y velocidad de aire de 7,1 m/s obteniendo como humedad en base seca de 0,12 g agua/g m.s después de 180 minutos de secado.

2.2. Secado

De acuerdo con Jeria y Pozo (2011), el secado de alimentos es una operación unitaria donde se aplica calor con el propósito de prolongar el ciclo de vida de los alimentos mediante la reducción del contenido de humedad y la actividad acuosa, impidiendo el crecimiento microbiano y alteraciones químicas permitiendo obtener un producto más estable con características aceptables.

Según Padilla et al. (2020) el secado consiste en remover el agua libre del alimento utilizando aire caliente siendo la temperatura una variable importante, si no se utiliza adecuadamente influirá en la calidad del producto.

Una de las ventajas del secado es que facilita la conservación de los alimentos, prolonga la vida útil y reduce el volumen del producto lo cual conlleva a reducir costos de transporte, así como también promueve la estabilidad fisicoquímica. Usar la técnica del secado sin previo conocimiento y control de los parámetros (temperatura, velocidad de aire y humedad inicial) puede conducir a una degradación sensorial del producto (Silva et al. 2009).

El secado por lecho fluidizado es una de las opciones muy importantes porque permite una mezcla homogénea y es un método muy rápido y económico (Vásquez y Vizcarra, 2008).

2.1.1. Tipos de secado

2.1.1.1. Secado natural

Es un método de eliminación de agua por medio del uso del calor del sol, conserva todas las propiedades nutricionales del alimento. Este método presenta muchas ventajas a comparación con otros métodos de secado artificial mediante hornos que provoca la deshidratación y pérdida de nutrientes. Además, es un método muy barato, pero requiere de tiempo y dedicación y no se puede realizar cuando el día no es estable (Casa, 2019).

2.1.1.2. Secado artificial

Este método se lleva a cabo mediante hornos en condiciones controladas de temperatura, humedad y velocidad de aire. A partir de este método de secado se

logra obtener menor valor del contenido de humedad, producto uniforme con mejor calidad y obtenida en un menor tiempo posible. Una de las desventajas es que el proceso es muy caro debido a la utilidad de energía (Córdova, 2005).

2.3. Lecho fluidizado

En el lecho fluidizado existe transferencia de calor y masa a mayor velocidad, haciendo posible que el secado sea en menor tiempo obteniendo finalmente un producto con menor consumo de energía y de mejor calidad (Solar, 1981).

Este método de secado por lecho fluidizado es mayormente usado en productos como granos y hojas. Además, es muy usado debido a que logra obtener un mayor contacto con la muestra logrando obtener una muestra seca uniformemente.

La fluidización es una operación unitaria y acontece a partir de que las partículas sólidas son suspendidas por una corriente de un fluido que es dirigida de abajo hacia arriba estableciendo una fuerza de fricción. En el momento que se incrementa suficientemente la velocidad del fluido existe el equilibrio entre el peso de las partículas, estas se mueven independientemente por medio de pequeñas vibraciones obteniendo un excelente mezclado; si esto llega a ocurrir se describe que el lecho ha sido fluidizado (De Prada, 2014; López, 2006).

2.4. Metodología de superficie de respuesta

Este es un grupo de técnicas que permite estudiar respuestas que pueden verse como superficies al examinar experimentalmente los efectos de varios factores cuantitativos en el valor de la respuesta de la variable dependiente. El objetivo de esta metodología es optimizar valores óptimos de las variables independientes que maximicen, minimicen o satisfagan ciertas limitaciones en la variable respuesta (Figueroa, 2003).

2.5. Capacidad antioxidante

Según Vásquez (2018), los antioxidantes son moléculas que poseen la capacidad de prevenir o retrasar la oxidación de otras moléculas. La oxidación produce reacciones dando lugar a los radicales libres, estos son los que dañan las células, es por ello que los antioxidantes contrarrestan estas reacciones.

Los compuestos antioxidantes son moléculas quienes ayudan a combatir el deterioro celular ocasionado por los radicales libres, estas son muy conocidas por combatir con diversas enfermedades cardiovasculares y cáncer (Naranjo et al. 2011).

Peiró (2015), define a los antioxidantes como un grupo de moléculas que son reconocidas por su gran capacidad de neutralizar la reacción de los radicales libres y el estrés oxidativo. Los antioxidantes son utilizados para retardar o impedir la oxidación catalítica y el enranciamiento natural en las bebidas y los alimentos que son provocados por la acción de la luz o aire.

Los antioxidantes se clasifican de tres formas: antioxidantes primarios, son aquellos que previenen la formación de los radicales libres mientras que los antioxidantes secundarios detienen la reacción de propagación de los radicales libres y los antioxidantes terciarios son los que reparan el daño de las células causados por los radicales libres (Zapata et al. 2007; Arrate, 2007; Agudo, 2010).

Vicente (2019), indica que los antioxidantes alimentarios cumplen un rol muy importante en la industria alimentaria convirtiéndose en uno de los procedimientos más relevantes en la conservación de alimentos.

El compuesto químico 2,2-Difenil-1-picrilhidracilo es un radical libre estable de color púrpura, es susceptible ante compuestos antioxidantes porque muestra la capacidad de reaccionar mediante un proceso de reacción donde va perdiendo el color progresivamente en función del tiempo. De modo que se emplea frecuentemente en la prueba DPPH a fin de cuantificar la capacidad antioxidante de diversas muestras naturales (Guija et al. 2015, Granados et al. 2014).

El método DPPH: 2,2-Difenil-1-picrilhidracilo es utilizado a nivel mundial para medir la actividad captadora de radicales libres. Este método es fundamentado en la reducción de la absorbancia a 515 nm, esto se produce por agentes antioxidantes dando lugar a la decoloración de púrpura a amarillo lo cual indica la potencialidad de atrapar radicales libres (Condezo, 2012).

2.5.1. Compuestos con capacidad antioxidante

Según Mesa et al. (2010) el b-caroteno, a-tocoferol y la quercetina, entre otros, son compuestos que contienen antioxidante natural y muestran una actividad similar a los antioxidantes artificiales de mayor uso como el 2-terbutil-hidroxianisol y el 2-terbutil-hidroxitolueno; a pesar de que presentan propiedades antioxidantes tienen la desventaja de ser tóxico. Las hojas de limón sutil (*Citrus aurantifolia* S.) contienen mayor concentración de flavonoides totales y capacidad antioxidante (Ojito et al. 2012).

2.6. Generalidades del limón sutil

2.6.1. Origen y distribución

Según Talavera (2018), el limón sutil es un árbol espinoso siendo una de las especies primordiales del género *Citrus*, es nativo de Asia con más de 2500 años, pero en el siglo XVI el limón sutil se comenzó a conocer por el continente americano gracias al ingreso de los exploradores españoles. Este árbol se desarrolla en climas templados y tropicales teniendo como temperatura promedio entre 10-24 °C, suelo franco-arcilloso y con un buen desagüe. Actualmente es cultivada en todo el mundo, en nuestro país peruano la principal zona productora es el norte del país siendo Piura con 54,8%, Lambayeque 19,1 %, Tumbes 11 %, Loreto 4 %, Ucayali 3,3 % y otros 7,8 % del total de la producción.

2.6.2. Descripción y división taxonómica

Según Guadalupe y Vela (2020), el limón sutil es un árbol pequeño, ramificado y espinoso que pertenece a la familia *Rutaceae*, puede crecer hasta 5 m de altura con una altitud optima de 20 a 900 m.s.n.m., el fruto es de forma esférica y amarillenta cuando este sea maduro.

Baca y Yábar (2016), indican que el limón sutil (*Citrus aurantifolia* S.) es una especie del género *Citrus* utilizada como planta medicinal por sus principios bioactivos que a nivel industrial es aprovechada por sus propiedades sensoriales y sobre todo porque posee un carácter conservante gracias a su capacidad antioxidante, su clasificación taxonómica es de la siguiente manera:

Reino	:	Plantae.
División	:	Magnoliophyta.
Clase	:	Magnoliopsida.
Subclase	:	Rosidae.
Orden	:	Sapindales.
Familia	:	Rutaceae.
Sub familia	:	Citroideae.
Tribu	:	Citreae
Género	:	Citrus.
Especie	:	<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle.

Puente (2011), indica de como se le conoce comúnmente a esta planta cítrica: limón criollo, lima mexicana, lima acida, lima chica, lima boba, limón chiquito, limón corriente, limón agria.

2.6.3. Composición química

Montaño (2011), menciona la composición química del limón sutil cada 100 g de muestra y se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición química del limón sutil (*Citrus aurantifolia* S.).

Componente	Contenido	Unidades
Agua	82,8	%
Calorías	29	cal
Proteína	0,8-1	g
Grasa	0,1	g
Vitamina C	50	mg
Ácido fólico	11	mg
Calcio	26	mg
Magnesio	8	mg
Carotenos	3,4	mg
Potasio	137	mg

Fuente: Montaño (2011).

Según Montaño (2011), el limón sutil es muy rico en vitamina C ya que estas contienen propiedades mineralizantes y antiescorbútics, también poseen altas cantidades de calcio y potasio. Además, dentro de los nutrientes más importantes del limón sutil se encuentran: los azúcares, sales minerales y aminoácidos, teniendo 50 mg de vitamina C por cada 100 g de limón.

2.7 Análisis sensorial

Segun Picallo (2009), es el análisis de los alimentos y otras materias a través de los sentidos. Además el análisis sensorial, es una disciplina científica que permite percibir propiedades organolépticas de los alimentos a través de la vista, olfato y gusto. Así mismo este tipo de análisis puede ser realizada por personas entrenadas, semi-entrenadas y no entrenadas quienes hacen el uso de sus sentidos.

Grández (2012), El análisis sensorial es interdisciplinario acogiendo a varios campos tales como la psicología y química, es por tal razón que su estudio respectivo recibe mayor reconocimiento, también es utilizado en diferentes ámbitos como la industria alimentaria, perfumería, etc.

2.7.1. Color

Es la percepción por el sentido de la vista mediante longitudes de onda específicas manifestadas por una materia. Las materias blancas reflejan luz en todas las longitudes de onda, mientras que las materias negras absorben todas las longitudes de onda. Las mediciones de color se pueden realizar usando escalas de color de forma visual o a través de un colorímetro. El color puede afectar en la percepción de otro sentido confundiendo el color por un sabor desagradable de dicho producto. Además, el color es uno de los factores primordiales para que el consumidor acepte o rechace el producto es por ello que muchos fabricantes adicionan colorantes a sus productos para captar la atención del consumidor (Grández, 2012).

2.7.2. Aroma

Es la percepción de olores fuertes que emiten los alimentos cuando es colocada en la boca. Además, es un grupo de sensaciones olfativas y gustativas, por ello se recomienda que los ambientes deben estar ventilados para que no exista una confusión de aromas, también es una de las propiedades organolépticas fundamentales de los alimentos. (Capello et al. 2017).

2.7.3. Sabor

Este carácter peculiar está relacionado con el aroma, olor y gusto ya que su análisis es muy complicado. Además, es percibido a través del gusto con el objetivo de distinguir diversas sustancias presentes en los alimentos, por ello se recomienda que los panelistas mantengan sus sentidos completos en un buen estado (Grández, 2012).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

Este trabajo de investigación tuvo lugar en los laboratorios de: Química, Secado, Análisis de alimentos, Ingeniería de alimentos, Calidad y Evaluación sensorial de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), ubicado en la ciudad de Tingo María, distrito de Rupa-Rupa, provincia de Leoncio Prado, región de Huánuco, a una altitud de 647 m.s.n.m. a 09° 18'05" de latitud Sur, a 76° 02'10" de Latitud Oeste con clima tropical húmedo y con una humedad relativa promedio anual de 78 % y temperatura promedio es de 24,2 °C.

3.2. Materia prima

La materia prima usada en este trabajo de investigación fueron hojas de limón sutil, adquiridas del Centro Poblado de Santa Cruz, perteneciente al distrito de Nuevo Progreso, provincia de Tocache.

3.3. Materiales, equipos y reactivos

3.3.1. Materiales

Se utilizó los diferentes materiales como; vasos precipitados de 100 mL y 200 mL, matraz de 250 mL, bureta graduada de 50 mL, pipeta microvolumétrica de 10 mL, varilla de vidrio, embudos de filtración, frascos de vidrio, gotero, piseta, tubos falcón de 15 mL, tubos de microcentrífuga de 1,5 mL, cubetas semimicro de poliestireno para espectrofotómetro de 1,5 mL, porta cubetas de 2,0 a 3,0 mL, puntas para micropipeta de 10 a 100 μ L y 100 a 1000 μ L, porta tips, microtubos de 1,5 a 2 mL, porta Microtubos de 1,5 a 2 mL, balde de plástico, jarra de 1 L, bacitos de polipropileno, sobres trilaminados, mesa de acero inoxidable, tijera, papel filtro WHATMAN ($\varnothing=125$ mm), soporte universal de madera.

3.3.2. Equipos

Se utilizó los diferentes equipos como: balanza electrónica de precisión marca ABK 210, micropipetas de 10 a 100 μ L, 100 a 1000 μ L marca LABMATE+, centrífuga marca HETTICH modelo EBA 20 y velocidad 2 000 rpm, espectrofotómetro modelo GENESYS-6 THERMO SCIENTIFIC (UV/Vis), pH metro digital marca ORION STAR A215, cocina eléctrica marca PRACTIKA, selladora a mano marca STANDER, secador de lecho fluidizado

marca INDUSTRIAS MERINO, medidor de humedad marca aeADAM, molino modelo KD-850.

3.3.3. Reactivos

Se utilizó los diferentes reactivos como: solución DPPH (2,2-Difenil-1-picrilhidracilo), Folin-Ciocalteu's diluido 1/10, carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 7,5 %, catequina 1000 ug/mL, nitrito de sodio (NaNO_2) al 5 %, cloruro de aluminio (AlCl_3) al 10 %, hidróxido de sodio (NaOH) 1M, Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilo-3,4-dihidrocromeno-2-carboxílico), agua destilada, alcohol etanol 96 °GL, Fenolftaleína 1 %, solución de hipoclorito 22,27 ppm.

3.4. Métodos de análisis

Se utilizó los diferentes métodos de análisis como: Humedad, mediante el equipo medidor de humedad; humedad en base seca, método utilizado por Martines y Lira (2010); pH, método utilizado por Abadía et al. (1973); acidez, método utilizado por Caisahuana (2012); capacidad antioxidante, método utilizado por Brand-Williams et al. (1995); análisis sensorial, método utilizado por Hernández (2005); polifenoles, método utilizado por Peláez et al. (2021); flavonoides, método utilizado por Muñoz et al. (2012).

3.5. Metodología

3.5.1. Secado mediante lecho fluidizado de las hojas de limón sutil

Las operaciones que se utilizaron para el secado mediante lecho fluidizado de las hojas de limón sutil se muestran en la Figura 1 y se explica en el transcurso:

Cosecha: Las hojas de limón sutil fueron obtenidas del Centro Poblado de Santa Cruz.

Traslado: Las muestras (hojas) de limón sutil fueron transportadas en bolsas de polietileno lo más rápido posible.

Recepción: Las hojas de limón sutil recientemente cosechadas fueron recepcionadas en los ambientes del laboratorio de secado.

Separado / selección: Las hojas obtenidas fueron colocadas en la mesa de trabajo de acero inoxidable y se procedió con la separación de los peciolos con una tijera

previamente desinfectada, a continuación, se pasó a seleccionar las hojas muy tiernas y deteriorada por larvas, insectos y otras imperfecciones.

Lavado: Se llevó a cabo con agua potable para sustraer restos de materiales extraños producto de la cosecha y post cosecha de las hojas.

Desinfectado: Para cada litro de agua se utilizó 10 gotas de hipoclorito (22,27 ppm), en el envase que contiene hipoclorito, las hojas de limón sutil fueron introducidas por 10 minutos con la finalidad de sustraer la flora microbiana. Se calculó las partes por millón del desinfectante hipoclorito de sodio al 4% mediante la Ecuación (1):

$$C_1V_1 = C_2V_2 \quad (1)$$

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: Esta operación se efectuó sumergiendo las muestras en agua potable con la finalidad de quitar restos de hipoclorito empleado en el desinfectado.

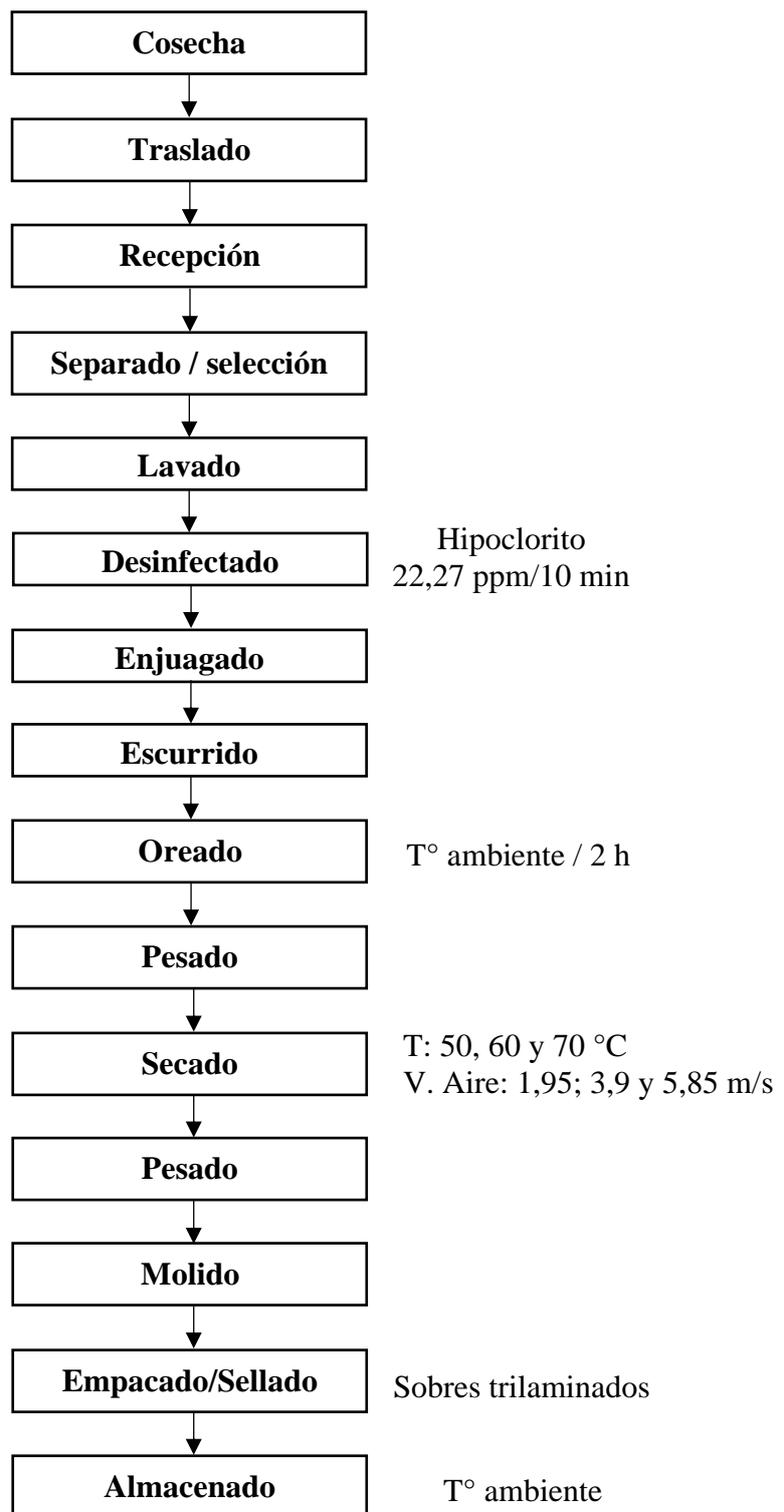


Figura 1. Flujograma de secado mediante lecho fluidizado de hojas de limón sutil.

Ecurrido: Las hojas de limón sutil se colocó sobre las coladoras con el único motivo de drenar el agua incorporado en las hojas de limón sutil.

Oreado: Se colocaron uno por uno las hojas de limón sutil en bolsas de plásticos a temperatura ambiente durante 2 horas. Se realizó únicamente con el objetivo de sustraer el agua incorporado en las hojas.

Pesado: Fue por medio de una balanza electrónica de precisión (400 g. muestra).

Secado: El experimento de secado se desarrollaron en una cámara de fluidización que contiene un panel de control (sensor de temperatura, control de velocidad de aire y motor de ventilador), ducto de circulación de aire, un distribuidor de aire y fondo poroso con orificios de 5 mm de diámetro. Se efectuó a temperaturas de 50, 60 y 70 °C y velocidades de aire de 1,95; 3,9 y 5,85 m/s.

Pesado: Para determinar el peso final de cada una de las muestras, se pesó en una balanza digital.

Molido: Fue molido mediante un molino de café por un tiempo de 10 s.

Empacado / sellado: Manualmente en envolturas trilaminados, con la finalidad de preservar el delicado aroma y color característico a hojas de limón sutil. Se tomaron muestras para llevar a cabo los análisis correspondientes a las hojas secas: pH, acidez, capacidad antioxidante, contenido de polifenoles totales, contenido de flavonoides totales y análisis sensorial (color, aroma, sabor).

Almacenado: A temperatura ambiente y en un lugar fresco y oscuro.

La Figura 2 muestra la máquina en la que se realizó la evaluación del secado mediante lecho fluidizado.

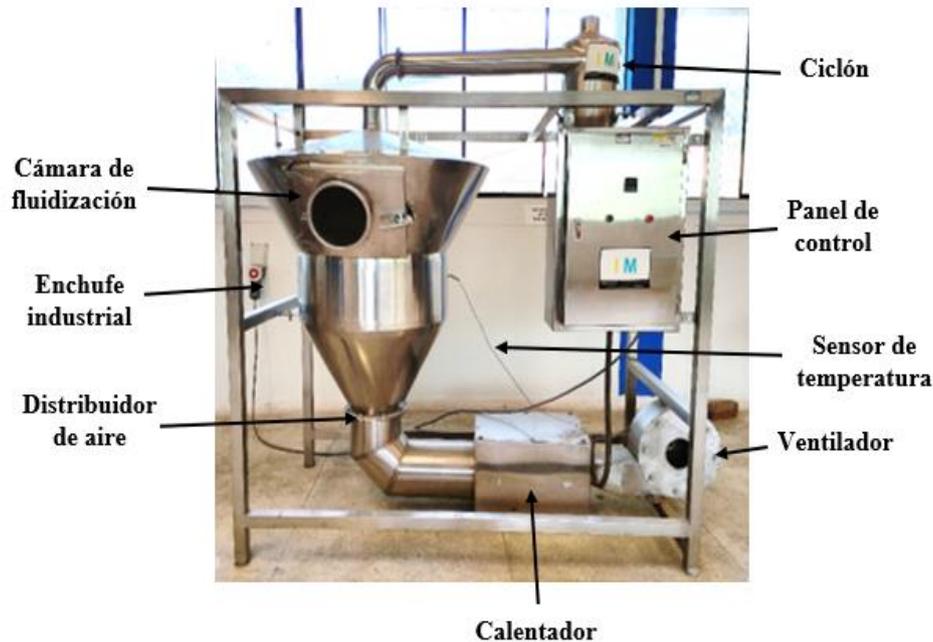


Figura 2. Secadora de lecho fluidizado.

3.5.2. Determinación del contenido de humedad de las hojas de limón sutil frescas

Se determinó contenido de humedad usando el equipo medidor de humedad (aeADAM), en el plato de aluminio se pesó 1 g de muestra de hojas frescas de limón sutil cortado en pequeños pedazos y se programó la temperatura a 105 °C por 5 minutos. Posteriormente al tiempo culminado el equipo medidor de humedad reportó el resultado final del porcentaje de humedad.

3.5.3. Determinación de humedad en base seca (H_{BS}) en el transcurso del secado de las hojas de limón sutil frescas

Se tomó una muestra de hojas frescas de 400 g para cada tratamiento con dos repeticiones respectivamente. Se colocaron las hojas de limón sutil dentro del secador de lecho fluidizado a temperaturas de 50, 60 y 70 °C y velocidades de aire de 1,95; 3,9 y 5,85 m/s. Para cada tratamiento, el tiempo y la pérdida de peso del producto durante el procedimiento se registraron a intervalos de 30 minutos durante las primeras 2 horas y cada 1 hora las 6 horas restantes. Se utilizó cronómetro y balanza electrónica de precisión, hasta lograr alcanzar un peso constante para cada tratamiento.

La humedad en base seca (H_{BS}) en cada una de las muestras durante el periodo de secado se determina como el contenido de agua en la unidad del sólido de hojas de limón sutil. Se determinó a través de la Ecuación (2) (Martines y Lira, 2010).

$$H_{BS} = (P_M - M_S) / M_S \quad (2)$$

Donde:

H_{BS} : humedad en base seca (g agua/g m.s).

P_M : peso de la muestra.

M_S : peso de la muestra seca.

Se utilizó un enfoque de superficie de respuesta con un diseño factorial con tres puntos centrales para el tratamiento óptimo predeterminado para estimar los parámetros de secado óptimos considerando la humedad óptima del tratamiento.

3.5.4. Determinación del valor de pH en las hojas de limón sutil frescas y secas

Se tomó una muestra de 5 g de hojas frescas de limón sutil y secas previamente trituradas, para cada muestra se colocó 50 mL de agua destilada en un matraz de 100 mL y se puso a hervir, se añadió la muestra cuando el agua estuvo hirviendo y se controló el tiempo por 3 minutos, concluido el tiempo se dejó enfriar y luego se filtró. Finalmente, con un equipo pH-metro digital de marca ORION STAR A215 se cuantificó el pH y se registraron los datos.

3.5.5. Determinación de la acidez en las hojas de limón sutil frescas y secas

La misma solución se filtró a través de en un soporte universal de madera, embudo de vidrio, matraz de 200 mL, papel filtro WHATMAN ($\varnothing= 125$ mm), a partir del filtrado se tomó una muestra de 10 mL fue añadido 20 mL de agua destilada y 3 gotas de fenolftaleína al 1 %. El procedimiento de titulación se realizó con una solución de NaOH al 0,1 N y se registró el consumo de NaOH. El porcentaje de acidez se determinó mediante la Ecuación (3):

$$\%_{Acidez} = \frac{C \times N \times \text{meq. del ácido}}{P_M} \times 100 \quad (3)$$

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).

3.5.6. Determinación de la capacidad antioxidante en las hojas de limón sutil secas

Para la preparación del extracto, se pesó 1,25 g de muestra de hojas secas de limón sutil, se puso a hervir 50 mL de agua destilada luego se añadió la muestra y se controló durante 3 minutos, se puso a enfriar y se aforo a 50 mL con agua destilada, este mismo extracto se utilizó para la determinación de la capacidad antioxidante, contenido de polifenoles totales y flavonoides totales.

La capacidad antioxidante de los extractos de hoja de limón sutil por DPPH (2,2-difenil-1 picrilhidrazilo) se evaluó según lo descrito por Brand-Williams et al. (1995), ligeramente modificado. Los extractos se centrifugaron a 2000 rpm durante 5 minutos; a partir de esta muestra se preparó una dilución de 1/5. Para establecer la capacidad antioxidante de los extractos de hoja de limón sutil ante el radical DPPH, se añadieron y mezclaron 800 µL de solución metanol a 100 µM de DPPH y 200 µL de extracto de hoja de limón sutil diluido, las soluciones se prepararon por triplicado dejando reposar en ambiente oscuro por un lapso de 30 minutos. Además, se acondicionó un control de DPPH usando 800 µL de solución de DPPH-metanol al 100 µM y un volumen de 200 µL de disolvente de extracción respectivamente, la lectura de la absorbancia se registró a 515 nm. Se realizó a cabo un proceso idéntico para los estándares de Trolox en el rango de concentración de 25-100 µM.

Las concentraciones de extracto de las hojas de limón sutil se reflejan frente a los porcentajes remanente de DPPH en estado permanente, para lograr adquirir la concentración máxima efectiva media (IC₅₀), quien se define como la cantidad de antioxidante requerida para reducir el 50 % de la concentración inicial del DPPH. Por último, la capacidad de capturar DPPH se manifestó en términos de µMol de Trolox/g muestra.

3.5.7. Determinación del contenido de polifenoles totales en las hojas de limón sutil secas

Para la curva estándar se utilizó concentraciones de 1-10 $\mu\text{g/mL}$ ácido gálico. A partir de los extractos se preparó una dilución de 1/5 con tres repeticiones para cada muestra. Para ello se tomaron 100 μL de extracto diluido, 500 μL de Folin-Ciocalteu diluido 1/10 y finalmente 400 μL de Carbonato de sodio al 7,5 % (Na_2CO_3) se incubó en la oscuridad a temperatura ambiente durante 2 horas y se realizó la lectura en un espectrofotómetro UV-Vis a una longitud de onda de 740 nm. La absorbancia obtenida se insertó en la ecuación de la curva estándar y fueron expresadas en (mg EAG/g muestra).

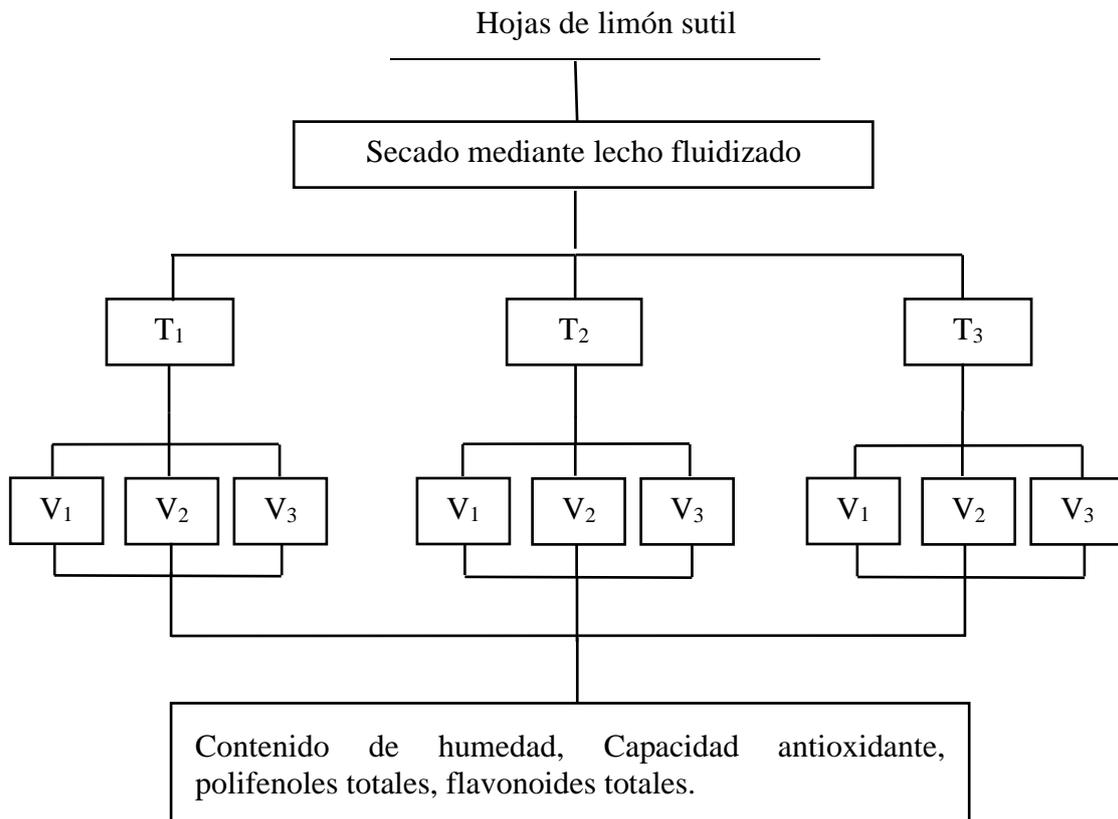
3.5.8. Determinación del contenido de flavonoides totales en las hojas de limón sutil secas

El contenido de flavonoides totales de los extractos de las hojas de limón sutil se determinó según lo descrito por Muñoz et al. (2012). Para la curva estándar se utilizó un stock de catequina a 1000 $\mu\text{g/mL}$ a concentraciones de 1-10 $\mu\text{g/mL}$ catequina. La muestra para el análisis fue muestra directa sin diluciones, se tomaron 100 μL de extracto y se agregó 30 μL de nitrito de sodio (NaNO_2) al 5 %, se permitió reposar por 6 minutos, se agregó 30 μL de cloruro de aluminio (AlCl_3) al 10 % dejando reposar por 5 minutos y se añadió 200 μL de hidróxido de sodio a 1M (NaOH) por último se agregó 640 μL de agua destilada dejando reposar por 30 minutos en un ambiente oscuro, la absorbancia de la muestra se registró a 510 nm en un espectrofotómetro UV-VIS. Los análisis se hicieron por triplicado y las absorbancias adquiridas se suplantaron en la ecuación de la curva estándar y fueron expresadas en (mg CAT/g muestra).

3.5.9. Análisis sensorial de las hojas de limón sutil frescas y secas

Se pesaron 0,8 g de hojas secas (molido) de limón sutil y para las hojas frescas de limón sutil se pesó 2 g, se midió agua de mesa 100 mL/g de muestra y se puso a hervir, se agregó la muestra dejando hervir por 3 minutos, luego rápidamente se filtró y se colocó en un termo. Para evaluar los atributos de color, aroma y sabor se utilizaron una escala hedónica de 5 puntos conforme con el test de evaluación (Teneda et al. 2017), el procesamiento de los resultados se determinó por la prueba Kruskal-Wallis.

3.6. Diseño experimental



Muestra fresca y tratamiento óptimo (70 °C/ 5,85 m/s): pH, acidez, análisis sensorial (color, aroma y sabor).

T₁, T₂ y T₃ = temperatura de 50, 60 y 70 °C.

V₁, V₂ y V₃ = Velocidad de aire de secado 1,95 ;3,9 y 5,85 m/s.

Figura 3. Diseño experimental para la investigación.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Contenido de humedad en las hojas de limón sutil frescas

La humedad de las hojas frescas de limón sutil fue de $64,47 \pm 0,04$ %, las repeticiones se muestran en el Anexo 2. Etchevers et al. (2021) mencionan que las hojas frescas de moringa provenientes de Tailandia, Ghana y India, contienen 65 ± 3 % de humedad. También Gutiérrez (2017), determinó que las hojas de romero contienen una humedad inicial del 65,15 %, nuestros resultados muestran valores similares.

4.2. Contenido de humedad para cada tratamiento de las hojas de limón sutil secas

En el Anexo 3 se muestran los datos obtenidos a diferente tiempo y peso final de las hojas de limón sutil secadas a temperaturas de 50, 60 y 70 °C y velocidades de aire de 1,95; 3,9 y 5,85 m/s.

La Tabla 2 indica los resultados de cada una de las humedades en base seca (g agua/g m.s) de las hojas de limón sutil al terminar los tratamientos.

Tabla 2. Contenido de humedad final de las hojas de limón sutil en base seca.

Tratamientos/ Repeticiones	R ₁	R ₂	Promedio
	g agua/g m.s	g agua/g m.s	g agua/g m.s
T ₁ (50 °C/1,95m/s)	0,01	0,03	0,02
T ₂ (50 °C/3,9m/s)	0,04	0,03	0,04
T ₃ (50 °C/5,85m/s)	0,04	0,04	0,04
T ₄ (60 °C/1,95m/s)	0,06	0,09	0,07
T ₅ (60 °C/3,9m/s)	0,02	0,03	0,03
T ₆ (60 °C/5,85m/s)	0,01	0,03	0,02
T ₇ (70 °C/1,95m/s)	0,05	0,02	0,03
T ₈ (70 °C/3,9m/s)	0,02	0,06	0,04
T ₉ (70 °C/5,85m/s)	0,01	0,02	0,02

En el transcurso del proceso de secado de las hojas de limón sutil, la humedad final en cada uno de los tratamientos fueron de 0,01 a 0,07 g agua/g m.s en promedio, los resultados son parecidos a lo reportado por Badillo (2012), el limón persa fue deshidratado por medio de un microondas a una potencia de 140 W evaluado cada 5 minutos y llego a secar a 0,01 kg de agua/kg de muestra en un lapso de 105 minutos, mientras que a una potencia de 70 W evaluado cada 5 minutos llego a secar hasta 0,02 kg de agua/kg de muestra en un lapso de 240 minutos.

4.3. Cinética de secado mediante lecho fluidizado de las hojas de limón sutil

En las Figuras 4, 5 y 6 se muestra el comportamiento de la humedad con relación al tiempo en el transcurso del secado de las hojas de limón sutil en función de la temperatura a diferentes velocidades de aire.

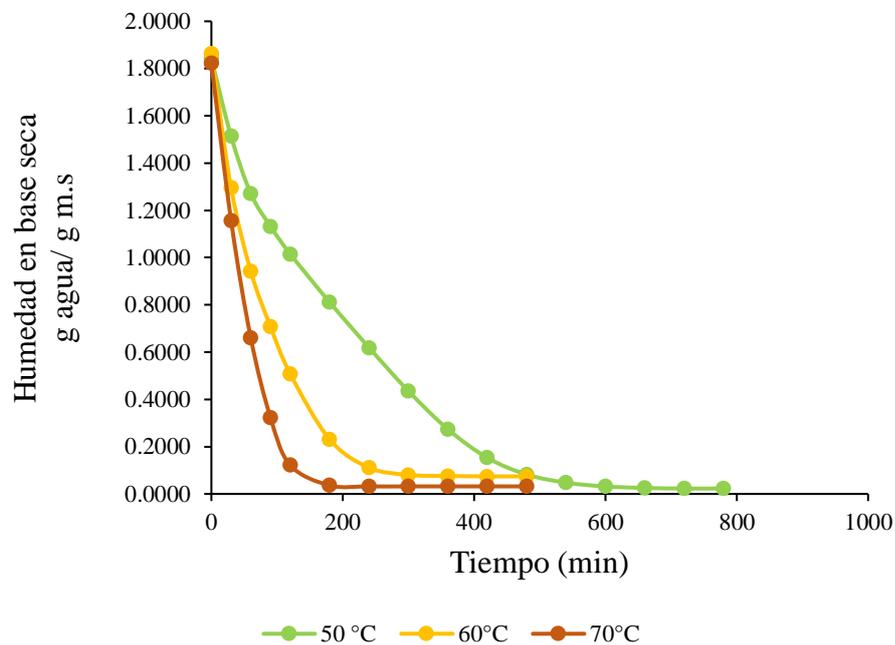


Figura 4. Cinética de secado de las hojas de limón sutil a velocidad de aire de 1,95 m/s a 50, 60 y 70 °C.

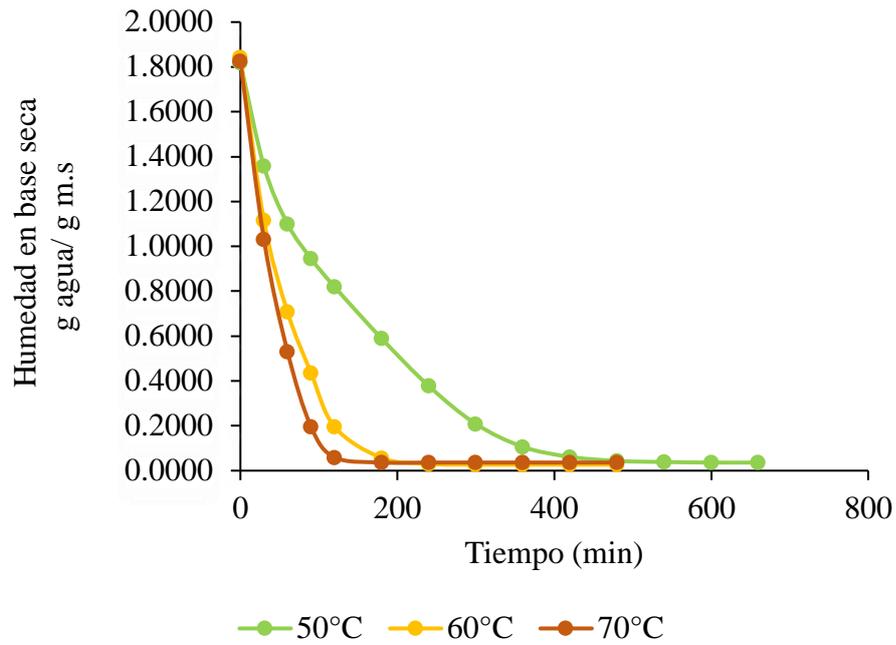


Figura 5. Cinética de secado de las hojas de limón sutil a velocidad de aire de 3,9 m/s a 50, 60 y 70 °C.

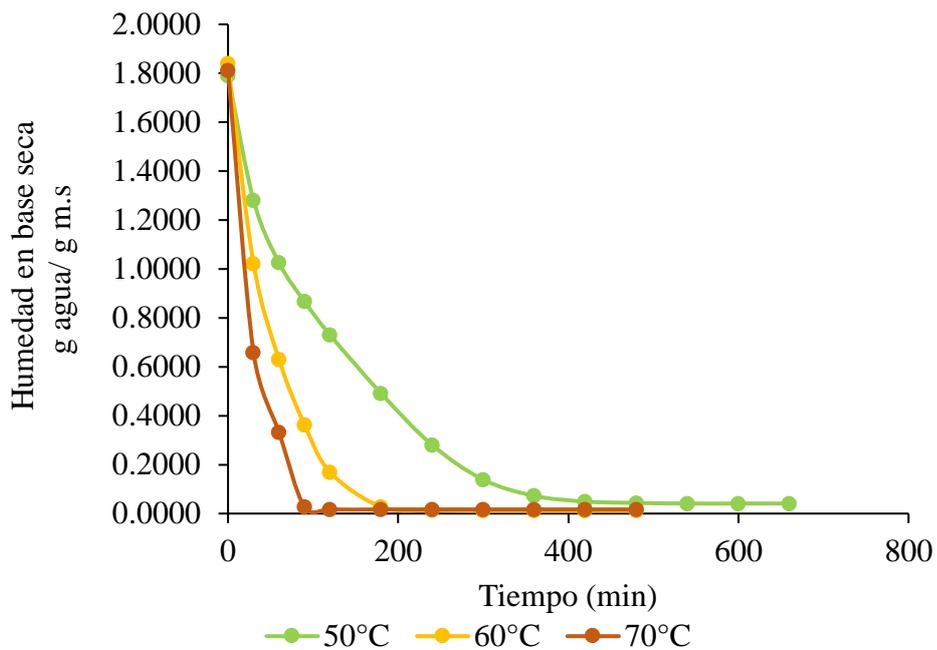


Figura 6. Cinética de secado de las hojas de limón sutil a una velocidad de aire de 5,85 m/s a 50, 60 y 70 °C.

Al principio de los 60 minutos se logra observar un decrecimiento sobresaliente de la humedad en las hojas de limón sutil. Vinculando el descenso de la humedad en los primeros 60 minutos de secado para la temperatura de 50 °C fue radicalmente menor y examinando el comportamiento de secado a temperaturas de 60 y 70 °C se observa que fue más drástica, llegando a concluir que las curvas de secado son similares a temperaturas de 60 y 70°C ya que a medida que aumenta la temperatura, la humedad disminuye, por lo que el tiempo de secado se acorta. Lo contrario sucede con la temperatura de 50°C, el tiempo de secado es más prolongado. Coincidiendo con lo reportado por Oré (2015), indica a medida que los sólidos se secan, los datos se asignan al contenido de humedad en base seca en función del tiempo ya que a mayor temperatura menor tiempo de secado y a menor temperatura mayor tiempo de secado. Palomino (2016), menciona que la combinación de dos factores: aumento de la temperatura y disminución en la velocidad del aire, se reduce el tiempo de secado.

Según Ángeles y Rangel (2019), indican que para llegar a la humedad de equilibrio en hojas de muña (*Minthostachys mollis*) dependieron de la temperatura, así como la velocidad de aire obteniendo menor tiempo de secado y mayor evaporación de la humedad. Palomino (2016), nos dice que el aumento de temperatura de secado también aumenta la humedad relativa lo cual ayuda a eliminar la humedad del producto. En este estudio, el aumento de la velocidad de aire tuvo un efecto significativo en la tasa de disminución de la humedad. La temperatura de secado fue de 50, 60 y 70 °C por 480 minutos.

Mahn et al. (2017) mencionan que el secado por lecho fluidizado es el método con mayor eficiencia por el buen contacto entre las partículas y el aire dando lugar a una buena transferencia de masa y calor logrando eliminar la humedad de la partícula, además contribuye a reducir la pérdida de diferentes compuestos bioactivos y nutricionales. Jácome (2015), nos dice que hay variables que influyen en la velocidad del secado: la temperatura, velocidad y humedad absoluta del aire, finalmente el tamaño de la partícula.

Padilla et al. (2020) mencionan que la temperatura es la variable principal en el proceso de secado debido a que si no empleas la temperatura adecuada influirá en la calidad del producto alterando atributos como el sabor, color, aroma y propiedades nutricionales.

4.4. Eficacia de la temperatura y velocidad de aire en el secado de las hojas de limón sutil

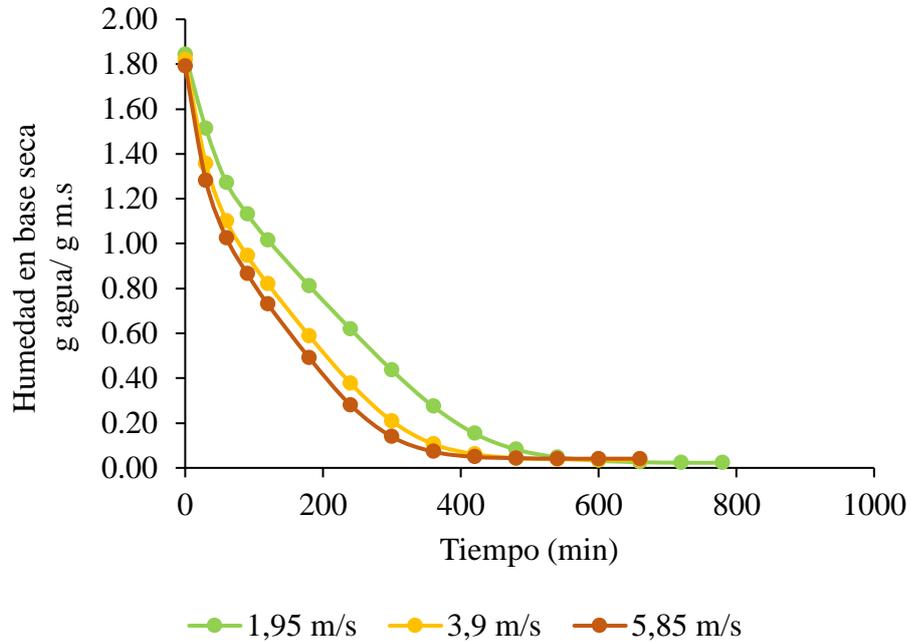


Figura 7. Conducta de la humedad en base seca respecto al tiempo de secado a velocidades de aire de 1,95; 3,9 y 5,85 m/s a 50 °C.

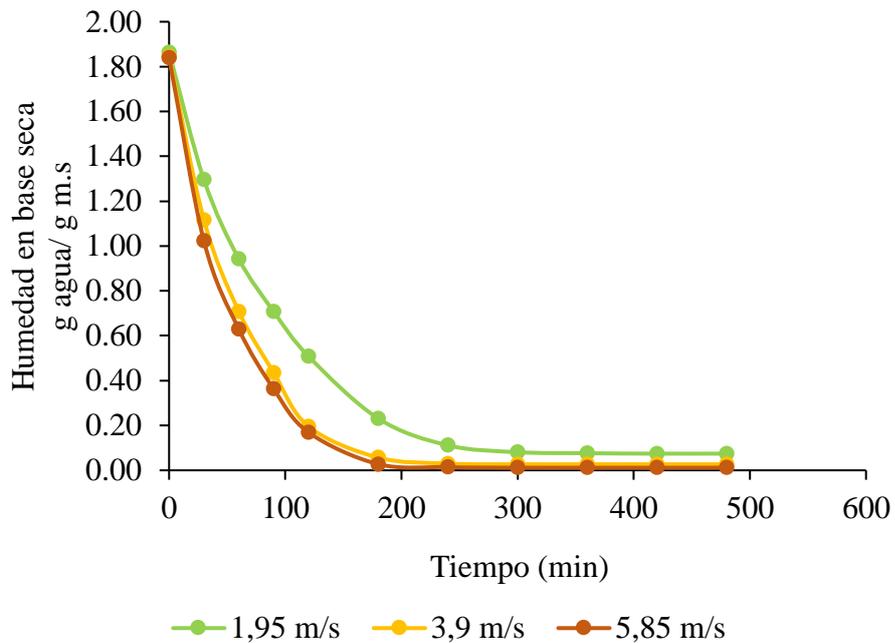


Figura 8. Conducta de la humedad en base seca respecto al tiempo de secado a velocidades de aire de 1,95; 3,9 y 5,85 m/s a 60 °C.

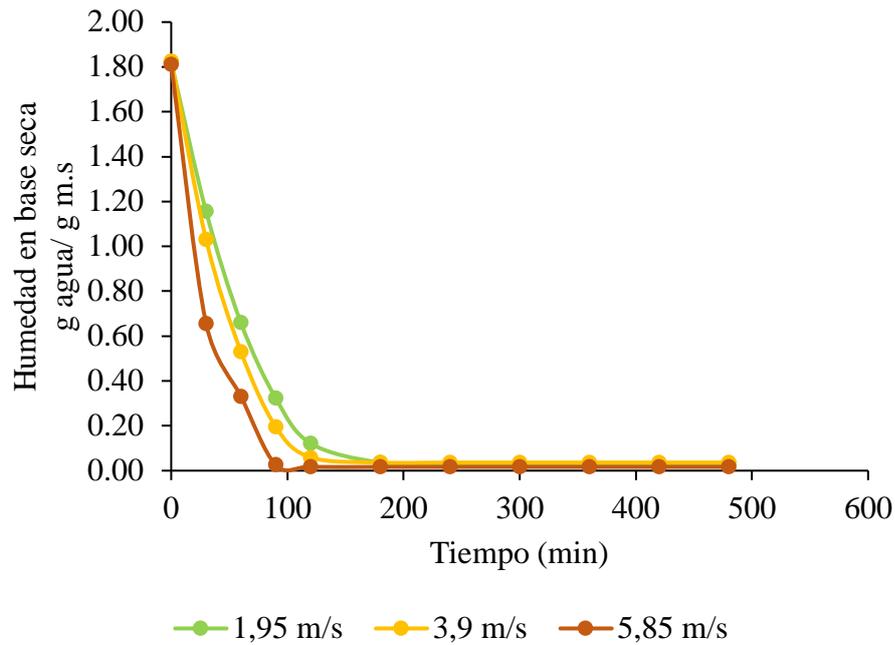


Figura 9. Conducta de la humedad en base seca respecto al tiempo de secado a velocidades de aire de 1,95; 3,9 y 5,85 m/s a 70 °C.

Las Figuras 7, 8 y 9 muestran el comportamiento de la humedad en base seca respecto al tiempo de secado a diversas velocidades de aire a temperaturas de 50, 60 y 70 °C. Se logra observar que la velocidad de aire tuvo cambio significativamente a temperaturas de 50, 60 y 70 °C para disminuir la humedad en base seca.

Como se muestran en las Figuras 7, 8 y 9, el efecto de la velocidad de aire provocó cambios significativos en las muestras de secado.

Royler (2020), secó mashua en secadores de bandeja a temperaturas de 40, 50 y 60°C a velocidades de 2, 3 y 5 m/s y determinó que la temperatura, velocidad de aire y la combinación de ambos factores no influyeron significativamente en la tasa de captación de radicales libres.

Chingal et al. (2019) secaron fideos libres de gluten en un secador a escala de laboratorio y un horno de secado por convección de aire a una temperatura de 40 °C a velocidades de 0,4; 0,8 y 1,5 m/s y determinó que si hubo influencia de la velocidad de aire en la curva de secado de las pastas.

Morales y Vélez (2011), determinaron influencia de la velocidad de aire en el secador con aire caliente con charolas a escala piloto en tortillas comerciales de maíz. A baja

velocidad de aire de 2, 4 y 6 m/s a 35, 48 y 68 °C, la rapidez de secado influyó en el contenido de humedad final del producto frito.

Rosales (2015), estableció parámetros óptimos mediante un secador por convección para el fruto de sauco con el aire caliente a 60°C y con una velocidad de aire de 1 m/s.

En el Anexo 4 se muestra la humedad con distintos tiempos de secado.

Para la apreciación estadística durante el proceso de secado, se tomó en cuenta la humedad adquirida en los 120 minutos de secado.

La Tabla 3 muestra los datos de humedad en base seca adquiridas a temperatura de 50, 60 y 70 °C y velocidad de aire de 1,95; 3,9 y 5,85 m/s.

Tabla 3. Humedad en base seca en las hojas de limón sutil seco a 120 minutos y prueba de Tukey.

Temperatura (°C)	Velocidad (m/s)	H _{BS} (PROMEDIO)
50	1,95	1,02 ± 0,11 ^d
50	3,90	0,82 ± 0,06 ^d
50	5,85	0,73 ± 0,00 ^d
60	1,95	0,51 ± 0,01 ^c
60	3,90	0,20 ± 0,02 ^b
60	5,85	0,17 ± 0,06 ^b
70	1,95	0,12 ± 0,04 ^{ab}
70	3,90	0,06 ± 0,04 ^{ab}
70	5,85	0,02 ± 0,03 ^a

En la Tabla 4 se observa la evaluación estadística del efecto de la temperatura, velocidad de aire y la interacción entre los factores en la humedad en base seca (H_{BS}) en las hojas de limón sutil evaluado a 120 minutos de secado. Los 3 Valores-P son inferiores a 0,05 significa que estos factores poseen un efecto significativamente ante la humedad en base seca con un 95,0 % de nivel de confianza.

Tabla 4. Análisis de Varianza para H_{BS}.

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	1,98114	2	0,990572	380,18	0,0000
B: Velocidad	0,201211	2	0,100606	38,61	0,0000
AB	0,0420222	4	0,0105056	4,03	0,0383
Error total	0,02345	9	0,00260556		
Total (corr.)	2,24783	17			

Tabla 5. Prueba de Tukey para H_{BS} por Temperatura.

Temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
70	6	0,0666667	0,0208389	A
60	6	0,29	0,0208389	B
50	6	0,855	0,0208389	C

Tabla 6. Prueba de Tukey para H_{BS} por Velocidad.

Velocidad	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
5,85	6	0,303333	0,0208389	A
3,9	6	0,358333	0,0208389	A
1,95	6	0,55	0,0208389	B

A partir de la prueba de Tukey, en la Tabla 5 se puede concluir que la temperatura de 70 °C es el mejor, mientras que en Tabla 6 las velocidades de 3,9 y 5,85 m/s son los mejores y estadísticamente iguales. La temperatura de 70 °C y las velocidades de 3,9 y 5,85 m/s son mejores porque nos permite obtener un secado en un menor tiempo posible.

4.5. Optimización de los parámetros de secado

Mediante Metodología de Superficie de Respuesta se determinó parámetros óptimos de secado (temperatura y velocidad de aire), teniendo en cuenta como variable final la humedad en base seca del producto. La superficie de respuesta obtenida se revela en la Figura 10.

Para la superficie de respuesta estimada de la temperatura y velocidad de aire con respecto a la humedad en base seca (H_{BS}), esta curva indica que la temperatura es el factor más influyente ante el contenido de humedad.

En la Ecuación (4) se muestra la ecuación óptima mediante la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR), obteniendo un polinomio de segundo orden.

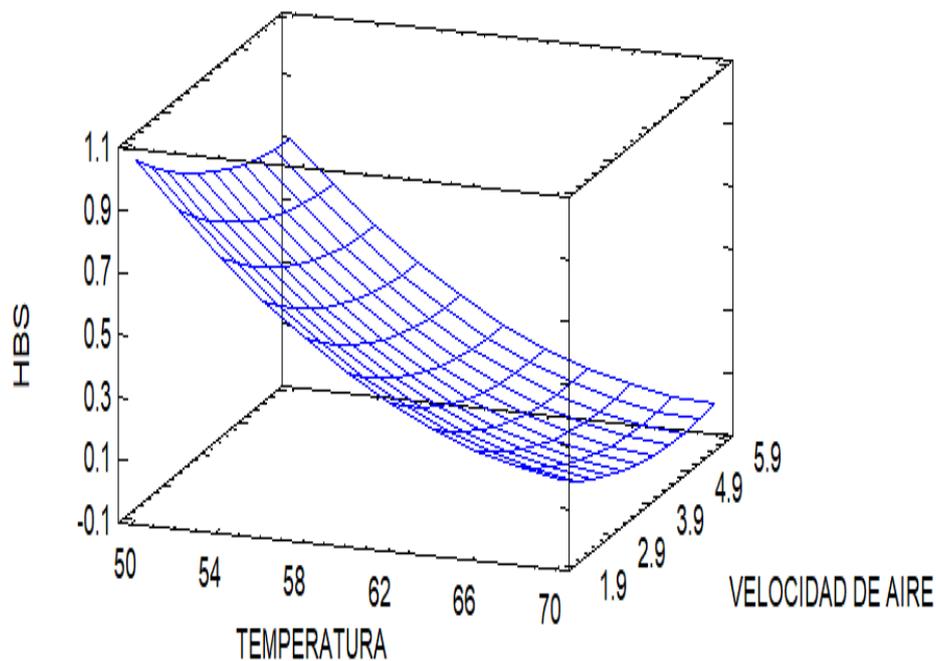


Figura 10. Superficie de respuesta de la humedad en base seca en las hojas de limón sutil seco mediante lecho fluidizado a diversas temperaturas y velocidades de aire.

$$H_{BS} = 9,80444 - 0,253167 \cdot T_S - 0,338034 \cdot V_A + 0,00170833 \cdot T_S^2 + 0,00224359 \cdot T_S \cdot V_A + 0,0179706 \cdot V_A^2 \quad (4)$$

En la Ecuación (4) donde:

T_s = Temperatura de secado en °C.

V_A = Velocidad de aire en m/s.

La Tabla 7 muestra combinaciones de coeficientes de temperatura y velocidad de aire que minimizan humedad en base seca (H_{BS}) en los rangos indicados.

El análisis estadístico del software STATGRAPHICS indica que la temperatura óptima es de 70 °C y la velocidad de secado óptima es de 5,04 m/s. Sustituyendo estos dos valores en la Ecuación (4) de optimización se obtiene la humedad de secado óptima de H_{BS} : 0,002 g agua/g m.s a 120 min de secado.

Nuestro resultado es distinto a lo reportado por Rocha et al. (2016) quienes alcanzaron a determinar las condiciones óptimas para los parámetros de secado por convección forzada de ají tabasco (*Capsicum frutescens*) a velocidad de aire de 0,852 L/s y a una temperatura de 50 °C.

Este modelo matemático está bien definido para el proceso de secado en lecho fluidizado de las hojas de limón sutil. Esto indica que el contenido de humedad en base seca (H_{BS}) es dependiente linealmente de la temperatura y velocidad de aire. La Figura 10 muestra la respuesta de la superficie a estas condiciones.

Tabla 7. Valores óptimos para el secado en lecho fluidizado en las hojas de limón sutil.

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura (°C)	50,0	70,00	70,00
Velocidad (m/s)	1,95	5,85	5,04

4.6. pH en las hojas de limón sutil frescas y secas

El pH de las hojas frescas de limón sutil fue: $pH = 6,25 \pm 0,04$ y seco del mejor tratamiento fue: $pH = 6,25 \pm 0,04$ se muestran en la Tabla 8, dicho resultado es igual y no existe variación, nuestros resultados son similares a lo determinado por Reyes et al. (2017) secaron hojas de neem (*Azadirachta indica*) a 55 °C durante 48 horas y evaluaron el valor del pH en la infusión y en el minuto 8 (se permaneció a 90°C) mostró un valor de $pH: 6,24 \pm 0,03$.

El pH también es un indicador de optimización de parámetros en el secado porque a medida que el valor disminuye, los microorganismos tendrían condiciones difíciles para poder

desarrollarse ya que este factor fisicoquímico también se usa como medio de conservación para lograr obtener alimentos seguros para el consumo. Además, es un indicador primordial de calidad y seguridad en el proceso de alimentos.

Tabla 8. pH en las hojas de limón sutil fresco y seco del mejor tratamiento.

Muestra de hojas de limón sutil	pH
T ₀ (Fresco)	6,25 ± 0,04
T óptimo (70 °C/5,85 m/s)	6,25 ± 0,04

4.7. Acidez en las hojas de limón sutil frescas y secas

La Tabla 9 muestra la acidez en las hojas frescas de limón sutil con un valor de: % ACIDEZ= 0,04 ± 0,01; este resultado es menor al tratamiento óptimo (70 °C/5,85 m/s) en las hojas secas de limón sutil que adquirió un valor de: % ACIDEZ = 0,37 ± 0,01. Dicho resultado fue idéntico a lo reportado por Alva y Valle (2017), el secado de hojas de zarzamora a 40 °C y una velocidad de 1,5 m/s presentó un valor de acidez 0,3 (% ácido cítrico), también indican que una infusión para consumo humano debe estar entre los valores como máximo de 0,6 % y como mínimo de 0,3 % de ácido cítrico.

Tabla 9. Acidez de las hojas de limón sutil fresco y seco del mejor tratamiento.

Muestra de hojas de limón sutil	Acidez (% ácido cítrico)
T ₀ (Fresco)	0,04 ± 0,01
T óptimo (70 °C/5,85 m/s)	0,37 ± 0,01

4.8. Capacidad antioxidante en las hojas de limón sutil secas.

La Tabla 10 indica que la temperatura en todos los tratamientos de secado posee efecto significativamente ante la capacidad antioxidante con un Valor-P de= 0,0497. Este efecto se refiere al incremento del valor de la capacidad antioxidante de 13,54 a 14,26 µM Trolox/g muestra cómo se puede observar en la Tabla 11.

Martínez et al. (2016) indican que a medida que incrementa la temperatura también se incrementa la capacidad antioxidante DPPH.

Tabla 10. Análisis de Varianza de la capacidad antioxidante.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	9,61159	2	4,80579	3,45	0,0497
B: Velocidad	1,84821	2	0,924104	0,66	0,5251
RESIDUOS	30,6432	22	1,39287		
TOTAL (CORREGIDO)	42,103	26			

La Tabla 11 muestra los resultados de la capacidad antioxidante en las hojas de limón sutil secas.

De la Tabla 11 se puede indicar que los tratamientos T₃, T₇ y T₈; como también T₇, T₈ y T₁; además T₈, T₁, T₆, T₉, T₂ y T₅, finalmente T₁, T₆, T₉, T₂, T₅ y T₄ es estadísticamente igual, conforme a la prueba de Tukey.

El tratamiento T₄ muestra la capacidad antioxidante más alta con 14,77 µM Trolox/g muestra y el tratamiento T₃ muestra la capacidad antioxidante más baja con 11,69 µM Trolox/g muestra, este resultado es valor superior a lo de Ordoñez et al. (2018) determinaron capacidad antioxidante en hojas de limón sutil con un valor de 1,58 ± 0,02 mg /mL.

Tabla 11. Capacidad antioxidante en las hojas de limón sutil secas.

Muestra de hojas de limón sutil	DPPH (µM Trolox/g muestra)
T ₁ (50 °C/1,95 m/s)	13,54 ± 2,09 ^{bcd}
T ₂ (50 °C/3,9 m/s)	14,43 ± 0,22 ^{cd}
T ₃ (50 °C/5,85 m/s)	11,69 ± 0,23 ^a
T ₄ (60 °C/1,95 m/s)	14,77 ± 0,24 ^d
T ₅ (60 °C/3,9 m/s)	14,44 ± 0,65 ^{cd}
T ₆ (60 °C/5,85 m/s)	14,22 ± 1,28 ^{cd}
T ₇ (70 °C/1,95 m/s)	12,22 ± 0,55 ^{ab}
T ₈ (70 °C/3,9 m/s)	13,12 ± 0,19 ^{abc}
T ₉ (70 °C/5,85 m/s)	14,26 ± 0,34 ^{cd}

Tuesta (2018), reportó capacidad antioxidante en hojas secas de achiote (*Bixa orellana L.*) con 0,42 mg /mL equivalente de Trolox. Mientras que Gago y Romero (2019), determinaron alta capacidad antioxidante en hojas de guanábana con 217,12 μ moles Trolox/ 100 g.

Cervantes et al. (2019) determinaron capacidad antioxidante en infusiones de las hojas de camote morado (*Ipomoea batatas L.*) con un valor de $25,16 \pm 0,13 \mu\text{mol Trolox/ g}$. Por otro lado, Alva y Valle (2017), determinaron capacidad antioxidante en infusión de las hojas de zarzamora con 11,47 mg/mL.

Ordoñez et al. (2020) determinaron en el té de limón comercial un valor de $5,43 \pm 0,04 \mu\text{M TE}$. Por otro lado, Cipiran (2019) determinó la capacidad antioxidante en hojas de neem con 250,33 mM Trolox/ g muestra.

Los estudios *in vivo* utilizados en ratas con diabetes mellitus han confirmado que las infusiones de hojas de chaya reducen los niveles de glucosa. También estudios confirman que los extractos de la misma contienen propiedades antioxidantes (Valenzuela et al. 2015).

4.9. Polifenoles totales en las hojas de limón sutil seco.

En la Tabla 12 muestra que la velocidad en todos los tratamientos de secado posee efecto significativamente ante el contenido de polifenoles totales adquiriendo un Valor-P de= 0,0199. Mientras que el factor temperatura no posee ningún efecto significativo ante el contenido de polifenoles totales con un Valor-P de= 0,1245.

Tabla 12. Análisis de Varianza de polifenoles totales.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	1,0457	2	0,522848	2,29	0,1245
B: Velocidad	2,14539	2	1,07269	4,71	0,0199
RESIDUOS	5,0145	22	0,227932		
TOTAL (CORREGIDO)	8,20559	26			

De la Tabla 13 se puede indicar que los tratamientos T₈, T₆, T₃, T₇, T₅, T₉ y T₂; como también T₃, T₇, T₅, T₉, T₂ y T₄; finalmente T₄ y T₁ es estadísticamente igual, conforme a la prueba de Tukey.

El tratamiento T₁ muestra la cantidad de polifenoles totales más alta con 17,49 mg EAG/g muestra y el tratamiento T₈ muestra cantidad de polifenoles totales más baja con 16,01 mg EAG /g muestra, este resultado es menor a lo de Ojito et al. (2012) quienes evaluaron contenido de fenoles totales en extractos de hojas de *Citrus spp.* y con etanol al 70 % en las hojas de limón criollo (limón sutil), hallaron un valor de $33,91 \pm 3,07$ mg de ácido gálico/mL de extracto, mientras tanto con metanol al 70% hallaron un valor de $32,25 \pm 5,60$ mg AGE /mL de extracto. Mientras tanto por su lado Ordoñez et al. (2018) reportaron contenido de polifenoles totales en hojas de limón sutil con $1,90 \pm 0,04$ g AGE/100 g muestra.

Tabla 13. Polifenoles totales de las hojas de limón sutil seco.

Muestra de hojas de limón sutil	Polifenoles totales (mg EAG/g muestra)
T ₁ (50 °C/1,95 m/s)	$17,49 \pm 0,41^c$
T ₂ (50 °C/3,9 m/s)	$16,46 \pm 0,56^{ab}$
T ₃ (50 °C/5,85 m/s)	$16,23 \pm 0,71^{ab}$
T ₄ (60 °C/1,95 m/s)	$16,79 \pm 0,26^{bc}$
T ₅ (60 °C/3,9 m/s)	$16,36 \pm 0,34^{ab}$
T ₆ (60 °C/5,85 m/s)	$16,04 \pm 0,24^a$
T ₇ (70 °C/1,95 m/s)	$16,30 \pm 0,10^{ab}$
T ₈ (70 °C/3,9 m/s)	$16,01 \pm 0,36^a$
T ₉ (70 °C/5,85 m/s)	$16,46 \pm 0,55^{ab}$

Guevara (2019), determinó polifenoles totales en cola de caballo (*Equisetum bogotense L.*) con 19,38 mg AG/g muestra. Mientras que Gago y Romero (2019), determinaron alto contenido de polifenoles en hojas de guanábana con 596,80 mg EAG/ 100 g.

Guevara y Rovira (2012), determinaron que los compuestos fenólicos mostraron sensibilidad a temperaturas mayores de 75 °C.

Cervantes et al. (2019) determinaron que las infusiones en las hojas de camote morado (*Ipomoea batatas L.*) poseen polifenoles totales con un valor de $14,16 \pm 1,63$ mg GAE/g, por su lado Cipiran (2019), determinó el contenido de polifenoles totales en hojas de neem con 20,36 mg CAT/ g muestra.

4.10. Flavonoides totales en las hojas de limón sutil seco.

En la Tabla 14 se muestra que la temperatura en todos los tratamientos de secado posee efecto significativamente ante el contenido de flavonoides totales con un Valor-P de= 0,0004.

Tabla 14. Análisis de Varianza de flavonoides totales.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	9,12181	2	4,5609	11,31	0,0004
B: Velocidad	1,48147	2	0,740737	1,84	0,1830
RESIDUOS	8,87433	22	0,403378		
TOTAL (CORREGIDO)	19,4776	26			

De la Tabla 15 se puede indicar que los tratamientos T₈, T₇ y T₆; como también T₇, T₆, T₉ y T₅; finalmente T₉, T₅, T₁, T₄ y T₂ es estadísticamente igual, conforme a la prueba de Tukey.

El tratamiento T₃ muestra cantidad de flavonoides totales más alta con 6,50 mg CAT/g muestra y el tratamiento T₈ muestra cantidad de flavonoides totales más baja con 3,71 mg CAT /g muestra, estos resultados son cercanos a lo reportado por Ojito et al. (2012) quienes evaluaron contenido de flavonoides totales en extractos de hojas de *Citrus spp.* y con etanol al 70% en las hojas de limón criollo (limón sutil), hallaron un valor de $8,54 \pm 1,02$ mg quercetina/mL de extracto, mientras que con metanol al 70% hallaron un valor de $4,74 \pm 0,67$ mg quercetina/mL de extracto.

Tabla 15. Flavonoides totales en las hojas de limón sutil seco.

Muestra de hojas de limón sutil	Flavonoides totales (mg CAT/g muestra)
T ₁ (50 °C/1,95 m/s)	4,99 ± 0,25 ^c
T ₂ (50 °C/3,9 m/s)	5,40 ± 0,22 ^c
T ₃ (50 °C/5,85 m/s)	6,50 ± 0,36 ^d
T ₄ (60 °C/1,95 m/s)	5,01 ± 0,46 ^c
T ₅ (60 °C/3,9 m/s)	4,88 ± 0,33 ^{bc}
T ₆ (60 °C/5,85 m/s)	4,2 ± 0,21 ^{ab}
T ₇ (70 °C/1,95 m/s)	4,13 ± 0,69 ^{ab}
T ₈ (70 °C/3,9 m/s)	3,71 ± 0,81 ^a
T ₉ (70 °C/5,85 m/s)	4,85 ± 0,24 ^{bc}

Guevara (2019), determinó polifenoles totales en hojas secas de mango (*Mangifera indica L.*) con 0,003 mg CAT/g muestra. Mientras que Sario et al. (2015) evaluaron el contenido de flavonoides totales en los extractos de las hojas de anamú (*Petiveria alliacea L.*) y sus valores están entre 0,460 y 21,80 mg/mL.

Vargas et al. (2005) llegaron a la conclusión de que los árboles de guayabo al ser podados alteran su composición de flavonoides totales en las hojas.

4.11. Análisis sensorial (color, aroma y sabor) en las hojas de limón sutil frescas y secas del mejor tratamiento.

En la Tabla 16 se observa el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis del color de las hojas de limón sutil, estos análisis se hicieron con el software INFOSTAT.

Tabla 16. Prueba de Kruskal-Wallis para el color.

Tratamientos	N	Medias	D.E.	Rango				
				Promedio	G.L.	C	H	p
Fresco	40	3,75	1,06	40,05	1	0,84	0,03	0,8502
Seco	40	3,88	0,88	40,95				

El análisis sensorial del color después del proceso de secado indicó que no existe diferencia significativamente entre los tratamientos con un Valor-P de= 0,8502 de acuerdo a la prueba de Kruskal-Wallis.

Galindo (2017), determinó influencia de la velocidad y temperatura de secado ante el color de las hojas de salvia deshidratada, concluyendo que cuando incrementa la velocidad disminuye ligeramente el color mientras que cuando incrementa la temperatura disminuye drásticamente el color.

Quintero (2015), secó pulpa de rosa mosqueta a temperaturas de 40, 50, 60 y 70 °C de acuerdo con el método de secado por aire caliente y al vacío, concluyendo que el color no dependió de la temperatura ni el método de secado, por lo que fueron diferentes a los resultados de la investigación.

Según Rojas y Duran (2011), el color es un factor primordial en productos secos ya que, dependiendo del tratamiento, el color se reduce o se activa de acuerdo a sus componentes precursores que sean termosensibles o no, también determinó que el secado de papa criolla es afectado en el color de acuerdo al método de secado por convección.

González et al. (2008) concluyeron que el polvo de ají dulce presenta variación del color poniendo en evidencia el efecto del secado.

En el Tabla 17 se muestra los resultados del análisis sensorial del aroma de acuerdo a la prueba de Kruskal-Wallis.

Tabla 17. Prueba de Kruskal-Wallis para el aroma.

Tratamientos	N	Medias	D.E.	Rango				
				Promedio	G.L.	C	H	p
Fresco	40	4,48	0,68	49,28	1	0,89	11,41	0,0003
Seco	40	3,65	1,08	31,73				

El análisis sensorial del aroma después del proceso de secado señaló que existe diferencia significativamente entre los tratamientos con un Valor-P de= 0,0003 conforme a la prueba de Kruskal-Wallis. En el Tabla 18 se puede deducir que ambos tratamientos no son estadísticamente iguales.

Tabla 18. Comparación de rangos del aroma para Kruskal-Wallis.

Tratamientos	Rangos	Grupos Homogéneos
Seco	31,73	A
Fresco	49,28	B

Según Galindo (2017), el incremento de la velocidad de secado aumenta el grado del aroma en las hojas de salvia, mientras que al incrementar la temperatura disminuye el aroma.

González et al. (2008) secaron ají dulce de acuerdo al método de secado por aire caliente a temperaturas de 50, 60 y 70 °C, llegando a determinar que existe diferencia significativa para el atributo aroma entre los polvos de ají dulce obtenidos a temperaturas de 60 y 70 °C, concluyendo que los panelistas calificaron como el mejor aroma al ají dulce seco a temperatura de 60 °C, por lo que los resultados son iguales al de la investigación.

En el Tabla 19 se observa los resultados del análisis sensorial del sabor después del proceso de secado señalando que existe diferencia significativamente con un Valor-P de= 0,0439 conforme a la prueba de Kruskal-Wallis.

Tabla 19. Prueba de Kruskal-Wallis para el sabor.

Tratamientos	N	Medias	D.E.	Rango				
				Promedio	G.L.	C	H	p
Fresco	40	3,83	0,87	45,51	1	0,92	3,72	0,0439
Seco	40	3,38	1,00	35,49				

En el Tabla 20 se puede deducir que ambos tratamientos son estadísticamente iguales.

Tabla 20. Comparación de rangos del sabor para Kruskal-Wallis.

Tratamientos	Rangos	Grupos Homogéneos
Seco	35,49	A
Fresco	45,51	A

Galindo (2017), determinó que el incremento de velocidad de secado mejora la calidad del sabor en las hojas de salvia deshidratadas mientras que ocurre lo contrario con la temperatura presentando efectos inversos.

González et al. (2008) secaron ají dulce de acuerdo al método de secado por aire caliente a temperaturas de 50, 60 y 70 °C, llegando a determinar que existe diferencia significativa para el atributo sabor entre los polvos de ají dulce obtenidos a temperaturas de 60 y 70 °C, concluyendo que el mejor sabor lo tiene el ají dulce seco a temperatura de 60 °C ya que esta mantiene el sabor característico del ají fresco, por lo que los resultados son iguales al de la investigación.

V. CONCLUSIONES

Los parámetros óptimos para el secado de las hojas de limón sutil por lecho fluidizado en función de la humedad fue una temperatura de 70 °C y una velocidad de aire de 5,04 m/s, obteniendo como resultado una humedad final de 0,002 g agua/g m.s a los 120 minutos de secado.

El comportamiento de la cinética de secado toma una forma lineal y está relacionada al contenido de humedad con el tiempo. Además, varía de acuerdo a la temperatura y velocidad de aire empleadas en el proceso.

La velocidad de aire no posee ningún efecto ante la capacidad antioxidante en las hojas de limón sutil, mientras que para la temperatura si existe un efecto ya que a medida que va aumentando la temperatura también aumenta la capacidad antioxidante con un valor de 13,54 μ M Trolox/g muestra para 50°C por 1,95 m/s a 14,26 μ M Trolox/g muestra para 70 °C por 5,85 m/s en las condiciones óptimas de secado.

El pH de las hojas frescas de limón sutil fue de 6,25 y la acidez 0,04 % expresado en ácido cítrico. El pH de las hojas de limón sutil del secado óptimo fue de 6,25 y la acidez, 0,37 % expresado en ácido cítrico.

Los atributos sensoriales: aroma y sabor de las hojas de limón sutil presentan diferencias significativas entre el fresco y seco del tratamiento óptimo mediante el secado por lecho fluidizado según la prueba de Kruskal-Wallis.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

Promover el secado de las hojas de limón para su uso como filtrante.

Evaluar los efectos terapéuticos de las hojas de limón, tanto en fresco como seco.

Determinar la vida útil de los filtrantes de las hojas de limón sutil elaborados mediante secado por lecho fluidizado.

VII. REFERENCIAS

- Abadía, A., Cadahía, C., Casado, M., Chávez, S.M., Lachica, G.M., Lasala, M., Pérez, V., Prat, P.L., Romero, M., Sánchez, R.B. (1973). Determinaciones analíticas en suelos. Normalización de métodos. (I) pH, materia orgánica y nitrógeno. *Anales de edafología y agrobiología*, 33, 11-12.
- Agudo, M.L. (2010). Técnicas para la determinación de compuestos antioxidante en alimentos. *Autodidacta-Revista de la Educación en Extremadura*.
- Alva, M.A.J., & Valle, P.A.A. (2017). Evaluación del secado y obtención de una infusión a partir de la hoja de zarzamora (*Rubus ulmifolius* y *fruticosus*) [Tesis Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. Repositorio Institucional UNHEVAL.
<https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/2877/TAI%2000098%20A47.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Ángeles, Q.C.E., & Rangel, M.F.M. (2019). Cinética de secado convectivo de hojas de *Minthostachys mollis* (Muña) [Tesis de maestría, Universidad Nacional Del Callao]. Repositorio Institucional Digital. <http://hdl.handle.net/20.500.12952/3365>.
- Arrate, L. (2007). Antioxidantes en alimentación: diferentes formas de expresar su actividad antioxidante. Tipos de unidades y método de análisis. *Neiker Tecnalia, Barcelona, España*. 24.
<https://www.anme.com.mx/libros/Antioxidantes%20en%20alimentaci%F3n.pdf>.
- Baca, Z.L.K., & Yábar, F.A. (2016). Efecto antibacteriano in vitro de los aceites esenciales de: *Foeniculum vulgare* (hinojo), *Cimnopogon citrus* (hierba luisa), *Origanum vulgare* (orégano), *Citrus aurantifolia swingle* (limón) y *Citrus sinensis* (naranja), frente a cepas estandarizadas de *streptococcus mutans*, cusco 2016 [Tesis cirujanas dentistas, Universidad Andina Del Cusco]. Repositorio Digital De Tesis. https://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12557/559/Lisseth_Adriana_Tesis_bachiller_2016.pdf?sequence=3&isAllowed=y.
- Badillo, P.M.D. (2012). Estudio comparativo del potencial nutritivo de limón persa (*Citrus latifolia tanaka*) deshidratado en secador de bandejas y en microondas [Tesis Bioquímico Farmacéutico, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo]. DSpace ESPOCH. <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/1577>.

- Cervantes, S.R., Barragán, C.M., Chaquilla, Q.G. (2019). Evaluación de antioxidantes en el té de hojas de camote morado (*Ipomoea batatas L.*). *Revista Tecnológica en Marcha*, 32(4), 51-59.
- Chingal, P.S.; Milde, L.B.; Brumovsky, L.A. (2019). Modelado matemático del secado de fideos libres de gluten, influencia de la velocidad del aire. *RECyT*, (32), 71-75.
- Cipiran, V.M.C. (2019). Capacidad antioxidante y contenido de polifenoles de hoja y fruto de *Azadirachta indica* “Neem” [Tesis Químico Farmacéutico, Universidad Católica Los Ángeles De Chimbote]. Repositorio Institucional ULADECH. <https://hdl.handle.net/20.500.13032/14756>.
- Condezo, C.O.J. (2012). Polifenoles totales, antocianinas v capacidad antioxidante (DPPH y peróxilo) en granos de cacao (*Theobroma cacao L.*) comercial de Tingo María y Tocache [Tesis Ingeniería Industrias alimentarias, Universidad Nacional Agraria De La Selva]. Repositorio institucional. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/276>.
- Córdova, F.R. (2005). Conceptos básicos sobre el secado de la madera. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 2(5), 88-92.
- De Prada, D.A. (2014). Estudio experimental de la aglomeración de partículas en un lecho fluidizado [Tesis de maestría, Universidad Carlos III De Madrid]. Biblioteca UC3M. <http://hdl.handle.net/10016/22729>.
- Etchevers, M.C., Castelló, M.L., Ortolá, M.D. (2021). Caracterización de parámetros fisicoquímicos de diferentes tipos de *moringa oleífera* [Trabajo final de maestría en gestión de la seguridad y calidad alimentaria, Universitat Politècnica De València]. Repositorio Institucional UPV. <https://riunet.upv.es/handle/10251/166464>.
- Figuroa, P.G. (2003). Optimización de una superficie de respuesta utilizando JMP IN. *Mosaicos Matemáticos*, 11, 17-23.
- Flores, A.J. (2019). Optimización de parámetros para la deshidratación por lecho fluidizado del sachá culantro (*Eryngium foetidum L.*) [Tesis ingeniería Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria De La Selva]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1718>.
- Franco, T.Y.L. (2015). Evaluación del proceso de extracción de aceites esenciales de hojas de *Citrus aurantifolia* (limón sutil) *Citrus sinensis* (naranja) y *Citrus nobilis* (mandarina) mediante hidrodestilación [Tesis Ingeniería Agroindustrial, Universidad Técnica Estatal De Quevedo]. Repositorio Digital UTEQ. <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/627>.

- Gago, A.A.P., & Romero, C.E.Y. (2019). Elaboración de néctar nutraceutico a partir de carambola (*Averrhoa carambola*) y hojas de guanábana (*Annona muricata L.*) [Tesis Ingeniería Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio Institucional UNDAC. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1725>.
- Galindo, R.C.V. (2017). Secado de Hojas de Salvia (*Salvia officinalis*) y su Influencia en el Color y Propiedades Sensoriales [Tesis Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional José María Arguedas]. Repositorio Institucional UNAJMA. <http://repositorio.unajma.edu.pe/handle/123456789/262>.
- Granados, C., Yáñez, X., Acevedo, D. (2014). Evaluación de la Actividad Antioxidante del Aceite Esencial Foliar de *Myrcianthes leucoxylla* de Norte de Santander (Colombia). *Información tecnológica*, 25(3), 11-16.
- González, A., Espinoza, E.A., Caizares, C.A.E., Méndez, N.J.R. (2008). Obtención de un polvo de ají dulce (*Capsicum chinense*) producido mediante deshidratación por aire forzado. *Revista científica UDO agrícola*, 8(1), 118-26.
- Guadalupe, H.A.A., & Vela, H.N.J. (2020). Efecto repelente de la loción a base del aceite esencial de *Citrus aurantifolia (christm.) swingle* (limón criollo) contra mosquitos hembras adultas de la especie *aedes aegypti* [Tesis Químico Farmacéutico y Bioquímico, Universidad Inca Garcilaso De La Vega]. Repositorio Institucional IGV. <http://repositorio.uigv.edu.pe/handle/20.500.11818/4987>.
- Guevara, B.A.J. (2019). Elaboración de una infusión filtrante a base de hoja de “mango” (*Mangifera indica L.*), “cola de caballo” (*Equisetum bogotense L.*) y “estevia” (*Stevia rebaudiana Bert.*) para evaluar su aceptabilidad sensorial [Tesis Ingeniería Industrias Alimentarias, Universidad Nacional De Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/3250>.
- Guevara, M.J.R., & Rovira, Q.M.G. (2012). Caracterización de tres extractos de *Moringa oleífera* y evaluación de condiciones de infusión en sus características fisicoquímicas [Proyecto de tesis, Universidad Zamorano]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/1827f763-0260-4442-96dadadff7388c9/content>.
- Guija, P.E., Inocente, C.M.A., Ponce, P.J., Zarzosa, N.E. (2015). Evaluación de la técnica 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) para determinar capacidad antioxidante. *Horizonte medico (lima)*, 15(1), 57-60.

- Jácome, R.M.E. (2015). Condiciones de operación de un secador de lecho fluidizado en el procesamiento de hoja de buganvilia para infusión rica en betalainas [Tesis de maestría, Universidad Veracruzana]. Repositorio Institucional. <http://cdigital.uv.mx/handle/123456789/46815>.
- Jeria, H.D.M., & Pozo, C.A.A. (2011). Estudio del secado convectivo de hojas de Stevia rebaudiana y factibilidad técnico-económica de una planta elaboradora de edulcorante a base de Stevia. [Tesis doctoral, Universidad De Chile]. Repositorio Académico. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/105374>.
- López, F.E.M. (2006). Secado de café en lecho fluidizado. *Ingeniería e investigación*, 26(1), 25-29.
- Mahn, A.V., Pérez, C.E., Reyes, A.E. (2017). Efecto de las condiciones de secado en lecho fluidizado pulsante sobre el contenido de sulforafano de brócoli. *Información tecnológica*, 28(4), 17-28.
- Martines, L.E., & Lira, C.L. (2010). Análisis y aplicación de las expresiones del contenido de humedad en sólidos. *In Simposio de metrología*. 27-29.
- Mesa, V.A.M., Gaviria, C.A., Cardona, F., Sáez, V.J.A., Blair, T.S., Rojano, B.A. (2010). Actividad antioxidante y contenido de fenoles totales de algunas especies del género *Calophyllum*. *Revista cubana de plantas medicinales*, 15(2), 13-26.
- Monsalve, J., & Machado, M. (2007). Evaluación de dos métodos de deshidratación del tomate (*Lycopersicon esculentum mill*) variedad manzano. *Multiciencias*, 7(3), 256-265.
- Montaño, A.M.F. (2011). Determinación, cuantificación y comparación de la concentración de vitamina C en naranja (*Citrus aurantium*), limón (*Citrus aurantifolia*) y mandarina (*Citrus reticulata*) por HPLC [Tesis Licenciado en ciencias químicas, Pontificia Universidad Católica Del Ecuador]. Repositorio De Tesis De Grado y Posgrado. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/5354>.
- Morales, P.J., & Vélez, R.J.F. (2011). Estudio del efecto combinado del secado y freído en las propiedades de tortillas tostadas. *Información tecnológica*, 22(2), 55-68.
- 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.
- Naranjo, M., Vélez, L.T., Rojano, B.A. (2011). Actividad antioxidante de café colombiano de diferentes calidades. *Revista cubana de plantas medicinales*, 16(2), 164-173.

- Ojito, R.K., Herrera, S.Y., Vega, P.N., Portal, V.O. (2012). Actividad antioxidante *in vitro* y toxicidad de extractos hidroalcohólicos de hojas de *Citrus* spp. (*Rutaceae*). *Revista cubana de plantas medicinales*, 17(4), 368-379.
- Oré, A.F. (2015). Determinación de los parámetros adecuados de la deshidratación de oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) mediante lecho fluidizado para la obtención de harina [Tesis Ingeniería Agroindustrial, Universidad nacional de Huancavelica]. Repositorio Institucional UNH. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/117>.
- Ordoñez, G.E.S., López, A., Reátegui, D. (2020). Infusiones de plantas medicinales: actividad antioxidante y fenoles totales. *Agroindustrial Science*, 10(3), 259-266.
- Ordoñez, G.E.S., Reátegui, D.D., Villanueva, T.J.E. (2018). Polifenoles totales y capacidad antioxidante en cascara y hojas de doce cítricos. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 113-121.
- Padilla, F.K.A., Granados, C.C., Leon, M.G, Arrieta, P.Y, Torrenegra, A.M. (2020). Evaluación de la influencia de la temperatura en procesos de secado. *@limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 16(1): 98-110.
- Palomino, C.J.H. (2016). Estudio de las condiciones de secado sobre la cinética de deshidratación de las hojas de romero (*Rosmarinus officinalis* L.) [Tesis Ingeniería Agroindustrial, Universidad Privada De Tacna]. Repositorio UPT. <http://hdl.handle.net/20.500.12969/152>.
- Peiró, S.S. (2015). Actividad antioxidante del té blanco y de los residuos de limón: optimización de la extracción y aplicaciones en carne y en envases activos [Tesis de Doctor, Universitat de Barcelona]. Dipòsit Digital. <http://hdl.handle.net/2445/67545>.
- Peláez, S.P.P., Roldan, C.W., Carmona, R.A., Raza, Q.R.C. (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.
- Puente, H.C.J. (2011). Determinación de las características físicas y químicas del limón sutil (*Citrus aurantifolia* Swingle) [Tesis Ingeniería Agroindustrial, Universidad Técnica Del Norte]. Repositorio digital. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/352>.
- Quintero, R.N.A. (2015). Efecto del secado y el almacenamiento en la calidad de geles pécticos deshidratados de rosa mosqueta (*Rosa rubiginosa* L.) [Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata]. Repositorio Institucional de la UNLP. <https://doi.org/10.35537/10915/51405>.
- Quirumbay, T.J.L. (2021). Determinación de las propiedades físicas y relaciones matemáticas de limón sutil (*Citrus aurantifolia* Swingle) cultivado en la comuna Febres cordero

- [Tesis Ingeniería Agropecuario, Universidad Estatal Península De Santa Elena]. Repositorio UPSE. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6423>.
- Reyes, M.A., Reyes, M.A., Aguilar, G.C.N., Carrillo, I.M.L. (2017). Propiedades antioxidantes de infusiones de Neem (*Azadirachta indica*) encapsulados con proteína de soya. *Nova scientia*, 9(18), 167-185.
- Rocha, A.J.A., Rocha, R.T.M., Albis, A.A.R. (2016). Secado de Ají tabasco (*Capsicum frutescens*) mediante deshidratación por convección forzada. *Prospectiva*, 14(1), 89-95.
- Rojas, T.R., & Duran, O.D.S. (2011). Efecto del secado por microondas sobre el color de la papa criolla (*Solanum phureja*). @limentech, *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 9(2).
- Rosales, T.J.L. (2015). Influencia de la temperatura y velocidad de aire en la cinética de degradación de las antocianinas del sauco (*Sambucus peruviana* H.B.K.) durante el secado por convección [Tesis Ingeniería Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Del Centro Del Perú]. Repositorio Institucional UNCP. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1590/ROSALES%20TORPOCO%20Tesis.pdf?sequence=1>.
- Royler, A.C. (2020). Efecto de temperatura y velocidad de secado en la actividad antioxidante de la Mashua (*Tropaeolum tuberosum*) en el secado en bandejas. *Revista científica UNTRM: ciencias naturales e ingeniería*, 3(1), 16-21.
- Ruiz, C., Díaz, C., Rojas, R. (2015). Composición química de aceites esenciales de 10 plantas aromáticas peruanas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 81(2), 81-94.
- Sariego, F.S., Marín, M.J.E., Ochoa, P.A., Rivero, B.D., Sariego, T.O.R. (2015). Determinación de metales, fenoles totales y flavonoides totales en extractos de las hojas de *Petiveria alliacea* L. (Anamú). *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 46(1), 155-163.
- Silva, A.S., Almeida, A.C., Lima, E.E., Silva, F.L.H., Gomes, J.P. (2009). Drying kinetics of coriander (*Coriandrum sativum*) leaf and stems. *CYTA- Journal of food*, 6(1), 13-19.
- Solar, B.M.A. (1981). Fluidización: aplicaciones industriales. *Revista Remetalica*, (2).
- Talavera, S.M.A. (2018). Evaluación sensorial y estudio de la vida útil de té aromático elaborado a base de llantén (*Plantago major* L.), canela (*Cinnamomum verum*) y limón sutil (*Citrus aurantifolia* Swingle) [Informe de Tesis Ingeniería Agroindustrial, Universidad Privada De Tacna]. <http://161.132.207.135/bitstream/handle/20.500.12969/1068/Talavera-Sardon-Martin.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- Tejada, M.L.P. (2016). Proyecto de inversión: exportación de plantas aromáticas orgánicas [Tesis Licenciado en Administración, Universidad Privada Del Norte]. Repositorio Institucional UPN. <https://hdl.handle.net/11537/10541>.
- 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, G.Z.A. (2018). Efecto de la temperatura de secado y evaluación de la capacidad antioxidante de la hoja de Achiote (*Bixa orellana L.*), para la utilización en la elaboración de filtrante en la provincia de coronel portillo [Tesis Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional De Ucayali]. Repositorio Institucional UNU. http://www.repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/3905/UNU_AGROINDUS TRIAS_2019_T_ANDREATUESTA.pdf?sequence=3&isAllowed=y.
- Valenzuela, S.R., Morales, R.M.E., Verde, S.M.J., Oranday, C.A., Preciado, R.A., Antonio, G.J., Esparza, R.J.R. (2015). *Cnidocolus chayamansa* hidropónica orgánica y su capacidad hipoglucemiante, calidad nutraceútica y toxicidad. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(4), 815-825.
- Vargas, A.D., Soto, H.M., Gonzáles, H.V.A., Engleman, E.M., Martínez, G. Á. (2005). Variación del contenido de flavonoides en hojas de guayaba en condiciones de estrés. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 11(1), 89-92.
- Vásquez, C.L., & Vizcarra, M.M. (2008). Secado por lecho fluidizado del trigo y su calidad. *Revista mexicana de ingeniería química*, 7(2), 131-144.
- Vásquez, H.M.A. (2018). Polifenoles y actividad antioxidante del extracto etanólico de *Gentianella dianthoides* (Kunth) Fabris y elaboración de una crema dermocosmética [Tesis de maestría, Universidad Mayor De San Marcos]. Cybertesis Repositorio De Tesis Digitales. <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/8635>.
- Vicente, O.M. (2019). Determinación de capacidad antioxidante y fenoles totales en frutos de *Vitis vinifera L.* “vid”, del valle de cañete [Tesis Ingeniería Industrias alimentarias, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. Repositorio institucional UNJFSC. <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/3064>.
- Zapata, L.M., Gerard, L., Davies, C., Schwab, M. (2007). Estudio de los comp antioxidantes y actividad antioxidante en tomates. *Ciencia, docencia y tecnolog* 175–193.

ANEXO

Anexo 1. Cartilla de evaluación.

PRODUCTO: infusión filtrante a base de hoja de limón sutil.

Nombre: _____

Fecha: _____

Pruebe por favor la infusión de hoja de limón sutil que se le da, e indique su nivel de agrado marcando con una X en la escala que mejor describe su sentir para cada uno de los atributos.

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 limón sutil.

Repeticiones	Porcentaje de humedad %
r ₁	64,51
r ₂	64,46
r ₃	64,44
Promedio	64,47
Des. estándar	0,04
Max	64,51
Min	64,44

Anexo 3. Datos de tiempo y pesos a diferentes temperaturas de 50; 60 y 70 °C y diferentes velocidades de aire de 1,95; 3,9 y 5,85 m/s con sus respectivas 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	356,0	30	317,7	30	314,2
60	328,4	60	267,8	60	245,9
90	309,6	90	236,0	90	197,5
120	293,7	120	209,2	120	164,1
180	265,0	180	170,4	180	146,4
240	238,3	240	152,5	240	145,7
300	212,4	300	147,6	300	145,7
360	188,8	360	146,7	360	145,7
420	169,1	420	146,5	420	145,7
480	155,7	480	146,5	480	145,7

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	351,5	30	324,8	30	314,2
60	310,8	60	274,9	60	245,9
90	290,5	90	241,2	90	197,5
120	273,6	120	212,2	120	164,1
180	244,8	180	173,5	180	146,4
240	217,4	240	158,0	240	145,7
300	191,6	300	154,4	300	145,7
360	169,8	360	154,0	360	145,7
420	155,5	420	153,7	420	145,7
480	148,9	480	153,7	480	145,7

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	338,3	30	298,7	30	269,2
60	302,3	60	242,0	60	197,8
90	281,0	90	203,7	90	157,1
120	264,0	120	164,9	120	145,5
180	233,3	180	147,5	180	143,8
240	204,6	240	142,7	240	143,8
300	179,3	300	142,2	300	143,8
360	161,8	360	142,2	360	143,8
420	153,0	420	142,2	420	143,8
480	149,3	480	142,2	480	143,8

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	330,8	30	296,6	30	305,8
60	293,8	60	238,6	60	235,6
90	271,2	90	200,3	90	181,3
120	252,3	120	171,5	120	154,3
180	217,6	180	149,8	180	149,4
240	186,3	240	147,1	240	149,4
300	163,6	300	146,7	300	149,4
360	152,1	360	146,7	360	149,4
420	148,2	420	146,7	420	149,4
480	146,8	480	146,7	480	149,4

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	325,6	30	275,0	30	225,7
60	291,9	60	221,7	60	179,5
90	269,6	90	183,6	90	142,0
120	248,8	120	156,3	120	141,6
180	214,2	180	139,2	180	141,6
240	184,3	240	138,0	240	141,6
300	164,5	300	137,7	300	141,6
360	154,7	360	137,7	360	141,6
420	150,8	420	137,7	420	141,6
480	149,7	480	137,7	480	141,6

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	328,5	30	295,0	30	246,0
60	288,7	60	237,5	60	199,6
90	265,6	90	200,6	90	150,1
120	247,2	120	173,3	120	147,8
180	213,3	180	150,4	180	147,8
240	182,8	240	147,8	240	147,8
300	162,0	300	147,4	300	147,8
360	152,8	360	147,4	360	147,8
420	150,0	420	147,4	420	147,8
480	149,5	480	147,4	480	147,8

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

50°C/1,95 m/s		50°C/3,9 m/s		50°C/5,85 m/s		60°C/1,95 m/s		60°C/3,9 m/s		60°C/5,85 m/s		70°C/1,95 m/s		70°C/3,9 m/s		70°C/5,85 m/s	
min	HBS	min	HBS	min	HBS	min	HBS	min	HBS	min	HBS	min	HBS	min	HBS	min	HBS
0	1,84	0	1,82	0	1,79	0	1,86	0	1,84	0	1,84	0	1,82	0	1,83	0	1,81
30	1,51	30	1,36	30	1,28	30	1,30	30	1,12	30	1,02	30	1,16	30	1,03	30	0,66
60	1,27	60	1,10	60	1,02	60	0,94	60	0,71	60	0,63	60	0,66	60	0,53	60	0,33
90	1,13	90	0,95	90	0,87	90	0,71	90	0,44	90	0,36	90	0,32	90	0,20	90	0,03
120	1,02	120	0,82	120	0,73	120	0,51	120	0,20	120	0,17	120	0,12	120	0,06	120	0,02
180	0,81	180	0,59	180	0,49	180	0,23	180	0,06	180	0,03	180	0,04	180	0,04	180	0,02
240	0,62	240	0,38	240	0,28	240	0,11	240	0,03	240	0,01	240	0,03	240	0,04	240	0,02
300	0,44	300	0,21	300	0,14	300	0,08	300	0,03	300	0,01	300	0,03	300	0,04	300	0,02

360	0,27	360	0,11	360	0,07	360	0,08	360	0,03	360	0,01	360	0,03	360	0,04	360	0,02
420	0,15	420	0,06	420	0,05	420	0,07	420	0,03	420	0,01	420	0,03	420	0,04	420	0,02
480	0,08	480	0,04	480	0,04	480	0,07	480	0,03	480	0,01	480	0,03	480	0,04	480	0,02

Anexo 5. Humedad en base seca (HBS).

Temperatura	Velocidad	Humedad en base seca (HBS)		
		Rep 1	Rep 2	Promedio
50	1,95	0,01	0,03	0,02
60	1,95	0,06	0,09	0,07
70	1,95	0,05	0,02	0,03
50	3,9	0,04	0,03	0,04
60	3,9	0,02	0,03	0,03
70	3,9	0,02	0,06	0,04
50	5,85	0,04	0,04	0,04
60	5,85	-0,01	0,03	0,01
70	5,85	-0,01	0,04	0,02

Anexo 6. pH de las hojas de limón sutil fresco.

Repeticiones	pH
r ₁	6,28
r ₂	6,24
r ₃	6,23
Promedio	6,25
Des. estándar	0,04
Max	6,28
Min	6,23

Anexo 7. pH de las hojas de limón sutil seco.

Repeticiones	pH
r ₁	6,28
r ₂	6,21
r ₃	6,27
Promedio	6,25
Des. estándar	0,04
Max	6,28
Min	6,21

Anexo 8. Acidez en las hojas de limón sutil fresco.

Repeticiones	Porcentaje de acidez %
r ₁	0,04
r ₂	0,04
r ₃	0,03
Promedio	0,04
Des. estándar	0,006
Max	0,04
Min	0,03

Anexo 9. Acidez en las hojas de limón sutil seco.

Repeticiones	Porcentaje de acidez %
r ₁	0,36
r ₂	0,38
r ₃	0,37
Promedio	0,37
Des. estándar	0,01
Max	0,38
Min	0,36

Anexo 10. Resultados de la evaluación sensorial.**10.1. Cartilla de evaluación**

PANELISTAS	ATRIBUTOS					
	COLOR		AROMA		SABOR	
	F	S	F	S	F	S
P1	5	3	5	3	4	3
P2	4	3	4	2	4	2
P3	4	5	4	2	4	2
P4	4	2	5	3	4	2
P5	5	4	5	2	5	2
P6	4	5	5	5	4	5
P7	4	4	4	3	3	3
P8	4	3	4	2	4	5
P9	4	2	4	2	3	2
P10	3	5	5	3	3	3
P11	5	3	5	4	4	3
P12	5	5	5	4	5	4
P13	4	4	5	3	4	3
P14	5	3	5	3	5	3

P15	4	4	4	4	4	4
P16	4	4	4	4	3	4
P17	4	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	2	5	5	2
P22	4	4	4	5	3	3
P23	1	3	5	2	5	2
P24	4	5	5	4	5	5
P25	3	3	4	3	3	3
P26	4	4	5	5	4	3
P27	5	4	5	5	3	4
P28	4	5	5	4	4	2
P29	4	4	5	3	5	5
P30	4	2	4	5	2	5
P31	2	4	4	5	3	4
P32	3	4	4	5	4	5
P33	4	4	5	4	5	4
P34	1	4	3	4	3	4
P35	2	3	4	4	5	4
P36	4	4	5	5	4	4
P37	4	5	5	2	3	4
P38	4	4	5	5	3	3
P39	5	5	4	4	4	3
P40	1	4	5	5	4	4

Anexo 11. Cálculos de deshidratado.

11.1. Determinación de humedad en base seca de las hojas de limón sutil.

Si:

Humedad inicial= 64,47 %

Peso de muestra= 400,00 g

Agua de la muestra (H₂O) = 500 g.(64,47%) = 257,88 g.

Materia seca de la muestra (m.s) = 400,00 g - 257,88 g = 142,12 g.

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

Donde:

W_i: peso inicial de las hojas de limón sutil fresco.

W_f: Materia seca de la muestra.

$$HBS = \frac{400,00 - 142,12}{142,12} = 1,81$$

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

$$HBS = 9,80444 - 0,253167*T - 0,338034*V + 0,00170833*T^2 + 0,00224359*T*V + 0,0179706*V^2$$

$$HBS = 9,80444 - 0,253167*(70,00) - 0,338034*(5,04) + 0,00170833*(70,00)^2 + 0,00224359*(70,00) *(5,04) + 0,0179706*(5,04)^2$$

$$HBS = 0,002$$

Anexo 12. Fotografías de la investigación.



Cosecha de las hojas de limón sutil.



Cortado del peciolo de las hojas de limón sutil.



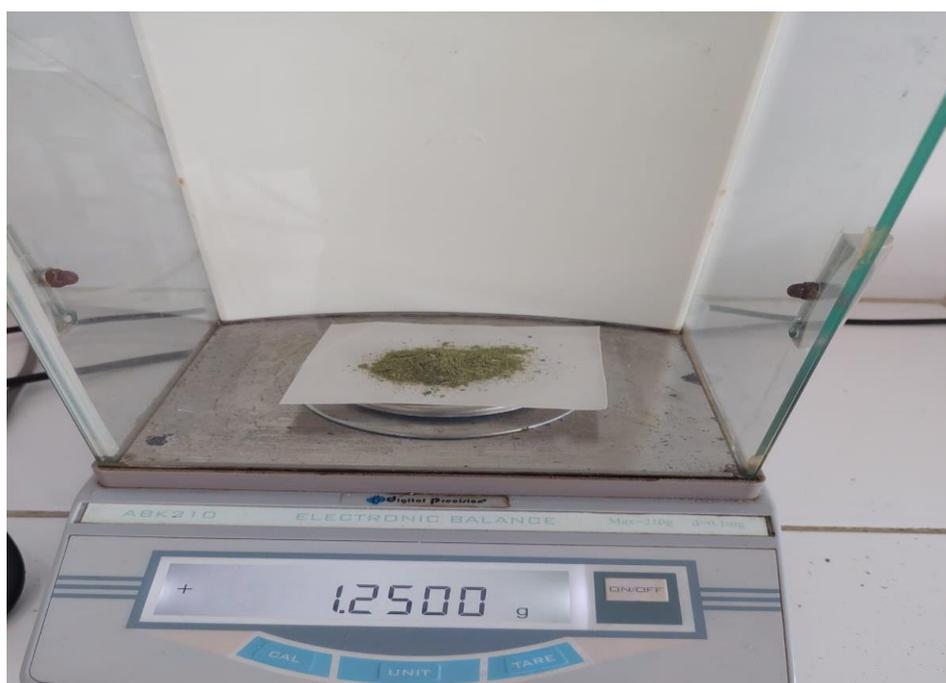
Selección de las hojas de limón sutil.



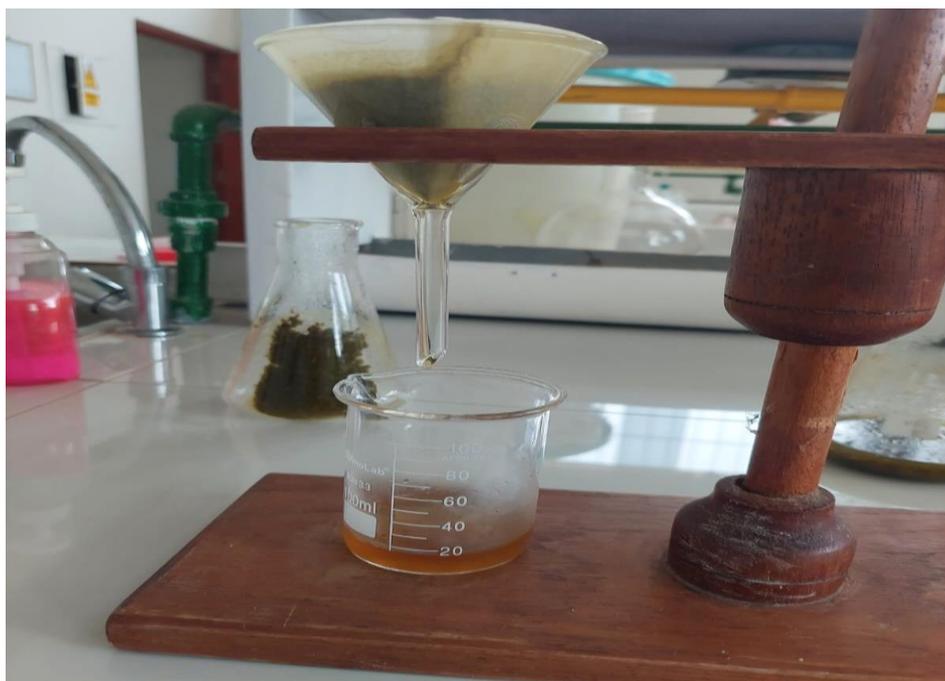
Hojas de limón sutil colocadas sobre bolsas de plástico para su oreo.



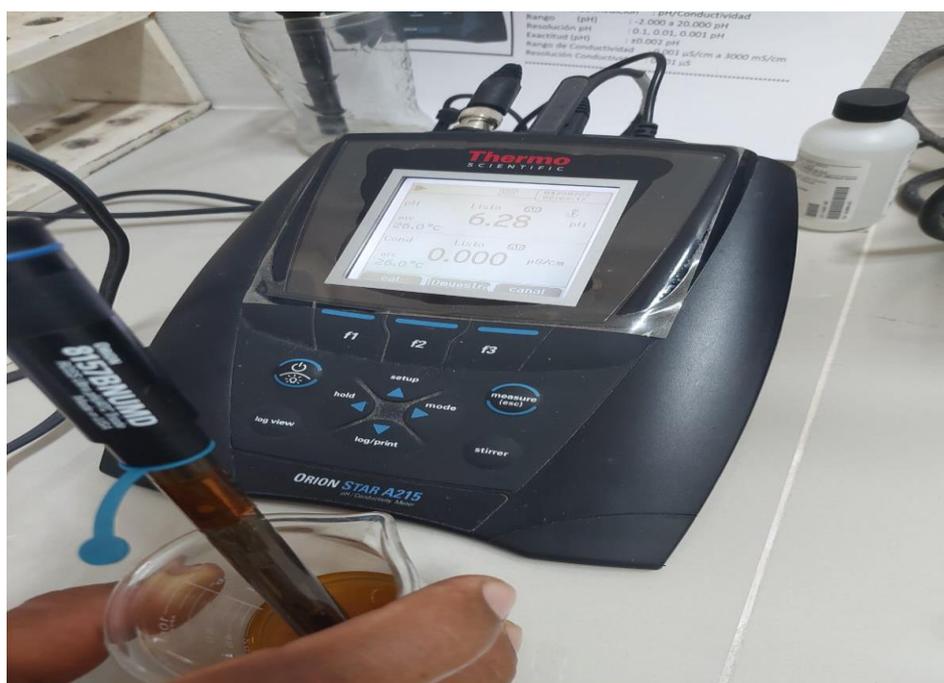
Hojas secas de limón sutil.



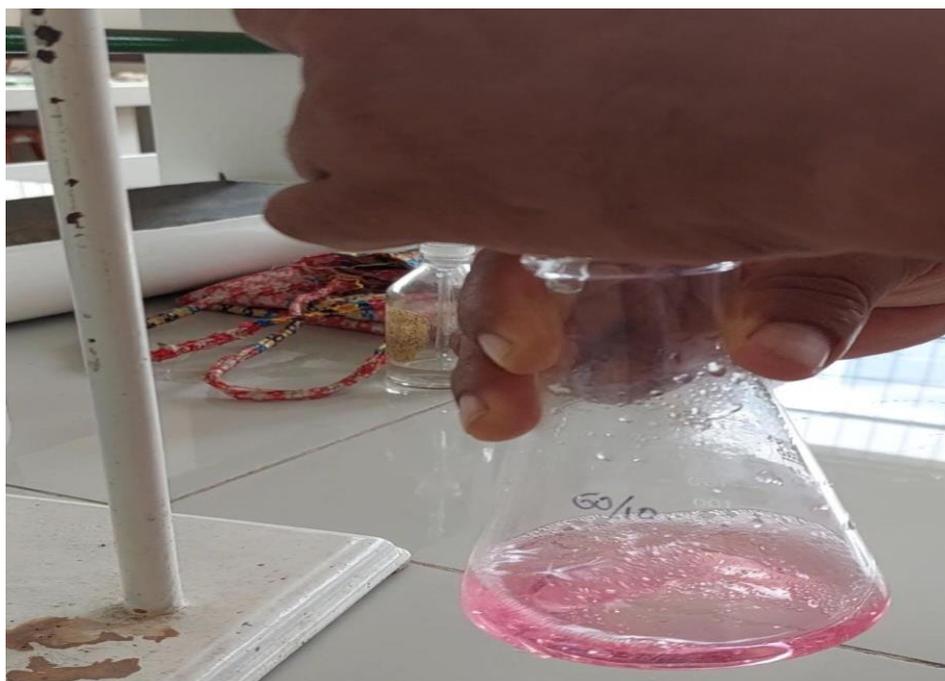
Pesado de muestras de hojas de limón sutil secas y molidas.



Filtrado de extractos de hojas de limón sutil secas.



Determinación de pH.



Determinación de la acidez.



Equipo espectrofotómetro modelo GENESYS-6 THERMO SCIENTIFIC (UV-Vis).



Analisis sensorial, evaluacion del color en las infusiones de hojas de limón sutil fresco y seco.



Analisis sensorial, evaluacion del aroma en las infusiones de hojas de limón sutil fresco y seco.



Analisis sensorial, evaluacion del sabor en las infusiones de hojas de limón sutil fresco y seco.