UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

TESIS

"Evaluación de las isotermas de adsorción y del almacenamiento de pulpa de ayrampo (*Berberis sp.)* en polvo"

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

PRESENTADO POR:

Bach. Ana María GONZÁLES CCANTO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

HUANCAVELICA, PERÚ

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por la Ley 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En la Ciudad Acobamba, a los 16 días del mes de diciembre, a horas 3:00 pm, del año 2022, se reunieron los miembros del Jurador Evaluador, designado con **Resolución N° 075-2021-D-FCA-UNH**, con fecha de 03 de agosto del 2021 conformado de la siguiente manera:

PRESIDENTE *: Dr. RUIZ VILCHEZ, David*
https://orcid.org/0000-0001-8871-5833
DNI N°: 20033973

SECRETARIO *: Mg. VENTURA ROMAN, Almer*
https:/orcid.org/0000-0003-3709-5560
DNI N°: 46029313

VOCAL *: Mtra. TAIPE LUCAS, Carmen*
https://orcid.org/0000-0003-1538-2753
DNI N°: 43899175

Con la finalidad de llevar a cabo el acto académico de sustentación de tesis virtual, cuyo enlace: https://meet.google.com/bmh-kydi-yov, titulado **"Evaluación de las isotermas de adsorción y del almacenamiento de pulpa de ayrampo (*Berberis sp*) en polvo"**, aprobada mediante **Resolución N° 332-2022-D-FCA-UNH**; donde fija la hora y fecha para el mencionado acto.

Sustentante:
Bach. GONZÁLES CCANTO, Ana María
DNI N°: 45669090
Asesor:
Dr. CHUQUILÍN GOICOCHEA, Roberto Carlos
https://orcid.org/0000-0002-5233-8666
DNI N°: 42154955

Luego de haber absuelto las preguntas que le fueron formuladas por los miembros del jurado, se procede a la deliberación con el resultado:

APROBADO [X] **DESAPROBADO** [ ] **POR:** UNANIMIDAD

Para constancia se expide la presente Acta, en la ciudad de Acobamba a los 16 días del mes de diciembre del 2022.

PRESIDENTE **SECRETARIO**

VOCAL

Título

"Evaluación de las isotermas de adsorción y del almacenamiento de pulpa de ayrampo (*Berberis sp*.) en polvo"

Autor

Bach. Ana María GONZÁLES CCANTO

Asesor

Dr. Roberto Carlos CHUQUILÍN GOICOCHEA

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8751-691X

DNI N°: 42154955

Agradecimiento

Quiero expresar mi agradecimiento, admiración y respeto a las siguientes personas que me apoyaron para la realización de este proyecto de investigación.

- A mis amados padres que me dieron la vida y me apoyaron en el camino que he elegido.
- Mis más sinceros agradecimientos a todas aquellas personas que colaboraron de una u otra manera al desarrollo y término de esta tesis.
- A mi alma máter la UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA por abrirme sus puertas para conseguir mi carrera profesional, así mismo a la Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, a todos los catedráticos que laboran en esta Escuela por compartir sus conocimientos científicos, experiencias y exigencias.

Ana María.

Tabla de Contenidos

Título ii
Autor iv
Asesor v
Agradecimiento vi
Tabla de Contenidos vii
Tabla de contenidos de tablas ix
Resumen x
Abstract xi
Introducción xii
CAPÍTULO I 14
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 14
1.1. Descripción del problema 14
1.2. Formulación del problema 14
1.2.1. Problema general 14
1.2.2. Problemas específicos 15
1.3. Objetivos 15
1.4. Justificación 15
CAPÍTULO II 17
MARCO TEÓRICO 17
2.1. Antecedentes 17
2.2. Bases teóricas 20
2.3. Definición de términos 27
2.4. Hipótesis 30
2.5. Variables 30
2.6. Operacionalización de variables 30
CAPÍTULO III 31
MATERIALES Y MÉTODOS 31
3.1. Ámbito temporal y espacial 31

3.2. Tipo de Investigación 31
3.3. Nivel de Investigación 31
3.4. Métodos de investigación 31
3.5. Diseño de investigación 31
3.6. Población, muestra y muestreo 31
3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 31
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos 34
CAPÍTULO IV 35
DISCUSIÓN DE RESULTADOS 35
4.1. Análisis de información 35
4.2. Prueba de hipótesis 39
4.3. Discusión de los resultados 42
Conclusiones 45
Recomendaciones 46
Referencias bibliográficas 47
Anexos 54

Tabla de contenidos de tablas

Tabla 1. Composición química proximal en 100 g de fruto de ayrampo 27
Tabla 2. Actividad antioxidante y compuestos bioactivos del fruto de ayrampo 27
Tabla 3. Algunos modelos matemáticos de isotermas 28
Tabla 4. Definición operativa e Indicadores 30
Tabla 5. Humedades relativas de soluciones salinas saturadas a diferentes temperaturas 33
Tabla 6. Datos experimentales de isotermas de adsorción 35
Tabla 7. Resumen de los modelos matemáticos de isotermas aplicados a diferentes temperaturas 37
Tabla 8. Valores predichos de cada modelo matemático de isotermas 39
Tabla 9. Energía de activación de la constante B relacionada con el calor de sorción 41
Tabla 10. Compuestos bioactivos de la pulpa de ayrampo en polvo 42
Tabla 11. Parámetros empleados en la estimación de la vida útil de pulpa de ayrampo en polvo envasada en bolsas de polietileno de 250 g y 70 micras de espesor 43

Tabla de contenidos de figuras

Figura 1. Fruto de ayrampo (*Berberis flexuosa*) 22
Figura 2. Postres y bebidas derivados de ayrampo. 24
Figura 3. Diagrama de flujo de obtención de pulpa de ayrampo en polvo 32
Figura 4. Isotermas de adsorción con datos experimentales 36
Figura 5. Ajuste de datos a los modelos estudiados (Temperatura: 30 °C) 39
Figura 6. Ajuste de datos a los modelos estudiados (Temperatura: 40 °C) 40
Figura 7. Ajuste de datos a los modelos estudiados (Temperatura: 50 °C) 41

Resumen

El ayrampo es un fruto con propiedades nutracéuticas importantes y muy consumido en Huancavelica, Perú. Actualmente se consume en postres y bebidas durante fiestas tradicionales. Por lo tanto, comprender las isotermas de adsorción de humedad de este producto en polvo es imperativo para determinar su capacidad de almacenamiento y la vida útil óptima del producto seco. Así, el objetivo de este estudio fue determinar las isotermas de adsorción de la pulpa en polvo de forma experimental y los datos obtenidos se utilizaron para modelar el proceso a diferentes temperaturas mediante el empleo de varios modelos matemáticos mediante análisis de regresión no lineal. Se probaron varios modelos matemáticos (GAB, Oswin, Caurie, Smith y Iglesias y Chirife) y se compararon con los datos experimentales. El modelo matemático que mejor se ajustaba a todas las temperaturas fue la ecuación de GAB con el valor R^2 mayor a 0,98 y los valores más bajos de bondad de ajuste. El contenido de humedad de la monocapa para un nivel de humedad óptimo para un almacenamiento seguro se puede obtener de las ecuaciones GAB. Se encontró que el contenido de humedad de la monocapa de la ecuación GAB era 0,18, 0,19 y 0,17 kg de agua/ kg materia seca a 30 °C, 40 °C y 50 °C respectivamente.

Palabras clave: *Berberis flexuosa* R. & P., isoterma, monocapa, calor de sorción, GAB.

Abstract

Ayrampo is a fruit with important nutraceutical properties and widely consumed in Huancavelica, Peru. It is currently consumed in desserts and drinks during traditional festivals. Therefore, understanding the moisture adsorption isotherms of this powdered product is imperative in determining its storage capacity and optimal shelf life of the dry product. Thus, the objective of this study was to determine the adsorption isotherms of the powdered pulp in an experimental way and the data obtained were used to model the process at different temperatures by using various mathematical models through non-linear regression analysis. Various mathematical models (GAB, Oswin, Caurie, Smith and Iglesias and Chirife) were tested and compared with the experimental data. The mathematical model that best adjusted to all temperatures was the GAB equation with the R^2 value greater than 0.98 and the lowest goodness of fit values. The moisture content of the monolayer for an optimal moisture level for safe storage can be obtained from the GAB equations. The moisture content of the monolayer of the GAB equation was found to be 0.18, 0.19 and 0.17 kg of water / kg dry matter at 30 ° C, 40 ° C and 50 ° C respectively.

Keywords: *Berberis flexuosa* R. & P., isotherm, monolayer, heat of sorption, GAB.

Introducción

El ayrampo (*Berberis flexuosa R. & P.*) es una planta muy conocida en Huancavelica y también se utiliza como alimento, y se desarrollan postres y bebidas a base de su fruto. Su fruto tiene muchos compuestos bioactivos como polifenoles, flavonoides, antocianinas y vitamina C (Ccatamayo, 2010; Escobar, 2017). El género Berberis (*Berberidaceae*) no ha sido completamente investigado, aunque cerca de 150 especies se distribuyen por todo el mundo (Pomilio, 1973), a pesar de ello se ha despertado en interés en muchas Berberis por sus beneficios a la salud comprobados, por ejemplo: *Berberis vulgaris* (Akbulut et al., 2009; Goodarzi et al., 2018; Hassanpour & Alizadeh, 2016; Imenshahidi & Hosseinzadeh, 2016), *Berberis interrigma* (Afsharinasab et al., 2020), *Berberis amurensis* (Radziejewska-Kubzdela et al., 2020), *Berberis boliviana Lechler,* y muchos otros que no se alcanzaría a mencionar. Por otro lado, la berberina es un alcaloide de isoquinolina que pertenece a la clase estructural de las protoberberinas y está presente en muchas plantas, incluida *B. flexuosa* (Ahmed et al., 2015; Imenshahidi & Hosseinzadeh, 2016). En el caso de la especie *B. flexuosa*, aún se ha estudiado poco y se ha orientado en sus aplicaciones tecnológicas como materia prima (Casimiro Gonzales, 2017; Ccatamayo, 2010; Escobar, 2017; J. M. Vásquez, 2018). Los datos de isotermas de sorción pueden proporcionar información sobre la estabilidad de vida útil de un producto y se utilizan para investigar las características estructurales de un producto alimenticio, como el área de superficie específica, el radio de los poros y la cristalinidad (Pérez-Alonso et al., 2006; Spada et al., 2013). La termodinámica de la absorción de vapor de agua en función de la temperatura proporciona un criterio fiable para predecir la estabilidad durante el almacenamiento y la vida útil de los productos alimenticios deshidratados. La entropía integral mínima se puede interpretar como el contenido de humedad requerido para formar una monocapa, donde la actividad del agua en la que un producto alimenticio seco es más estable (Guadarrama-Lezama et al., 2014), y donde se produce una fuerte unión entre el agua (adsorbato) y el alimento (adsorbente) que corresponde a menos agua disponible para reacciones químicas y de descomposición (Nunes & Rotstein, 1991).

Los objetivos de este trabajo fueron: (a) estudiar las isotermas de adsorción de agua de la pulpa de ayrampo en polvo y (b) establecer las condiciones de almacenamiento más adecuadas (actividad y temperatura del agua).

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

El agua es el principal componente de la mayoría de los alimentos, y los microorganismos necesitan de su presencia en una forma disponible, para crecer y llevar a cabo sus funciones metabólicas (Coultate, 1984). El ayrampo tiene un 79,62% de humedad (Ccatamayo, 2011), constituyéndose un alimento altamente perecible, la mejor forma de medir la disponibilidad de agua para las reacciones en los alimentos es obteniendo la actividad de agua, la cual es un factor determinante en el estudio de la estabilidad de los alimentos secos, donde existe una amplia relación entre la presión de vapor de agua del alimento y la presión de vapor del agua líquida pura a la misma temperatura (Singh & Heldman, 1998).

Se han encontrado investigaciones sobre el ayrampo en cuanto a sus propiedades y compuestos bioactivos; sin embargo, aún falta desarrollar otras formas para su conservación y comercialización. El fruto del ayrampo es secado por los pobladores mediante secado solar para su conservación, para luego ser usado como insumos para alimentos, como bebidas, mazamorras, entre otras.

Es por ello, que el presente trabajo de investigación se planteó determinar las isotermas del producto seco en polvo, para determinar las condiciones de almacenamiento y vida útil, para su comercialización adecuada que conserven adecuadamente sus propiedades y compuesto bioactivos.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál será la isoterma de adsorción que se ajuste a los datos experimentales y la vida útil de pulpa de ayrampo (*Berberis sp*.) en polvo?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál será los componentes bioactivos que se ajusten a los datos experimentales de la pulpa de ayrampo (*Berberis flexuosa*) en polvo?
- ¿Cuál será la vida útil que se ajuste a los datos experimentales de la pulpa de ayrampo (*Berberis flexuosa*) en polvo?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar las isotermas de adsorción y el almacenamiento de pulpa de ayrampo (*Berberis flexuosa*) en polvo.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar la isoterma de adsorción que se ajuste a los datos experimentales de almacenamiento de pulpa de ayrampo (*Berberis flexuosa*) en polvo.
- Determinar los compuestos bioactivos de pulpa de ayrampo (*Berberis fleuxosa*) en polvo.
- Determinar la vida útil de la pulpa de ayrampo (*Berberis flexuosa*) en polvo.

1.4. Justificación

La presente investigación se justifica teóricamente por el desconocimiento de la isoterma de adsorción y la variación de las propiedades fisicoquímicas durante el almacenamiento de pulpa de ayrampo (*Berberis sp*.) en polvo, resultados muy necesarios para optimizar el almacenamiento de la pulpa de ayrampo en polvo, y conservar sus propiedades por un tiempo prolongado.

Su valor práctico se encuentra en el hecho de poder aprovechar los frutos de ayrampo en forma de polvo, ya que esta es una tecnología que prolonga más la conservación de los productos agroindustriales y reduce los costos de transporte que si estuvieran frescos.

Una gran ventaja representa el hecho que el ayrampo se propaga con facilidad en la sierra de Huancavelica y es muy rústico, lo que implicaría que su producción como materia prima sería prácticamente orgánica; por lo tanto, se tendría un producto natural con propiedades excelentes.

1.5. Limitaciones

- Existen pocos tesistas que realizan las isotermas de adsorción y variación de las propiedades fisicoquímicas durante el almacenamiento.
- Ciertos resultados son necesarios para optimizar el almacenamiento de la pulpa de ayrampo en polvo y así poder conservar sus propiedades en un tiempo prolongado.
- Determinar mediante un método gravimétrico las isotermas de adsorción de humedad en el ayrampo en polvo.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Se han encontrado investigaciones del entorno internacional, nacional y local, las mismas que a continuación se mencionan.

Lim et al. (1995) determinaron mediante el método gravimétrico indirecto las isotermas de sorción de humedad de arándanos lowbush liofilizados a 4, 16, 25, 35 y 45 °C. También investigaron la cinética de sorción de humedad a estas temperaturas y 75% de HR. Las isotermas siguieron una forma de tipo III con un efecto de inversión de temperatura a 0,9 de actividad de agua. Fueron mejor descritos por la ecuación GAB. El calor isostérico neto de sorción de humedad en arándanos liofilizados, determinado mediante la ecuación de Clausius Clapeyron, varió de 5,5 a 0,25 kJ/mol a medida que el contenido de humedad cambió de 8 a 36 % (base seca). La cinética de adsorción de humedad en arándanos liofilizados fue bien descrita por la ecuación cinética de primer orden. La constante de velocidad siguió la relación de Arrhenius con una energía de activación de 38,6 kJ/mol.

Vásquez et al. (2013) desarrollaron un diagrama de estado, de arándanos usando congelación y curvas de transición vítrea, y la condición máxima de concentración por congelación de acuerdo con la predicción del comportamiento y cambios físicos de arándanos liofilizados. Los puntos de congelación (ecuación de Clausius–Clapeyron) y la temperatura de transición vítrea (ecuación de Gordon–Taylor) fueron medidas con un calorímetro de barrido diferencial (DSC). El color de las muestras fueron medidas por un sistema de visión computacional. Los datos de isotermas fueron ajustados usando las ecuaciones GAB, Peleg y Iglesias–Chirife. La transición vítrea decreció con la disminución del contenido de sólidos debido al efecto plastificante del agua. Las muestras liofilizadas y frescas tuvieron variación en el color; sin embargo, las propiedades térmicas fueron similares, principalmente se afectaron sus

constituyentes a pesar del cambio de estado de la matriz del arándano. Se encontraron las condiciones de máxima concentración por congelación esta fueron X_s = 0,69 kg sólido/kg arándano, T_g = −54,86 °C y T_m = −45,45 °C. En conclusión, se desarrolló un diagrama de estado usando fruta liofilizada, pero se puede extrapolar a toda la fruta del arándano.

Sormoli & Langrish (2015) realizaron un estudio cuyo objetivo fue medir las isotermas de adsorción de puré de jugo de naranja en polvo secado por atomización. Estas isotermas se ajustaron usando once diferentes ecuaciones de isotermas de sorción. El modelo GAB fue el que mejor se ajustó a los datos experimentales. Los parámetros del modelo GAB fueron estimados tanto por métodos de regresión directo e indirecto. El calor isostérico neto de sorción también fue determinado usando la ecuación de Clausius - Clapeyron y fue exitosamente usado como una condición limitante para estimar seis parámetros desconocidos de la ecuación de GAB usando el método de regresión directo. El calor isostérico neto de sorción decreció de 9,05 kJ/ mol a 0,05 kg/kg en base seca a aproximadamente 0,0 kJ/mol a 0,7 kg/kg en base seca. Estos valores, como era de esperarse, fueron comparables a la diferencia de entalpía entre la monocapa y multicapa de humedad (8,16 kJ/ mol), y la diferencia entre el calor latente de condensación para agua pura y el calor de sorción de la multicapa de humedad (- 0,88 ± 0,69 kJ/mol).

Muzaffar & Kumar (2016) realizaron un trabajo en el que se evaluaron las isotermas de adsorción y se estudió pulpa de tamarindo en polvo obtenida por atomización. Las isotermas de adsorción de la pulpa de tamarindo en polvo fueron determinadas a diferentes temperaturas (20, 30, 40 y 50 °C) usando una técnica gravimétrica. Las isotermas de adsorción siguieron una curva sigmoidal tipo II. Los datos experimentales obtenidos se ajustaron a diferentes modelos matemáticos estos fueron de dos parámetros relacionados (BET, Oswin, Smith, Caurie, y Iglesias y Chirife), y de tres parámetros relacionados (GAB). Se usó un análisis de regresión cuadrática para evaluar las constantes del modelo. El modelo GAB seguido por el modelo Oswin se ajustaron mejor a los datos

experimentales. Los cambios en las propiedades fisicoquímicas de la pulpa de tamarindo en polvo se evaluaron durante el almacenamiento (a 0, 1, 2, 3, 4, 5 y 6 meses), usando tres diferentes materiales para envasado (Polietileno de baja densidad, LDPE; polietileno laminado con aluminio, ALP y vidrio). Los parámetros de color, el contenido de humedad, la acidez titulable, la densidad aparente y la fluidez del polvo variaron a diferentes grados durante el almacenamiento, dependiendo del tipo de material de envasado usado. Al comparar con otros materiales de empaque, el polvo empacado en LDPE mostró considerables cambios en las propiedades fisicoquímicas durante el almacenamiento. La magnitud de los cambios en las propiedades fisicoquímicas del polvo medidas durante el almacenamiento sugiere que el vidrio es mejor para alargar almacenar la pulpa de tamarindo en polvo obtenida por atomización.

Aviara (2020) señala que, las características de sorción de humedad de los productos agrícolas y alimentarios desempeñan un papel importante en procesos tecnológicos como el secado, la manipulación, el envasado, el almacenamiento, la mezcla, la liofilización y otros procesos que requieren la predicción de la estabilidad de los alimentos, la vida útil, la transición vítrea y la estimación de tiempo de secado y textura y prevención de reacciones de deterioro. Son útiles en el cálculo de las energías termodinámicas de la humedad en los productos. La comprensión de los fenómenos de sorción de humedad en los productos, las técnicas de determinación de la isoterma de sorción de humedad (MSI) y los procedimientos de evaluación del modelo de isoterma de sorción de humedad serían útiles en el desarrollo o selección, modelado y control, así como en la optimización de los procesos apropiados para lograr una mayor eficiencia. Los fenómenos abordados en este capítulo son las relaciones entre el contenido de humedad en equilibrio (EMC), la actividad del agua (a) y los tipos de MSI, la influencia de la temperatura en las isotermas y la ocurrencia de histéresis de sorción de humedad. Las técnicas de medición de MSI destacadas son la gravimétrica, la manométrica de presión de vapor (VPM), la higrométrica y la cromatográfica inversa de gases y el uso de equipos AquaLab. Se seleccionaron modelos de isotermas de sorción de humedad comúnmente utilizados (BET,

GAB, GAB modificado, Hailwood-Horrobin, Hailwood-Horrobin modificado, Halsey modificado, Henderson modificado, Chung Pfost modificado y Oswin modificado), y se describieron sus procedimientos de evaluación utilizando datos de sorción de humedad. La técnica gravimétrica estática que implica el uso de una solución salina saturada parece ser el método más utilizado y recomendado para determinar la EMC de productos agrícolas y alimentarios. La mayoría de los modelos MSI se pueden ajustar a los datos de sorción de humedad a través de la linealización mediante transformación logarítmica, mientras que otros se pueden resolver utilizando expresiones como polinomios de segundo orden. La bondad de ajuste del modelo se puede determinar utilizando el error estándar (SE) del porcentaje relativo y la variación explicada por fracción (FEV). La aceptación de un modelo depende de la naturaleza de sus gráficos residuales. Un modelo se considera aceptable si las gráficas residuales muestran una dispersión uniforme alrededor del valor horizontal de cero y no muestran una tendencia sistémica hacia un patrón claro. Un modelo es mejor que otro modelo si tiene un SE más bajo, una P más baja, un R2 más alto y un FEV más alto. Aunque parece como si todavía no existiera un modelo MSI generalizado, se recomienda que el modelo Ngoddy-Bakker-Arkema (NBA) se someta a pruebas exhaustivas y extensas en el MSI de diferentes categorías de alimentos, ya que podría resultar fiel a su postura de modelo generalizado debido a la naturaleza fundamental de su derivación.

2.2. Bases teóricas

Ayrampo

El ayrampo pertenece a una especie del género Berberis. Es un arbusto silvestre, espinoso, perenne y de hoja caduca, que crecen entre 1 a 4 metros de altura. Presenta hojas que varían en forma y tamaño, dependiendo de la especie. El tallo cilíndrico ramificado; estructuralmente consta de los siguientes tejidos: peridermis, corteza con abundante materia colorante de color amarillo; madera o xilema dura y medula. Las flores son bisexuales amarillas, pedunculadas, pentameras, heteroclamideas y actinomorfas, agrupadas en racimos axilares. El cáliz, con cinco sépalos libres de color amarillo pálido. Los frutos son bayas de

7 ± 1 mm de diámetro, de forma circular, cuyo mesocarpio y endocarpio carnoso poseen abundante materia colorante negro azulado a rojo violáceo. Contiene 2 a 3 semillas marrones ovaladas de 1 a 2 mm de largo (Vásquez, 2018).

El ayrampo es una planta leal e integral porque se aprovecha el fruto, las hojas (infusión), el tallo (teñido natural) e inclusive el gusano que se alberga en la fruta y come la semilla (por lo que, los frutos se conservan secados al sol, esta técnica elimina al insecto que se introduce y alarga la vida útil hasta su aprovechamiento). El fruto tiene mayor importancia por su alto valor nutritivo y muy bien aprovechado en el arte culinario de Huancavelica (Turismo Huancavelica, 2017). La investigación de su fruto y sus propiedades aún es incipiente. Es antioxidante natural, puede reforzar el sistema inmunológico por su contenido de vitamina C (Ccatamayo, 2010), y aunque no se ha estudiado, los berberis poseen un compuesto denominado "Berberina" que tiene efectos benéficos para la salud como lo demuestran algunas publicaciones.

Género Berberis

La familia Berberidaceae es reconocida en el Perú con un género, Berberis, y 32 especies (Brako & Zarucchi, 1993), mayormente arbustos. Esta familia incluye 14 endemismos. La mayoría de estas especies endémicas ocupan la región Mesoandina, entre los 2000 y 4200 m de altitud. Dos de estos taxones endémicos están representados dentro del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (Ulloa et al., 2006).

Los frutos de Berberis son muy ricos en compuestos bioactivos, incluidas las antocianinas. Su contenido suele ser más alto que en otras bayas de consumo generalizado (Alavijeh et al., 2019; Cheng et al., 2015; Fouladdel et al., 2011; Wang & Zhang, 2018). Por ejemplo, *Berberis microphylla* contiene 18 antocianinas, cuya concentración oscila entre 14,2 y 26,1 μmol/g de peso fresco (Ruíz et al., 2010). Algunas especies también son buenas fuentes de ácidos hidroxicinámicos, derivados de quercetina y epicatequina (Ruíz et al., 2010; Ruíz et al., 2013; Sokół-Łętowska, 2013). El contenido total de fenólicos puede oscilar entre 261 y 1074 mg/100 g (Akbulut et al., 2009; Hassanpour & Alizadeh, 2016; Sokół-Łętowska, 2013). El contenido de vitamina C en el

agracejo varía de 11,5 a 198 mg/100 g en base húmeda (Akbulut et al., 2009; Ruíz et al., 2013; Sokół-Łętowska, 2013).

Berberis flexuosa R&P

Su raíz se caracteriza por su desarrollo longitudinal superficial (de 0,30 a 0,50 m. de profundidad). El tallo es de color amarillo verdoso; su corteza de color guinda oscuro e intenso de 8 a 10 mm de diámetro; de 2 a 6 semillas. Cada fruto llega a pesar aproximadamente 0,30 g. Las semillas de forma cónica ovoidal en media luna de hasta 2 mm, de longitud por 2 mm, de ancho color amarillo verdoso, membrana marrón y médula blanquecina. Se le encuentra en terrenos descansados con textura pedregosa y suelo negro (ácido) característico por retener la humedad buen tiempo por lo tanto no exige la preparación del terreno (Turismo Huancavelica, 2017).

Figura 1

Fruto de ayrampo *(Berberis flexuosa)*

Factor Medio ambiental de *Berberis flexuosa*

Entre los factores que competen al desarrollo de *Berberis flexuosa* (Turismo Huancavelica, 2017) tenemos:

Ecología: El ayrampo se desarrolla con mayor intensidad en la región Huancavelica en zonas que se ubican desde los 3300 a 4000 m.s.n.m. sin exigir condiciones de suelo, agua y temperatura.

Clima: esta planta se desarrolla en clima frío y seco, lluvioso en los meses de noviembre a marzo y con heladas en los meses de junio, julio, agosto la temperatura anual oscila entre una mínima de 0º y una máxima de 22º.

Suelo: el ayrampo no es exigente en calidad de suelo, lo encontramos en lugares pedregosos con pendientes moderadas y en suelos ácidos con una capa de tierra negra de 20 a 30 cm.

Cosecha: se realiza en el mes de abril mayo y parte de junio, cuando el fruto haya tomado un color guindo muy oscuro y suave, luego se solea para que tome dulzura y elimine su acidez, a la vez son expulsados unos gusanos que se alimentan de la semilla del fruto.

Almacenamiento: en ambientes ventilados sin contacto con los rayos solares y en secaderos confeccionados para tal fin.

Procesamiento del ayrampo

En la actualidad se le está utilizando en diversos postres y bebidas; se emplea el fruto para mermeladas, las hojas y el tallo para el teñido de la lana. El fruto del ayrampo se consume en fresco o luego de su cosecha se le solea y seca en diversos postres y bebidas desarrollando todo un arte culinario exquisito (Turismo Huancavelica, 2017):

Postres:

- Mazamorra de ayrampo
- Mermeladas de ayrampo
- Torta de ayrampo
- Queque de ayrampo
- Torta de helado de ayrampo
- Gelatina de ayrampo
- Caramelos de ayrampo
- Jalea de ayrampo
- Helados de ayrampo
- Chupete de ayrampo

Figura 2

Postres y bebidas derivados de ayrampo

Fuente: Turismo Huancavelica (2017).

Bebidas:

- Ponche de ayrampo
- Coctel de ayrampo
- Chicha de ayrampo
- Jugos de ayrampo
- Licor de ayrampo
- Refresco de ayrampo
- Macerado de ayrampo

La Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de Huancavelica ha venido estudiando algunos productos derivados de la Berberis flexuosa, a través de tesis de sus egresados que han permitido conocer más sobre sus bondades:

- Obtención de una bebida funcional (Ccatamayo, 2010).
- Manjar blanco con adición de ayrampo (Pacheco, 2014).
- Yogurt con adición de ayrampo (Mayhua Mendoza, 2018).

Entre otros que a la fecha aún no se han publicado.

Pulpa de fruta deshidratada

El secado de pulpa de fruta es un enfoque prometedor para la obtención de diversos productos que abren nuevos mercados además de conferir características de conservación inigualables por otras tecnologías de conservación (Shishir & Chen, 2017). El secado es una de las técnicas más utilizadas en la industria alimentaria ya que es un procedimiento de bajo costo, rápido y de una sola etapa (por lo general) en el que los alimentos se convierten directamente en forma de polvo de manera regular, además de extender una excelente propiedad de protección, estabilización y solubilidad (Ray et al., 2016).

Importancia de las isotermas de adsorción en la tecnología de alimentos

Una isoterma de adsorción puede ser usada para predecir la cantidad de agua que un material podría mantener si es expuesto a aire a una cierta cantidad de humedad relativa. Este contenido de humedad es dependiente de la temperatura y la humedad relativa del medioambiente, así como de la composición del material (García-Pérez et al., 2008),.

Los datos de isotermas de sorción pueden proporcionar información sobre la estabilidad de vida útil de un producto y se utilizan para investigar las características estructurales de un producto alimenticio, como el área de superficie específica, el radio de poros y la cristalinidad (Pérez-Alonso et al., 2006; Spada et al., 2013). La termodinámica de la absorción de vapor de agua en función de la temperatura proporciona un criterio fiable para predecir la estabilidad durante el almacenamiento y la vida útil de los productos alimenticios deshidratados. La entropía integral mínima se puede interpretar como el contenido de humedad requerido para formar una monocapa, donde la actividad del agua en la que un producto alimenticio seco es más estable (Guadarrama-Lezama et al., 2014) y donde se produce una fuerte unión entre el agua (adsorbato) y el alimento (adsorbente) que corresponde a menos agua disponible para reacciones químicas y de descomposición (Nunes & Rotstein, 1991).

Efecto de la temperatura en la vida útil

La velocidad con la que se produce una transformación química es un aspecto muy importante desde el punto de vista de su utilidad industrial. Por ello, es interesante conocer los factores que pueden modificarla, como la temperatura. La teoría de Arrhenius ayuda a determinar el efecto de la temperatura, según esta se observa experimentalmente que, al aumentar la temperatura, aumenta la velocidad. Dado que las concentraciones no varían con la temperatura, es evidente que la constante de velocidad, k, aumenta. La variación de k con la temperatura viene dada por la ecuación de Arrhenius. Esta proporciona una relación cuantitativa entre la velocidad a la que se produce la reacción (directamente relacionada con k) y la energía de activación (Morais Ezquerro & Atienza Boronat, 2019).

$$k = A.e^{-E_a/R.T} \ldots (1)$$

Dónde:

k es la constante de velocidad

A es el factor frecuencia y representa el número de colisiones

E_a es la energía de activación (J/mol)

R es la constante de los gases ideales (8,13 J/mol.K)

T = temperatura absoluta (K)

Esta ecuación permite estudiar el efecto de la temperatura en toda reacción y aplicada a isotermas de adsorción como el modelo BET o GAB, permite determinar dicha energía, usando la constante "B" en lugar de "k" en la **Ecuación 1** (Muzaffar & Kumar, 2016).

2.3. Definición de términos

Composición química del fruto de ayrampo

Tabla 1

Composición química proximal en 100 g de fruto de ayrampo

Características	Valor (g)
Proteína	1,11
Ceniza	2,68
Grasa	1,35
Humedad	79,52
Fibra (kcal)	3,08
Carbohidratos	12,63

Fuente: Ccatamayo (2010).

Tabla 2

Actividad antioxidante y compuestos bioactivos del fruto de ayrampo

Características	Valor
Actividad antioxidante	45,70% de inhibición de radicales libres
Actividad antioxidante de antocianinas	116,84 ± 0,36 mM de ácido ascórbico/ml de jugo
Contenido de fenoles totales	98,67 ± 0.48 mg de ácido clorogénico/100 ml de extracto
Polifenoles	525,02 mg/mL de ácido gálico

Antocianinas	298,56 ± 0,35 mg de antocianinas/100 g de muestra
β-caroteno	4,98 mg/mL
Azúcares reductores	2,29 g/100 g
Vitamina C	2,97 mg/mL
Ácido cítrico	0,67/100 g de muestra

Fuente: Ccatamayo (2010)**.**

Isotermas de sorción

Las isotermas de adsorción son consideradas herramientas termodinámicas importantes para determinar la interacción entre el agua y los componentes alimenticios. Ellas representan la relación de equilibrio del contenido de humedad de un producto alimenticio con la humedad relativa de su ambiente circundante a una temperatura particular y proporcionar información útil para las operaciones de procesamiento de alimentos tales como el secado, envasado y almacenamiento (Kumar & Mishra, 2006; Tonon et al., 2009).

Modelos de isotermas

Las isotermas de sorción son comúnmente presentadas por modelos matemáticos basados en criterios teóricos y empíricos.

Tabla 3

Algunos modelos matemáticos de isotermas

Nombre del Modelo	**Expresión matemática**
GAB	$M = \frac{M_0.C.K.a_w}{(1-Ka_w)(1-K.a_w+C.K.a_w)}$
Oswin	$M = A.(a_w/1-a_w)^B$
Caurie	$M = \exp(A+B.a_w)$
Smith	$M = A+B.\log(1-a_w)$
Iglesias y Chirife	$M = A+B.(a_w/1-a_w)$

Fuente: Muzaffar & Kumar (2016).

En la literatura, se encuentran disponibles un gran número de modelos de isotermas los cuales puede ser categorizados en carios grupos: los modelos cinéticos basados en una monocapa de agua (modelo BET), los modelos cinéticos basados en una multicapa y una película condensada (modelo GAB), semi empírico (modelo Halsey) y los modelos puramente empíricos (por ejemplo, el modelo de Oswin y Smith). Las isotermas de sorción son únicas para cada material y debe ser evaluado experimentalmente (Muzaffar & Kumar, 2016).

Aplicación de las Isotermas de sorción en la estimación de la vida útil

El establecimiento de la isoterma de sorción de un alimento envasado puede ayudar a estimar su vida útil en determinadas condiciones de almacenamiento. El modelo Heiss & Eichner (1971) se puede utilizar para estimar el tiempo de almacenamiento potencial basado en una a_w crítica para un sistema particular en condiciones de almacenamiento dadas. Este modelo se basó en el supuesto de que el vapor de sorción de agua es el factor determinante, entre otros, como la presencia de bacterias de descomposición, oxígeno y luz que podrían limitar la vida útil. La ecuación se da como:

$$t_S = \frac{ln[(M_e - M_i)((M_e - M_c))]}{K_S(A/W)(P_0/S)} \dots (2)$$

Hay que aclarar que, el cálculo de S es de la siguiente manera:

$$S = \frac{M_e - M_c}{a_{wc} - a_{we}} \dots (3)$$

K_S es la permeabilidad del paquete del vapor húmedo, $kg.m^{-2}.Pa^{-1}.día^{-1}$, ts es la vida útil potencial del producto (tiempo en días para que el producto envasado se eche a perder por deterioro microbiano y bioquímico con pérdida de la calidad sensorial). A es el área de superficie del paquete, m^2; W_S es el peso del producto (materia seca), kg; P_0, es la presión de vapor a la temperatura de almacenamiento, Pa; S es la pendiente de la isoterma de los productos, supuestamente lineal en el rango Me y Mc, estos se obtienen a través de la isoterma que se ajusta mejor a los datos experimentales. M_e es el contenido de

humedad de equilibrio, M_c es el contenido de humedad de almacenamiento seguro y M_i es el contenido de humedad inicial del material empaquetado, kg/kg en base seca (Ikhu-Omoregbe, 2006).

2.4. Hipótesis

La hipótesis de la investigación es:

La isoterma de adsorción del modelo GAB se ajusta a los datos experimentales y permite predecir la vida útil.

2.5. Variables

- Actividad de agua
- Humedad de equilibrio
- Vida útil

2.6. Operacionalización de variables

Tabla 4

Definición operativa e Indicadores

Variable	Tipo de variable	Indicador	Unidad
Actividad de agua	Independiente	Tablas de equilibrio	Adimensional
Humedad de equilibrio	Dependiente	Método gravimétrico	gH_2O/g ms
Vida Útil	Dependiente	Tiempo	Día

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito temporal y espacial

El experimento se realizó con materia prima del distrito de Ascensión, provincia y departamento de Huancavelica. La ejecución se realizó en el Laboratorio de Procesos Agroindustriales y Análisis Instrumental 02 en la filial Acobamba de la Universidad Nacional de Huancavelica. Dicho trabajo se inició el mes de abril del 2020 hasta diciembre del 2020.

3.2. Tipo de Investigación

La presente investigación fue de tipo aplicada.

3.3. Nivel de Investigación

El nivel de investigación fue experimental.

3.4. Métodos de investigación

El método utilizado fue hipotético –deductivo.

3.5. Diseño de investigación

El diseño a utilizar fue un diseño correlacional

3.6. Población, muestra y muestreo

Población

Se utilizaron bayas de ayrampo del distrito de Ascensión, provincia y departamento de Huancavelica.

Muestra

Se usaron 46,38 kg de bayas de ayrampo.

3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Diseño de Investigación

El diseño para utilizar fue el diseño correlacional, pues se tomó datos humedad de equilibrio de muestras de pulpa de ayrampo en polvo a diferentes actividades

de agua y estos datos se relacionaron mediante modelos matemáticos (Hernández et al., 2013).

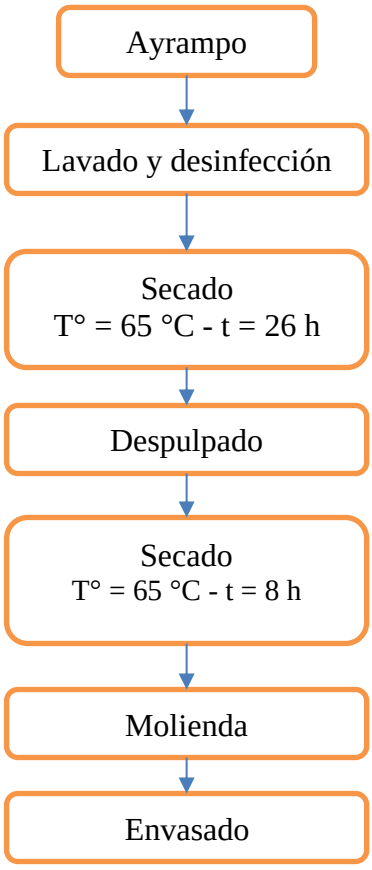
Método de investigación

El método general utilizado en la investigación fue el método hipotético – deductivo.

Obtención de pulpa de ayrampo en polvo

Figura 3

Diagrama de flujo de obtención de pulpa de ayrampo en polvo



Materia prima: La materia prima utilizada fue ayrampo maduro.

Lavado y desinfección: Se realizó tres lavados con agua potable y luego una inmersión por 15 minutos en agua con cloro residual a 80 ppm.

Despulpado: El proceso consistió en separar las semillas y cáscara de la pulpa con una malla 0,5 mm.

Secado: Se realizó convencionalmente como lo realizan los comuneros de la zona, para que el producto tenga las características del producto final deseado.

Procedimiento para la determinación de las isotermas de adsorción

Se prepararon ocho soluciones de sal saturada para obtener 5 actividades de agua diferentes de acuerdo con la Tabla 3. Las muestras de pulpa de ayrampo en polvo se colocaron en placas de vidrio previamente pesadas. Luego las muestras de pulpa fueron sometidas a las actividades de agua preparadas, en un desecador. Al cabo de una semana se midió la humedad de equilibrio de las muestras. Luego se hizo una tabla donde se anotaba que humedad de equilibrio le corresponde a cada actividad de agua.

Tabla 5

Humedades relativas de soluciones salinas saturadas a diferentes temperaturas

Sal	30°C	40°C	50°C
Cloruro de litio	0,111	0,105	0,100
Acetato de potasio	0,208	0,206	0,190
Bromuro de sodio	0,561	0,535	0,512
Cloruro de potasio	0,838	0,806	0,777
Nitrato de potasio	0,911	0,888	0,867

Raji & Ojediran (2011)

Para ver el efecto de la temperatura, los desecadores con las muestras fueron colocados en cabinas de temperatura controlada a 30, 40 y 50 °C (±1 °C). Un tubo conteniendo timol fue puesto dentro de los secadores con alta humedad relativa para prevenir el crecimiento de moho durante el almacenamiento. El tiempo total para remover, pesar y devolver al desecador cada muestra fue de 30 segundos. Esto disminuyó la adsorción de agua de la atmósfera durante el pesado. El contenido de humedad de la pulpa de ayrampo en polvo se determinó por el método gravimétrico estandarizado por (AOAC, 2019).

Método para la determinación de vida útil

Se utilizó el modelo de Heiss & Eichner (1971), para estimar el tiempo de vida útil basado en un factor crítico bajo condiciones dadas (Ecuación 1). Este

modelo puede utilizarse asumiendo que la isoterma de vapor de agua es el factor determinante, entre otros, tales como la presencia de bacteria, el oxígeno y la luz que podría limitar el tiempo de conservación.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Se evaluaron los seis modelos matemáticos presentados en la **Tabla 3**, los datos experimentales fueron ajustados usando análisis de regresión. La curva de ajuste y el análisis de regresión se realizó usando Solver de MS Excel.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de información

Modelos de isotermas de adsorción

Tabla 6

Datos experimentales de isotermas de adsorción

Humedad de equilibrio (M, g H_2O/g ms)					
30 °C		**40 °C**		**50 °C**	
a_w	**M**	**a_w**	**M**	**a_w**	**M**
0,112	0,131	0,105	0,110	0,100	0,092
0,208	0,150	0,206	0,131	0,190	0,113
0,561	0,246	0,535	0,233	0,512	0,197
0,838	0,315	0,806	0,298	0,777	0,254
0,911	0,374	0,888	0,351	0,867	0,290

La **Tabla 6** presenta los cinco valores experimentales de humedad de equilibrio de pulpa de ayrampo en polvo que corresponden a cada actividad de agua, y organizadas para las tres temperaturas evaluadas (30, 40 y 50 °C), los valores experimentales fueron obtenido con el promedio de tres repeticiones. Las isotermas de adsorción revelaron un aumento en el contenido de humedad de equilibrio con un aumento en la actividad del agua a una temperatura constante, un rasgo característico de los materiales amorfos ricos en componentes hidrófilos (Muzaffar & Kumar, 2016). Este comportamiento puede atribuirse a la naturaleza hidrófila de los carbohidratos y las proteínas presentes en el ayrampo (Ccatamayo, 2010).

La **Figura 4** representa la isoterma de adsorción de la pulpa de ayrampo en polvo a temperaturas de 30, 40 y 50 °C, dentro del rango de 0,100 a 0,911 de actividad de agua (a_w), donde se puede observar claramente que un incremento de la temperatura ocasiona una disminución del contenido de humedad de equilibrio (M). Debido probablemente a que, la temperatura al incrementarse produce que

las moléculas de agua se activen, incrementando su nivel de energía, por lo que se hacen menos estables para la unión de agua como resultado de cambios físicos y/o químicos inducidos por la temperatura. Esto resulta en un rompimiento de los enlaces en los sitios activos del alimento (Cassini et al., 2009). Por otro lado, se observa en las isotermas tienen la forma sigmoidea de la isoterma catalogada como tipo II o tipo S, de las cinco establecidas por Van der Waals; una forma distintiva en los alimentos deshidratados (Debnath et al., 2002; Martínez Navarrete, 1998; Mathlouthi & Rogé, 2003).

En actividades de agua bajas e intermedias, la denominada región de absorción de múltiples capas, el contenido de humedad de equilibrio aumenta linealmente con la actividad del agua, mientras que, en actividades de agua altas, la denominada región de condensación capilar, se observó un fuerte aumento en el contenido de humedad de equilibrio (Goula et al., 2008; Yang et al., 2012).

Este comportamiento se ha observado en la revisión bibliográfica para muchos materiales alimentarios, como pasas, higo, albaricoque y ciruela pasa (Maroulis et al., 1988), uvas, manzanas (Kaymak-Ertekin & Gedik, 2004), pulpa de tomate en polvo (Goula et al., 2008) y jugo de naranja en polvo (Sormoli & Langrish, 2015).

Figura 4

Isotermas de sorción con datos experimentales

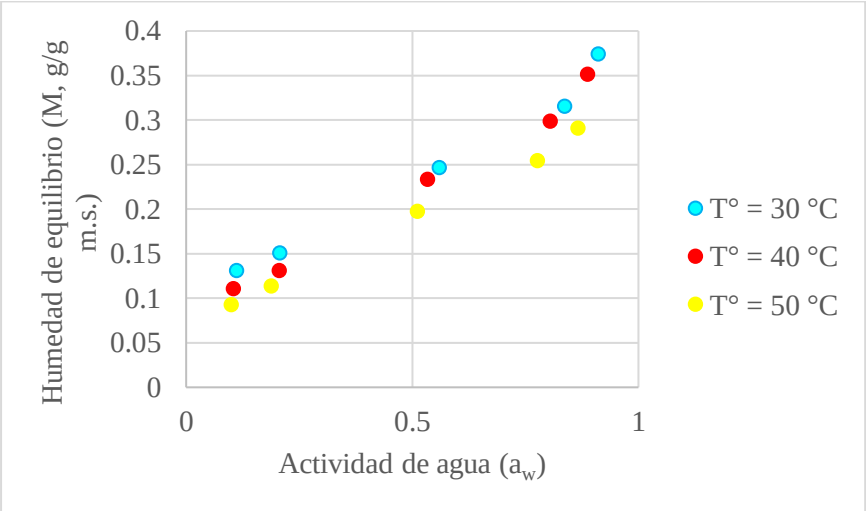


Tabla 7

Resumen de los modelos matemáticos de isotermas aplicados a diferentes temperaturas

Modelo	°C	Coeficientes de los modelos matemáticos de isotermas			Medidas de Bondad de Ajuste			
		A	B	C	R^2	SE	%RMSE	P (%)
	30	0,18, M_0	29,14, C	0,599, K	98,8	0,04	7,5	3,9
GAB	40	0,19, M_0	17,34, C	0,595, K	98,2	0,04	8,8	4,9
	50	0,17, M_0	16,85, C	0,566, K	99,3	0,03	6,5	3,4
	30	0,22	0,24		99,1	0,00	0,9	2,9
Oswin	40	0,20	0,28		98,5	0,01	1,2	4,1
	50	0,18	0,29		98,8	0,01	1,0	3,7
	30	0,22	1,26		99,2	0,01	1,0	2,9
Caurie	40	-2,33	0,28		98,8	0,01	1,2	3,8
	50	-2,47	1,46		98,4	0,01	1,0	4,7
	30	0,13	-0,24		97,3	0,01	1,5	5,9
Smith	40	0,11	-0,26		96,5	0,01	1,7	7,5
	50	0,10	-0,23		96,0	0,01	1,5	8,1
Iglesias	30	0,17	0,02		85,7	0,02	3,5	16,4
y	40	0,15	0,03		84,8	0,02	3,6	18,9
Chirife	50	0,12	0,03		84,1	0,02	3,1	18,7

Los resultados del análisis de regresión para ajustar los datos experimentales a cinco modelos diferentes junto con el coeficiente de determinación (R^2), el error estándar de estimación (SE), el porcentaje de error cuadrático medio (% RMSE) y el error porcentual absoluto medio (P) se presentan en la Tabla 7. En términos del error porcentual absoluto medio (P) de los ajustes, aquellos con menos del 10% de error pueden considerarse aceptables (Foster et al., 2005) y un R^2 mayor a 98% también puede indicar un buen ajuste. Con respecto al modelo BET, solo los datos experimentales con aw < 0,50 se pueden ajustar a la ecuación BET, porque por encima de ese valor la hipótesis del modelo falla y la ecuación no

puede predecir el comportamiento de sorción con precisión (Muzaffar & Kumar, 2016), por esta razón no fue considerado en este trabajo el modelo BET.

Es preciso señalar, que significan los parámetros A, B y C, ya que solo el modelo de GAB contiene los 3, mientras que los demás sólo A y B. En el modelo de GAB el parámetro A está relacionado a "M_0", más conocido como contenido de humedad de la monocapa o valor de la monocapa, es la cantidad de agua que se adsorbe en una monocapa sobre la superficie del adsorbente y es una medida de la disponibilidad de sitios de sorción activos. El parámetro B está relacionado con "C" determina la fuerza de unión de las moléculas de agua a los sitios de unión primarios en la superficie del producto. A mayor valor de C, mayor fuerza habrá en los enlaces entre las moléculas de agua en la monocapa y los sitios de unión en la superficie del sorbente. El parámetro "K" es un factor de corrección para moléculas multicapa en relación con el líquido a granel; cuando K = 1, las moléculas más allá de la monocapa tienen las mismas características que el agua pura (Quirijns et al., 2005).

Por otro lado, la **Tabla 7** muestra que. el modelo GAB proporciona los valores mínimos para SSE, RMSE y P y el R^2 máximo ajustado cuando se usa para predecir la isoterma de absorción de humedad de la pulpa de ayrampo en polvo a diferentes temperaturas. Entonces, el GAB describe mejor los datos de adsorción experimental a través de todo el rango de actividad del agua. Esta observación es similar a la obtenida por (Goula et al., 2008) y (Sormoli & Langrish, 2015), quienes estudiaron las isotermas de sorción de pulpa de tomate en polvo y jugo de naranja en polvo, respectivamente. Después del modelo GAB, los modelos de Oswin y de Cauire también se ajustaron adecuadamente a los datos experimentales de adsorción mostrando valores mínimos de SE, RMSE y P, y de R^2 mayor a 98%. Esto sugiere que las ecuaciones de sorción GAB, Oswin y Caurie podrían describir mejor el comportamiento de adsorción de la pulpa de ayrampo en polvo.

De acuerdo con Lewicki (1997) para representar un tipo sigmoide de isoterma de sorción, los parámetros de las ecuaciones de GAB deben estar en los

siguientes rangos: C > 5,67 y 0 < K < 1 y lo mismo se representa mediante los parámetros de GAB para pulpa de ayrampo en polvo.

4.2. Prueba de hipótesis

Tabla 8

Valores predichos de cada modelo matemático de isotermas

Temperatura	a_w	Humedad de equilibrio (M, gH_2O/g ms)				
		GAB	Oswin	Caurie	Smith	Iglesias y Chirife
	0,112	0,131	0,131	0,133	0,145	0,170
	0,208	0,166	0,156	0,150	0,157	0,173
30 °C	0,561	0,255	0,229	0,235	0,217	0,196
	0,838	0,351	0,321	0,333	0,319	0,282
	0,911	0,387	0,380	0,366	0,380	0,396
	0,105	0,109	0,110	0,114	0,125	0,150
	0,206	0,153	0,138	0,132	0,139	0,154
40 °C	0,535	0,247	0,210	0,212	0,199	0,179
	0,806	0,342	0,302	0,314	0,298	0,266
	0,888	0,382	0,363	0,353	0,361	0,374
	0,100	0,092	0,094	0,098	0,107	0,127
	0,190	0,130	0,116	0,111	0,118	0,130
50 °C	0,512	0,213	0,180	0,178	0,170	0,154
	0,777	0,287	0,254	0,262	0,250	0,224
	0.867	0,320	0,304	0,299	0,302	0,312

La **Tabla 8** presenta los valores predichos de humedad de equilibrio, con los modelos de isotermas estudiados, y expresados matemáticamente en la **Tabla 1**, excepto el modelo BET. Todos los parámetros obtenidos por regresión no lineal ayudaron a predecir M, sin embargo, se puede apreciar sus diferencias numéricas mucho mejor en las figuras (5, 6 y 7). La forma de las isotermas de adsorción de humedad **(Figura 5, 6 y 7)** y el valor del parámetro del modelo GAB (**Tabla 7**) implican que las isotermas de absorción de humedad para la pulpa de ayrampo

en polvo son sigmoides y se basan en la clasificación de isotermas dada por Brunauer et al. (1940) pertenecen a la clase de isotermas tipo II.

Figura 5

Ajuste de datos a los modelos estudiados (Temperatura: 30 °C)

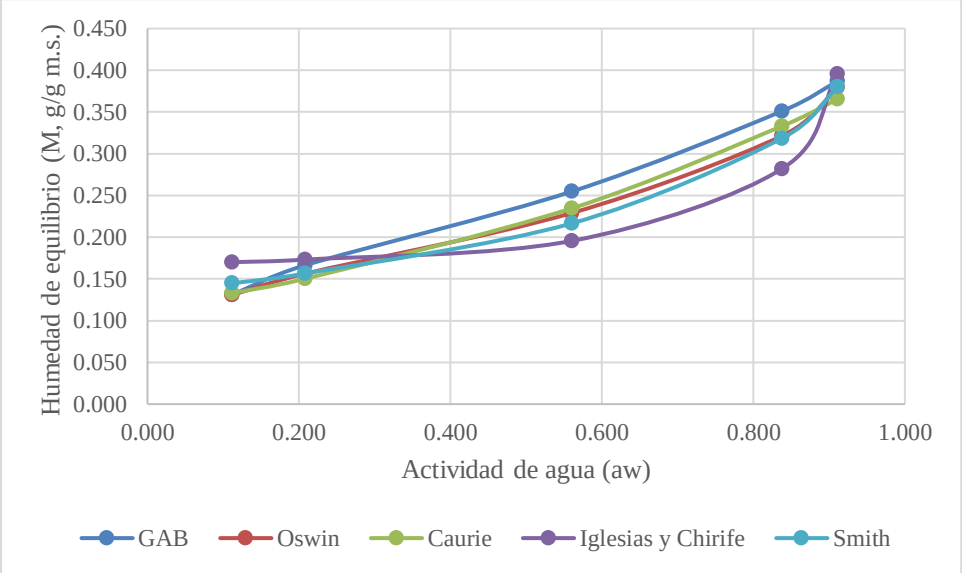
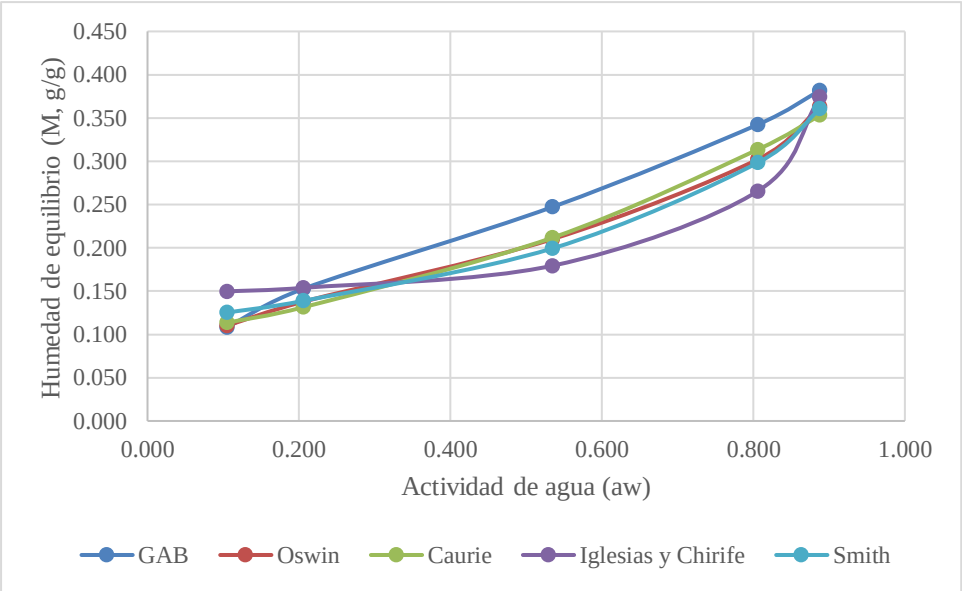


Figura 6

Ajuste de datos a los modelos estudiados (Temperatura: 40 °C)



El modelo GAB se basa en el concepto de humedad monocapa y proporciona el valor del contenido de humedad monocapa del material, considerado como la

humedad segura para los alimentos secos durante la conservación, mientras que la mayoría de los otros modelos carecen de este parámetro. El contenido de humedad de la monocapa (M_0) indica la cantidad de agua que se adsorbe fuertemente en sitios específicos en la superficie del alimento y se considera como el contenido de humedad que proporciona el período de tiempo más largo con una pérdida mínima de calidad a una temperatura dada (Goula et al., 2008), he aquí el hecho que sea tan importante determinar las isotermas de adsorción de los alimentos.

Figura 7

Ajuste de datos a los modelos estudiados (Temperatura: 50 °C)

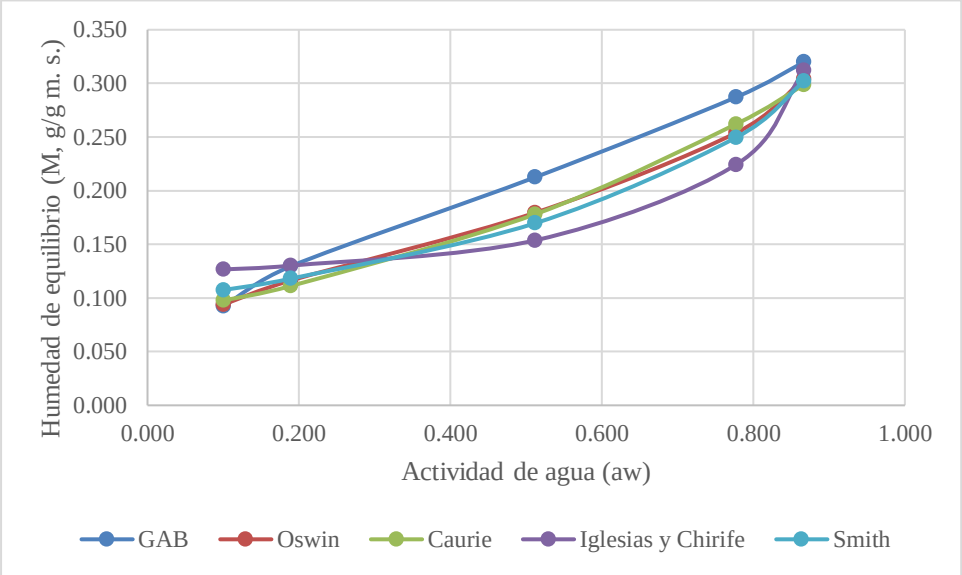


Tabla 9

Energía de activación de la constante B relacionada con el calor de sorción

Modelo	Ea (kJ/mol)	R^2
GAB	-22.48	80,41 %
Oswin	7.22	84,54 %
Caurie	5.86	79,59 %
Smith	-0.045	0,009 %
Iglesias y Chirife	10.85	78,76 %

La Tabla 9 muestra los valores de energía de activación (Ea) que fueron calculados con la ecuación de Arrhenius (Palipane & Driscoll, 1993), que es muy utilizada para comprender el efecto de la temperatura en diferentes tipos de reacción (Morais Ezquerro & Atienza Boronat, 2019). En el modelo de GAB que fue el que mejor se ajustó a la data experimental, Ea viene a ser la diferencia entre el calor de sorción para una monocapa de agua y el calor de sorción para agua multicapa (Quirijns et al., 2005), esta se logró calcular relacionando el valor C y la temperatura. Por lo general, se espera un valor negativo para Ea debido a la unión más débil de las moléculas multicapa (Gabas et al., 2000), que ha sido el caso aquí.

A temperaturas elevadas, las moléculas de agua se activan a niveles de energía más altos y se separan de los sitios de unión al agua del alimento, disminuyendo así el contenido de humedad de equilibrio.

4.3. Discusión de los resultados

Tabla 10

Compuestos bioactivos de la pulpa de ayrampo en polvo

Compuesto	Pulpa en polvo	Fresco
Antocianinas totales (cianidina-3-glucósido)	16,12 ± 0,09 mg EC3G/g	2,98 ± 0,00[1]
Polifenoles totales (equivalente ácido gálico)	90,71 ± 0,42 mg EAG/g	525,02 mg/mL[1]
Flavonoides totales (equivalente catequina)	62,71 ± 0.38 mg EC/g	-

[1]Ccatamayo (2010).

Los compuestos bioactivos de la pulpa de ayrampo en polvo, se determinaron para darle un impulso al trabajo, y se presentan en la **Tabla 10**. Se comparó con los resultados de ayrampo fresco obtenidos por Ccatamayo (2010), sin embargo, no se aprecia una relación, quizá porque el protocolo de determinación fue diferente. En cuanto al contenido total de antocianinas, calculado como la suma de las concentraciones de las antocianinas identificadas por espectrofotometría,

en productos similares como el arándano en polvo, retuvo un alto porcentaje en relación con la fruta entera (aproximadamente 88%). (Lee & Wrolstad, 2004) encontraron que aproximadamente el 82% de las antocianinas monoméricas totales estaban contenidas en la cáscara de los arándanos Highbush, cuantificado por espectrofotometría. Este resultado demuestra que dichos compuestos se concentran preferentemente en la cáscara del fruto, como sugiere su color azul intenso en relación con la pulpa (Lee & Wrolstad, 2004; Reque et al., 2014).

En cuanto a los polifenoles totales, se aprecia que, al comparar el fruto fresco con el producto seco, hay una gran diferencia (sin mencionar que hay diferencia en las unidades de determinación), es posible que durante es secado hayan existido pérdidas de polifenoles (Skrede et al., 2000). Es probable, que en cuanto a los flavonoides haya ocurrido una degradación similar.

Vida útil de la pulpa en polvo

Tabla 11

Parámetros empleados en la estimación de la vida útil de pulpa de ayrampo en polvo envasada en bolsas de polietileno de 250 g y 70 micras de espesor

Parámetro	**Temperatura (°C)**		
	30	**40**	**50**
M_c (g agua/g m.s.)	0,1494	0,1494	0,1494
M_e (g agua/g m.s.) a 84% HR	0,330	0,322	0,279
M_i (g agua/g m.s.) 7.96%	0,08648	0,08648	0,08648
K_s (kg agua/m^2.Pa.día)	$1,33 \times 10^{-6}$	$1,33 \times 10^{-6}$	$1,33 \times 10^{-6}$
A (m^2)	0,028	0,028	0,028
W_s (kg.m.s)	0,2301	0,2301	0,2301
P_0 (Pa)	4243,57	7380,75	12341,7
S	0,2902	0,2804	0,2219
Espesor (µm)	70	70	70
Tiempo de vida útil (días)	126,29	72,72	44,12
Tiempo de vida útil (meses)	4,21	2,42	1,47

La **Tabla 11** muestra la vida útil de pulpa de ayrampo en polvo envasada en bolsas de polietileno de capacidad 0,25 kg (A = 0,028 m^{-2}; K_S = 1,33×10^{-6} kg H_2O. m^{-2}. Pa^{-1}. $día^{-1}$, dato de ficha técnica) que se estimó a tres temperaturas (30, 40 y 50 °C). Para fines de estimación, se asumió la humedad relativa de Huancavelica que es de 80 % a 88 % (Wheater Atlas, 2022) (promedio de 84 %) y por lo tanto, a_w de 0,84. Por otro lado, se asumió la humedad crítica (M_c), de la harina de pijuayo (única norma en Perú para harina de fruta) según la NTP 011.702.2010 (2015), que es 13 % (0,1494 g H_2O/g m.s.). Los resultados indican a menor temperatura, mayor tiempo de vida útil. A mayor temperatura, la permeabilidad de la película plástica al vapor de agua se ve incrementada (Inungaray & Reyes, 2013), entonces la humedad de la pulpa de ayrampo en polvo envasada, tiende a aumentar en almacenamiento, generando valores de a_w propicios para el crecimiento microbiano (Casp & Abril, 2003).

Conclusiones

- ✓ La isoterma de adsorción que se ajustó mejor a los datos experimentales de almacenamiento de pulpa de ayrampo (*Berberis flexuosa*) en polvo fue GAB con menores valores de parámetros de bondad de ajuste y mayor coeficiente de determinación.

- ✓ Los compuestos bioactivos de pulpa de ayrampo (*Berberis fleuxosa*) en polvo fueron: 16,12 ± 0,09 mg/g de antocianinas, 90,71 ± 0,42 mg/g de polifenoles totales y 62,71 ± 0.38 mg/g de flavonoides totales.

- ✓ La vida útil de la pulpa de ayrampo (*Berberis flexuosa*) en polvo varía con la temperatura de almacenamiento y a 30 °C es de 4,21 meses, envasado en bolsas de polietileno de 70 µm de espesor, y 0,25 kg de capacidad.

Recomendaciones

- ✓ Optimizar el proceso de secado de pulpa de ayrampo para su mejor comercialización y presentación.
- ✓ Evaluar el aprovechamiento de residuos del fruto de ayrampo en la obtención de pulpa.
- ✓ Usar envases apropiados y avanzados que permitan alargar la vida útil de la pulpa de ayrampo en polvo.

Referencias bibliográficas

Afsharinasab, M., Mohammad-Sadeghipour, M., Hajizadeh, M. R., Khoshdel, A., Mirzaiey, V., & Mahmoodi, M. (2020). The effect of hydroalcoholic Berberis integerrima fruits extract on the lipid profile, antioxidant parameters and liver and kidney function tests in patients with nonalcoholic fatty liver disease. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *27*(8), 2031–2037.

Ahmed, T., Abdollahi, M., Daglia, M., Nabavi, S. F., & Nabavi, S. M. (2015). Berberine and neurodegeneration: A review of literature. *Pharmacological Reports*, *67*(5), 970–979.

Akbulut, M., Çalisir, S., Marakoglu, T., & Coklar, H. (2009). Some physicomechanical and nutritional properties of barberry (Berberis vulgaris L.) fruits. *Journal of Food Process Engineering*, *32*(4), 497–511.

Alavijeh, M. M., Vaezi, G., Khaksari, M., & Hojati, V. (2019). Berberine hydrochloride attenuates voluntary methamphetamine consumption and anxiety-like behaviors via modulation of oxytocin receptors in methamphetamine addicted rats. *Physiology and Behavior*, *206*, 157–165. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2019.03.024

AOAC. (2019). *Official Methods of Analysis* (Association of Official Analitical Chemists, Ed.; 21st ed.). Association of Official Analitical Chemists.

Aviara, N. A. (2020). Moisture sorption isotherms and isotherm model performance evaluation for food and agricultural products. In G. Kyzas & N. Lazaridis (Eds.), *Sorption in 2020s* (p. 145). IntechOpen London, UK. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=hHL8DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA143&dq=blueberry+flour+isotherm&ots=3VyU94rdY1&sig=eAgNKOacwGc-_c62Utz2noatAyY#v=onepage&q&f=false

Brako, L., & Zarucchi, J. L. (1993). Catalogue of the flowering plants and gymnosperms of Peru: Catálogo de las angiospermas y gimnospermas del Perú. *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden*, *45*, 1–1286.

Brunauer, S., Deming, L. S., Deming, W. E., & Teller, E. (1940). On a theory of the van der Waals adsorption of gases. *Journal of the American Chemical Society*, *62*(7), 1723–1732.

Casimiro Gonzales, S. E. (2017). *Maximización de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos en la elaboración de papilla de ayrampo (Berberís aff. Flexuosa)*. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Casp, A., & Abril, J. (2003). *Procesos de conservación de alimentos* (2nd ed.). Mundi-Prensa.

Cassini, A. S., Marczak, L. D. F., & Noreña, C. P. Z. (2009). Comparison between the isotherms of two commercial types of textured soy protein. *Latin American Applied Research*, *39*(2), 91–97.

Ccatamayo, J. (2010). *Aprovechamiento agroindustrial de ayrampu (Berberis sp.) en el procesamiento de una bebida funcional para la seguridad alimentaria* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Huancavelica.

Cheng, W. E., Ying Chang, M., Wei, J. Y., Chen, Y. J., Maa, M. C., & Leu, T. H. (2015). Berberine reduces Toll-like receptor-mediated macrophage migration by suppression of Src enhancement. *European Journal of Pharmacology*, *757*, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2015.03.013

Debnath, S., Hemavathy, J., & Bhat, K. K. (2002). Moisture sorption studies on onion powder. *Food Chemistry*, *78*(4), 479–482.

Escobar, M. (2017). *Efecto de la temperatura de concentración de pulpa de ayrampo (Berberis flexuosa R.& P.) en sus características fisicoquímicas y capacidad antioxidante*. Universidad Nacional de Huancavelica.

Foster, K. D., Bronlund, J. E., & Paterson, A. H. J. T. (2005). The prediction of moisture sorption isotherms for dairy powders. *International Dairy Journal*, *15*(4), 411–418.

Fouladdel, S., Khorashadizadeh, M., & Azizi, E. (2011). Antiproliferative effects, apoptosis induction and cell cycle alterations by trail and Berberin in MCF7 and MDA-MB-468 breast cancer cell lines. *Toxicology Letters*, *205*, S114. https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2011.05.410

Gabas, A. L., Menegalli, F. C., & Telis-Romero, J. (2000). Water sorption enthalpy-entropy compensation based on isotherms of plum skin and pulp. *Journal of Food Science*, *65*(4), 680.

García-Pérez, J. v, Cárcel, J. A., Clemente, G., & Mulet, A. (2008). Water sorption isotherms for lemon peel at different temperatures and isosteric heats. *LWT-Food Science and Technology*, *41*(1), 18–25.

Goodarzi, S., Khadivi, A., Abbasifar, A., & Akramian, M. (2018). Phenotypic, pomological and chemical variations of the seedless barberry (Berberis vulgaris L. var. asperma). *Scientia Horticulturae*, *238*, 38–50.

Goula, A. M., Karapantsios, T. D., Achilias, D. S., & Adamopoulos, K. G. (2008). Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. *Journal of Food Engineering*, *85*(1), 73–83.

Guadarrama-Lezama, A., Cruz-Olivares, J., Martínez-Vargas, S., Carrillo-Navas, H., Román-Guerrero, A., & Pérez-Alonso, C. (2014). Determination of the minimum integral entropy, water sorption and glass transition temperature to establishing critical storage conditions of beetroot juice microcapsules by spray drying. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, *13*(2), 405–416.

Hassanpour, H., & Alizadeh, S. (2016). Evaluation of phenolic compound, antioxidant activities and antioxidant enzymes of barberry genotypes in Iran. *Scientia Horticulturae*, *200*, 125–130. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.015

Heiss, R., & Eichner, K. (1971). Moisture content and shelflife. *Food Manufacture*, 53–56.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2013). *Metodología de la investigación* (Sexta).

Ikhu-Omoregbe, D. (2006). Comparison of the sorption isotherm characteristics of two cassava products. *International Journal of Food Properties*, *9*(2), 167–177.

Imenshahidi, M., & Hosseinzadeh, H. (2016). Berberis vulgaris and berberine: an update review. *Phytotherapy Research*, *30*(11), 1745–1764.

NTP 011.702.2010, 15 (2015).

Inungaray, M. L. C., & Reyes, A. (2013). Vida útil de los alimentos. *Revista Iberoamericana de Las Ciencias Biológicas y Agropecuarias: CIBA*, *2*(3), 3.

Kaymak-Ertekin, F., & Gedik, A. (2004). Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes, apricots, apples and potatoes. *LWT-Food Science and Technology*, *37*(4), 429–438.

Kumar, P., & Mishra, H. N. (2006). Moisture sorption characteristics of mango–soy-fortified yogurt powder. *International Journal of Dairy Technology*, *59*(1), 22–28.

Lee, J., & Wrolstad, R. E. (2004). Extraction of anthocyanins and polyphenolics from blueberry processing waste. *Journal of Food Science*, *69*(7), 564–573.

Lewicki, P. P. (1997). The applicability of the GAB model to food water sorption isotherms. *International Journal of Food Science & Technology*, *32*(6), 553–557.

Lim, L. T., Tang, J., & He, J. (1995). Moisture sorption characteristics of freeze dried blueberries. *Journal of Food Science*, *60*(4), 810–814.

Maroulis, Z. B., Tsami, E., Marinos-Kouris, D., & Saravacos, G. D. (1988). Application of the GAB model to the moisture sorption isotherms for dried fruits. *Journal of Food Engineering*, *7*(1), 63–78.

Martínez Navarrete, N. (1998). *Termodinámica y cinética de sistemas alimento entorno*. Universidad Politécnica de Valencia.

Mathlouthi, M., & Rogé, B. (2003). Water vapour sorption isotherms and the caking of food powders. *Food Chemistry*, *82*(1), 61–71.

Mayhua Mendoza, T. (2018). *Evaluación del efecto de la adición de Ayrampo (Berberis sp.) en las características organolépticas del yogurt funcional en Acobamba - Huancavelica* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica]. http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2769

Morais Ezquerro, S. B., & Atienza Boronat, M. J. (2019). *Efecto de la temperatura sobre la velocidad de reacción: Ley de Arrhenius*. Universitát Politécnica de Valencia. http://hdl.handle.net/10251/122836

Muzaffar, K., & Kumar, P. (2016). Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarind pulp powder. *Powder Technology*, *291*, 322–327.

Nunes, R. v, & Rotstein, E. (1991). Thermodynamics of the water-foodstuff equilibrium. *Drying Technology*, *9*(1), 113–137.

Pacheco, E. V. (2014). *Evaluación de la adición de ayrampo (berberis sp.) en las características organolépticas y nutritivas del manjar blanco* [Tesis de pregrado,

Universidad Nacional de Huancavelica]. http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/97

Palipane, K. B., & Driscoll, R. H. (1993). Moisture sorption characteristics of in-shell macadamia nuts. *Journal of Food Engineering*, *18*(1), 63–76.

Pérez-Alonso, C., Beristain, C. I., Lobato-Calleros, C., Rodríguez-Huezo, M. E., & Vernon-Carter, E. J. (2006). Thermodynamic analysis of the sorption isotherms of pure and blended carbohydrate polymers. *Journal of Food Engineering*, *77*(4), 753–760.

Pomilio, A. B. (1973). Anthocyanins in fruits of Berberis buxifolia. *Phytochemistry*, *12*(1), 218–220. https://doi.org/10.1016/s0031-9422(00)84657-9

Quirijns, E. J., van Boxtel, A. J. B., van Loon, W. K. P., & van Straten, G. (2005). Sorption isotherms, GAB parameters and isosteric heat of sorption. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *85*(11), 1805–1814.

Radziejewska-Kubzdela, E., Szwengiel, A., Ratajkiewicz, H., & Nowak, K. (2020). Effect of ultrasound, heating and enzymatic pre-treatment on bioactive compounds in juice from Berberis amurensis Rupr. *Ultrasonics Sonochemistry*, *63*, 104971.

Raji, A. O., & Ojediran, J. O. (2011). Moisture sorption isotherms of two varieties of millet. *Food and Bioproducts Processing*, *89*(3), 178–184.

Ray, S., Raychaudhuri, U., & Chakraborty, R. (2016). An overview of encapsulation of active compounds used in food products by drying technology. *Food Bioscience*, *13*, 76–83.

Reque, P. M., Steffens, R. S., Silva, A., Jablonski, A., Flores, S. H., Rios, A. de O., & Jong, E. (2014). Characterization of blueberry fruits (Vaccinium spp.) and derived products. *Food Science and Technology*, *34*(4), 773–779.

Ruíz, A., Hermosín-Gutiérrez, I., Mardones, C., Vergara, C., Herlitz, E., Vega, M., Dorau, C., Winterhalter, P., & von Baer, D. (2010). Polyphenols and antioxidant activity of calafate (berberis microphylla) fruits and other native berries from Southern Chile. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *58*(10), 6081–6089. https://doi.org/10.1021/jf100173x

Ruíz, A., Hermosín-Gutiérrez, I., Vergara, C., von Baer, D., Zapata, M., Hitschfeld, A., Obando, L., & Mardones, C. (2013). Anthocyanin profiles in south

Patagonian wild berries by HPLC-DAD-ESI-MS/MS. *Food Research International*, *51*(2), 706–713. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.01.043

Ruíz, A., Vergara, C., Hermosín-Gutiérrez, I., von Baer, D., Hinrichsen, P., Rodríguez, R., Arribillaga, D., Domínguez, E., & Mardones, C. (2013). Analysis of hydroxycinnamic acids derivatives in calafate (Berberis microphylla G. Forst) berries by liquid chromatography with photodiode array and mass spectrometry detection. *Journal of Chromatography A*, *1281*, 38–45. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2013.01.059

Shishir, M., & Chen, W. (2017). Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. *Trends in Food Science & Technology*, *65*(1), 49–67.

Skrede, G., Wrolstad, R. E., & Durst, R. W. (2000). Changes in anthocyanins and polyphenolics during juice processing of highbush blueberries (Vaccinium corymbosum L.). *Journal of Food Science*, *65*(2), 357–364. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb16007.x

Sokół-Łętowska, A. M. (2013). *Związki fenolowe w nalewkach z wybranych owoców*. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego.

Sormoli, M. E., & Langrish, T. A. G. (2015). Moisture sorption isotherms and net isosteric heat of sorption for spray-dried pure orange juice powder. *LWT-Food Science and Technology*, *62*(1), 875–882.

Spada, J. C., Noreña, C. P. Z., Marczak, L. D. F., & Tessaro, I. C. (2013). Water adsorption isotherms of microcapsules with hydrolyzed pinhão (Araucaria angustifolia seeds) starch as wall material. *Journal of Food Engineering*, *114*(1), 64–69.

Tonon, R. V, Baroni, A. F., Brabet, C., Gibert, O., Pallet, D., & Hubinger, M. D. (2009). Water sorption and glass transition temperature of spray dried açai (Euterpe oleracea Mart.) juice. *Journal of Food Engineering*, *94*(3–4), 215–221.

Turismo Huancavelica. (2017). *Ayrampo de Huancavelica*. https://www.turismohuancavelica.com/articulos/ayrampo

Ulloa Ulloa, C., Sagástegui, A., & Sánchez, I. (2006). Berberidaceae endémicas del Perú. *Revista Peruana de Biología*, *13*(2), 171–173.

Vásquez, C., Díaz-Calderón, P., Enrione, J., & Matiacevich, S. (2013). State diagram, sorption isotherm and color of blueberries as a function of water content. *Thermochimica Acta*, *570*, 8–15.

Vásquez, J. M. (2018). *Actividad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos y flavonoides de Berberis FlexuosaR. & P." tankar", Ayacucho 2018* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. http://209.45.73.22/handle/UNSCH/3350

Wang, Y., & Zhang, S. (2018). Berberine suppresses growth and metastasis of endometrial cancer cells via miR-101/COX-2. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, *103*, 1287–1293. https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.04.161

Wheater Atlas. (2022). *Huancavelica, Perú - Clima y Previsión meteorológica mensual*. https://www.weather-atlas.com/es/peru/huancavelica-clima#humidity_relative

Yang, Z., Zhu, E., & Zhu, Z. (2012). Moisture sorption isotherms and net isosteric heats of sorption of green soybean. *International Journal of Food Engineering*, *8*(3).

Anexos

Matriz de Consistencia

Título: "Evaluación de las isotermas de adsorción y del almacenamiento de pulpa de ayrampo (*Berberis sp*.) en polvo"

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES
¿Cuál será la isoterma de adsorción que se ajuste a los datos experimentales y la vida útil de pulpa de ayrampo (*Berberis sp*.) en polvo?	**Objetivo General** Evaluar las isotermas de adsorción y el almacenamiento de pulpa de ayrampo (*Berberis flexuosa*) en polvo. **Objetivos Específicos** Determinar la isoterma de adsorción que se ajuste a los datos experimentales de almacenamiento de pulpa de ayrampo (*Berberis flexuosa*) en polvo. Determinar los compuestos bioactivos de pulpa de ayrampo (*Berberis flexuosa*) en polvo. Determinar la vida útil de la pulpa de ayrampo (*Berberis flexuosa*) en polvo.	La isoterma de adsorción del modelo GAB se ajusta a los datos experimentales y permite predecir la vida útil.	**Variables independientes** Actividad de agua **Variables dependientes** Humedad de equilibrio Compuestos bioactivos Vida Útil	Humedad relativa Humedad en base seca Antocianinas Polifenoles Flavonoides Tiempo

Certificado de similitud

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA
(Creada por ley N°25265)
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE PROMOCIÓN, DIFUSIÓN Y REPOSITORIO

turnitin

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Por medio del presente y de acuerdo al siguiente detalle:

- trabajo de investigación titulado:
  "EVALUACIÓN DE LAS ISOTERMAS DE ADSORCIÓN Y DEL ALMACENAMIENTO DE LA PULPA DE AYRAMPO (*Berberis sp)* EN POLVO"
- Presentado por la autora:
  GONZALES CCANTO, Ana María.
- Docente asesor:
  CHUQUILIN GOICOCHEA, Roberto Carlos.
- Para obtener:
  El Título Profesional de: **INGENIERO AGROINDUSTRIAL.**

La Unidad de Promoción, Difusión y Repositorio, **certifica que es un trabajo de investigación original** y que no ha sido presentado ni publicado en revistas científicas nacionales e internacionales, ni en sitio o portal electrónico.

Por tanto, en cumplimiento del Art.4° del Reglamento del Software Anti plagio de la Universidad Nacional de Huancavelica, se dictamina que el trabajo de investigación fue analizado por el software anti plagio TURNITIN (realizado por el docente Asesor), se expide el presente.

ORIGINALIDAD	SIMILITUD
79. 0 %	21. 0 %

El Certificado se expide el 17 de noviembre del año 2022.

DR. ESPINOZA QUISPE CARLOS ENRIQUE

N° 471-2022

Ficha de validación

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

LABORATORIO DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL 02

RESULTADOS DE ANÁLISIS

SOLICITANTE	: Ana María Gonzáles Ccanto
PRODUCTO DECLARADO	: Pulpa de ayrampo en Polvo
NUMERO DE MUESTRAS	: 1 muestras x 100 g
MUESTREADO POR	: La solicitante
FECHA DE RECEPCIÓN	: 12 Junio del 2020
FECHA DE ENTREGA RESULTADOS	: 19 Junio del 2020
ENSAYO SOLICITADO	: Análisis de compuestos bioactivos

Producto	Valor
Antocianinas totales (cianidina-3-glucósido)	16,12 ± 0,09 mg EC3G/g
Polifenoles totales (equivalente ácido gálico)	90,71 ± 0,42 mg EAG/g
Flavonoides totales (equivalente catequina)	62,71 ± 0.38 mg EC/g

Valor obtenido del promedio de tres repeticiones

Métodos utilizados:

- Antocianinas totales, método espectrofotométrico por pH diferencial (Giusti & Wrolstad, 2001).
- Polifenoles totales: método de Folin – Ciocalteau (Singleton et al., 1999).
- Flavonoides totales: método espectrofotométrico (Cheynier, 2005).

CHUQUILIN GOICOCHEA ROBERTO CARLOS
INGENIERO AGROINDUSTRIAL CIP 91005
roberto.chuquilin@unh.edu.pe
Fecha: 16/12/2022 22:51
Firmado con www.tocapu.pe

N° Registro: 004-2020

Av. Evitamiento Este S/N, Acobamba, Acobamba, Huancavelica – Perú
Celular: 998793955
Email: roberto.chuquilin@unh.edu.pe

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

LABORATORIO DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL 02

RESULTADOS DE ANÁLISIS

SOLICITANTE	: Ana María Gonzáles Ccanto
PRODUCTO DECLARADO	: Pulpa de ayrampo en Polvo
NUMERO DE MUESTRAS	: 1 muestras x 100 g
MUESTREADO POR	: La solicitante
FECHA DE RECEPCIÓN	: 15 Julio del 2020
FECHA DE ENTREGA RESULTADOS	: 15 Noviembre del 2020
ENSAYO SOLICITADO	: Medición de humedad de equilibrio

Humedad de equilibrio (M, g H_2O/g ms)

30 °C		40 °C		50 °C	
a_w	M	a_w	M	a_w	M
0,112	0,131	0,105	0,110	0,100	0,092
0,208	0,150	0,206	0,131	0,190	0,113
0,561	0,246	0,535	0,233	0,512	0,197
0,838	0,315	0,806	0,298	0,777	0,254
0,911	0,374	0,888	0,351	0,867	0,290

Valor obtenido del promedio de tres repeticiones

Dr. Roberto Carlos Chuquilin Goicochea
DIRECTOR EP-ING. AGROINDUSTRIAL

CHUQUILIN GOICOCHEA ROBERTO CARLOS
INGENIERO AGROINDUSTRIAL CIP 91005
roberto.chuquilin@unh.edu.pe
Fecha: 16/12/2022 22:57
Firmado con www.tocapu.pe

N° Registro: 005-2020

Av. Evitamiento Este S/N, Acobamba, Acobamba, Huancavelica – Perú
Celular: 998793955
Email: roberto.chuquilin@unh.edu.pe

Evidencias

Fotografía 1. Materia prima: frutos de ayrampo.

Fotografía 2. Lavado de los frutos de ayrampo

Fotografía 3. Secado de los frutos

Fotografía 4. Frutos secos de ayrampo

Fotografía 5. Despulpado de frutos de ayrampo deshidratados

Fotografía 6. Pulpa de ayrampo en polvo