

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**“EFECTO DEL SECADO SOBRE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS Y
CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN LA HOJA DE MORINGA (*Moringa
Oleífera*)”**

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL

AUTOR:

Br. Jhonny Deyvis Caballero Sopán

ASESORA:

Dra. Luz María Paucar Menacho

NUEVO CHIMBOTE – PERÚ

2021



“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”

FORMATO N° 04

Facultad de Ingeniería

Informe del Asesor del Informe de Tesis para obtener el Título Profesional

1. Apellidos y Nombres: **Caballero Sopán Jhonny Deyvis**

2. Código: **0201512026**

3. Título de informe de tesis

“EFECTO DEL SECADO SOBRE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN LA HOJA DE MORINGA (*Moringa Oleífera*)”

4. Evaluación del contenido:

Este informe de tesis, ha sido desarrollado en su totalidad, de acuerdo con el proyecto de Tesis aprobado con la Resolución N° **664-2019-UNS-CFI**. **Cada una de las etapas de esta tesis fue revisada por mi persona**, siguiendo con el procedimiento y sugerencias del Jurado Evaluador del PTI, cumpliendo así con lo establecido en el reglamento académico. Por lo cual puedo constatar que las fuentes de información recopiladas son confiables y contribuyen al desarrollo de la tesis, asimismo los datos y resultados obtenidos son favorables a la investigación desarrollada en la mencionada tesis.

5. Observaciones

La tesis está concluida y redactada al 100%.

6. Certificación de aprobación:

Yo, **Luz María Paucar Menacho**, doy mi aprobación a esta tesis que ya está concluida y redactada al 100%.

Asesora: Dra. Luz María Paucar Menacho

DNI: 08099817



HOJA DE AVAL DE JURADO EVALUADOR

El presente trabajo de tesis titulado “Efecto del secado sobre los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en la hoja de moringa (*Moringa Oleífera*)”, para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial, presentado por el bachiller: **CABALLERO SOPÁN JHONNY DEYVIS**, teniendo como asesora a la Dra. Luz María Paucar Menacho, designada mediante la resolución decanal N° 401-2019-UNS-FI.

Dra. Elza Berta Aguirre Vargas
Presidente

Dr. Daniel Sánchez Vaca
Secretario

Dra. Luz María Paucar Menacho
Integrante



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 16:00 horas del 15 de febrero del dos mil veintidós, se instaló mediante la plataforma virtual ZOOM, mediante el enlace <https://uns-edu-pe.zoom.us/j/81848607566?pwd=UmNGUWt3V1A5bWZmV3U0RnIVRVdYdz09>, el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N° 503-2021-UNS-CFI, integrado por los docentes:

- Dra. Elza Berta Aguirre Vargas.....(Presidente)
- Dr. Daniel Sánchez Vaca.....(Secretario)
- Dra. Luz María Paucar Menacho..... (Integrante); para inicio a la Sustentación y Evaluación de tesis, titulada:

“EFECTO DEL SECADO SOBRE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN LA HOJA DE MORINGA (*Moringa Oleífera*)”, elaborado por el Bachiller en ingeniería agroindustrial.

- CABALLERO SOPÁN JHONNY DEYVIS

Así mismo tiene como asesora a la docente Dra. Luz María Paucar Menacho.

Finalizada la sustentación, el tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado y el público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados al trabajo, contenido y sustentación del mismo, con las sugerencias pertinentes y en concordancia con el Artículo 39° y 40° del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
CABALLERO SOPÁN JHONNY DEYVIS	19	SOBRESALIENTE

Siendo las 17:30 del mismo día, se dio por terminada la sustentación, firmando en señal de conformidad el presente jurado.

Dra. Elza Berta Aguirre Vargas
Presidente

Dr. Daniel Sánchez Vaca
Secretario

Dra. Luz María Paucar Menacho
Integrante

DEDICATORIA

A Dios, fuente de sabiduría, que guía mis pasos
y me brinda la voluntad necesaria para superar
desafíos y cumplir mis metas trazadas.

A mis padres Dominga y Demetrio, por su
confianza y respaldo incondicional a lo
largo de mis años de formación personal y
profesional.

A mis hermanos Jhon y Jair, quienes me
motivan a superarme día a día y ser un ejemplo
en su formación.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesora la Dra. Luz María Paucar Menacho, por su valiosa colaboración y apoyo constante durante el desarrollo de la investigación.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería agroindustrial de la UNS, que aportaron con sus conocimientos durante mis cinco años de formación profesional, motivándome cada semestre a ser un profesional ético y competitivo, en especial a los ingenieros John Gonzales y Lenin Palacios.

RESUMEN

La moringa oleífera es una planta que viene siendo utilizada en muchos países como una alternativa sana y nutritiva por los altos beneficios que brinda en su consumo. El estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto del secado sobre el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, usando un diseño factorial 3^2 , teniendo como variables independientes a la temperatura (50, 60 y 70°C) y velocidad de aire (0.6, 0.7 y 0.8 m/s). Se estimaron pérdidas de polifenoles de hasta el 51.3 % durante el secado, mientras que en la capacidad antioxidante se tuvieron pérdidas de hasta el 45.1 % (DPPH) y 51.0 % (ABTS).

Se optimizaron las variables de operación (temperatura y velocidad de aire de secado), obteniendo la configuración óptima de 60 °C y 0.8 m/s, esta configuración maximiza los valores de compuestos fenólicos (promedio 16.0057 mg EAG/g) y actividad antioxidante con valores promedio de 55.0597 y 237.4527 $\mu\text{mol TE/g}$ para los métodos DPPH y ABTS respectivamente.

Finalmente, se estudió la relación de los compuestos fenólicos y la actividad antioxidante, obteniendo coeficientes de Pearson de 0.680 (DPPH) y 0.628 (ABTS) respectivamente, indicando una relación positiva moderada en ambos casos, ambos significativos ($p < 0.05$).

Palabras clave: moringa, secado, polifenoles, capacidad antioxidante, DPPH, ABTS

ABSTRACT

Moringa oleifera is a plant that has been used in many countries as a healthy and nutritious alternative due to the high benefits it provides in its consumption. The objective of the study was to evaluate the effect of drying on the content of phenolic compounds and antioxidant capacity, using a 3^2 factorial design, having as independent variables temperature (50, 60 and 70 °C) and air speed (0.6, 0.7 and 0.8 m/s). Polyphenol losses of up to 51.3% were estimated during drying, while in antioxidant capacity there were losses of up to 45.1% (DPPH) and 51.0% (ABTS).

The operation variables (temperature and drying air speed) were optimized, obtaining the optimal configuration of 60 °C and 0.8 m/ s, this configuration maximizes the values of phenolic compounds (average 16.0057 mg EAG / g) and antioxidant activity with values mean of 55.0597 and 237.4527 $\mu\text{mol TE/g}$ for DPPH and ABTS methods respectively.

Finally, the relationship between phenolic compounds and antioxidant activity was studied, obtaining Pearson's coefficients of 0.680 (DPPH) and 0.628 (ABTS) respectively, indicating a moderate positive relationship in both cases, both significant ($p < 0.05$).

Keywords: moringa, dried, polyphenols, antioxidant capacity, DPPH, ABTS

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Moringa (Moringa oleífera)	4
2.2. Moringa en el Perú.....	5
2.3. Descripción botánica de la moringa.....	6
2.4. Taxonomía	8
2.5. Composición nutricional de hoja de moringa oleífera	9
2.6. Compuestos fenólicos	12
2.6.1. Estructura	12
2.6.2. Clasificación	13
2.6.3. Determinación de compuestos fenólicos	15
2.7. Antioxidantes	15
2.7.1. Radicales libres	16
2.7.2. Estrés oxidativo.....	17
2.7.3. Capacidad antioxidante.....	18
2.7.4. Determinación de la capacidad antioxidante	18
2.8. Secado ²¹	
2.8.1. Secado en los alimentos	21
2.8.2. Tipos de secado.....	22
2.8.3. Cinética de secado.....	23
2.8.4. Curvas de secado.....	23
2.8.5. Secado de moringa oleífera.....	24
2.9. Desarrollo de las variables	26
3.9.1. Diseño experimental	26
III. MATERIALES Y MÉTODOS	29

3.1. Materiales.....	29
3.1.1. Materia prima.....	29
3.1.2. Materiales de laboratorio	29
3.1.3. Reactivos.....	30
3.1.4. Equipos	30
3.2. Métodos.....	31
3.2.1. Métodos de proceso	31
3.2.2. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	36
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	38
4.1. Composición química	38
4.2. Determinación de polifenoles	40
4.3. Determinación de Capacidad antioxidante (Método DPPH).....	47
4.4. Determinación de Capacidad antioxidante (Método ABTS).....	53
4.5. Optimizado de Compuestos fenólicos y Capacidad antioxidante.....	59
4.6. Relación entre Compuestos y Capacidad antioxidante	63
V. CONCLUSIONES	65
VI. RECOMENDACIONES.....	66
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
VIII. ANEXOS.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxinomía de la moringa (Moringa Oleífera).....	8
Tabla 2. Contenido de macronutrientes en hojas de moringa.....	9
Tabla 3. Aminoácidos presentes en las hojas de moringa.....	10
Tabla 4. Principales minerales presentes en las hojas de moringa.....	11
Tabla 5. Clasificación de los polifenoles	14
Tabla 6. Esquematización del diseño experimental en la investigación.....	26
Tabla 7. Ordenamiento de los tratamientos del diseño factorial 3^2	28
Tabla 8. Análisis químico de las hojas de moringa fresca y secada (g/100g).....	38
Tabla 9. Contenido de compuestos fenólicos en moringa fresca.....	40
Tabla 10. Contenido de compuestos fenólicos en moringa secada.....	41
Tabla 11. Análisis de varianza para compuestos fenólicos.....	43
Tabla 12. Capacidad antioxidante de la hoja de moringa secada (DPPH).....	47
Tabla 13. Capacidad antioxidante de la hoja de moringa secada (DPPH).....	47
Tabla 14. Análisis de varianza para capacidad antioxidante (DPPH).....	49
Tabla 15. Capacidad antioxidante de la hoja de moringa fresca (ABTS).....	53
Tabla 16. Capacidad antioxidante de la hoja de moringa secada (ABTS).....	53
Tabla 17. Análisis de varianza para la capacidad antioxidante (ABTS).....	55
Tabla 18. Predicción de respuesta múltiple para polifenoles y capacidad antioxidante.....	62
Tabla 19. Coeficientes de Pearson entre compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Países donde se cultiva la moringa oleífera.....	4
Figura 2. Árbol de moringa del fundo “Alimentos Naturales”.....	6
Figura 3. Estructura química de un compuesto fenólico simple.....	12
Figura 4. Reducción del radical DPPH.....	19
Figura 5. Principio del ensayo de capacidad antioxidante mediante ABTS.....	20
Figura 6. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de polifenoles.....	44
Figura 7. Gráfica de efectos principales para Polifenoles.....	45
Figura 8. Gráfica de interacción de los niveles de los factores para polifenoles.....	46
Figura 9. Gráfica de contorno para Polifenoles.....	46
Figura 10. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para DPPH.....	50
Figura 11. Gráfica de efectos principales sobre la capacidad antioxidante (DPPH).....	51
Figura 12. Gráfica de interacción de los niveles de los factores para DPPH.....	52
Figura 13. Gráfica de contorno para capacidad antioxidante (DPPH).....	53
Figura 14. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para ABTS.....	56
Figura 15. Gráfica de efectos principales sobre la capacidad antioxidante (ABTS).....	57
Figura 16. Gráfica de interacción de los niveles de los factores para ABTS.....	58
Figura 17. Gráfica de contorno para capacidad antioxidante (ABTS).....	59
Figura 18. Gráfica de optimización de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.....	61

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Obtención de la harina de hojas de moringa	74
Anexo 2. Curvas de secado de moringa.....	77
Anexo 3. Análisis de composición química de las hojas de moringa.....	78
Anexo 4. Preparación de las muestras para los análisis.....	81
Anexo 5. Determinación de compuestos fenólicos.....	82
Anexo 6. Determinación de capacidad antioxidante (dpph).....	85
Anexo 7. Determinación de capacidad antioxidante (abts)	87
Anexo 8. Tabla de experimentos de las variables de estudio	90

I. INTRODUCCIÓN

La moringa oleífera es un árbol que en los últimos años viene asombrando al mundo por las diferentes propiedades que posee en sus distintas partes (hojas, flores, tallo y semillas), el alto contenido en vitaminas, proteínas y minerales (calcio y hierro), han permitido que en algunos lugares sea denominado como “el árbol de la vida”.

La moringa despierta interés por su fácil adaptación a climas y condiciones de suelo desfavorables. En investigaciones recientes ha captado la atención de investigadores debido a su alto contenido de compuestos bioactivos, actualmente la moringa se vende en productos como hojas deshidratadas, infusiones, cápsulas, aceite de semillas, entre otros.

Respecto a los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en las hojas de moringa, algunos investigadores han realizado algunos hallazgos que se mencionan a continuación.

Valdés et al. (2015) en su estudio evalúan algunas condiciones de operación en la extracción de polifenoles presentes en moringa, determinan que una disolución de etanol al 60% y una relación soluto-disolvente de 1:35 (m/v) conforman las mejores condiciones para optimizar la extracción de polifenoles mediante contacto sólido-líquido.

García (2017), señala que el agua destilada extrae mejor los compuestos fenólicos en moringa en comparación con solventes como acetonitrilo y metanol al 80%, además, al analizar hojas de una ciudad de España y la República de Guinea-Bisáu, afirma que la geografía del cultivo de la moringa influye significativamente en el contenido total de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.

Un estudio realizado por Gómez (2020), demuestra que la extracción de compuestos fenólicos de moringa se realizan mejor utilizando extracción asistida con ultrasonidos en

comparación de una extracción convencional con agitación mecánica; también compara el efecto de solventes de extracción utilizando agua destilada y disoluciones de etanol al 20, 50, 80 y 100% mediante una extracción convencional, afirma que una disolución al 20% de etanol extrae mejor los compuestos fenólicos, sin embargo, al usar extracción asistida por ultrasonidos, se tiene una mejor extracción usando agua destilada como solvente en comparación con disoluciones de etanol al 20 y 50%.

En la actualidad las hojas de moringa, independientemente de la forma final de su aprovechamiento, la mayoría de las veces son sometidas a un secado con la finalidad de prolongar su vida útil y tener un mejor manejo, en este sentido, se realizan secados con diferentes temperaturas, de acuerdo a los antecedentes revisados, se utilizan temperaturas de secado entre 50 y 70°C, variando la composición final. Otra variable de interés es la velocidad de aire utilizada en los secadores, de manera análoga a la temperatura influye en el tiempo de secado y esto provoca cambios en el producto final.

Considerando la importancia de lo anteriormente mencionado surge la siguiente problemática: ¿Cuál será el efecto de la operación de secado (temperatura y velocidad de aire de secado) sobre los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante presentes en la hoja de moringa (*moringa oleífera*)? Y se plantea la hipótesis: La temperatura y velocidad de aire de secado afectan de manera significativa el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en la hoja de moringa.

Por ello como objetivo general, se evalúa el efecto del secado (temperatura y velocidad de aire de secado) sobre los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de la hoja de moringa, así mismo se consideran los siguientes objetivos específicos.

- Determinar la composición química proximal de la hoja de moringa antes y después del secado.
- Determinar el contenido de compuestos fenólicos totales en la hoja moringa fresca y secada a diferentes temperaturas y velocidades de aire.
- Determinar la capacidad antioxidante (métodos DPPH y ABTS) de la hoja de moringa fresca y secada a diferentes temperaturas y velocidades de aire.
- Optimizar las variables de secado que maximizan el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.
- Analizar la relación existente entre el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de la hoja de moringa.

Finalmente, la única limitación en la investigación es la adquisición de reactivos fiscalizados para realizar los análisis químicos proximales.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

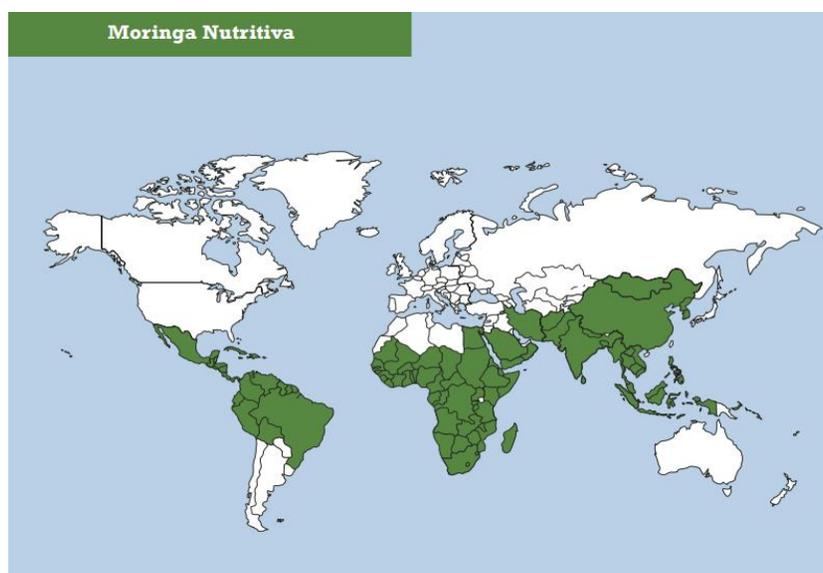
2.1. Moringa (Moringa oleífera)

La moringa oleífera es un árbol originario del sur de las montañas del Himalaya y nativa de la India, Bangladesh, Afganistán y Pakistán, es la especie más conocida de las 13 existentes de la familia Moringaceae, perteneciente al género Moringa. Se cree que su introducción al continente americano fue entre la época colonial desde Filipinas por los tripulantes de la Nao de China o quizá en el siglo XIX (Velázquez et al., 2016).

En la actualidad la moringa se encuentra diseminada en diversos países, lo que ha provocado que tenga diferentes denominaciones, algunas son: árbol de rábano picante, árbol de baqueta, palo jeringa, marango, entre otros (Kou et al., 2018).

Figura 1

Países donde se cultiva la moringa oleífera



Nota: Reproducido de *Distribución mundial de la especie M. oleífera*, por R. García, 2017, ruc (<http://hdl.handle.net/2183/19625>)

2.2. Moringa en el Perú

En el año 2010, por iniciativa de los ingenieros Iván Murat, Óscar Granados y Jorge Chepote, con el apoyo del programa AGRORURAL del Ministerio de Agricultura, instalaron un proyecto piloto de moringa en el valle de Villacurí en Ica, comprobando la excelente adaptabilidad de la planta en suelos peruanos (Agro rural, 2010, 0m43s).

En el año 2013, en el Perú se contaba con 20 hectáreas de moringa instaladas por diversos agricultores en los alrededores de Ica, Pisco, Huacho, Chiclayo, Piura, Tarapoto y Madre de Dios. En este sentido, el ingeniero Jorge Chepote sugiere que se trata de un cultivo ideal para la costa, donde la disponibilidad de agua pone límites a la producción agrícola (Agencia Agraria de Noticias [agraria.pe], 2013)

Además del sector privado, algunas entidades del Estado vienen realizando proyectos para aprovechar los beneficios de esta planta, en el año 2015 la municipalidad de Santiago de Surco, implementó el programa “Moringa de Surco”, el cual consistía en sembrar moringa en los parques públicos y utilizarla para combatir la desnutrición. En el año 2016 se realizó la primera cosecha moringa y el burgomaestre de dicho distrito sostuvo que la moringa cosechada será entregada de manera gratuita a los comedores populares, clubes de madres, vaso de leche y otras instituciones, con el propósito de mejorar la calidad de vida de las personas que más lo requieran (Agraria.pe, 2016).

En el 2018, el Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social (MIDIS) a través del Programa Nacional de Alimentación Escolar Qali Warma, incorporó moringa en los desayunos de los niños del jardín 286 Atalaya , en el departamento de Ucayali, con la finalidad de prevenir la anemia y desnutrición crónica en niños (Qali Warma, 2018).

En el año 2019, el MINAGRI a través Proyecto Especial Binacional Puyango-Tumbes, instaló dos hectáreas de moringa con la finalidad de dar a conocer sus beneficios a los agricultores de la zona, de manera que puedan cultivar esta planta aprovechando el clima de Tumbes (Gonzales, 2019).

Figura 2

Árbol de moringa del fundo "Alimentos Naturales"



2.3. Descripción botánica de la moringa

La moringa se ha diversificado en varios países del mundo debido a su gran plasticidad ecológica, lo que le ha permitido adaptarse a diversas condiciones ambientales, puede inclusive soportar sequías (García, 2017) y diferentes tipos de suelos (arcillosos y arenosos), a excepción de los suelos con mal drenaje (Velázquez et al., 2016).

En lo relacionado a las características agronómicas, la moringa crece adecuadamente en zonas tropicales, lugares con baja altitud (menor a 2000 msnm). Así mismo se conoce que la moringa puede crecer por estaca o por semilla, en el crecimiento por semilla no es

necesario quitar la cascara para el proceso de germinación (Velázquez et al., 2016). Puede llegar a alcanzar hasta los 15 metros de altura (García, 2017).

La moringa presenta un gran interés nutricional y comercial, debido a que se ha logrado identificar en esta planta una alta cantidad de proteínas, fibra, vitaminas, minerales y metabolitos secundarios (carotenos y tocoferoles) (Velázquez et al., 2016).

Se puede usar con fines medicinales ya que es una importante fuente de vitamina C, hierro, calcio, potasio y fósforo (Iglesias et al., 2018), en este sentido, algunas propiedades medicinales que se le atribuyen a la moringa son: tratamiento de enfermedades respiratorias (mediante infusiones) (López Martínez, 2016), padecimientos como asma, epilepsia, enfermedades gastrointestinales, inflamatorias, nutricionales, fiebre y hemorroides (Velázquez et al., 2016).

La moringa también puede ser usada en el ámbito no alimentario, la presencia del 1,1,3-trietoxubutano en todas las partes de la planta permite su uso en el tratamiento de aguas residuales (Vats y Gupta, 2017), por ello, ya se han realizado estudios usando las semillas de moringa en el tratamiento de aguas de río con sólidos suspendidos, aguas subterráneas, aguas fluviales y aguas turbias. Otro uso de carácter no alimentario es el uso como fuente de aceite para la producción de biodiesel (Velázquez et al., 2016).

La moringa es una planta de gran versatilidad, por lo que se puede aprovechar todas sus partes (vainas, flores, hojas, corteza y raíces). Las hojas son las que generalmente tienen mayor uso, ya que se pueden comercializar como hojas deshidratadas, encapsulados, polvo de las hojas deshidratadas y té. A las hojas y té de moringa se les atribuye tener propiedades antimicrobianas, antibacterianas, antivirales, antiparasitarias, antidiabéticas y antidiuréticas (Guzmán et al., 2015). Respecto a las ramas de moringa, se conoce que

están dispuestas en 4 a 6 pares de folíolos y un folíolo en la parte final, las hojas son alternas tripinnadas, con una longitud entre 30 a 70 cm (García, 2017).

2.4. Taxonomía

La moringa oleífera es una especie que pertenece a la familia de las moringáceas, anteriormente algunos autores la ubicaban en el orden Caparales, mientras que otros autores la situaban en el orden de las Maringales (relacionado con Caparales y Caricales), pero en el año 2009 según la APG III, se sitúa a esta familia en el orden Brassicales, que a su vez es un orden mucho más extenso a los mencionados y donde estos quedan suprimidos (López García, 2016).

Tabla 1

Taxonomía de la moringa (Moringa Oleífera)

Taxonomía	
Nombre científico	Moringa oleífera
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Eudicotyledoneae
Subclase	Rosidae
Orden	Brassicales
Familia	Moringaceae
Género	Moringa
Especie	Moringa oleífera

Nota: Recuperado de (López García, 2016)

2.5. Composición nutricional de hoja de moringa oleífera

Se han realizado diferentes investigaciones en los últimos años a las diferentes partes de la moringa, lo que permite afirmar que son ricas en minerales, aminoácidos y biomoléculas (González, 2018). En la *tabla 2* se muestra la composición general de nutrientes encontrados en las hojas frescas de moringa (Red de Seguridad Alimentaria del CONICET [RSA-CONICET], 2016) y el polvo de hojas secadas de moringa.

Tabla 2

Contenido de macronutrientes en hojas de moringa

Componente analizado	Hojas frescas	Polvo de hojas secadas (g/100g producto)
Humedad	79.720	5.873 ± 0.058
Cenizas	2.120	9.008 ± 0.449
Grasas	1.460	4.839 ± 0.582
Proteínas	5.520	29.460 ± 0.348
Carbohidratos totales	11.140	50.810
Fibra cruda	-	6.750

Nota. Recuperado de (RSA-CONICET, 2016) y (Alvarez, 2017)

Un dato resaltante respecto a la proteína presente en la moringa es que cuenta con todos los aminoácidos esenciales, lo cual no es común en vegetales, la buena proporción de estos aminoácidos hace que la proteína sea considerada de alta calidad y fácil digestión, además, la proteína de la moringa no presenta niveles bajos de lisina, este aminoácido es

importante porque asegura una mejor absorción del calcio (González, 2018). En la *tabla 3* se muestra la proporción de estos aminoácidos en las hojas secadas de moringa.

Tabla 3

Aminoácidos presentes en las hojas secadas de moringa

Aminoácido	Cantidad (mg/100 g muestra)
Histidina	700 – 1357
Isoleucina	890 – 2253
Leucina	1750 – 4289
Lisina	1325 – 1530
Metionina + Cisteína	140 – 835
Fenilalanina	890 – 2714
Treonina	790 – 2197
Valina	1130 – 2758
Triptófano	1528

Nota: Recuperado de ((RSA-CONICET, 2016) y (González, 2018)

El contenido de minerales es muy llamativo en la moringa. En la *tabla 4* se señala los principales minerales encontrados en las hojas frescas y hojas deshidratadas de moringa, donde se destaca el contenido de calcio y hierro.

Tabla 4*Principales minerales presentes en las hojas de moringa*

Mineral	Hojas frescas (mg/100g)	Hojas deshidratadas (mg/100g)
Calcio	440.000	2003.000
Hierro	0.900	28.200
Potasio	259.000	1324.000
Fósforo	70.000	204.000
Manganeso	42.000	368.00

Nota: Recuperado de (Velázquez et al., 2016)

El contenido de calcio en las hojas de moringa es llamativo, sin embargo, aproximadamente el 37.5% se encuentra en forma de oxalato, disminuyendo considerablemente la cantidad realmente disponible, a pesar de ello, supera a valores encontrados en otros alimentos como la leche entera de vaca (119 mg/100 g) o la soya seca (277 mg/100 g) (Alvarez, 2017).

El contenido de hierro en la moringa también es relativamente alto, comparable al de las leguminosas como la soya, sin embargo, la presencia de ácido fítico, taninos y saponina limitan la biodisponibilidad de este mineral. Además, se ha encontrado que el hierro presente en la moringa es del tipo no heme, lo que hace que su absorción sea menos eficiente por el organismo, por lo que no se puede asegurar que la moringa sea antianémica ya que requeriría un consumo en altas cantidades (Alvarez, 2017).

2.6. Compuestos fenólicos

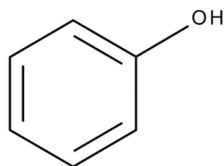
Los compuestos fenólicos son una de las tres principales clases de metabolitos secundarios de las plantas que presentan interés comercial (junto con los terpenos y compuestos nitrogenados), en la planta tienen diversas funciones fisiológicas, interviniendo en el crecimiento y reproducción de las plantas, también se ha determinado que participan en los procesos defensivos contra agentes patógenos, depredadores y radiación ultravioleta. Tradicionalmente han sido considerados como sustancias antinutritivas debido al efecto adverso de uno de sus componentes principales (taninos) en la digestibilidad de las proteínas. Sin embargo, en la actualidad generan gran interés por la variedad de actividades biológicas que presentan, al punto de considerarse uno de los compuestos fitoquímicos alimentarios más importantes debido a que contribuyen en el mantenimiento de la salud humana (García et al., 2015).

2.6.1. Estructura

Los compuestos fenólicos se caracterizan por contener un grupo fenol y un grupo funcional hidroxilo en un anillo aromático (García, 2017), tal como se muestra en la *figura 3*.

Figura 3

Estructura química de un compuesto fenólico simple



Nota: Adaptado de *Compuesto fenólico simple*, por R. García, 2017, (<http://hdl.handle.net/2183/19625>)

Los grupos hidroxilo de los fenoles son ácidos en comparación con otros grupos hidroxilo, esto se debe a que están en un anillo, lo cual les permite estabilizar inmediatamente un sustituyente oxigenado desprotonado (García, 2017), es decir, son capaces de donar el átomo de hidrógeno de su grupo fenol a los radicales libres, deteniendo el paso de propagación de la cadena durante el proceso de oxidación (Guija et al., 2015).

Los compuestos fenólicos son moléculas muy reactivas que normalmente se encuentran combinadas con azúcares, como la glucosa, arabinosa, galactosa, ramosa, xilosa o los ácidos glucurónicos y galacturónicos. También pueden estar unidos con ácidos carboxílicos, ácidos orgánicos, lípidos y aminoácidos (García et al., 2015). Se conoce que algunos son solubles únicamente en disolventes orgánicos, mientras que otros son ácidos carboxílicos y ácidos glucosídicos solubles en agua, y finalmente hay otro grupo que son polímeros grandes insolubles (García, 2017).

2.6.2. Clasificación

La clasificación de los polifenoles puede hacerse de diversas formas, dependiendo de su complejidad química, pueden agruparse en C₆, C₆-C_n, C₆-C_n-C₆, siendo $n \leq 3$ (García et al., 2015). La *tabla 5* indica los diferentes grupos de polifenoles.

Tabla 5*Clasificación de los polifenoles*

<i>TIPO</i>	<i>ESTRUCTURA</i>
Fenoles simples	C ₆
Ácido benzoico, ácido fenólico	C ₆ -C ₁
Ácido fenil acético	C ₆ -C ₂
Ácido hidroxicinámico, Cumarinas	C ₆ -C ₃
Lignanós	(C ₆ -C ₃) ₂
Benzofenonas, Xantonas	C ₆ -C ₁ -C ₆
Estilbenos	C ₆ -C ₂ -C ₆
Flavonoides, Chalconas	C ₆ -C ₃ -C ₆
Proantocianinas (taninos 4≤n≤11)	(C ₆ -C ₃ -C ₆) _n

Nota: Recuperado de (García et al., 2015)

Los polifenoles son esenciales para la dieta humana, se ha determinado que la moringa cuenta con una alta cantidad de compuestos fenólicos, algunos de estos son los flavonoides, quercetina, ácido gálico y kaempferol, estos compuestos fenólicos pueden reducir el riesgo de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo y sus efectos están correlacionados con su capacidad antioxidante (Fitriana et al., 2016). Se ha estudiado el contenido de compuestos fenólicos de

extractos hidroetanólicos de distintas partes de la moringa, demostrándose que las hojas son las que tiene el mayor contenido de fenoles totales (Vats y Gupta, 2017).

Se ha determinado que la diferencia de geografía, condiciones de cultivo (García, 2017), estado de desarrollo y la parte de la planta de la que se recolecten las hojas de moringa tiene influencia en el contenido total de los compuestos fenólicos (Förster et al., 2015).

El contenido de compuestos fenólicos en las hojas de moringa se puede incrementar con la altura del árbol, además se ha determinado que la cantidad de compuestos fenólicos puede doblar a la reportada en alimentos como el perejil (*Petroselinum crispum*), hierbabuena (*Mentha spicata*), orégano (*Origanum vulgare*) y albahaca (*Ocimum basilicum*) (Guzmán et al., 2015).

2.6.3. Determinación de compuestos fenólicos

La medición del contenido de compuestos fenólicos en productos naturales se determina utilizando el *Método Folin- Ciocalteu*, esta técnica cuantitativa es de carácter oficial (Lluva, 2019), el método posee diferentes modificaciones en cuanto a las cantidades necesarias de reactivos, para la evaluación de los polifenoles totales en las hojas de moringa se utilizó el método modificado por (Kraujalytė et al., 2015), que presenta ventajas al reducir las cantidades de reactivos utilizados.

2.7. Antioxidantes

Los antioxidantes son sustancias que forman parte de los alimentos de consumo diario (Coronado et al., 2015), estos micronutrientes vienen despertando interés en los últimos

años debido a que tienen la capacidad para neutralizar los radicales libres (Huerta et al., 2015), esta capacidad les permite proveer beneficios a la salud, reduciendo enfermedades cardiovasculares (López et al., 2017).

Las hojas de moringa son una buena fuente de antioxidantes naturales (RSA-CONICET, 2016), este contenido es atribuido a la presencia de compuestos fenólicos, flavonoides, carotenoides, licopeno, ácido ascórbico y antocianinas (Vats y Gupta, 2017).

Las propiedades de los antioxidantes no solo deben ser estudiadas por sus interacciones químico-biológicas, sino también por la aplicación que tienen en el deterioro oxidativo que afecta a los alimentos (Coronado et al., 2015), en este ámbito de aplicación, los antioxidantes naturales han venido ganando mayor importancia pese a la efectividad de los antioxidantes de origen sintético como el butilhidroxitolueno (BHT) o butilhidroxianisol (BHA), esto se debe a que estos últimos presentan inestabilidad y también poseen una sospecha de acción como promotores de la carcinogénesis (Fitriana et al., 2016).

2.7.1. Radicales libres

Los radicales libres son figuras químicas que tienen uno o más electrones desapareados en su estructura, estos compuestos forman parte de las llamadas especies reactivas del oxígeno (ERO) o ROS (Reactive Oxygen Species). Son liberados durante el metabolismo humano por lo que pueden ser relacionados con una alimentación no adecuada, consumo de tóxicos como el tabaco, alcohol y drogas; uso de tóxicos como los pesticidas, también son producidos por radiaciones (ultravioleta, gamma, hertziana) y por contaminantes ambientales del tipo acuático, atmosférico y suelos (Coronado et al., 2015).

En el organismo estas especies regulan procesos como la migración, proliferación, supervivencia, apoptosis y autofagia celular transmitiendo mensajes a las células, son fundamentales en procesos fisiológicos, en la inmunología y en la neurociencia. Se ha observado que dentro de sus funciones están el potenciar la función neuronal y tener un papel importante en la ovulación, capacitación espermática y fertilización. Sin embargo, los radicales libres en elevadas concentraciones son dañinas y están implicados en numerosos procesos patológicos, como el cáncer, la arteriosclerosis, la toxicidad por fármacos, la infertilidad (Ruiz, 2018), alteración del ADN y cambios diversos que aceleran el envejecimiento del cuerpo (López et al., 2017).

2.7.2. Estrés oxidativo

En el organismo es necesario que exista un equilibrio (redox) entre los radicales libres (pro-oxidantes) y los antioxidantes para el correcto funcionamiento, el desequilibrio por exceso de radicales libres provoca lesiones fulminantes, mientras que la ausencia de radicales libres es incompatible con la vida (Ruiz, 2018).

El estrés oxidativo aparece en los tejidos y células cuando la perturbación del equilibrio se da a favor de las sustancias prooxidantes (Viada et al., 2017), ocasionando un déficit en el sistema antioxidante por la proliferación descontrolada de los radicales libres (Coronado et al., 2015).

2.7.3. Capacidad antioxidante

En los alimentos es importante la determinación de la capacidad antioxidante porque permite conocer el potencial antioxidante in vitro que tienen los alimentos antes de su consumo, dicha capacidad permite conocer y cuantificar la protección frente a la oxidación por los radicales libres, por esta razón, los métodos de determinación de capacidad antioxidante se basan en sistemas generadores de estos radicales libres (Figueroa y Mollinedo, 2017).

Un estudio realizado por (García, 2017) evaluó la capacidad antioxidante presente en hojas de moringa deshidratadas, utilizando para ello los métodos DPPH y ABTS, dando como resultado una alta cantidad de antioxidantes y demostrando también que la mejor manera de extraerlos es utilizando agua destilada como solvente. Por otro lado, (Coz y Guzman, 2015) evaluaron la capacidad antioxidante de las hojas de moringa en su presentación como té herbal, utilizando los métodos ABTS, DPPH y FRAP, permitiendo detectar una alta capacidad antioxidante.

2.7.4. Determinación de la capacidad antioxidante

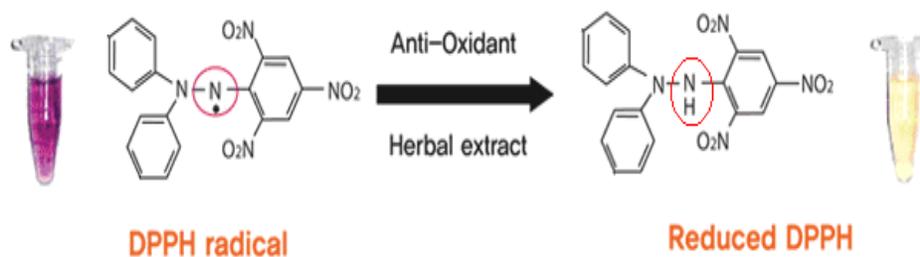
2.7.4.1. Método DPPH

La capacidad antioxidante se puede determinar por diversos métodos, uno de los más usados es el *método DPPH*, este ensayo se basa en la determinación espectrofotométrica de la decoloración de una solución de un compuesto cromógeno oxidado (DPPH) en un medio antioxidante (Castro, 2016), específicamente, esta decoloración se da por el descenso

de la absorbancia a 515 nm de la solución metanólica de radical difenil 1-picrilhidrazil (DPPH) (color púrpura) hasta convertirse en el 1-1, difenil-2-picrylhidrazil (color amarillo pálido) debido a que los componentes con capacidad de eliminar radicales libres tienen la habilidad de reducir el radical DPPH donándole un átomo de hidrógeno, esta interacción se basa en la transferencia de electrones o átomos de hidrógeno (Fitriana et al., 2016), la pérdida de color es proporcional al grado de captura del radical DPPH, la cual brinda una medida de la eficiencia antioxidante de los extractos (Teixeira, et al., 2013), los valores son expresados de acuerdo a un compuesto patrón, utilizando una solución del radical DPPH como blanco (Castro, 2016).

Figura 4

Reducción del radical DPPH



Nota: Reproducido de *Reduced DPPH*, por RED UDG Radio, 2015 (<http://radio.cuci.udg.mx/bch/EN/Antioxid.html>)

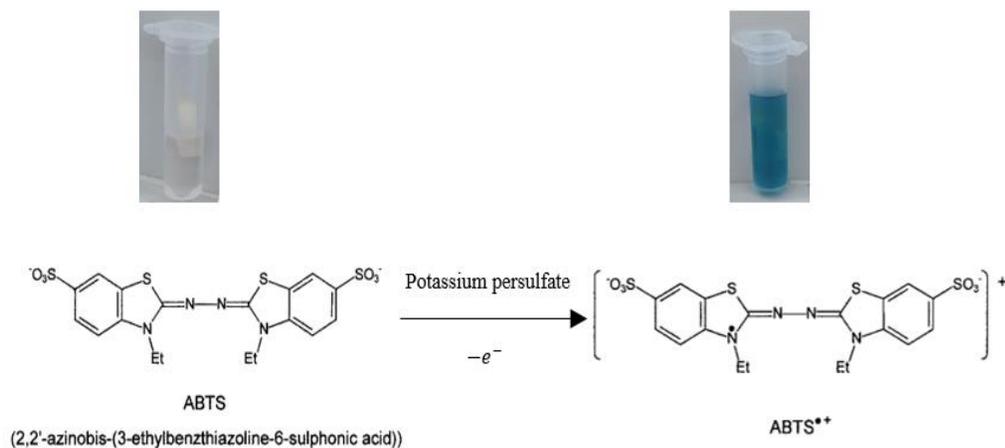
2.7.4.2. Método ABTS

El ensayo ABTS se valora la decoloración del ABTS oxidado ($ABTS^{+\bullet}$), es decir se mide la reducción del radical catiónico como un porcentaje de inhibición de la absorbancia a 734 nm (García, 2017).

El radical $ABTS^{+\bullet}$ se genera a partir de su precursor el ácido 2,2'-azinobis (3- etilbenzotiazolín) -6- sulfónico (ABTS) y persulfato de potasio (Re et al., 1999). El radical catiónico es un compuesto de color verde - azulado, estable y con un espectro de absorción en el UV-visible. La reducción del $ABTS^{+\bullet}$ es medida en el espectro, durante la reducción, el ABTS oxidado pasa de un color inicial verde azulado pasa a su forma neutra incolora (Fitriana et al., 2016).

Figura 5

Principio del ensayo de capacidad antioxidante mediante ABTS



2.8. Secado

El secado es una operación unitaria que se encarga de extraer físicamente un líquido de un cuerpo sólido, este líquido generalmente es agua, se utiliza como coadyuvante un medio gaseoso, generalmente aire, este aire convenientemente debe estar seco, caliente y en movimiento, ya que la temperatura beneficia el cambio de estado del agua (Girón, 2014).

2.8.1. *Secado en los alimentos*

El secado o deshidratación en los alimentos involucra fenómenos de transferencia de masa (agua y compuestos químicos) y energía (calor), es el método de conservación comúnmente más usado para la prolongación de vida útil de alimentos (Hernández et al., 2018), ya que reduce el contenido de humedad a un nivel que limita el crecimiento microbiano y las reacciones químicas (Quintanilla et al., 2018). Este tipo de operaciones permite un mejor transporte y manejo de los alimentos (Gil, 2019).

La reacción de Maillard, una de las reacciones más comunes que se presentan durante el procesamiento de alimentos, en operaciones como el secado que involucran calentamiento, pueden variar las características sensoriales y disminuir el valor nutritivo en alimentos, principalmente afectar la calidad de las proteínas del alimento (Jiménez Zurita, 2012).

Una de las variables más importantes durante el secado es la temperatura, ya que influenciará tanto en el tiempo de secado como en las reacciones degradativas que afectan las propiedades organolépticas y el valor nutricional del alimento (Jiménez Zurita, 2012). Además, la temperatura que no es correctamente aplicada puede

ocasionar daños irreversibles en el alimento, generando pérdidas económicas (Velásquez y Uribe, 2019).

Cuando la operación de secado se lleva a cabo mediante aire caliente, los factores clave que influirán para un buen secado son la temperatura que generalmente oscila entre 40 y 70°C, este a su vez debe contar con un bajo contenido de humedad y un constante movimiento (Ponce y Rodríguez, 2014), para realizar el constante movimiento, aparece otra de las variables de interés, es decir la velocidad de aire de secado. Si la temperatura y la velocidad de aire son más elevadas, el tiempo de secado del alimento será menor (Velásquez y Uribe, 2019).

La temperatura de secado de las plantas esta sujeta a la sensibilidad de sus principios activos, es por ello que cada tipo de planta tendrá una temperatura ideal de secado (Velásquez y Uribe, 2019).

2.8.2. Tipos de secado

Según Hernández y Pérez (2003) el secado puede clasificarse de diversas maneras, la primera clasificación hace referencia a dos tipos de secado.

Secado por lotes. En este tipo de secado el material es introducido al equipo de secado y se verifica por periodos de tiempo.

Secado continuo. En este tipo de secado el material es añadido al equipo sin interrupciones hasta obtenerse un material seco con régimen continuo.

Otra manera de clasificar el secado es de acuerdo a las condiciones físicas usadas al momento de adicionar calor y extraer el vapor de agua, de esta manera se tienen tres tipos de secado.

Secado de primera categoría. En este tipo de secado el calor es añadido por contacto directo usando aire caliente a presión atmosférica.

Secado al vacío. En este secado se usan presiones bajas para tener una mayor rapidez al evaporar el agua y el calor es añadido indirectamente por contacto con una pared metálica o por radiación.

Secado por congelación. En este tipo de secado el agua es sublimada directamente del material congelado.

2.8.3. Cinética de secado

La cinética de secado es basada en los cambios de cantidad promedio de humedad con el tiempo, estos cambios de humedad dependen de la transferencia de calor y masa entre la superficie y cuerpo de secado, el interior del cuerpo y el ambiente. La intensidad del secado que refleja la cantidad de humedad a través del tiempo es influenciada por parámetros como la temperatura, velocidad de aire, presión total, humedad y otros (Davila, 2004).

2.8.4. Curvas de secado

La operación de secado puede ser descrita por diagramas que faciliten su entendimiento, de acuerdo a Davila (2004), existen tres curvas que se pueden diferenciar de acuerdo a los parámetros que tengan en sus coordenadas.

Curva de secado. Este diagrama relaciona el contenido de humedad del material contra el tiempo de secado.

Curva de velocidad de secado. Esta curva representa la velocidad del secado contra el contenido de humedad del material.

Curva de temperatura. Representa la temperatura del material contra el contenido de humedad.

En el secado es necesario conocer el tiempo requerido para secar una sustancia a partir de un contenido de humedad inicial a otro con condiciones específicas, esto permitirá fijar horarios de secado, determinar el tamaño del equipo y poder conocer el efecto que tendrán las diferentes condiciones de secado en el tiempo. La medición de la rapidez del secado por lotes no solo sirve como información para este tipo de secado, sino también para secados del tipo continuo (Hernández y Pérez, 2003).

2.8.5. *Secado de moringa oleífera*

La conservación postcosecha de la moringa mediante secado tiene gran importancia cuando se desea alargar la vida útil (Iglesias et al., 2018). La moringa se ha venido secando tradicionalmente al aire libre utilizando el sol como fuente de calor, sin embargo, este tipo de secado presenta inconvenientes como la lentitud del secado debido a la humedad relativa del ambiente, pudiendo alcanzar periodos de secado de hasta dos semanas, al punto de poder llegar a enmohecerse, también se tienen riesgos por la exposición de las hojas a insectos y otros animales que pueden dañar la calidad y la seguridad para su consumo (Gil, 2019), además, la exposición a los rayos ultravioletas (Anuja y Ramkumar, 2017), calor, luz y oxígeno catalizan acelerando la oxidación de los carotenoides (precursores de la vitamina A) y vitamina C (Oulai et al., 2015). Debido a las limitaciones que presenta ese tipo de secado, se viene recurriendo a equipos que utilizan aire caliente para dicha operación, este tipo de secados pueden variar dependiendo de

los equipos que se utilicen, lo que permite el mejor manejo de los parámetros (Iglesias et al., 2018).

Un estudio realizado en Nicaragua por (López Martínez, 2016) utilizó tres equipos diferentes (horno solar, horno artesanal y horno semi- industrial) para elaborar curvas de secado de las hojas de moringa, demostrando que los equipos influyen en el producto final, además demostró que el uso del horno semiindustrial (Binder) brinda menor variabilidad en los análisis químicos posteriores.

Se ha estudiado el impacto que tiene el secado solar sobre algunos componentes en hojas de algunos alimentos como el frijol cabecita negra (*Vigna unguiculata*), ceiba (*Ceiba pentandra*), demostrando que el valor nutricional sufre un incremento, y si bien se presentan pérdidas de vitamina C y carotenoides, el contenido de polifenoles y capacidad antioxidante también sufren un aumento (Oulai et al., 2015).

Se estudió la cinética de secado de moringa, donde se obtuvo que el modelo de Page es el que mejor describe el proceso, además, se determinó que la moringa secada a 60 °C tiene mayores cifras de agrado tanto en olor, color, textura y sabor (Iglesias et al., 2018). Por otro lado, se ha logrado identificar que un aumento en la temperatura y tiempo de secado de hojas de moringa tiene diferencia significativa en el contenido de proteína (Quintanilla et al., 2018).

2.9. Desarrollo de las variables

Las variables independientes consideradas en la investigación durante el secado son la temperatura (50, 60 y 70 °C) y velocidad de aire (0.6, 0.7 y 0.8 m/s), mientras que las variables dependientes son los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante (métodos DPPH y ABTS)

3.9.1. Diseño experimental

Por el orden aleatorio en que se hacen las observaciones en los niveles de las variables de estudio, el diseño usado en la investigación es un diseño completo aleatorizado (DCA).

3.9.1.1. Diseño de tratamientos

Los tratamientos de la investigación se evaluaron mediante un diseño factorial 3^2 , este diseño permite evaluar la influencia de las dos variables independientes y las combinaciones que estas generen con la interacción de sus niveles.

Tabla 6

Esquematización del diseño experimental en la investigación

Temperatura de secado (°C)	Velocidad de aire (m/s)		
	V1 (0.6)	V2 (0.7)	V3(0.8)
T1 (50)	C1A1	C2A1	C3A1
T2 (60)	C1A2	C2A2	C3A2
T3(70)	C1A3	C2A3	C3A3

Donde:

C₁A₁: Compuestos fenólicos y/o capacidad antioxidante

Existen varias formas de describir las observaciones de experimentos factorial, el diseño factorial 3² siguiendo el modelo de los efectos se puede describir de la siguiente manera (Montgomery, 2004).

$$Y_{ijk} = \mu + \gamma_i + \delta_j + (\gamma\delta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

i: 1, 2, 3...a

j: 1, 2, 3...b

k: 1, 2, 3...n

μ : Efecto promedio global

γ_i : Efecto del nivel i-ésimo del factor Temperatura

δ_i : Efecto del nivel j-ésimo del factor velocidad de aire

$(\gamma\delta)_{ij}$: Efecto de la interacción entre γ_i y δ_i

ϵ_{ijk} : Componente de error aleatorio

Y_{ijk} : Respuesta observada cuando temperatura tiene el nivel i-ésimo y la velocidad de aire tiene el nivel j-ésimo en la réplica k-ésima

Para la prueba de la hipótesis estadística se plantearon las siguientes hipótesis:

$$H_0: \gamma_i = 0 \quad H_a: \gamma_i \neq 0$$

$$H_0: \delta_j = 0 \quad H_a: \delta_j \neq 0$$

$$H_0: \gamma \times \delta = 0 \quad H_a: \gamma \times \delta \neq 0$$

Si las hipótesis nulas (H_0) son mayores a 0.05 indican que las variables de estudio (temperatura, velocidad de arie, interacción de ambas) no influye en las respuestas, mientras si $p \leq 0.05$ se rechaza H_0 , aceptándose la hipótesis alterna (H_a), que indica que las variables de estudio influyen en el contenido final de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.

Los tratamientos de la investigación del diseño factorial 3^2 , fueron ordenados para un mejor entendimiento de los resultados como se muestra en la *tabla 7*, la tabla completa con los experimentos aleatorios se muestra en *el anexo 8*.

Tabla 7

Ordenamiento de los tratamientos del diseño factorial 3^2

Tratamiento	Temperatura (°C)	Velocidad de aire (m/s)
T1	50	0.6
T2	60	0.6
T3	70	0.6
T4	50	0.7
T5	60	0.7
T6	70	0.7
T7	50	0.8
T8	60	0.8
T9	70	0.8

III. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en el *Laboratorio de investigación y desarrollo de productos agroindustriales* de la escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial y el *Laboratorio de Bioprocesos* del Instituto de Investigación Tecnológico Agroindustrial, ambas instalaciones pertenecientes a la Universidad Nacional del Santa.

3.1. Materiales

3.1.1. *Materia prima*

- 5 kg hojas de moringa

Las hojas de moringa fueron obtenidas del fundo “Alimentos Naturales”, en la provincia de Casma. Se recolectó hojas a una altura de un metro y medio, posteriormente se realizaron los secados de manera diaria durante dos semanas.

3.1.2. *Materiales de laboratorio*

- 20 tubos de ensayo

- 20 viales

- Papel aluminio, papel filtro

- Gradilla de laboratorio

- 1 micropipeta multicanal

- 1 micropipeta (1000 μ l)

- 1 micropipeta (100 μ l)

- 3 vasos de precipitado (25 ml)

- 2 pisetas

3.1.3. Reactivos

- Acido gálico, Sigma-Aldrich
- Reactivo Folin-Ciocalteu, Supelco
- Carbonato de sodio (7 %), Supelco
- Radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), Sigma-Aldrich
- ABTS (Ácido 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid)), Sigma-Aldrich
- Persulfato de Potasio, Supelco
- Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid), Millipore
- Agua destilada
- Metanol grado HPLC
- Etanol absoluto

3.1.4. Equipos

- Balanza analítica (Precisa 321 LX)
- Secador de bandejas (SE 1402)
- Molino (IKA M20)
- Selladora al vacío (Tefal)
- Agitador digital (IKA MS 3)
- Ultrasonido (Branson CPX952519 R)
- Centrífuga (Digicen 21 R)
- Lector multimodal (Synergy H1)

3.2. Métodos

3.2.1. *Métodos de proceso*

3.2.1.1. **Análisis químico proximal de la materia prima**

Determinación de humedad. Se realizó la determinación de humedad utilizando el método recomendado por la (AOAC,2005)

Determinación de grasa: La determinación de grasas fue realizado por el método recomendado por la (AOAC, 2005).

Determinación de proteína total: El contenido de proteína total fue determinada por el método Kjeldahl.

Determinación de ceniza: Se utilizó el método de calcinación, destruyendo la materia orgánica a temperaturas entre 550 y 600°C (AOAC, 2005)

Determinación carbohidratos: La determinación de carbohidratos se determina por diferencia, es decir, 100% menos el resultado de los análisis anteriores (AOAC, 2005)

3.2.1.2. **Secado de materia prima**

Las hojas de moringa fueron tomadas de diferentes puntos del fundo “Alimentos naturales” siguiendo la metodología para toma de muestras foliares (Centro Tecnológico Cinco Villas, 2016)

En el laboratorio se separaron las hojas de los peciólulos, posteriormente se realizó un lavado con 6.5 ml de hipoclorito de sodio al 0.1% en 5 litros de agua, agitando durante dos minutos para retirar impurezas y materias extrañas, finalmente se enjuagó tres veces con abundante agua.

En cada bandeja del secador (tres bandejas) se pesaron y colocaron 100 gramos de hoja de moringa, posteriormente al secado, fueron molidas en un molino (IKA M20), por un tiempo de 40 segundos. Finalmente, las muestras fueron almacenadas en bolsas selladas al vacío utilizando una selladora (Vacupack classic).

3.2.1.3. Extracción de los compuestos bioactivos

Los compuestos bioactivos de moringa se extrajeron usando agua destilada como solvente, se usó agua destilada ya que en comparación con otros solventes como metanol al 80%, acetonitrilo al 70% y ácido acético al 4%, el agua destilada muestra una mejor extracción de polifenoles en la moringa oleífera (García, 2017).

Se pesaron 0.2 gramos de cada muestra en 7 ml de agua destilada, esta relación soluto-disolvente de 1:35 (m/v) es una buena condición para la extracción de polifenoles por contacto sólido-líquido (Valdés et al., 2015), posteriormente se llevaron las muestras al ultrasonido (40 kHz) por un tiempo de 20 minutos, a una temperatura de 50°C. Finalmente se centrifugaron las muestras utilizando una centrífuga (Digicen 21 R) a 5000 rpm por un tiempo de 10 minutos.

3.2.1.4. Determinación de polifenoles totales

La determinación de polifenoles totales se realizó mediante el método Folin Ciocalteu, modificado por (Kraujalytė et al., 2015), para reducir la cantidad de reactivos.

Se elaboró una recta de calibrado, para ello se prepararon 6 concentraciones diferentes de ácido gálico (0.01, 0.02, 0.05, 0.10, 0.20 y 0.40 mg/ml), posteriormente a partir de estas concentraciones se tomaron 100 μ L por triplicado, se añadió 1 ml de reactivo Folin-Ciocalteu diluido 10 veces y se dejó reposar por 4 minutos de incubación en la oscuridad. Luego de transcurrir los 4 minutos, a cada tubo se añadió 1 ml de carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 7% y 400 μ L de agua destilada, dejando nuevamente incubar durante de 90 minutos en la oscuridad a temperatura ambiente.

Finalmente, luego de la incubación se realizó la lectura de la absorbancia a 760 nm en el lector multimodal, utilizando como blanco un tubo con todos los componentes a excepción del ácido gálico que es reemplazado con 100 μ L de agua destilada.

La ecuación que rige la recta de calibrado tuvo la siguiente forma:

$$y = A(x) + B$$

$$\text{Absorbancia 760 nm} = A(\text{Concentración}) + B$$

Para el conteo de compuestos fenólicos totales presentes en las muestras de moringa, se realizó un procedimiento análogo al procedimiento de la

recta de calibrado, sustituyendo únicamente los 100 μ L de ácido gálico por 100 μ L de muestra extraída previamente. Los resultados del análisis son expresados en miligramos de equivalentes de ácido gálico por gramo de peso seco de la muestra (mg EAG/ g PS).

3.2.1.5. Determinación de capacidad antioxidante (Método DPPH)

La determinación de la capacidad antioxidante por el método DPPH se inició con la preparación de una solución de DPPH 1 mM (20 mg de DPPH en 50 ml de metanol absoluto), posteriormente se diluyó con metanol hasta alcanzar valores de absorbancia cercanos a 0,800.

La recta patrón de Trolox se elaboró a partir de la preparación de una solución madre de Trolox 2 mM (12.5 mg de ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilchroman-2-carboxílico en 25 ml de metanol), posteriormente a partir de esta solución se prepararon seis soluciones a diferentes concentraciones (50, 100, 200, 500, 1000 y 2000 μ M). Utilizando metanol como blanco, se midió la absorbancia inicial (A_0) del radical DPPH y las absorbancias de las seis concentraciones a una longitud de onda de 515 nm, por triplicado y sin tiempo de incubación, tomando 10 μ l de cada concentración del estándar antioxidante y 190 μ l de DPPH en los pocillos de la microplaca.

Las muestras siguen un procedimiento análogo, cambiando únicamente los 10 μ l del estándar antioxidante por 10 μ l del extracto de moringa. La diferencia de color, pasando de morado a un color amarillento, es medida

y cuantificada como porcentaje de reactivo DPPH reducido mediante la fórmula:

$$\% DPPH \text{ reducido} = \frac{A_o - A_m}{A_o} * 100$$

Donde:

Am: Absorbancia de la muestra

3.2.1.6. Determinación de capacidad antioxidante (Método ABTS)

La determinación de capacidad antioxidante por el método ABTS se inició con la formación del radical oxidado ($ABTS^{+\bullet}$), para ello se prepara una solución de ABTS 7 mM (36 mg en 10 ml de agua destilada) y se hizo reaccionar con persulfato de potasio 2,45 mM (16.5 mg en 25 ml de agua destilada) ambas soluciones en igual proporción (2 ml cada uno), posteriormente se deja reposar durante 12-16 horas en oscuridad a temperatura ambiente.

Luego de transcurrir el tiempo requerido, la disolución formada se diluye en etanol absoluto hasta obtener una absorbancia próxima a 0,700 (Re et al., 1999).

La curva patrón de Trolox se elaboró a partir de una solución madre de Trolox 2.5 mM (15.6 mg de Trolox en 25 ml de etanol), a partir de esta concentración se prepararon diferentes concentraciones (0, 156.25, 312.5, 625, 1250 y 2500 μ M). Utilizando etanol absoluto como blanco,

se realizó la lectura de absorbancias a 734 nm, haciendo reaccionar 20 µl de cada concentración del estándar con 980 µl de ABTS por seis minutos.

El procedimiento para la lectura de extractos de moringa es análogo al de la curva de calibrado, cambiando únicamente los 20 µl de estándar antioxidante por 20 µl del extracto de la muestra previamente diluida, cada lectura se realizó por triplicado.

El reactivo ABTS en el radical oxidado presenta inicialmente un color verde azulado, este color a medida que se va reduciendo se vuelve incoloro. Esta diferencia de color es la que permite cuantificar el porcentaje de reactivo ABTS reducido, utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ ABTS reducido} = \frac{A_o - A_m}{A_o} * 100$$

Donde:

Am: Absorbancia de la muestra

3.2.2. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Los datos recopilados fueron analizados de manera descriptiva e inferencial, para probar la veracidad o no de las hipótesis planteadas en la investigación, con la finalidad de dar respuestas a los objetivos planteados se usó el software estadístico Minitab 18.

Para conocer la influencia de los factores y la interacción de los mismos sobre el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante se realizó el Análisis de Varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de 0.05.

Se realizó también una prueba de optimización de múltiples respuestas con la finalidad de conocer los valores óptimos de cada factor de estudio, que aseguren un mayor contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en las hojas de moringa después del secado.

Para determinar la relación lineal existente entre el contenido de compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante, se trabajó con el estadístico de correlación (coeficiente de correlación de Pearson) a un nivel de significancia de 0.05. El coeficiente es determinado por la siguiente fórmula.

$$r_{xy} = \frac{\sum Z_X Z_Y}{N}$$

Dónde:

Y: Variable (capacidad antioxidante)

X: Variable (compuestos fenólicos)

Para la prueba de la hipótesis estadística se plantea:

Ho: No existe relación entre las variables de estudio capacidad antioxidante y compuestos fenólicos.

Ha: Existe relación entre las variables de estudio capacidad antioxidante y compuestos fenólicos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Composición química

Se analizó la composición química de las hojas de moringa en estado fresco y después del secado, los datos se muestran en la *tabla 8*.

Tabla 8

Análisis químico de las hojas de moringa fresca y secada (g/100g)

Componente	Moringa	
	Fresca	Secada
Humedad	80.07 ± 0.06	8.68 ± 0.59
Proteínas	5.16 ± 0.30	25.58 ± 1.33
Grasas	1.12 ± 0.11	4.92 ± 0.38
Cenizas	2.01 ± 0.08	8.84 ± 0.39
Carbohidratos	11.64	51.98

La humedad de la moringa fresca mostrada en la *tabla 8*, hace referencia a la humedad presente en su estado natural, cuando las hojas son desinfectadas y lavadas esta humedad sube hasta 83.1% antes de ser colocadas en el secador.

Se observa un alto contenido de proteínas, la moringa deshidratada contiene (25,58 g/100 g de muestra), esta cantidad se encuentra muy cerca del rango encontrado por (Quintanilla et al., 2018), quién evaluó el contenido de proteínas en moringa secada a temperaturas entre 40 y 60°C, demostrando que se da una pequeña disminución del

3.6% al aumentar de 40 a 60°C, dicho estudio obtuvo un contenido de proteínas entre 25.6 y 31.5%. Otra investigación realizada por (González, 2018) señala un rango del contenido de proteínas en las hojas de moringa deshidratada, variando desde el 19 al 27.1%, los datos obtenidos se encuentran dentro de mencionado rango. A modo de comparación, la moringa posee un mayor contenido de proteínas respecto a alimentos de origen vegetal como la quinua, sorgo y harina de trigo con 13.6, 8.0 y 7.9 g/ 100 g (Ministerio de Salud, 2017), también supera a alimentos de origen animal como la carne de vacuno (21.4 g/ 100 g muestra) y la carne de ave (20 g/100 g muestra) (Alvarez, 2017).

En contenido de grasas obtenido en las hojas de moringa deshidratadas (4.92 g/100 g de muestra), se encuentra cercano a los determinados por (RSA-CONICET, 2016) y (Guzmán et al., 2015) con (4.62 g/100 g de muestra) y (5.6 g/100 g de muestra) respectivamente. El contenido de grasas se encuentra dentro del rango determinado también por (González, 2018) que señala un contenido de grasas entre 4.7 y 5% presente en las hojas de moringa.

En los alimentos los minerales generalmente son expresados en función de las cenizas, la moringa alcanzó un contenido de cenizas de 2.01 y 8.84 g/100 g en su estado fresco y deshidratado respectivamente, el contenido de cenizas después del secado es menor al rango señalado por (González, 2018) con un contenido de cenizas entre el 13.2 y 14.6% para las hojas de moringa, sin embargo, se asemeja al determinado por (RSA-CONICET, 2016) con un contenido (9.83 g/100 g) para hojas de seis años después del secado y 2.12 g/100 g para hojas de moringa en estado fresco.

Por otro lado, el contenido de cenizas determinado supera al contenido encontrado en otros alimentos como la arveja seca (2.4 g/100), soya (5.9 g/100) y frejol (3.9 g/100) (Alvarez, 2017); harinas de quinua trigo con 2.8 y 2.0 g/100 g respectivamente (Ministerio de Salud, 2017)

De manera similar a otros alimentos, la composición química bromatológica de las hojas de moringa tiene variaciones debido a varios factores, algunos de ellos son: la edad de la planta de la que se obtienen las hojas ((RSA-CONICET, 2016), la altura de la planta que se recolectan las hojas (Guzmán et al., 2015) y el lugar en la que se cultive la moringa (García, 2017) que tendrá relación con el clima y tipo de suelo.

4.2. Determinación de polifenoles

Se determinó el contenido de compuestos fenólicos de la hoja de moringa fresca y deshidratada en los nueve tratamientos, los cuales se muestran en las tablas 9 y 10.

Tabla 9

Contenido de compuestos fenólicos en moringa fresca

ANÁLISIS	Contenido (mg EAG/g)
Polifenoles totales	18.598 ± 0.089

La moringa posee un alto contenido en compuestos fenólicos en estado fresco y después de emplearse un secado. En su estado fresco se encontró 18.598 mg EAG/g, este contenido de polifenoles de moringa fresca supera al contenido de determinado

para pulpas de frutas como uva, fresa, piña, maracuyá y mango con 1.171, 1.321, 0.217, 0.20 y 5.44 mg EAG/g respectivamente (Kuskoski et al., 2005).

Tabla 10

Contenido de compuestos fenólicos en moringa secada

Tratamiento	Temperatura (°C)	Velocidad de Aire (m/s)	Contenido (mg EAG/g)
T1	50	0.6	17.397 ± 0.232
T2	60	0.6	12.605 ± 0.160
T3	70	0.6	13.054 ± 0.543
T4	50	0.7	16.27 ± 0.469
T5	60	0.7	15.082 ± 0.042
T6	70	0.7	9.059 ± 0.533
T7	50	0.8	11.895 ± 0.403
T8	60	0.8	16.006 ± 0.769
T9	70	0.8	11.225 ± 0.261

En la *tabla 10* se muestra el contenido de polifenoles totales de los nueve tratamientos, para efectos de comparación sobre cómo influye el secado sobre los polifenoles presentes en moringa, en su estado fresco se obtuvo un contenido de polifenoles de 18.598 mg EAG/g, mientras que después del secado se tienen valores entre 9.059 y 17.397 mg EAG/g correspondientes a los tratamientos T6 y T1 respectivamente, si bien para el primer tratamiento es despreciable la pérdida para los demás tratamientos se tienen pérdidas entre el 6.5 y 51.3%.

El contenido de polifenoles en moringa supera a los encontrados en frutas como el tumbo (*Passiflora tripartida*) y palta Hass (*Persea America Mill*) con 6.35 y 5.82 mg EAG/g (Moreno et al., 2015). Así también supera a frutos deshidratados como aguaymanto (*Physalis peruviana L.*) que contiene entre 0.0335 y 0.050 mg EAG/g (Ponce y Rodríguez, 2014).

En la investigación realizada por (García, 2017) se evaluó el contenido de polifenoles en la hoja de moringa, evaluando la influencia del lugar de origen de la moringa y el tipo de solvente al momento de extraer los compuestos bioactivos, se obtuvo como resultado un contenido de polifenoles entre 17.966 y 23.015 mg EAG/g, los datos obtenidos en la investigación se encuentran muy cerca de dicho rango.

Una investigación realizada por (Valdés et al., 2015), se estudiaron diferentes parámetros de operación, entre ellos temperatura, concentración de etanol y relación soluto-disolvente, para conocer la influencia que estos tenían en el contenido de polifenoles totales, tras las diferentes combinaciones obtuvieron valores entre 11,38 y 20,67 mg EAG/g, valores también similares a los obtenidos en la investigación.

Algunos de los factores que intervienen en la variación del contenido de compuestos fenólicos en las hojas de moringa son el ecotipo, estado de desarrollo y la parte de la planta de la que son obtenidas las hojas (Förster et al., 2015). En este sentido las hojas del estudio fueron recolectadas a un metro y medio del suelo.

En la *tabla 11* se muestra el análisis de varianza para polifenoles realizado a los diferentes tratamientos.

Tabla 11*Análisis de varianza para compuestos fenólicos*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	2	86.704	43.3519	229.41	0.000
Velocidad	2	8.032	4.0158	21.25	0.000
Temperatura*Velocidad	4	85.200	21.3000	112.71	0.000
Error	18	3.402	0.1890		
Total	26	183.337			

En la *tabla 11* se observa que, para un nivel de confianza del 95%, tanto la temperatura, como la velocidad de aire de secado y la interacción de ambas variables tienen un p-valor menor a 0.05, rechazándose las hipótesis nulas, por tanto, existe efectos principales significativos, así como también se observa que existe influencia de la interacción de las variables sobre el contenido de compuestos fenólicos.

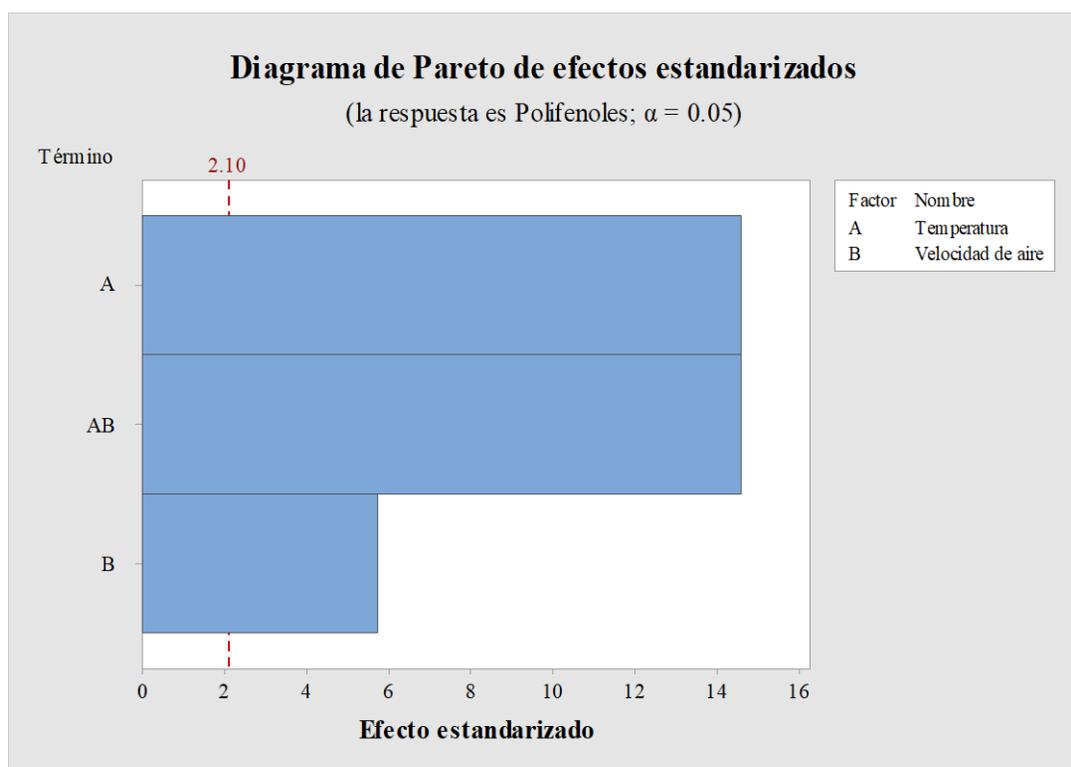
El valor R^2 muestra que el modelo explica un 98.14% de la varianza en los compuestos fenólicos, lo que indica que el modelo se ajusta extremadamente bien a los datos obtenidos.

En la *figura 6* se muestra de manera visual, los valores absolutos de los efectos estandarizados mediante el diagrama de Pareto de efectos estandarizados, donde las variables de estudio y la interacción de ambas tienen efectos estadísticamente

significativos al pasar la línea de referencia que está en 2.10, las variables por separado presentan una mayor significancia que la interacción de ambas.

Figura 6

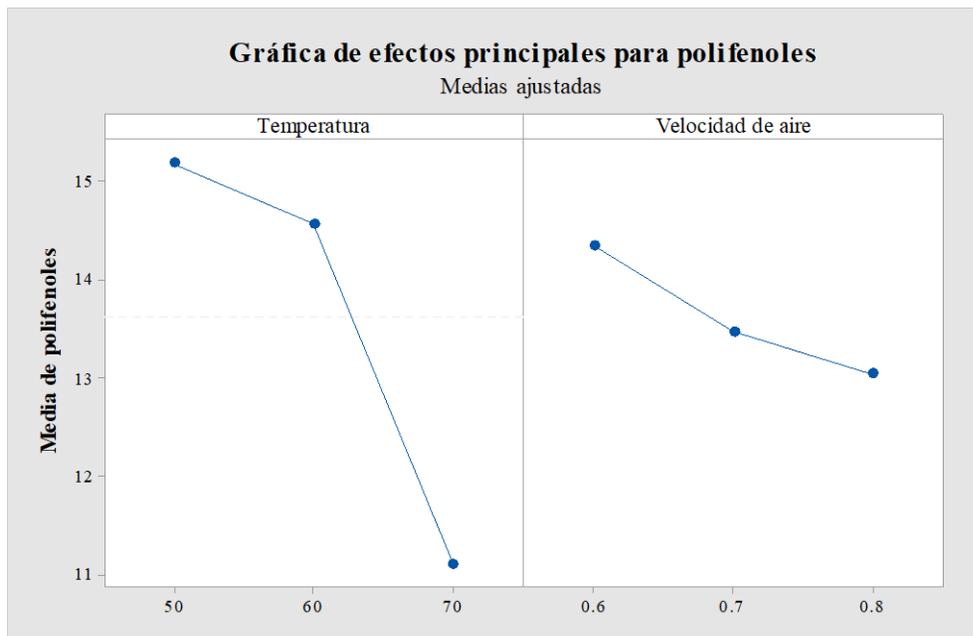
Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de polifenoles



En la *figura 7* se muestra la gráfica de los efectos principales que muestra las diferencias entre las medias de nivel para los factores temperatura y velocidad de aire de secado. A medida que hay un incremento en la temperatura el contenido de polifenoles disminuye en cada nivel. La velocidad de aire tiene un comportamiento similar, aunque con un menor pronunciamiento.

Figura 7

Gráfica de efectos principales para Polifenoles



En la *figura 8* se muestran las interacciones de los factores mediante la gráfica de interacción, la moringa tiene un mayor contenido en polifenoles cuando es secada a menor temperatura, en 50 °C conserva un mayor contenido de polifenoles usando una velocidad de aire de 0.6 m/s, el secado a 60 °C conserva un mayor contenido de polifenoles con una velocidad de aire de 0.8, finalmente, secada a 70 °C conserva un mayor contenido de polifenoles usando una velocidad de aire de 0.6 m/s.

En la *figura 9* muestra la relación ajustada de los polifenoles con las dos variables de estudio en un gráfico de contorno, se observa que los valores más altos de compuestos fenólicos se encuentran en la esquina inferior izquierda.

Figura 8

Gráfica de interacción de los niveles de los factores para polifenoles

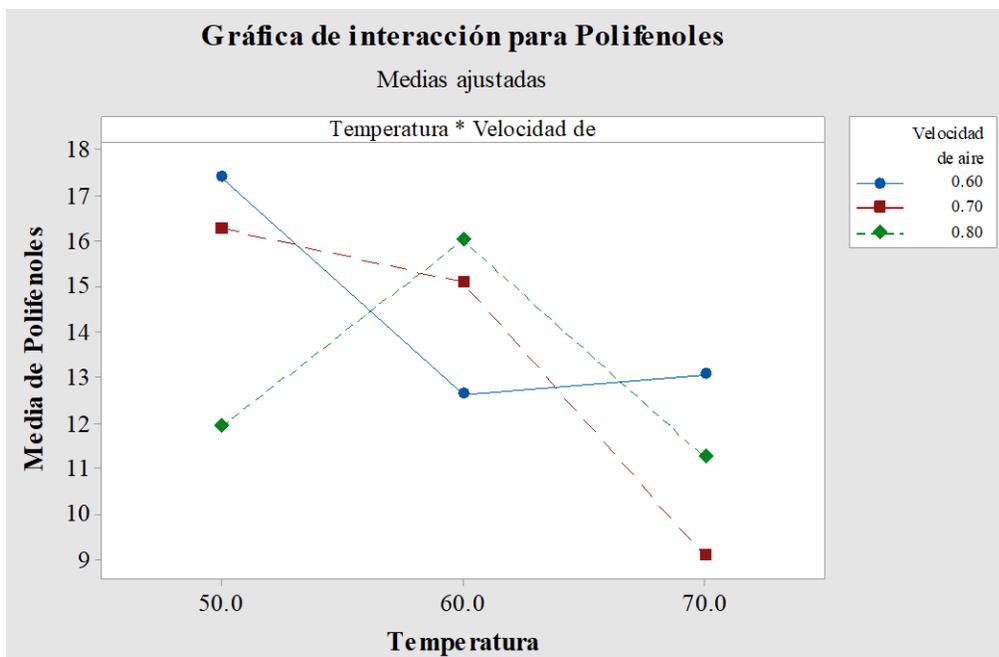
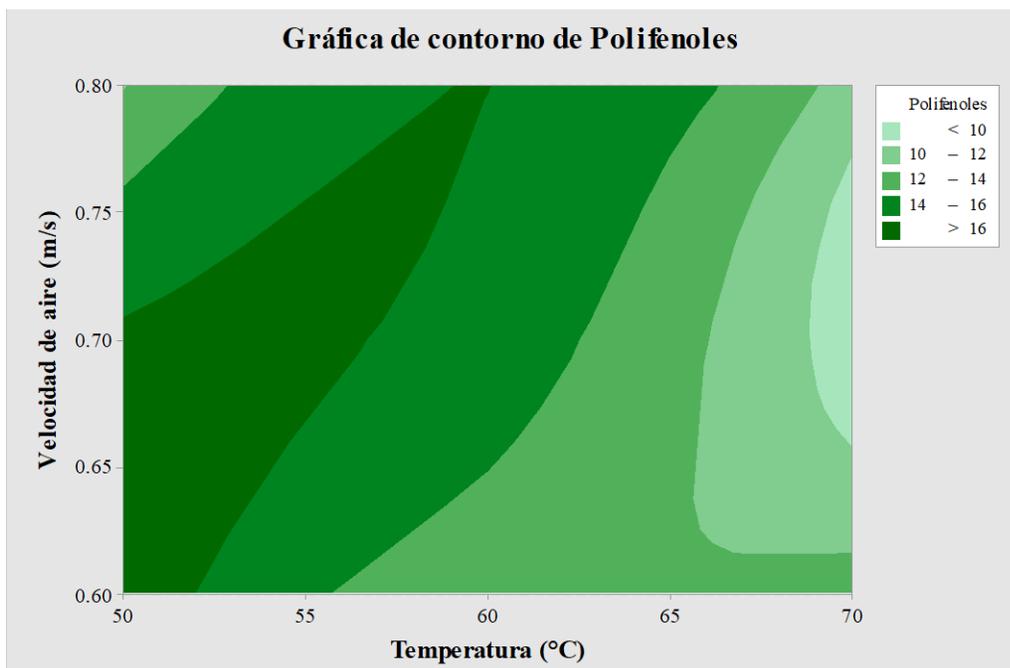


Figura 9

Gráfica de contorno para Polifenoles



4.3. Determinación de Capacidad antioxidante (Método DPPH)

La capacidad antioxidante determinada por el método DPPH expresada en $\mu\text{mol TE/g}$ de moringa fresca y secada en los diferentes tratamientos se muestran en la tabla 12 y 13 respectivamente.

Tabla 12

Capacidad antioxidante de la hoja de moringa fresca (DPPH)

ANÁLISIS	Contenido ($\mu\text{mol TE/g}$)
Capacidad antioxidante	68.080 ± 6.526

Tabla 13

Capacidad antioxidante de la hoja de moringa secada (DPPH)

Tratamiento	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Velocidad de aire (m/s)	Contenido ($\mu\text{mol TE/g}$)
T1	50	0.6	50.369 ± 1.698
T2	60	0.6	49.291 ± 3.576
T3	70	0.6	52.849 ± 1.577
T4	50	0.7	51.772 ± 3.958
T5	60	0.7	45.411 ± 2.369
T6	70	0.7	37.379 ± 1.501
T7	50	0.8	47.997 ± 1.641
T8	60	0.8	55.059 ± 1.912
T9	70	0.8	44.332 ± 1.897

Las hojas de moringa en su estado fresco contienen 68.080 $\mu\text{mol TE/g}$ de muestra, este valor supera a la capacidad antioxidante por el método DPPH encontrado en pulpa de frutas como uva, fresa, piña y maracuyá y mango con 8.5, 10.5, 0.6 y 1.02 y 12.9 $\mu\text{mol TE/g}$ (Kuskoski et al., 2005).

Por otro lado, la moringa deshidratada en los tratamientos obtuvo valores de capacidad antioxidante entre 37.379 y 55.059 $\mu\text{mol TE/g}$, pertenecientes a los tratamientos T6 y T8 respectivamente. Por lo tanto, considerando los valores mencionados, el secado influye en la pérdida de capacidad antioxidante entre el 19.13 y 45.10 %.

La capacidad antioxidante de las hojas de moringa deshidratadas supera ampliamente a los determinados por (Moreno et al., 2015) en frutos liofilizados como la palta Hass (Persea America Mill), con un valor de 1.65 $\mu\text{mol TE/g}$ en base húmeda, también superan a la capacidad antioxidante de frutos deshidratados como el aguaymanto que fluctúa entre 2.27 y 2.70 $\mu\text{mol TE/g}$ (Ponce y Rodríguez, 2014)

Una investigación realizada por (Valdés et al., 2015), estudió diferentes parámetros de operación, entre ellos temperatura de secado (50, 60 y 70 °C) sobre la capacidad antioxidante de las hojas de moringa, obtuvieron valores entre 25.54 y 53.72 $\mu\text{mol TE/g}$, estos valores son similares a los obtenidos en el trabajo.

Más tarde, otra investigación realizada por (García, 2017) evaluó la capacidad antioxidante en hojas de moringa obtenidas de diferentes lugares, secadas a 70 °C por 48 horas, usando el método DPPH y Trolox como estándar antioxidante, se determinaron valores entre 34,633 y 58,699 $\mu\text{mol TE/g}$, los valores encontrados se encuentran dentro de este rango.

Tabla 14*Análisis de varianza para capacidad antioxidante (DPPH)*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	2	158.0	78.983	13.77	0.000
Velocidad	2	171.0	85.497	14.90	0.000
Temperatura*Velocidad	4	352.5	88.123	15.36	0.000
Error	18	103.3	5.738		
Total	26	784.7			

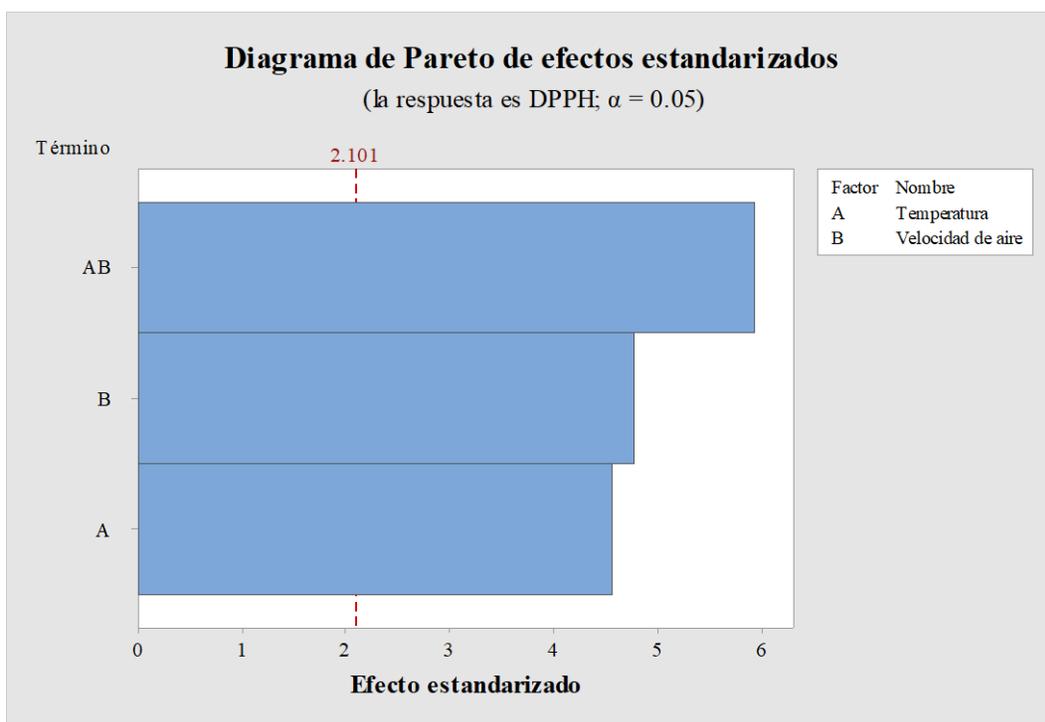
En la *tabla 14* se muestra el análisis de varianza para la capacidad antioxidante por el método DPPH, para un nivel de significancia de 0.05, se observa que la temperatura, velocidad de aire de secado y la interacción de ambas poseen un p-valor menor a 0.05, por lo tanto, sus efectos son estadísticamente significativos.

El valor R^2 muestra que el modelo explica un 86.84 % de la varianza en la capacidad antioxidante por el método DPPH, lo que indica que el modelo tiene un buen ajuste respecto a los datos obtenidos.

En la *figura 10* se muestra el diagrama de Pareto de efectos estandarizados, si bien las variables y su interacción son significativas (cruzan la línea de referencia en 2.101), se observa que la interacción entre temperatura y velocidad de aire secado tiene una mayor importancia al presentar un mayor valor absoluto de los efectos.

Figura 10

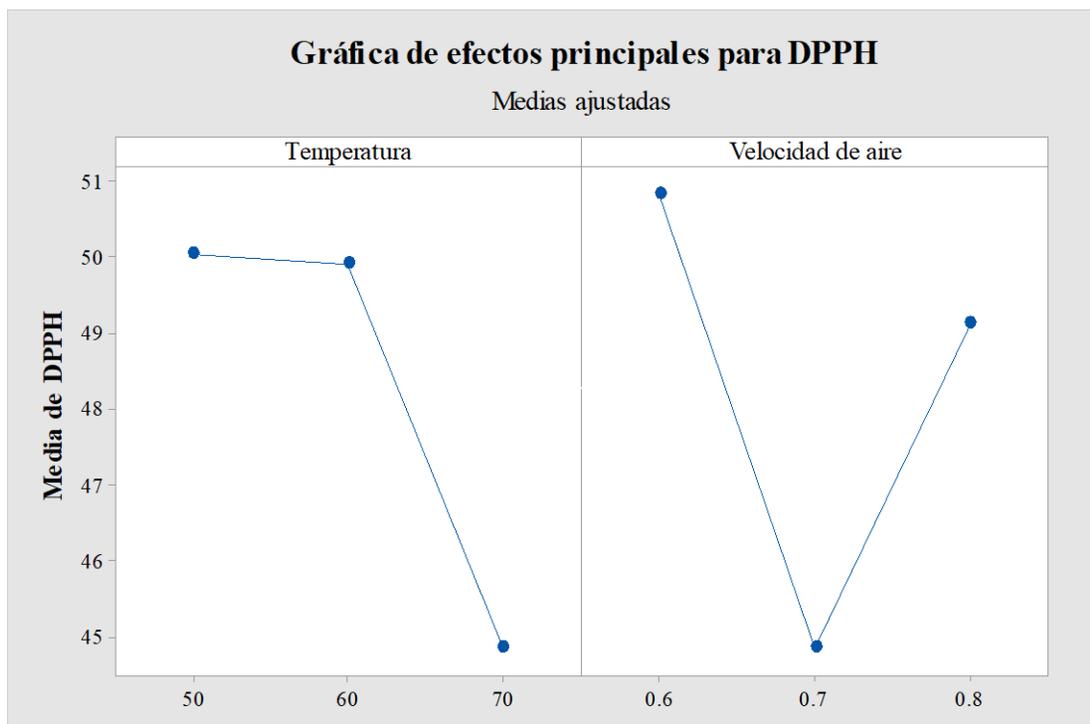
Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para Capacidad antioxidante (DPPH)



En la *figura 11* se muestra la gráfica de los efectos principales, se observa que a medida que aumenta la temperatura de secado se tiene una disminución en la capacidad antioxidante, este cambio es más notorio al variar de la temperatura 60 a 70°C. Por otro lado, la variable aire de secado presenta una disminución en la capacidad antioxidante cuando fluctúa de 0.6 a 0.7 m/s, posteriormente, cuando la velocidad de aire aumenta de 0.7 a 0.8 m/s, se observa un incremento en la capacidad antioxidante.

Figura 11

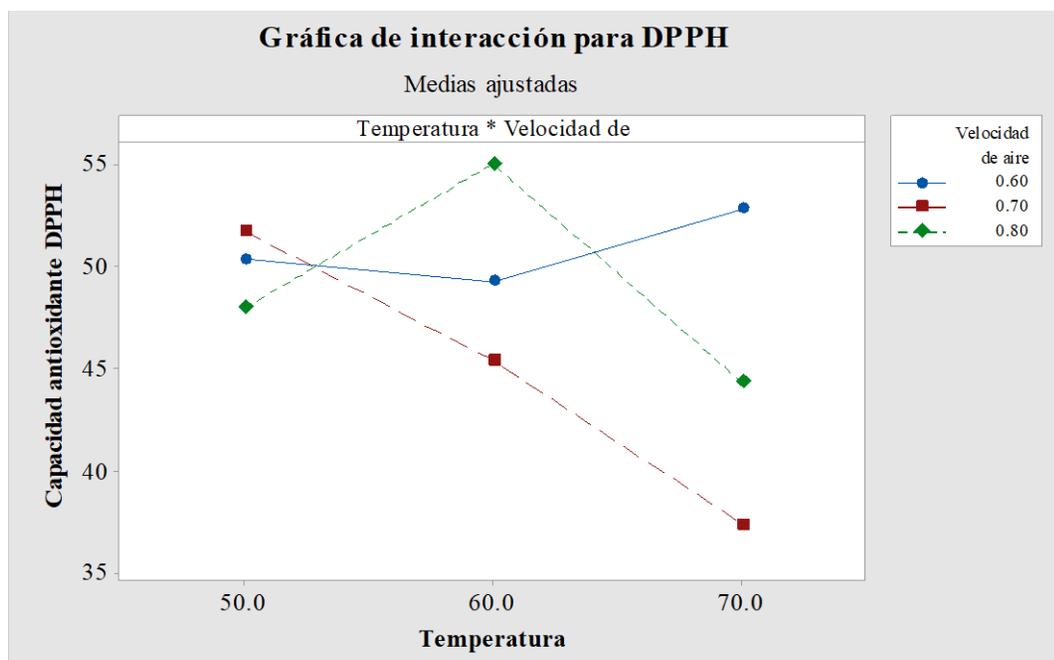
Gráfica de efectos principales sobre la capacidad antioxidante (DPPH)



En la *figura 12* se muestran las interacciones de los factores mediante la gráfica de interacción, donde se muestra de mejor manera como se relacionan ambas variables ajustadas sobre la capacidad antioxidante en la moringa, cuando se seca a 50 °C, la velocidad de aire que mejor ayuda a tener una mayor capacidad antioxidante es 0.70 m/s, a medida que aumenta la temperatura se ve mejor las interacciones de las variables (diferencia en la pendiente entre las líneas), de manera que a una temperatura de 60 °C es la velocidad 0.80 m/s la que ayuda a conservar una mayor capacidad antioxidante, finalmente un secado a 70 °C también brinda una mayor capacidad antioxidante interactuando con 0.60 m/s.

Figura 12

Gráfica de interacción de los niveles de los factores para capacidad antioxidante (DPPH)

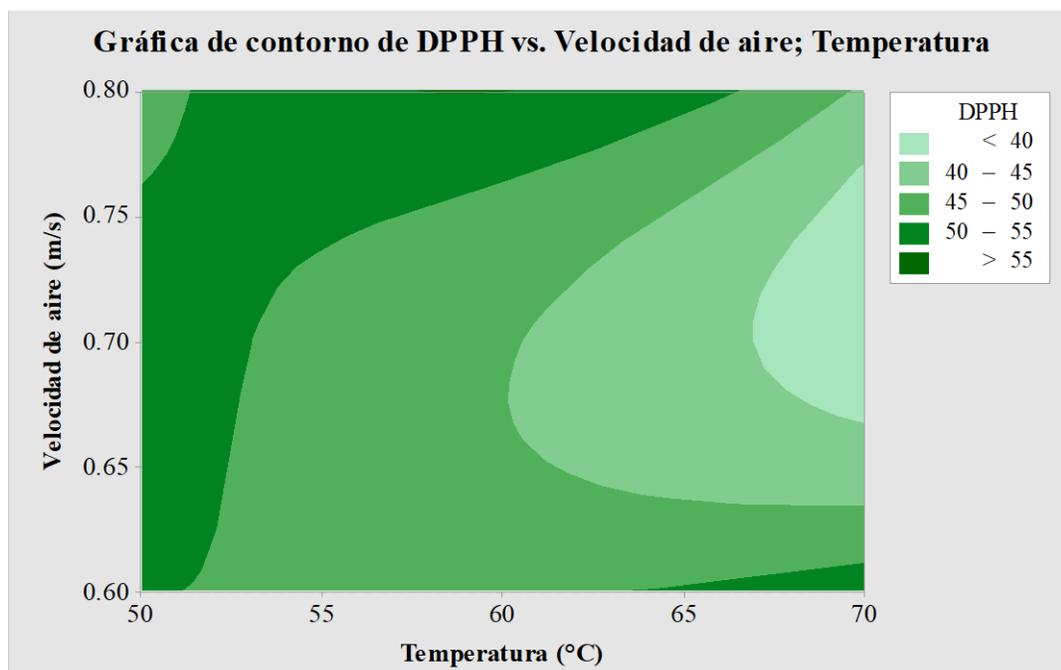


En la gráfica de contorno de la *figura 13* las zonas más oscuras indican un mayor contenido de capacidad antioxidante, estas se encuentran en la zona superior izquierda y ligeramente en la zona inferior derecha.

Los valores mostrados en la parte céntrica de la gráfica, señalan una mayor pérdida de capacidad antioxidante durante el secado, finalmente la parte derecha superior (mayor temperatura y velocidad de aire), muestra una tendencia a una mayor pérdida de capacidad antioxidante.

Figura 13

Gráfica de contorno para capacidad antioxidante (DPPH)



4.4. Determinación de Capacidad antioxidante (Método ABTS)

La capacidad antioxidante determinada mediante el método ABTS expresada en $\mu\text{mol TE/g}$ de moringa fresca y seca de los diferentes tratamientos se muestran en la tabla 15 y 16 respectivamente.

Tabla 15

Capacidad antioxidante de la hoja de moringa fresca (ABTS)

ANÁLISIS	Contenido ($\mu\text{mol TE/g}$)
Capacidad antioxidante	398.713 ± 12.266

Tabla 16*Capacidad antioxidante de la hoja de moringa secada (ABTS)*

Tratamiento	Temperatura (°C)	Velocidad de aire (m/s)	Contenido ($\mu\text{mol TE/g}$)
T1	50	0.6	228.284 \pm 1.129
T2	60	0.6	203.622 \pm 5.479
T3	70	0.6	233.216 \pm 2.469
T4	50	0.7	235.313 \pm 1.721
T5	60	0.7	195.284 \pm 1.721
T6	70	0.7	160.562 \pm 2.767
T7	50	0.8	241.725 \pm 1.096
T8	60	0.8	237.452 \pm 1.194
T9	70	0.8	192.041 \pm 0.822

La moringa muestra una capacidad antioxidante de 398.713 $\mu\text{mol TE/g}$ en su estado fresco mediante el método ABTS, estos valores superan a la capacidad antioxidante de pulpas de algunas frutas como uva, fresa, piña, maracuyá y mango con 9.2, 12.0, 3.4, 2.7 y 13.2 $\mu\text{mol TE/g}$ determinadas por el mismo método (Kuskoski et al., 2005).

En los diferentes tratamientos de secado se obtuvieron valores de capacidad antioxidante entre 195.284 y 241.725 $\mu\text{mol TE/g}$, indicando esto pérdidas entre el 39.27 y 51.03 %, respecto a su estado fresco.

Una investigación realizada por (García, 2017) evaluó la capacidad antioxidante en hojas de moringa obtenidas de diferentes lugares, secadas a 70 °C por 48 horas,

usando el método ABTS y Trolox como estándar antioxidante, se determinaron valores entre 138.809 y 214.667 $\mu\text{mol TE/g}$, un rango muy similar al determinado en la investigación.

Tabla 17

Análisis de varianza para la capacidad antioxidante (ABTS)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	2	7196.9	3598.47	596.49	0.000
Velocidad	2	3972.4	1986.20	329.24	0.000
Temperatura*Velocidad	4	7255.9	1813.97	300.69	0.000
Error	18	108.6	6.03		
Total	26	18533.8			

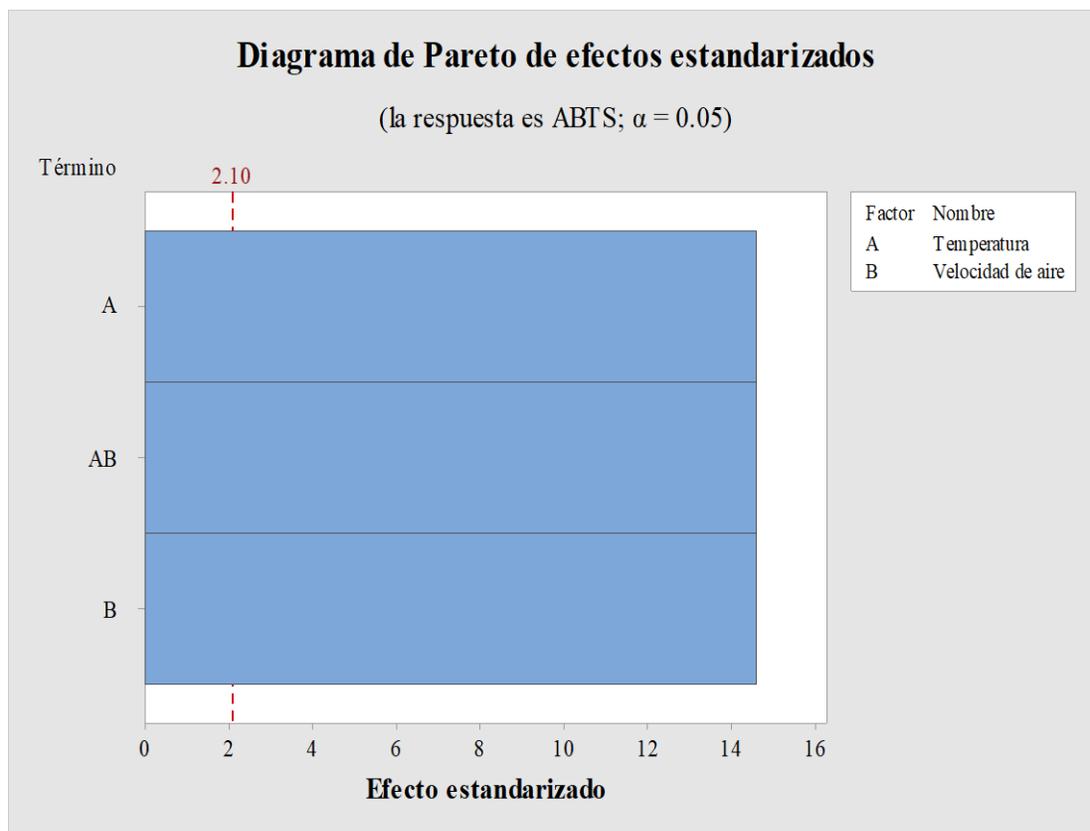
En la *tabla 17* se muestra el análisis de varianza, donde el p-valor de la temperatura, velocidad de aire y la interacción de ambos son menores al nivel de significancia de 0.05, por tanto, los efectos son significativos.

El valor R^2 muestra que el modelo explica un 99.41 % de la varianza en la capacidad antioxidante por el método ABTS, esto señala que el modelo se ajusta extremadamente bien a los datos.

En la *gráfica 14* se muestra el diagrama de Pareto de efectos estandarizados, las variables y su interacción son significativas al cruzar la línea de referencia en 2.10, y las tres tienen igual efectos tiene la misma importancia.

Figura 14

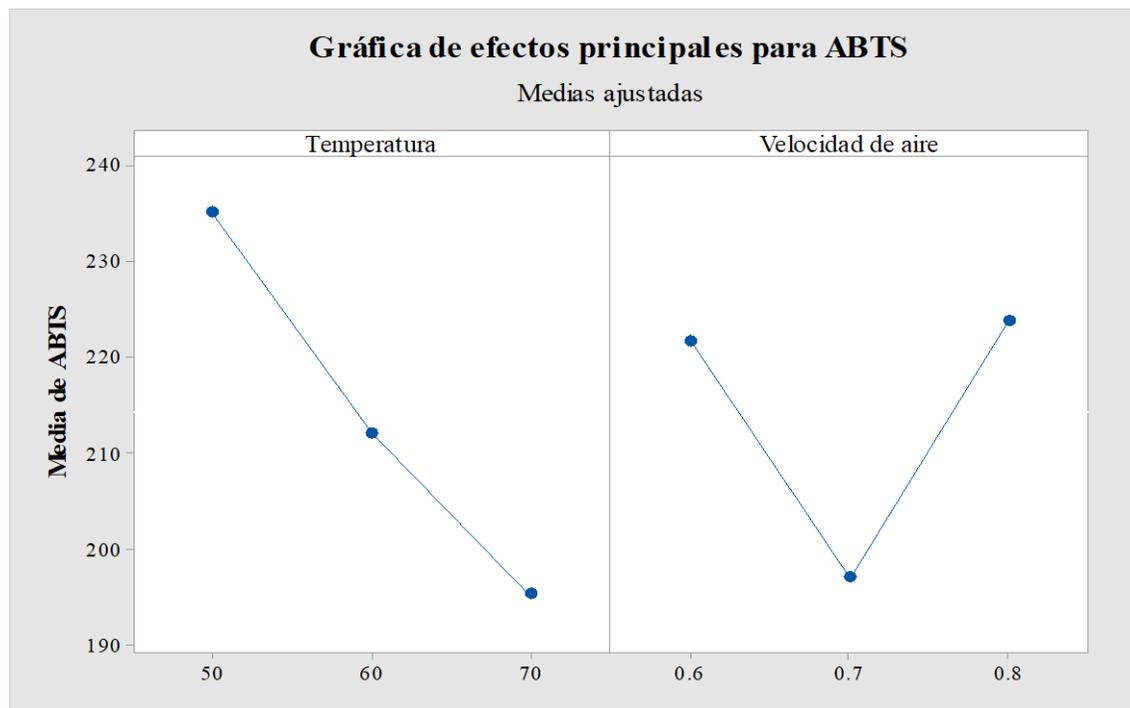
Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para Capacidad antioxidante (ABTS)



En la *gráfica 15* se muestra los efectos principales, se observa la disminución de la capacidad antioxidante a medida que se incrementa la temperatura de secado, mientras que la velocidad de aire de secado muestra una disminución en la capacidad antioxidante de 0.6 a 0.7 m/s, luego al incrementarse la velocidad de 0.7 a 0.8 m/s se observa un incremento en la capacidad antioxidante.

Figura 15

Gráfica de efectos principales sobre la capacidad antioxidante (ABTS)

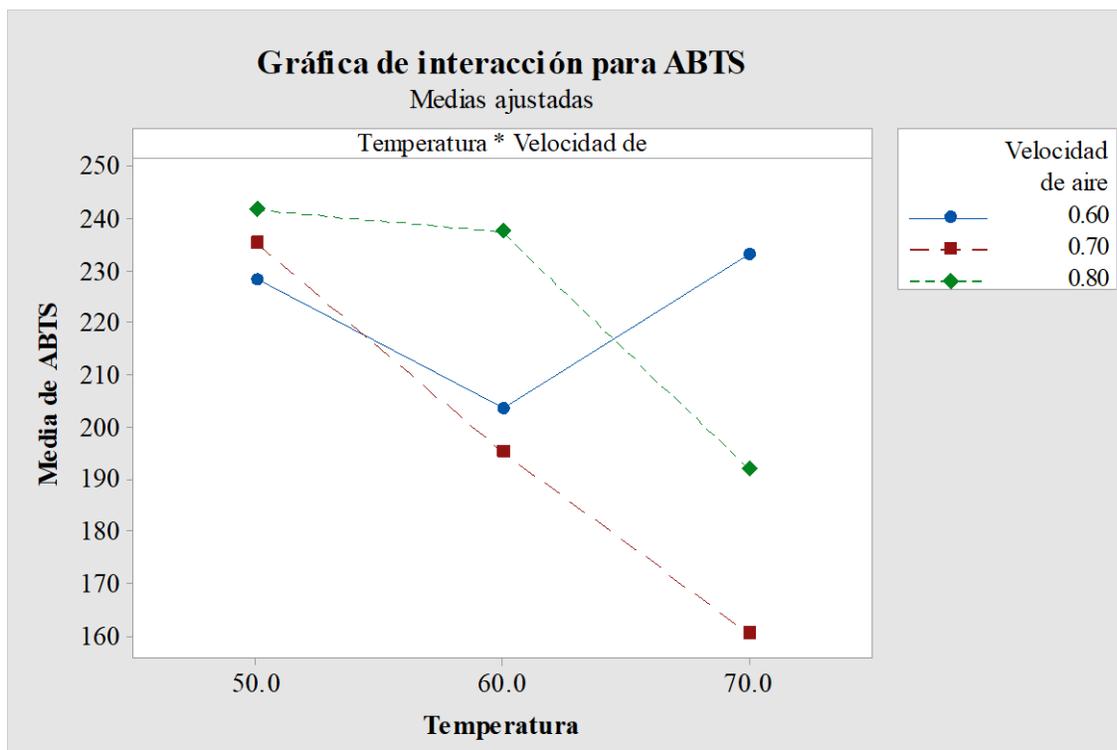


En la *figura 16* se muestran las interacciones de los factores mediante la gráfica de interacción, las líneas no son paralelas entre sí, por tanto, existe una interacción entre los factores de estudio.

Se observa que a 50 °C se tiene una mayor conservación de capacidad antioxidante usando una velocidad de aire de 0.80 m/s, a una temperatura de 60 °C usando una velocidad de aire de 0.80 m/s, mientras que una temperatura de secado de 70 °C conserva mejor la capacidad antioxidante cuando se usa una velocidad de aire de 0.60 m/s.

Figura 16

Gráfica de interacción de los niveles de los factores para capacidad antioxidante (ABTS)



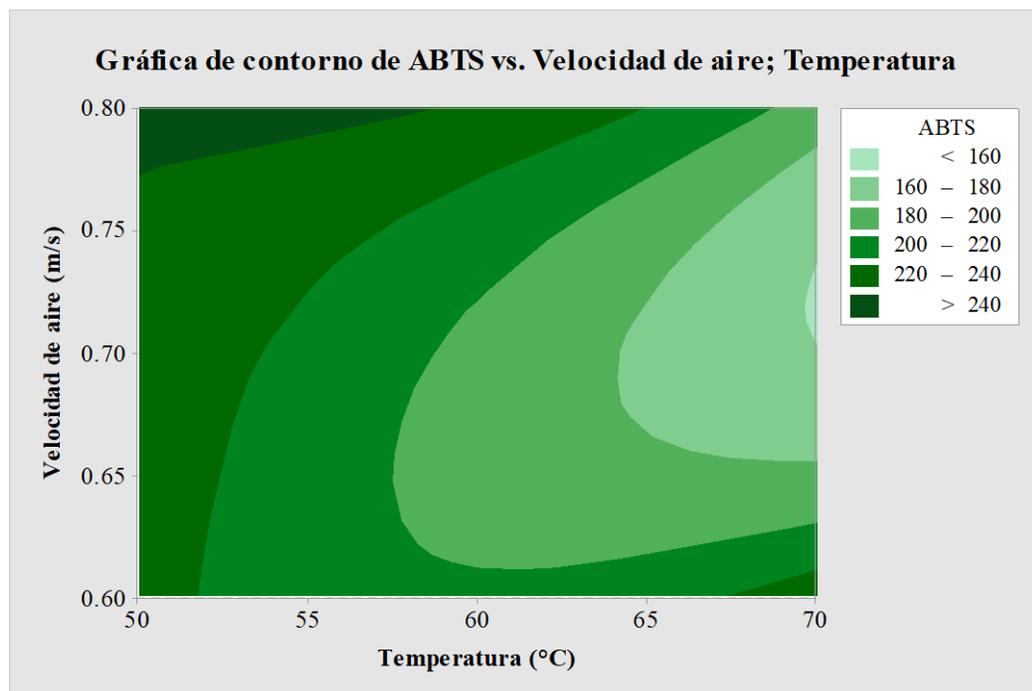
En la *figura 17* se muestra la gráfica de contorno para capacidad antioxidante por el método ABTS, se observa un patrón similar al de cresta ascendente.

La capacidad antioxidante se conserva mejor en la esquina superior izquierda (menor temperatura y mayor velocidad de aire), mientras que en la parte central y derecha (mayor temperatura) es la que señala una mayor pérdida de capacidad antioxidante en el secado.

Estas pérdidas pueden estar relacionadas con la pérdida de compuestos como los flavonoides, que poseen una alta capacidad antioxidante, pero son sensibles a procesamientos (Valdés et al., 2015).

Figura 17

Gráfica de contorno para capacidad antioxidante (ABTS)



4.5. Optimizado de Compuestos fenólicos y Capacidad antioxidante

Se optimizaron el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en la hoja de moringa mediante el Optimizador de respuestas de Minitab 18. En primera instancia se optimizaron las variables respuesta por separado, para conocer como las combinaciones de las variables temperatura y tiempo de secado satisfacen las respuestas.

El contenido de polifenoles por separado se optimiza con 50°C y 0.6 m/s, teniendo una deseabilidad compuesta de 0.9704, un valor muy cercano a 1, indicando que dicha configuración resulta favorable en la maximización de los compuestos fenólicos, con una cantidad media de 17.397 mg EAG/g y un intervalo de predicción

IP al 95% de confianza que brinda un rango de valores probables para un valor individual futuro que va desde 16.3433 a 18.452 mg EAG/g.

La capacidad antioxidante por métodos DPPH y ABTS se optimiza con la configuración de 60 °C y 08 m/s, teniendo como deseabilidad individual 0.9049 y 0.9422 respectivamente, una deseabilidad compuesta de 0.9234, que indican como favorable la configuración.

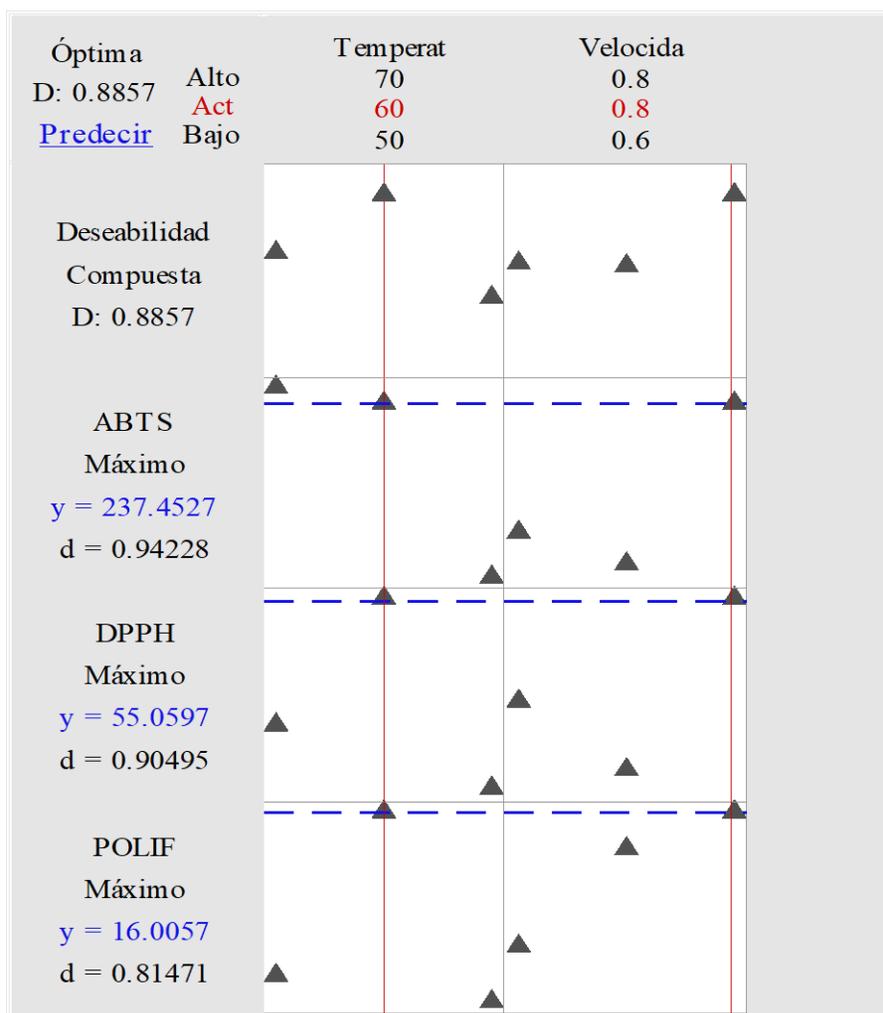
Para la capacidad antioxidante por el método DPPH se tiene una media de 55.06 $\mu\text{mol TE/g}$ y un intervalo de predicción IP (49.25; 60.87), mientras que por el método ABTS se tiene una media de 237.45 $\mu\text{mol TE/g}$ y un IP (231.49; 243.41) ambos intervalos al 95% de confianza.

En la *figura 18* se muestra la gráfica de optimización de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de la hoja de moringa, mediante la configuración óptima de 60 °C y 0.8 m/s.

Un estudio realizado por (Iglesias et al., 2018) determinó en la cinética de secado de moringa que la temperatura óptima es de 60 °C por un tiempo de dos horas, también mantiene las características organolépticas como olor, sabor, color y textura de mejor manera.

Figura 18

Gráfica de optimización de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante



En la *figura 18* se observa que las respuestas tienen deseabilidades individuales de 0.8147, 0.9050 y 0.9423 para los compuestos fenólicos y capacidad por el método DPPH y ABTS respectivamente, mientras que la deseabilidad compuesta es de 0.8857.

Por otro lado, la deseabilidad compuesta tiene un valor de 0.8857, un valor cercano a 1, lo que indica que la configuración parece lograr resultados favorables para las respuestas como un todo. Sin embargo, por las deseabilidades individuales se observa que la configuración es ligeramente más efectiva para maximizar la capacidad antioxidante (0.9050 y 0.9423) que el contenido de polifenoles (0.8147).

En la *tabla 18* se muestra las predicciones múltiples para el contenido de polifenoles y capacidad antioxidante, se señalan las medias, los intervalos de confianza y predicción al 95% de confianza, así como el error estándar del ajuste.

Tabla 18

Predicción de respuesta múltiple para polifenoles y capacidad antioxidante

Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
ABTS	237.45	1.42	(234.47; 240.43)	(231.49; 243.41)
DPPH	55.06	1.38	(52.15; 57.97)	(49.25; 60.87)
Polifenoles	16.006	0.251	(15.478; 16.533)	(14.951; 17.060)

El contenido de polifenoles promedio es de 16.006 mg EAG/g y el rango de valores probables para un valor individual futuro oscila entre 14.951 y 17.060 mg EAG/g.

La capacidad antioxidante por el método DPPH tiene un promedio de 55.06 $\mu\text{mol TE/g}$ y el rango de valores probables para un valor individual futuro va de 49.25 a 60.87 $\mu\text{mol TE/g}$.

La capacidad antioxidante por el método ABTS tiene un promedio de 237.45 $\mu\text{mol TE/g}$ y el rango de valores probables para un valor individual futuro va de 231.49 hasta 243.41 $\mu\text{mol TE/g}$.

4.6. Relación entre Compuestos fenólicos y Capacidad antioxidante

Se analizó la relación lineal existente entre el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante mediante el coeficiente de relación de Pearson, en la tabla se muestra el coeficiente de Pearson para los compuestos fenólicos con la capacidad antioxidante por el método DPPH y ABTS con sus respectivos valor p.

Tabla 19

Coefficientes de Pearson entre compuestos fenólicos y capacidad antioxidante

	Compuestos fenólicos	Valor p
Capacidad antioxidante (DPPH)	0.680	0.000
Capacidad antioxidante (ABTS)	0.628	0.000

Se observa que independientemente del método usado para la determinación de capacidad antioxidante, estos tienen un coeficiente de Pearson entre 0.4 y 0.69 con el contenido de polifenoles, por lo tanto, se tiene una relación positiva moderada entre las variables respuesta de la investigación. En ambos casos, para un nivel de significancia de 0.05, se tiene un p valor menor a 0.05. por tanto, se acepta las

hipótesis alternas y se confirma que existe relación entre las variables compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.

Un estudio realizado por (García, 2017) determinó que existe relación entre los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de moringa de diferente origen geográfico, (Fitriana et al., 2016) también determinó que los compuestos fenólicos presentes en la moringa pueden reducir el riesgo de enfermedades y sus efectos se correlacionan con los compuestos antioxidantes.

Si bien se encontró una relación moderada, gracias a la proporcionalidad entre los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante, el hecho que la relación no sea muy alta puede darse debido a que en la moringa existen otros componentes que también tiene capacidad antioxidante, pero no son polifenoles, algunos de ellos son: vitamina E, ácido ascórbico y carotenoides (Valdés et al., 2015).

V. CONCLUSIONES

- ✓ El secado disminuye la cantidad de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de las hojas de moringa, el contenido polifenoles puede perderse hasta un 51.3%, la capacidad antioxidante (DPPH) hasta un 45.1% y la capacidad antioxidante (ABTS) hasta un 51%, para temperaturas de secado entre 50 y 70°C y velocidades entre 0.6 y 0.8 m/s.
- ✓ Se determinó la composición química bromatológica de la moringa, antes y después del secado, resalta su alto contenido en proteínas y cenizas con 25.576 y 8.840 g/100g respectivamente posterior al secado.
- ✓ Se determinó el alto contenido de compuestos fenólicos de moringa fresca y secada, en su estado fresco se obtuvo un contenido de 18.598 mg EAG/g y después del secado varió entre 9.059 y 17.397 mg EAG/g de muestra.
- ✓ La capacidad antioxidante de la moringa se determinó en estado fresco y secado, en su estado fresco presentó 68.080 $\mu\text{mol TE/g}$ (DPPH) y 398.713 $\mu\text{mol TE/g}$ (ABTS), después del secado presentaron valores entre 37.379 y 55.059 $\mu\text{mol TE/g}$ (DPPH) y un rango de 195.284 y 241.725 $\mu\text{mol TE/g}$ (ABTS).
- ✓ La configuración de 60 °C y 0.8 m/s la que se conserva un mayor contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.
- ✓ Existe una relación positiva moderada entre el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en las hojas de moringa.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de modelamiento de pérdida de polifenoles y capacidad antioxidante en moringa considerando variables al momento de extraer compuestos bioactivos.
- Realizar investigaciones de fortalecimiento nutricional de alimentos incorporando harina de moringa deshidratadas con los parámetros encontrados.
- Realizar estudios de factibilidad para la producción y comercialización de moringa en sus diferentes presentaciones en la región.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Agraria de Noticias. (7 de mayo de 2013). *Avanza la producción de moringa en Perú*. <https://agraria.pe/noticias/avanza-la-produccion-de-moringa-en-peru-4336>
- Agencia Agraria de Noticias. (7 de marzo de 2016). *Se realizó primera cosecha de moringa en Surco*. <https://agraria.pe/noticias/se-realizo-primer-cosecha-de-moringa-en-surco-10495>
- Agro rural. (16 de abril de 2010). *El Cultivo de la Moringa "El Árbol de la Vida"* [Archivo de Vídeo]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=T9vxrgBhoGE>
- Alvarez, A. (2017). *Valor Nutricional de la Moringa oleífera. Mito o Realidad* [Tesis de Grado, Universidad san Francisco de Quito]. <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/6465>
- AOAC (1997). *Official Method of Analysis Association of Official Analytical Chemists*. 18th. William Horwits, Washington, D. C. EUA.
- Anuja, S. y Ramkumar, K. (2017). *Effect of various drying methods on the quality of moringa leaf powder (Moringa oleifera Lam.)* [Efecto de varios métodos de secado sobre la calidad del polvo de hoja de moringa (Moringa oleifera Lam.)]. *The Asian Journal of Horticulture* 12(2): 223-226. <https://dx.doi.org/10.15740/HAS/TAJH/12.2/223-226>
- Castro, A. (2016). *“Mejora de la propagación in vitro de Vaccinium corymbosum y evaluación de la actividad antioxidante en arándanos comerciales*. mayo 29, 2019, de ruc.udc.es Sitio web: <http://hdl.handle.net/2183/17519>
- Centro Tecnológico Agropecuario Cinco Villas. (2016). *Método para la toma de muestras foliares*. <https://ctacincovillas.com/wp-content/uploads/2016/02/MUESTREO-FOLIAR.pdf>
- Coz, X. y Guzman, S. (13-15 mayo de 2015). *Composición fenólica y capacidad antioxidante de infusiones de hoja de moringa y su actividad antiinflamatoria sobre células RAW 264.7* [Sesión de Congreso]. Encuentro Participación de la mujer en la ciencia, León, México.
- Coronado, M., Vega, S., Gutiérrez, R., Vázquez, M. y Radilla, C. (2015). *Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana*. *Revista chilena de nutrición*, 42(2), 206-212. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182015000200014>

- Davila, J. (2004). *Estudio experimental del efecto de la porosidad de partículas sobre el proceso de secado en un lecho fluidizado a vacío empleando aire* [Tesis de Grado, Universidad de las Américas Puebla]. Colección de Tesis Digitales - UDLAP
- García, E., Fernández, I. y Fuentes, A. (2015). *Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu*. <http://hdl.handle.net/10251/52056>
- García, R. (2017). *Estudio sobre la capacidad antioxidante de extractos de hoja de Moringa oleífera de diferente origen geográfico* [Tesis de Grado, Universidad de La Coruña]. <http://hdl.handle.net/2183/19625>
- Gil Zanón, F. (2019). *Caracterización de hojas de moringa (Moringa oleífera lam.) y optimización del secado por aire caliente* [Tesis de Grado, Universidad Politécnica de Valencia]. <http://hdl.handle.net/10251/125556>
- Girón, L. (2014). *Evaluación del proceso de elaboración de harina de moringa (Moringa oleífera Lam) para su aplicación en la formulación de harina de maíz fortificada para incrementar su valor nutricional* [Tesis de Grado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1477_Q.pdf
- González, F. (2018). *Un estudio transversal de Moringa oleífera Lam. (Moringaceae)*. Dominguezia, 34 (1), 5-25.
- Guzmán, S., Zamarripa, A. y Hernández, L. (2015). *Calidad nutrimental y nutraceutica de hoja de moringa proveniente de árboles de diferente altura*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 6, 317-319. <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i2.691>
- Guija, E., Inocente, M., Ponce, J. y Zarzosa, E. (2015). *Evaluación de la técnica 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) para determinar capacidad antioxidante*. Horizonte Médico (Lima), 15(1), 57-60. <https://doi.org/10.24265/horizmed.2015.v15n1.08>
- Hernández, C. y Pérez, E. (2003). *Evaluación de las variables de secado para la conservación de las hojas de la planta de añil (indigofera sp.)* [Tesis de Grado]. <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2024>
- Hernández, Y., Castillo, R., Pérez, A. y Salgado, M. (2018). *Efecto del tipo de secador sobre la calidad fisicoquímica de harina de moringa (Moringa oleífera l.)*. IDCyTA, 3, 423-429. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume3/4/8/70.pdf>

- Huerta, A., Sanchez, A., Alcantara, H., Magdaleno, I., Paniagua, D. y Capataz, J. (21-26 de junio de 2015). *Evaluación de la actividad antioxidante de extractos crudos de raíz y hoja de Moringa oleífera crecidas en el invernadero del ITSTB* [Sesión de Congreso]. XVI Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería, Guadalajara, México.
- Iglesias, R., Grimaldi, R., Villanueva, B., Hernández, J., López de Paz, P. y Lastres, O. (2018). *Cinética de secado de Moringa oleífera*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 9(5), 935-947. <https://dx.doi.org/10.29312/remexca.v9i5.1503>
- Figueroa, S. y Mollinedo, O. (2017). *Actividad antioxidante del extracto etanólico del mesocarpio del fruto de Hylocereus undatus "pitahaya" e identificación de los fitoconstituyentes* [Tesis de Grado, Universidad Norbert Wiener]. <http://repositorio.uwiener.edu.pe/handle/123456789/925>
- Fitriana, W., Ersam, T., Shimizu, K. y Fatmawat, S. (2016). *Antioxidant Activity of Moringa oleifera Extracts* [Actividad antioxidante de los extractos de Moringa oleifera]. Indones. J. Chem, 3, 297-301. <https://doi.org/10.22146/ijc.21145>
- Förster, N., Ulrichs, C., Schreiner, M., Arndt, N., Schmidt, R. y Mewis, I. (2015). *Ecotype variability in growth and secondary metabolite profile in Moringa oleifera - Impact of sulfur and water availability* [Variabilidad del ecotipo en el perfil de crecimiento y metabolito secundario en Moringa oleífera: impacto de la disponibilidad de azufre y agua]. J. Agric. Food Chem, 63 (11), 2852–2861. <https://doi.org/10.1021/jf506174v>
- Gómez, L. (2020). *Extracción de compuestos bioactivos de hoja de moringa* [Tesis de Grado, Universidad de Burgos]. Repositorio Institucional – Universidad de Burgos.
- Gonzales, D. (20 de enero de 2019). *Moringa: Magia india en el Perú*. El Comercio. <https://elcomercio.pe/eldominical/magia-india-peru-noticia-598878-noticia/>
- Jiménez, J. (2012). *Efecto de la temperatura y velocidad de aire durante la deshidratación de un puré de pulpa y cáscara de mango sobre su capacidad antioxidante* [Tesis de Posgrado, Universidad Autónoma de Nayarit]. Repositorio Institucional – Universidad Autónoma de Nayarit.

- Kou, X., Li, B., Olayanju, J. B., Drake, J. M. y Chen, N. (2018). *Nutraceutical or Pharmacological Potential of Moringa oleifera Lam* [Potencial nutracéutico o farmacológico de Moringa oleifera Lam]. *Nutrients*, 10(3), 343. <https://doi.org/10.3390/nu10030343>
- Kraujalytė, V., Venskutonis, P. R., Pukalskas, A., Česonienė, L., y Daubaras, R. (2015). *Antioxidant properties, phenolic composition and potentiometric sensor array evaluation of commercial and new blueberry (Vaccinium corymbosum) and bog blueberry (Vaccinium uliginosum) genotypes*. *Food Chemistry*, 188, 583–590. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.031>
- Kuskoski, E., Asuero, A., Troncoso, A., Mancini, J. y Fett, R. (2005). *Aplicación de diversos métodos químicos para determinar la actividad antioxidante en pulpa de frutos*. *Revista SciELO Brasil*, 4, 726-732. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612005000400016>
- López García, J.J. (2016). *Moringa oleifera Lam.: Biología, Botánica, Propiedades Nutricionales y Medicinales* [Tesis de Grado, Universidad de Sevilla]. <https://hdl.handle.net/11441/80558>
- López Martínez, R. (2016). *Curvas de secado y su relación a características sensoriales, composición química y uso energético de follaje de Moringa oleifera Lam* [Tesis de Grado, Universidad Nacional Agraria]. <http://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/3445>
- López, L., Matute, N. y Echevarría, A. (2017). *Evaluación fisicoquímica y capacidad antioxidante de moringa (Moringa oleifera) y maracuyá (Passiflora edulis)*. *Cumbres*, 3(2), 09-16. Recuperado de <http://investigacion.utmachala.edu.ec/revistas/index.php/Cumbres/article/view/196/117>
- Lluva, M. (2019). *Métodos analíticos para la determinación de antioxidantes en el vino*. [Tesis de Grado, Universidad Complutense de Madrid]. Repositorio Institucional – Universidad Complutense de Madrid
- Ministerio de Salud. (2017). *Tablas peruanas de composición de alimentos* (pp. 14–15). Lima: Ministerio de salud.
- Moreno, E., Ortiz, B. y Restrepo, L. (2014). *Contenido total de fenoles y actividad antioxidante de pulpa de seis frutas tropicales*. *Revista Colombiana de Química*. 2014. 43(3): 41-48. <http://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v43n3.53615>

- Oulai, P., Zoué, L., Niamkey, A. y Niamké, S. (2015). *Effect of sun drying on nutritive and antioxidant properties of leafy vegetables consumed in western côte d'ivoire* [Impacto del secado al sol sobre las propiedades nutritivas y antioxidantes de cinco verduras de hoja verde consumidas en el norte de Costa de Marfil]. *Asian Journal of Applied Sciences*, 3, 628-637. <https://www.ajouronline.com/index.php/AJAS/article/view/2898>
- Ponce, A. y Rodríguez, F. (2014). *Evaluación del efecto de secado en los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del aguaymanto (Physalis peruviana L.)*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Programa Nacional de Alimentación Escolar. (28 de diciembre de 2018). *Colegio de Atalaya implementó la moringa como complemento de desayunos de MIDIS – Qali Warma*. <https://www.qaliwarma.gob.pe/noticias/colegio-atalaya-implemento-cultivo-la-moringa-complemento-los-desayunos-midis-qali-warma/>
- Quintanilla, J., Garay, J., Alvarado, E., Hernández, J., Mendoza, S., Rojas, A., Joaquín, S. y Hernández, A. (2018). *Tiempo y temperatura sobre la pérdida de humedad y contenido de proteína en hojas de Moringa oleífera Lam*. *Agro Productividad*, 11 (5), 88-92. <http://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/378>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. y Rice-Evans, C. (1999). *Actividad antioxidante aplicando un ensayo mejorado de decoloración de cationes radicales ABTS*. *Biología y medicina de radicales libres*, 26 (9-10), 1231–1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Red de Seguridad Alimentaria del CONICET. (2016). *Grupo ad Hoc Moringa oleífera*. <https://rsa.conicet.gov.ar/wp-content/uploads/2019/04/2016-12-21-Documento-Moringa-oleifera-RSA.pdf>
- Red Radio Universidad de Guadalajara Ocotlán. (28 de abril de 2015). *DPPH (2,2-DiPhenyl-1-PicrylHydrazyl)*. <http://radio.cuci.udg.mx/bch/EN/Antioxid.html>
- Ruiz, B. (2018). *Breve historia de los radicales libres*. SEBBM. http://dx.doi.org/10.18567/sebbmdiv_RPC.2018.04.1

- Teixeira, J., Gaspar, A., Garrido, E. M., Garrido, J. y Borges, F. (2013). *Hydroxycinnamic Acid Antioxidants: An Electrochemical Overview*. BioMed Research International, 2013, 1–11.
- Valdés, G., Cruz, L. y Comet, R. (2015). *Influencia de las condiciones de operación en la extracción de polifenoles a partir de hojas de Moringa oleifera Lam.* CENIC, 46, 135-145.
- Vats, S. y Gupta, T. (2017). *Evaluation of Bioactive Compounds and Antioxidant Potential of Hydroethanolic Extract of Moringa oleifera Lam. From Rajasthan, India* [Evaluación de compuestos bioactivos y potencial antioxidante del extracto hidroetanólico de Moringa oleifera Lam. de Rajasthan, India]. *Physiol Mol Biol Plants*, 23 (1), 239–248. <https://doi.org/10.1007/s12298-016-0407-6>
- Velásquez, C. y Uribe, J. (2019). *Efecto de la temperatura y velocidad del aire sobre la humedad final de tomillo (Thymus vulgaris)*. *Bioteconología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 17, 34-44.
- Velázquez, M., Peón, I., Zepeda, S. y Jiménez, M. (2016). *Moringa (Moringa oleifera Lam.): usos potenciales en la agricultura, industria y medicina*. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 12, 95-116. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2015.07.018>
- Viada, E., Gómez, L. y Campaña, I. (2017). *Estrés oxidativo*. *Correo Científico Médico*, 21(1), 171-186. Recuperado en 27 de junio de 2020, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1560-43812017000100014&lng=es&tlng=es.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1. OBTENCIÓN DE LA HARINA DE HOJAS DE MORINGA

A. Selección

Se seleccionaron las hojas de moringa en mejores condiciones, retirando los tallos, hojas secas y materiales extraños.



B. Lavado y desinfección

Las hojas se desinfectaron con 6.5 ml de hipoclorito de sodio al 0.1% en 5 litros de agua, agitando durante dos minutos para retirar impurezas y materias extrañas, finalmente se enjuagó tres veces con abundante agua y se dejaron escurrir.



C. Secado

Se pesaron 300 gramos de hojas y fueron distribuidas en las tres bandejas (100 gramos por bandeja) del secador de bandeja del Laboratorio de Análisis y Composición de productos agroindustriales de la Universidad Nacional del Santa. Se utilizaron temperaturas (50, 60 y 70°C) y velocidades de aire (0.6, 0.7 y 0.8 m/s) para un total de nueve tratamientos.



D. Molienda

Las muestras fueron molidas utilizando el molino (IKA M20), por un tiempo de 35 segundos.



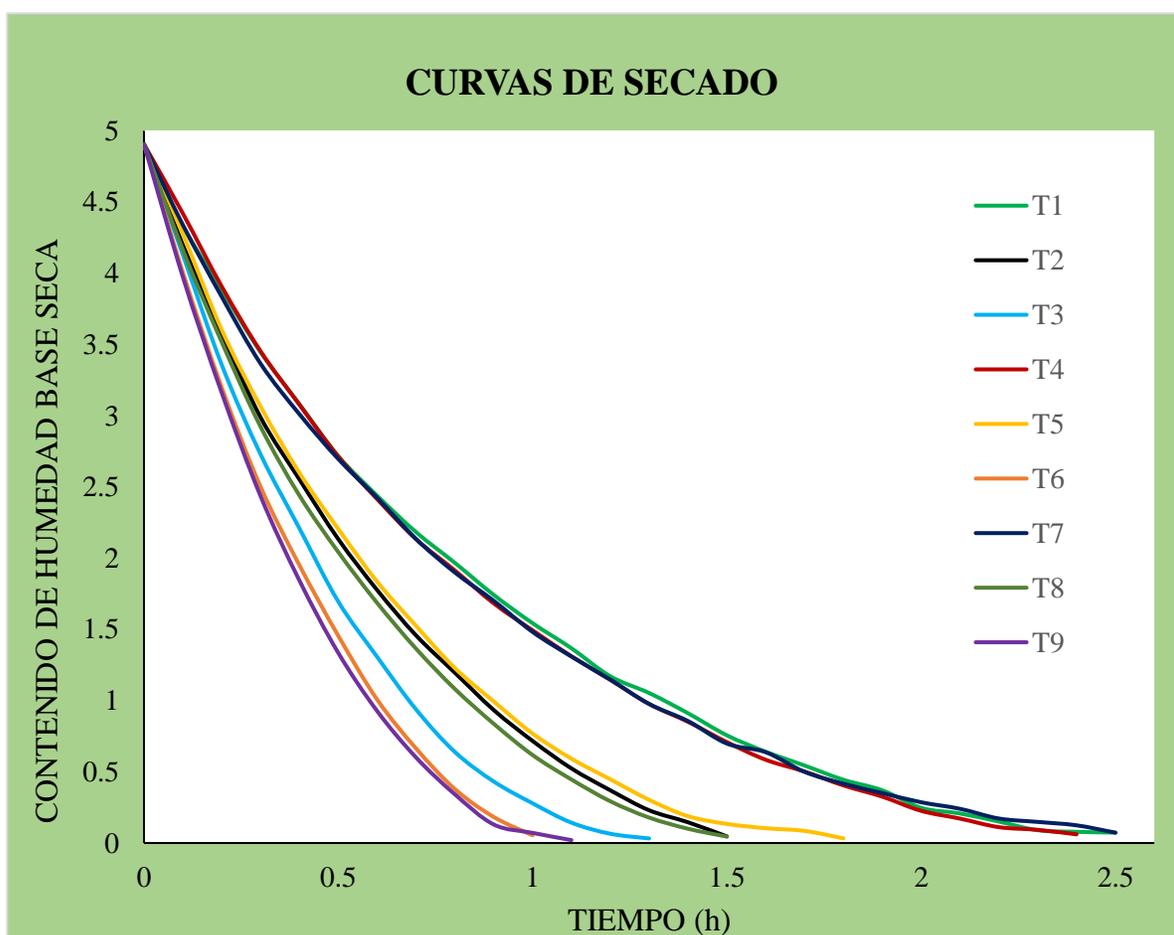
D. Envasado y almacenamiento

Las muestras de harina de moringa fueron selladas al vacío utilizando la selladora (Tefal) y bolsas de vacío, posteriormente fueron reservadas evitando el contacto con la luz.



ANEXO 2. CURVAS DE SECADO DE MORINGA

Tratamiento	Temperatura (°C)	Velocidad de aire (m/s)	Tiempo (h)
T1	50	0.6	2.30
T2	60	0.6	1.40
T3	70	0.6	1.20
T4	50	0.7	2.20
T5	60	0.7	1.50
T6	70	0.7	1.00
T7	50	0.8	2.40
T8	60	0.8	1.40
T9	70	0.8	0.90



ANEXO 3. ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS HOJAS DE MORINGA

a) Determinación de humedad

Para la determinación de la humedad en las hojas de moringa se sigue el Método de la AOAC. 925.10, dicho método se basa en la pérdida de peso que sufre la muestra por calentamiento hasta obtener peso constante. La fórmula para el cálculo es:

$$\%Humedad = \frac{(M - m) * 100}{M}$$

donde:

M = Peso inicial en gramos de la muestra

m = Peso en gramos del producto seco.

b) Determinación de grasa

Las grasas son determinadas según el Método de la AOAC. 945.16, dicho método hace la extracción de la grasa con un solvente orgánico (Éter de petróleo) en un equipo Soxhlet.

$$\%G = \frac{100 * (P_1 - P_2)}{P}$$

Donde:

P1= Peso del matraz con el extracto etéreo en gramos.

P2= Peso del matraz vacío en gramos.

P = Peso de la muestra empleada en gramos

c) Determinación de ceniza

Las cenizas pueden ser determinadas mediante el Método de la AOAC 923.03, donde se realiza una incineración de la muestra a 600 °C para quemar todo el material orgánico, posteriormente al material inorgánico no destruido se le llama ceniza. Generalmente antes de utilizar un equipo de incineración como las muflas, se procede a quemar la materia de manera convencional.

$$\%C = \frac{100 * (P_1 - P_2)}{P}$$

Donde:

P = Peso de la muestra en gramos

P1= Peso de la cápsula con las cenizas en gramos.

P2 = Peso de la cápsula vacía en gramos.

d) Determinación de proteínas

El alto contenido de proteínas en la hoja de moringa se puede determinar usando el método indirecto AOAC. 960.52- Micro- Kjeldahl, este método consiste en la destrucción orgánica por acción del ácido sulfúrico, obteniéndose como resultado sulfato de amonio, el cual después es destilado a amoniaco. Los cálculos se realizan en base a un patrón (muestra en blanco) y se cuantifica la diferencia gastada de titulante en la muestra (Referencia método AOAC. 960.52- Micro- Kjeldahl). La fórmula que se utiliza es la siguiente:

$$\%P = \frac{(Gb - G) * 0.014 * N * f * 100}{m}$$

Donde:

G_b: Gasto en la muestra en blanco

G: Gasto en la muestra analizada

f: Factor de conversión (6,25)

N: Normalidad del hidróxido de titulación

e) **Determinación carbohidratos**

La determinación de carbohidratos (C) se puede determinar por la diferencia entre los demás componentes analizados anteriormente, para dicho fin se usa la siguiente fórmula.

$$C = 100 - (\textit{proteína} + \textit{grasa} + \textit{cenizas} + \textit{fibra} + \textit{agua})$$

Todos los componentes expresados en porcentaje. 1 por otro lado es conveniente recomendar el uso de métodos analíticos para una mejor cuantificación.

ANEXO 4. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA LOS ANÁLISIS

Se pesaron 0.2 g de harina de moringa



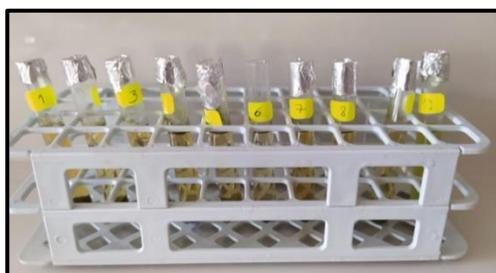
Se rotularon y añadieron 6 ml de agua a cada muestra



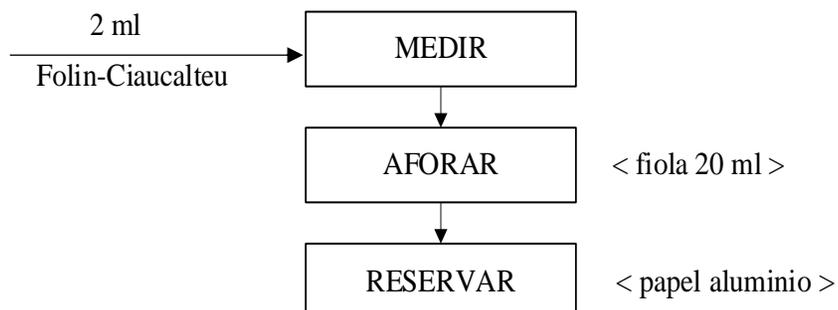
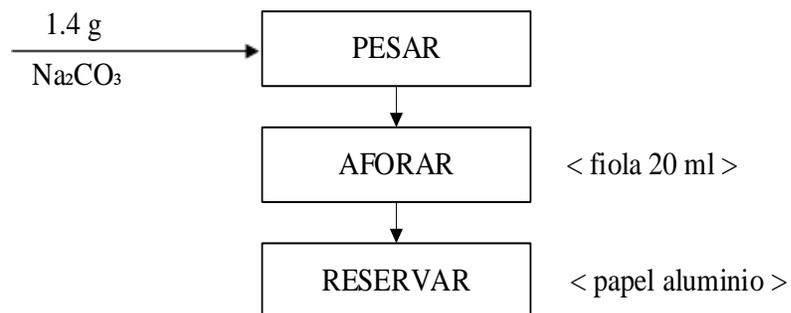
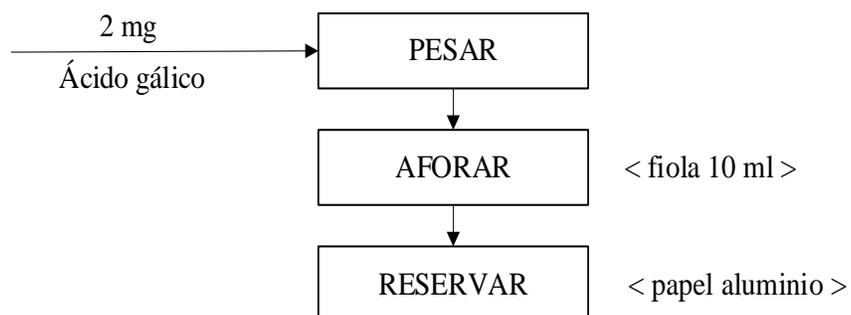
Se centrifugaron las muestras a 5000 rpm durante 10 minutos



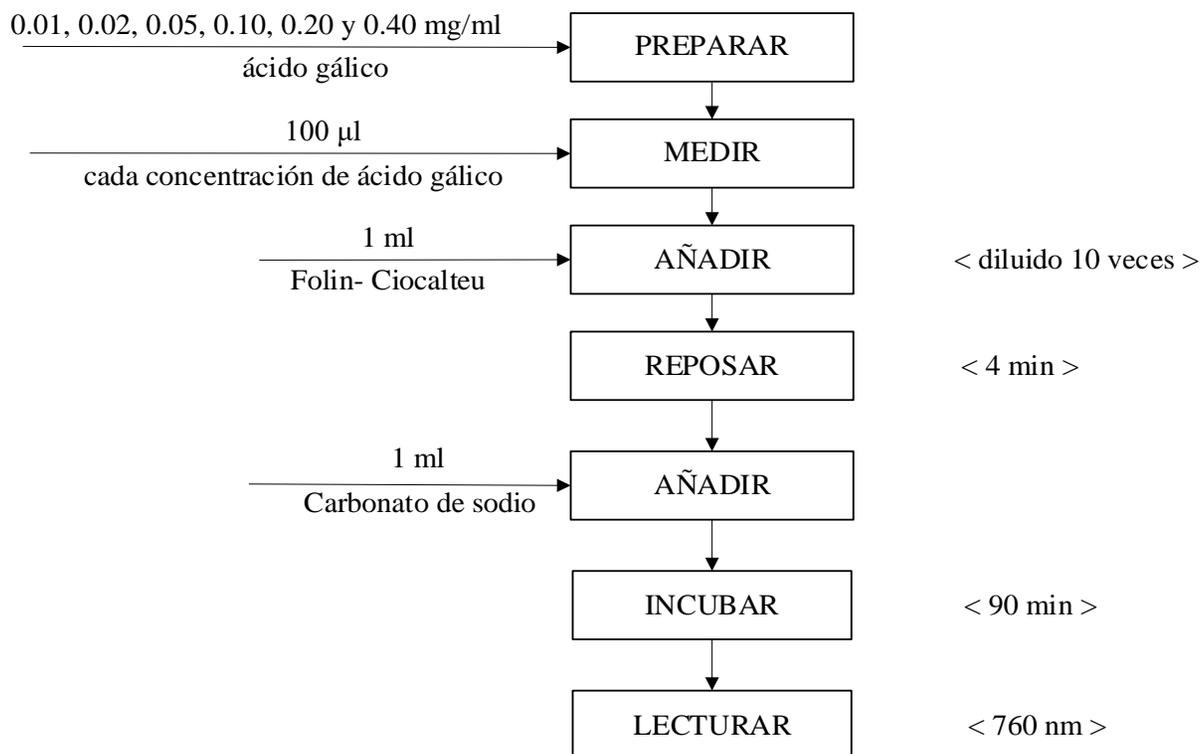
Se homogenizaron las muestras en el ultrasonido a una temperatura de 50°C durante 20 minutos



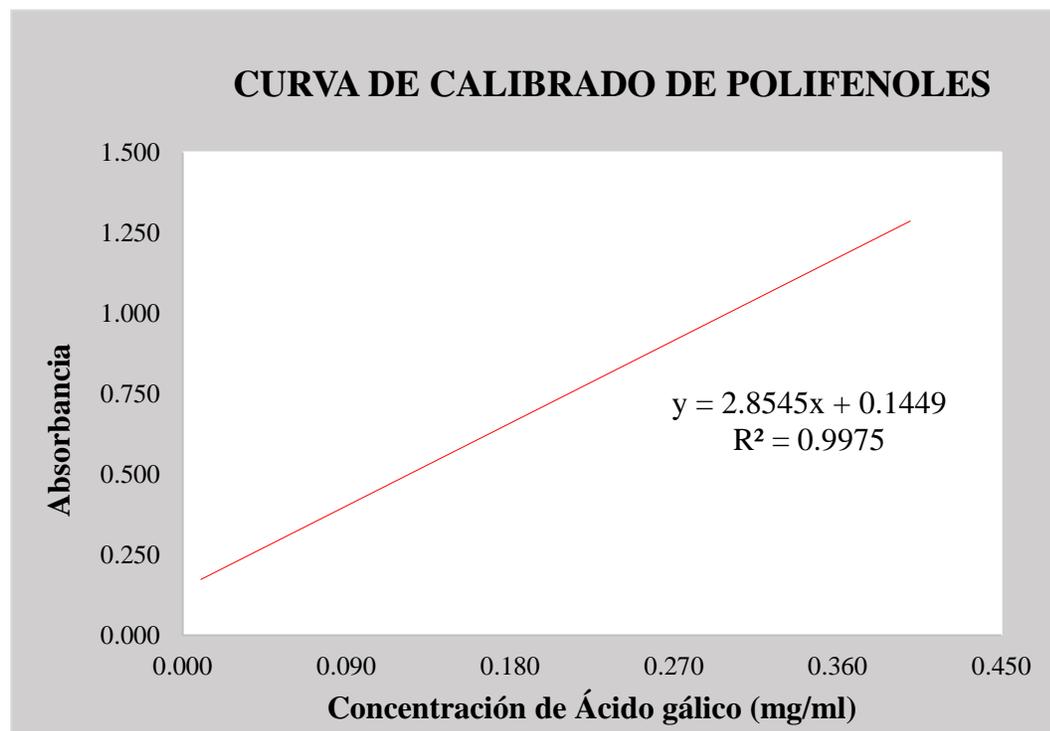
Se almacenaron los extractos a 4 °C en oscuridad para sus análisis.

ANEXO 5. DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS**A. Preparación de reactivos****- Solución de Folin- Ciocalteu****- Solución de carbonato de sodio (7%)****- Solución de ácido gálico**

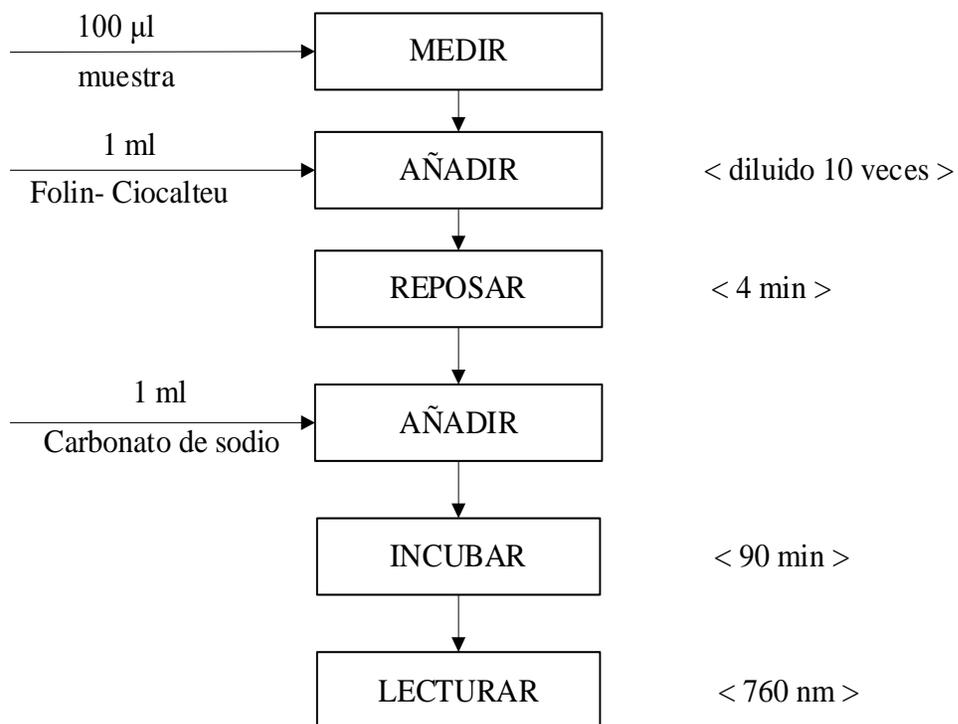
B. Flujograma para la elaboración de curva patrón de ácido gálico



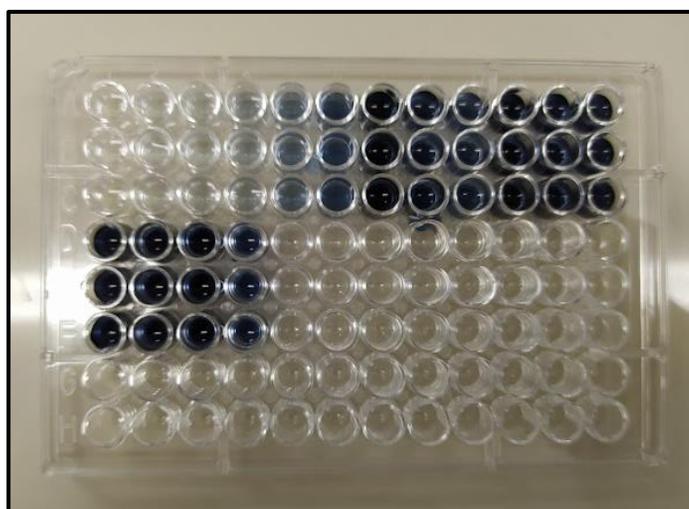
- Curva de calibrado ácido gálico para la determinación de compuestos fenólicos



- **Flujograma para la lectura de muestras de moringa**



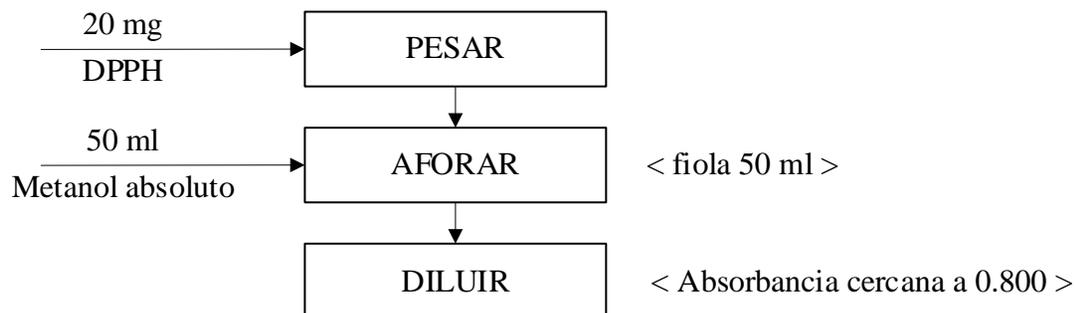
- **Lectura de muestras de moringa en la microplaca**



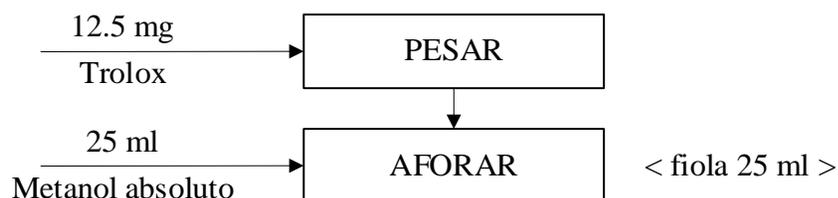
ANEXO 6. DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE (DPPH)

A. Preparación de reactivos

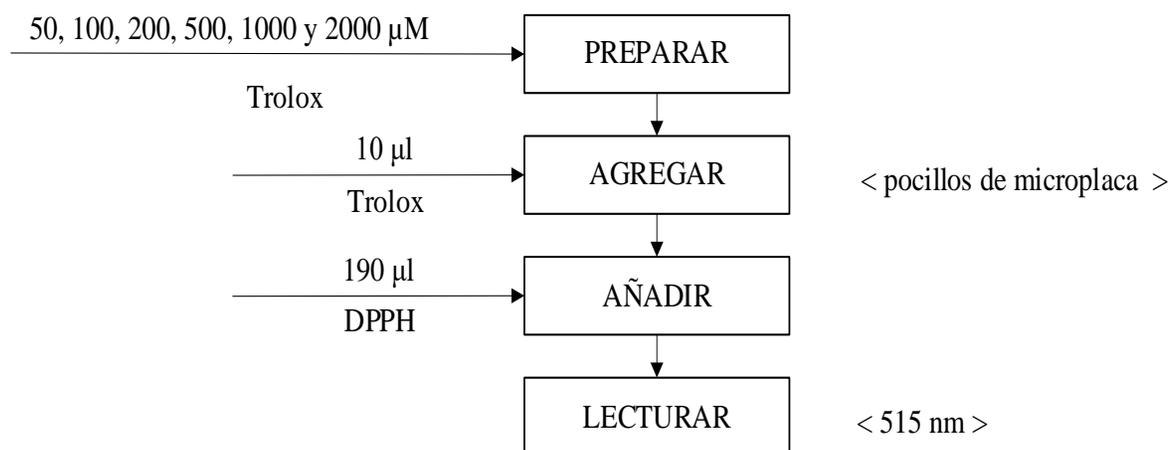
- Radical DPPH (1 mM)



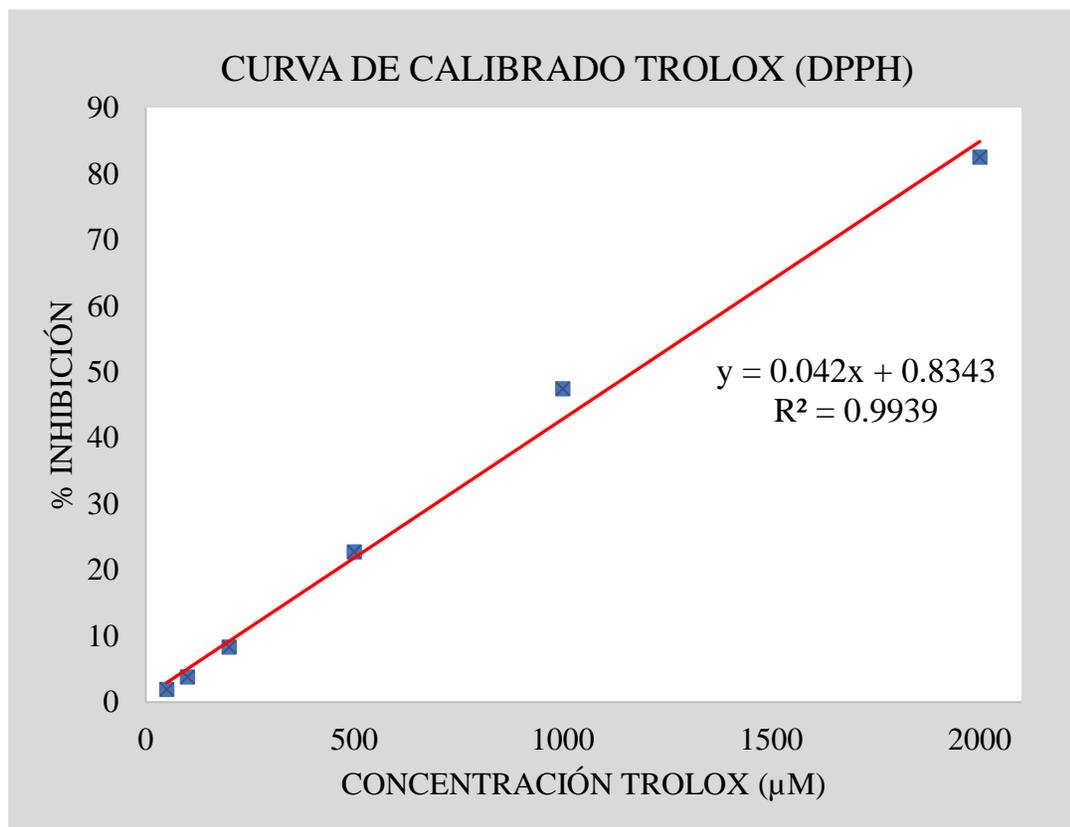
- Solución de Trolox (2 mM)



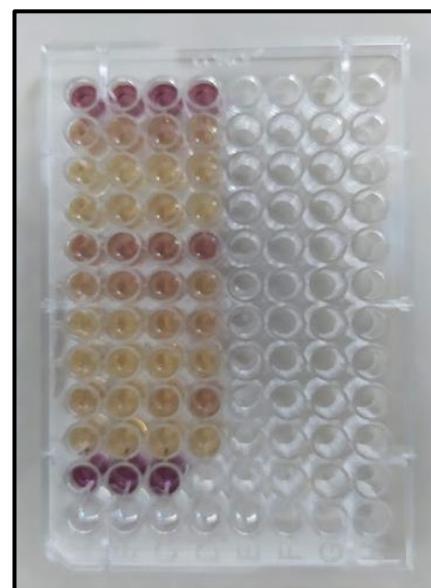
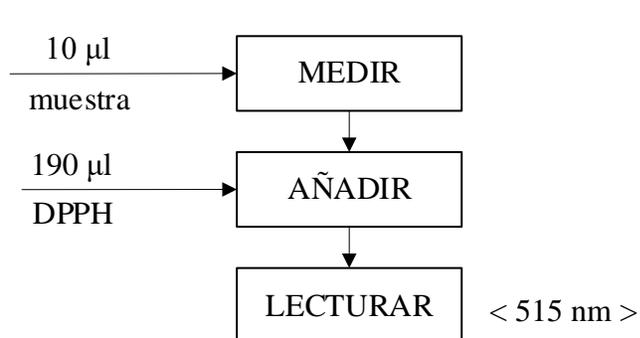
B. Flujograma para la elaboración de curva patrón de Trolox



- **Curva de calibrado Trolox para la determinación de capacidad antioxidante (DPPH)**



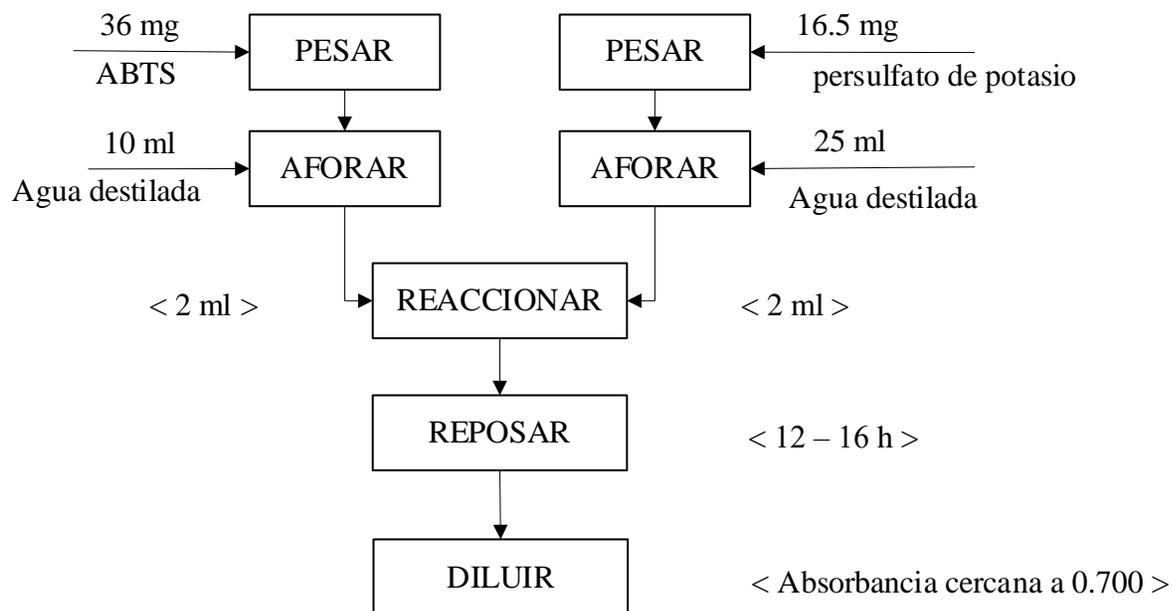
- **Flujograma para la lectura de muestras de moringa (DPPH)**



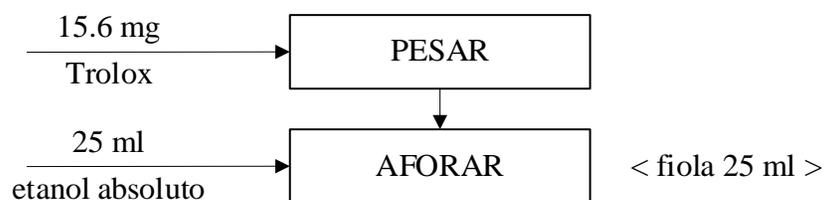
ANEXO 7. DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE (ABTS)

A. Preparación de reactivos

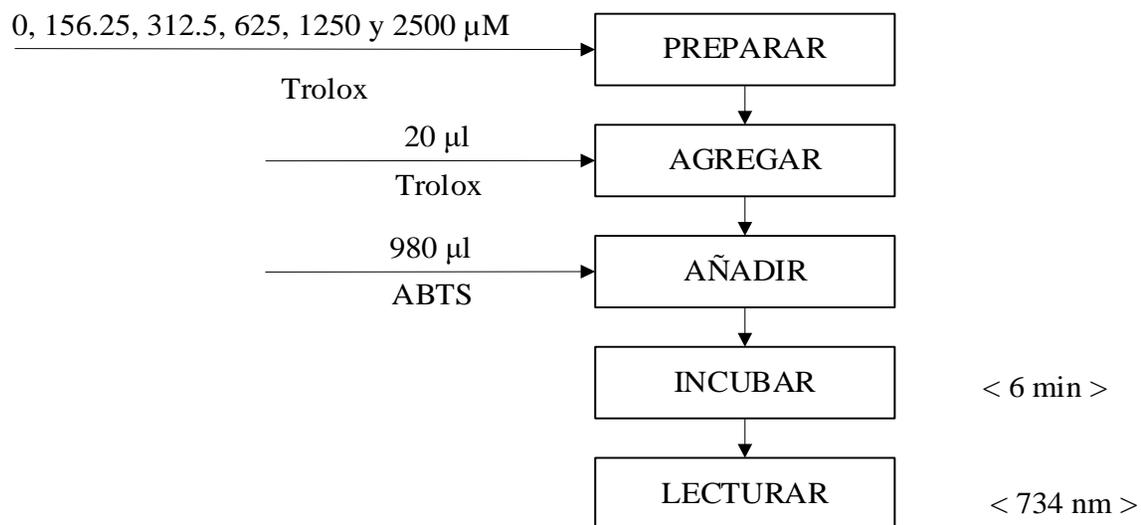
- Radical ABTS



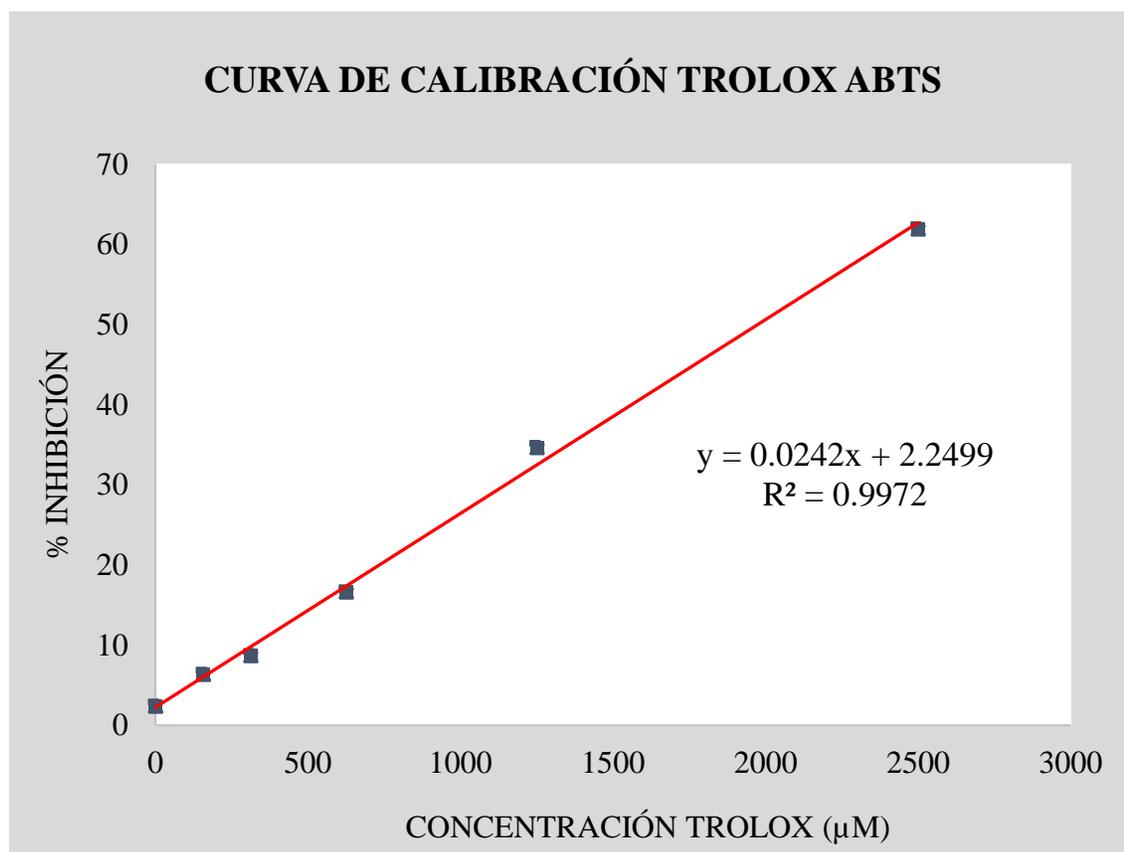
- Solución de Trolox (2.5 mM)



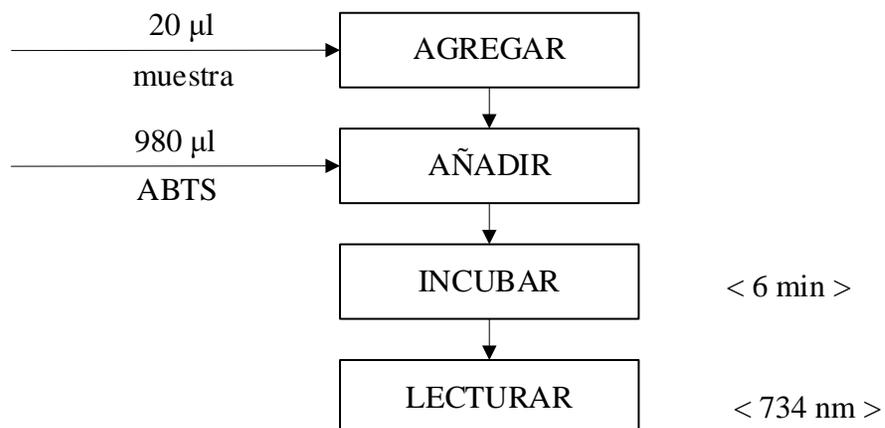
B. Flujograma para la elaboración de curva patrón de Trolox (ABTS)



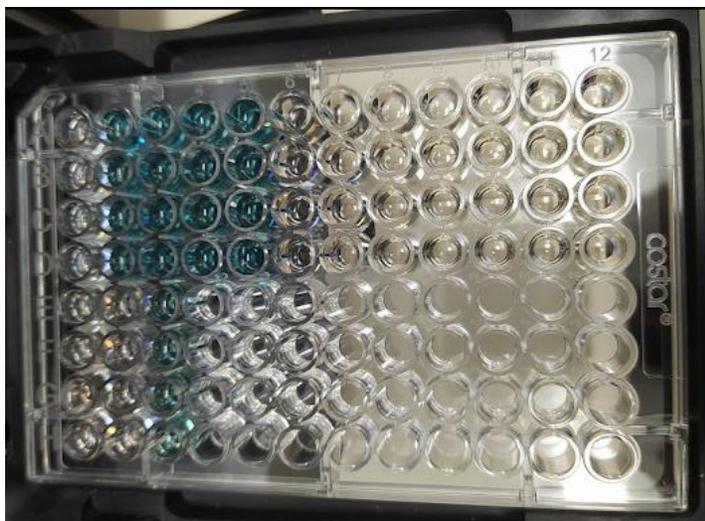
- Curva de calibrado Trolox para la determinación de capacidad antioxidante (ABTS)



- **Flujograma para la lectura de muestras de moringa (ABTS)**



- **Lectura de muestras de moringa en la microplaca**



ANEXO 8. TABLA DE EXPERIMENTOS DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO

Experimento	Temperatura	Velocidad de aire	Polifenoles	DPPH	ABTS
1	50	0.8	12.308	47.216	240.459
2	60	0.7	15.051	48.106	196.497
3	70	0.7	9.673	38.807	157.378
4	60	0.6	12.789	47.863	204.818
5	70	0.6	13.343	52.149	235.757
6	60	0.6	12.525	53.361	197.643
7	50	0.6	17.301	49.642	228.135
8	70	0.7	8.783	37.514	161.927
9	50	0.7	16.796	54.817	236.072
10	50	0.6	17.662	52.310	227.237
11	70	0.7	8.723	35.816	162.382
12	60	0.8	16.868	53.281	236.187
13	70	0.6	13.391	54.655	233.067
14	60	0.7	15.112	44.467	193.314
15	70	0.8	11.466	44.952	192.516
16	50	0.6	17.229	49.157	229.48
17	60	0.6	12.501	46.650	208.406
18	60	0.8	15.761	57.081	238.560
19	50	0.8	11.502	49.885	242.358
20	70	0.8	11.261	45.842	191.092
21	70	0.8	10.949	42.203	192.516
22	50	0.7	15.894	53.200	236.525
23	50	0.7	16.122	47.297	233.342
24	60	0.8	15.388	54.817	237.611
25	50	0.8	11.875	46.893	242.358
26	70	0.6	12.428	51.744	230.825
27	60	0.7	15.081	43.659	196.042

“EFECTO DEL SECADO SOBRE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN LA HOJA DE MORINGA (Moringa Oleífera)”

por Jhonny Deyvis Caballero Sopán

Fecha de entrega: 18-nov-2021 04:30p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1706968620

Nombre del archivo: PACIDAD_ANTIOXIDANTE_EN_LA_HOJA_DE_MORINGA_Moringa_Ole_fera.pdf (2.09M)

Total de palabras: 16600

Total de caracteres: 89361

“EFECTO DEL SECADO SOBRE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN LA HOJA DE MORINGA (Moringa Oleífera)”

INFORME DE ORIGINALIDAD

21 %

INDICE DE SIMILITUD

21 %

FUENTES DE INTERNET

6 %

PUBLICACIONES

8 %

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	1 library.co Fuente de Internet	3 %
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1 %
3	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	1 %
4	repositorio.unamba.edu.pe Fuente de Internet	1 %
5	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1 %
6	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	1 %
7	repositorio.unajma.edu.pe Fuente de Internet	1 %
8	repositorio.usfq.edu.ec Fuente de Internet	1 %

9	es.scribd.com Fuente de Internet	1 %
10	riunet.upv.es Fuente de Internet	< 1 %
11	ri.ues.edu.sv Fuente de Internet	< 1 %
12	cybertesis.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	< 1 %
13	www.researchgate.net Fuente de Internet	< 1 %
14	www.scielo.org.mx Fuente de Internet	< 1 %
15	www.sebbm.es Fuente de Internet	< 1 %
16	biblioteca.usac.edu.gt Fuente de Internet	< 1 %
17	Submitted to Universidad Internacional de la Rioja Trabajo del estudiante	< 1 %
18	vsip.info Fuente de Internet	< 1 %
19	Submitted to Universidad San Francisco de Quito Trabajo del estudiante	< 1 %

20	iydt.files.wordpress.com	Fuente de Internet	< 1 %
21	core.ac.uk	Fuente de Internet	< 1 %
22	Submitted to Escuela Politecnica Nacional	Trabajo del estudiante	< 1 %
23	fcai.uncuyo.edu.ar	Fuente de Internet	< 1 %
24	repositorio.untrm.edu.pe	Fuente de Internet	< 1 %
25	repositorio.una.edu.ni	Fuente de Internet	< 1 %
26	www.dspace.uce.edu.ec	Fuente de Internet	< 1 %
27	issuu.com	Fuente de Internet	< 1 %
28	repositorio.unp.edu.pe	Fuente de Internet	< 1 %
29	ri.uaemex.mx	Fuente de Internet	< 1 %
30	dspace.utpl.edu.ec	Fuente de Internet	< 1 %
31	repositorij.pbf.unizg.hr	Fuente de Internet	< 1 %

32	Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador Trabajo del estudiante	< 1 %
33	ciencia.lasalle.edu.co Fuente de Internet	< 1 %
34	repositorio.upec.edu.ec Fuente de Internet	< 1 %
35	intranet.cip.org.pe Fuente de Internet	< 1 %
36	repositorio.unia.edu.pe Fuente de Internet	< 1 %
37	www.qaliwarma.gob.pe Fuente de Internet	< 1 %
38	ruc.udc.es Fuente de Internet	< 1 %
39	Submitted to Universidad Nacional de Colombia Trabajo del estudiante	< 1 %
40	repositorio.unife.edu.pe Fuente de Internet	< 1 %
41	www.pascolibre.com Fuente de Internet	< 1 %
42	INDIRA MILAGROS BETALLELUZ PALLARDEL. "Estudio del enriquecimiento de manzana con prebióticos, probióticos y componentes	< 1 %

antioxidantes provenientes de zumo de mandarina por impregnación a vacío para el desarrollo de aperitivos altamente funcionales y con bajo contenido calórico",
Universitat Politecnica de Valencia, 2016

Publicación

43

danyenede.blogspot.com

Fuente de Internet

< 1 %

44

repositorio.unap.edu.pe

Fuente de Internet

< 1 %

45

sites.google.com

Fuente de Internet

< 1 %

46

"7 ° Congreso Internacional de Ingeniería Agroindustrial", Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (Corpoica), 2021

Publicación

< 1 %

47

JADER RODRIGUEZ CORTINA. "CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LA INTENSIFICACION DEL PROCESO DE SECADO DE TOMILLO (Thymus Vulgaris L.): APLICACIÓN DE ULTRASONIDOS DE POTENCIA Y SECADO INTERMITENTE", 'Universitat Politecnica de Valencia', 2015

Fuente de Internet

< 1 %

48

[Submitted to Universidad La Gran Colombia](#)

Trabajo del estudiante

< 1 %

49

repositorio.usil.edu.pe

Fuente de Internet

< 1 %

50	agraria.pe Fuente de Internet	< 1 %
51	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	< 1 %
52	Submitted to Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba Trabajo del estudiante	< 1 %
53	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	< 1 %
54	ri.uagro.mx Fuente de Internet	< 1 %
55	theibfr.com Fuente de Internet	< 1 %
56	www.voaxaca.tecnm.mx Fuente de Internet	< 1 %
57	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Ecuador – PUCE Trabajo del estudiante	< 1 %
58	Submitted to Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion Trabajo del estudiante	< 1 %
59	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	< 1 %

60	Submitted to Universidad Privada San Juan Bautista	Trabajo del estudiante	< 1 %
61	Submitted to Universidad de Cartagena	Trabajo del estudiante	< 1 %
62	repositorio.unsa.edu.pe	Fuente de Internet	< 1 %
63	www.akademiabaru.com	Fuente de Internet	< 1 %
64	www.coursehero.com	Fuente de Internet	< 1 %
65	Submitted to CONACYT	Trabajo del estudiante	< 1 %
66	Submitted to Universidad de Burgos UBUCEV	Trabajo del estudiante	< 1 %
67	dehesa.unex.es	Fuente de Internet	< 1 %
68	zagan.unizar.es	Fuente de Internet	< 1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo