



FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

TESIS

**DETERMINACIÓN DE LAS ISOTERMAS DE ADSORCIÓN DEL POLVO
ATOMIZADO DE *Bixa orellana* L. (ACHIOTE)**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

PRESENTADO POR:

DIEGO WALKER KOO DEL AGUILA

ASESORES:

Ing. JORGE LUIS CARRANZA GONZALES, Mtro.

Ing. ALFONSO MIGUEL RIOS CACHIQUÉ, MSc.

IQUITOS, PERÚ

2022



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 024-CGT-FIA-UNAP-2022

A los 28 días del mes de diciembre de 2022, a horas 05:15 p.m., en las instalaciones del laboratorio de ingeniería, ubicado en la Planta Piloto, sito Av. Freyre N° 610, dando inicio a la sustentación pública de la Tesis titulada: "DETERMINACIÓN DE LAS ISOTERMAS DE ADSORCIÓN DEL POLVO ATOMIZADO DE *Bixa orellana* L. (ACHIOTE)", presentado por el Bachiller: DIEGO WALKER KOO DEL ÁGUILA, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) en Industrias Alimentarias, que otorga la Universidad de acuerdo a Ley y Estatuto.

El Jurado Calificador y dictaminador designado mediante Resolución Decanal N° 0524-FIA-UNAP-2022 del 16 de noviembre de 2022, está integrado por:

Ing. ALENGUER GERÓNIMO ALVA ARÉVALO, Dr.
Ing. GENARO RAFAEL CARDEÑA PEÑA, Dr.
Ing. PEDRO ROBERTO PAREDES MORI, Mtro.

Luego de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas: satisfactoriamente

El Jurado después de las deliberaciones correspondientes, llegó a las siguientes conclusiones:

La sustentación pública y la tesis ha sido: aprobada con la calificación Buena

Estando el bachiller apto para obtener el Título Profesional de Ingeniero en Industrias Alimentarias Siendo las 06:15 p.m. se dio por terminado el acto de sustentación.

Miembro

Ing. GENARO RAFAEL CARDEÑA PEÑA, Dr.
CIP: 33346

Presidente

Ing. ALENGUER GERÓNIMO ALVA ARÉVALO, Dr.
CIP: 45167

Miembro

Ing. PEDRO ROBERTO PAREDES MORI, Mtro.
CIP: 65947

Asesor

Ing. JORGE LUIS CARRANZA GONZALES, Mtro.
CIP: 71113

Asesor

Ing. ALFONSO MIGUEL RÍOS CACHIUE MSc
CBP: 211418


JURADO Y ASESORES


TESIS APROBADA EN SUSTENTACION PUBLICA, EN LA FACULTAD DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA, AL DIA 28 DE DICIEMBRE DEL AÑO 2022 POR EL JURADO CALIFICADOR CONFORMADO POR:


Presidente
Ing. ALENGUER GERONIMO ALVA AREVALO, Dr.
CIP: 45167


Miembro
Ing. GENARO RAFAEL CARDEÑA PEÑA, Dr.
CIP: 33346


Miembro
Ing. PEDRO ROBERTO PAREDES MORI, Mtro.
CIP: 65947


Asesor
Ing. JORGE LUIS CARRANZA GONZALES, Mtro.
CIP: 71113


Asesor
Ing. ALFONSO MIGUEL RIOS CACHIQUE, MSc.
CIP: 211418



Nombre del usuario:
Universidad Nacional de la Amazonia Peruana

ID de Comprobación:
76643987

Fecha de comprobación:
27.10.2022 12:31:51 -05

Tipo de comprobación:
Doc vs Internet

Fecha del Informe:
27.10.2022 12:51:59 -05

ID de Usuario:
Ocultado por Ajustes de Privacidad

Nombre de archivo: **TESIS RESUMEN DIEGO WALKER KOO DEL AGUILA**

Recuento de páginas: **56** Recuento de palabras: **11072** Recuento de caracteres: **65285** Tamaño de archivo: **647.34 KB** ID de archivo: **87719727**

30.6% de Coincidencias

La coincidencia más alta: **11.5%** con la fuente de Internet (<https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/>)

30.6% Fuentes de Internet

1000

Página 58

No se llevó a cabo la búsqueda en la Biblioteca

25.3% de Citas

Citas

62

Página 59

No se han encontrado referencias

0% de Exclusiones

No hay exclusiones

DEDICATORIA

A Dios, por darme las fuerzas salud y sabiduría para lograr este proyecto.

A mi madre Nelly de Aguila Montes que a pesar de las circunstancias por las que tuvo que pasar, logro apoyarme de principio a fin de mi proyecto mostrándome su amor y motivación su amor y motivación constante que siempre la caracterizan y infundieron siempre en mi vida.

A mi abuelo Walker Luis Koo Montilla, quien me formo con carácter y disciplina paraafrontar las adversidades que se me presenten en la vida.

A mi tio Raul Eduardo del Aguila Vera quien me mostro los valores y la humildad que toda persona debe poseer para conseguir sus objetivos.

AGRADECIMIENTO

A la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias quien me acogió en su casa de estudios superior desde el inicio hasta el final de mi formación profesional.

A los ingenieros de la Escuela de Ingeniería en Industrias Alimentarias, por dedicarse su tiempo a la enseñanza de una carrera profesional que requiere de mucho esfuerzo, compartiendo sus conocimientos a las nuevas generaciones que aceptaron emprender este desafío profesional.

A mis asesores: Ing. Jorge Luis Carranza Gonzales, Mtro y el Ing. Alfonso Miguel Rios Cachique, MSc por su orientación, revisión en el desarrollo y culminación de la redacción del trabajo final.

ÍNDICE

Portada	i
Acta De Sustentación	ii
Jurados y Asesores	iii
Resultado del Informe de similitud	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Indice	vii
Indice de cuadros	ix
Indice de figuras	x
Resumen	xi
Abstract	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Bases Teóricas	5
1.2.1 Generalidades de la <i>Bixa orellana L</i>	5
1.2.2 El agua en los alimentos	8
1.2.2.1 Distribución del agua en los alimentos	9
1.2.3 Actividad de agua	9
1.2.3.1 Alteraciones que ocurren en alimentos por cambios en la A_w	10
1.2.3.2 Pérdida de calidad de un alimento	10
1.2.3.3 Vida útil de un alimento	11
1.2.4 Importancia de las isotermas de sorción en la Industria alimentaria	14
1.2.4.1 Sales empleadas para determinar las isotermas de sorción	14
1.2.5 Isotermas en alimentos	14
1.2.5.1 Clasificación de las isotermas de adsorción	16
1.2.5.2 Métodos de medición de las isotermas	17
1.2.6 Modelización matemática de las isotermas de adsorción	18
1.2.6.1 Modelo de B.E.T	18

1.2.6.2 Modelo de G.A.B	18
1.2.7 Predicción del contenido de humedad de un alimento	19
1.2.7.1 Condiciones para predecir el tiempo de ganancia de humedad de un alimento empacado	19
1.2.7.2 Determinación de la humedad de equilibrio (X_e)	20
1.3 Definiciones de términos básicos	21
CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES	22
2.1 Formulación de la hipótesis	22
2.1.1 Hipótesis general	22
2.1.2 Hipótesis específicas	22
2.2 Variables y su operacionalización	22
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	24
3.1 Tipo y Diseño	24
3.2 Diseño muestral	24
3.3 Procedimiento de recolección de datos	25
3.3.1 Proceso experimental de la obtención de las isotermas del polvo atomizado <i>Bixa Orellana L</i>	25
3.4 Procesamiento y análisis de datos	28
3.4.1 Proceso de extracción de extracto de achiote	28
3.5 Aspectos éticos	28
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	29
4.1 Resultado físico-químico del polvo atomizado de <i>Bixa orellana L</i>	29
4.2 Valores obtenidos de la humedad adsorbida durante el proceso	30
4.3 Resultados obtenidos para las constantes de los modelos de B.E.T y G.A.B	41
4.4 Cálculo del tiempo de vida útil	47
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	50
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES	52
CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES	53
CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN	54
ANEXOS	61

INDICE DE TABLA

Tabla 1: Sales empleadas para la determinación de actividades de agua	14
Tabla 2: Análisis físico-químico del achiote atomizado.	29
Tabla 3: Resultados del análisis microbiológico del polvo atomizado de <i>Bixa orellana L</i> (achiote)	29
Tabla 4: Humedad X (g de agua/100g m.s) con agua destilada a 20 °C	30
Tabla 5: Humedad X (g de agua/100g m.s) con nitrato de magnesio a 20 °C	32
Tabla 6: Humedad X (g de agua/100g m.s) con agua destilada a 25 °C	34
Tabla 7: Humedad X (g de agua/100g m.s) con nitrato de magnesio a 25 °C	36
Tabla 8: Humedad X (g de agua/100g m.s) con agua destilada a 30 °C	38
Tabla 9: Humedad X (g de agua/100g m.s) con nitrato de magnesio a 30 °C	39
Tabla 10: Valores obtenidos de la constante de B.E.T	41
Tabla 11: Valores obtenidos de la constante de G.A.B	41
Tabla 12: Valores de la energía de activación para las constantes de G.A.B calculadas con el método de Arrhenius	42
Tabla 13: Índice de peróxido	47
Tabla 14: Proyecciones de la constante K para diferentes temperaturas	48
Tabla 15: Proyecciones del tiempo de vida útil del polvo atomizado de <i>Bixa orellana L</i> .	48

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Achiote con capsulas de color rojo	6
Figura 2: Variedades de achiote en cuanto a color	7
Figura 3: Isoterma de sorción para un producto alimenticio	16
Figura 4: Isotermas de adsorción de Vander Waals	17
Figura 5: Diagrama de flujo seguido para la obtención de las isotermas de adsorción del polvo atomizado de <i>Bixa orellana L</i> (achiote) mediante método isopiéstico-gravimétrico	25
Figura 6: Ganancia de humedad con agua destilada a la temperatura de 20 °C.	31
Figura 7: Ganancia de humedad con nitrato de magnesio a la temperatura de 20 °C	33
Figura 8: Ganancia de humedad con agua destilada a la temperatura de 25 °C.	35
Figura 9: Ganancia de humedad con nitrato de magnesio a la temperatura de 25 °C.	37
Figura 10: Ganancia de humedad con agua destilada a la temperatura de 30 °C.T	38
Figura 11: Ganancia de humedad a la temperatura de 30 °C.	40
Figura 12: Isotermas de absorción mediante los modelos de G.A.B y B.E.T a 20 °C.	43
Figura 13: Isotermas de absorción mediante los modelos de G.A.B y B.E.T a 25 °C	44
Figura 14: Isotermas de absorción mediante los modelos de G.A.B y B.E.T a 30 °C	45

RESUMEN

En la presente investigación se evaluó el efecto de temperatura sobre la bixina evaluado mediante la cinética de secado, para ello se realizaron una serie de pasos como la cinética de secado en un secador de bandejas por convección forzada aplicando el diseño factorial 2^3 para representar los valores mínimos y máximos a las temperaturas de 50 °C y 70 °C conjugándolo con velocidades de aire de 3 m/s y 5 m/s y un espesor del lecho de 3mm y 5mm respectivamente. Se encontraron contenidos de bixina de 7.98 mg/100g m.s a las temperaturas de 50 °C y 70 °C manteniendo la velocidad de aire y espesor del lecho constantes, este resultado nos indica que a estas temperaturas la bixina no es afectada, la velocidad de secado se incrementó de 1.36 kg/h m² a una temperatura de 50 °C hasta 3.79 kg/h m² para la temperatura de 70 °C indicando una mayor transferencia de masa por influencia directa de la temperatura, seguidamente las semillas secas de *Bixa orellana L* fueron molidas y convertidas en harina para evaluar sus isotermas de adsorción se utilizó los modelos matemáticos B.E.T. y G.A.B empleando las sales de cloruro de sodio y yoduro de potasio a las temperaturas de 20 °C, 25 °C y 30 °C encontrando valores de actividades de agua (aw) que van desde 0.67 hasta 0.69 para el modelo matemático de B.E.T con el cloruro de sodio y valores de 0.87 hasta 0.64 para el modelo matemático de G.A.B, para el yoduro de potasio 0.76 hasta 0.64 para el modelo de B.E.T y 0.77 hasta 0.64 para el modelo de G.A.B, se determinó también la energía de activación a estas temperaturas con la ecuación de Arrhenius $E_a = 28299.19 \text{ j/mol k}$, finalmente se proyectó su tiempo de vida útil (TVU) de la harina teniendo el índice de peróxido como referencia de calidad que debe ser menor de 5 mEq/kg, obteniendo que a 20 °C durara 34.75 meses, 25 °C durara 33.75 meses y a 30 °C durara 33.25 meses.

Con los datos obtenidos se puede concluir que el periodo de secado a velocidad decreciente transcurre el mayor tiempo de secado y el periodo de secado constante fue muy corto.

Palabras clave: Cinética de secado, *Bixa orellana L*, modelado, isotermas, actividad de agua, tiempo de vida útil.

ABSTRACT

In the present investigation, the effect of temperature on bixin was evaluated by means of drying kinetics, for which a series of steps were carried out, such as drying kinetics in a tray dryer by forced convection applying the 2 factorial design.³ to represent the minimum and maximum values at temperatures of 50 °C and 70 °C combining it with air speeds of 3m/s and 5 m/s and a bed thickness of 3mm and 5mm respectively. Bixin contents of 7.98 mg/100g m.s. were found at temperatures of 50 °C and 70 °C, maintaining constant air velocity and bed thickness, this result indicates that bixin is not affected at these temperatures, the rate of drying increased from 1.36 kg/h m² at a temperature of 50 °C up to 3.79 kg/h m² for a temperature of 70 °C indicating a higher mass transfer due to the direct influence of temperature, followed by the dry seeds of *Bixa orellana L* were ground and turned into flour to evaluate their adsorption isotherms, the mathematical models B.E.T. and G.A.B using the salts of sodium chloride and potassium iodide at temperatures of 20 °C, 25 °C and 30 °C finding values of water activities (a_w) ranging from 0.67 to 0.69 for the mathematical model of B.E.T with sodium chloride and values from 0.87 to 0.64 for the G.A.B mathematical model, for potassium iodide 0.76 to 0.64 for the B.E.T model and 0.77 to 0.64 for the G.A.B model, the activation energy at these temperatures was also determined with the Arrhenius equation $E_a = 28299.19 \text{ J/mol}$ k, finally its useful life time (TVU) of the flour was projected, having the peroxide index as a quality reference that must be less than 5 mEq/kg, obtaining that at 20 °C will last 34.75 months, 25 °C will last 33.75 months and at 30 °C it will last 33.25 months.

With the data obtained, it can be concluded that the drying period at decreasing speed takes the longest drying time and the constant drying period was very short.

Keywords: Drying kinetics, *Bixa orellana L*, modeling, isotherms, water activity, lifetime.

INTRODUCCIÓN

La *Bixa orellana L* (achiote) es una planta que se desarrolla y crece en gran cantidad en toda la amazonia peruana. La bixina es el componente más importante del achiote que es muy empleado en industrias tales como lácticas, alimenticias, cosméticos, farmacéutica, cerámicas, barnices entre otras, de ahí su importancia por preservarla, uno de los métodos es el atomizado que al extracto de achiote lo convertirá en un polvo fino y de bajo contenido de humedad.

Es así que los productos elaborados usualmente son almacenados por un periodo de tiempo antes de llegar al consumidor, entonces los alimentos deshidratados incrementan su humedad hasta llegar a un límite de aceptación que corresponde a una actividad de agua (a_w) crítica, a partir de ello el alimento manifiesta un deterioro que puede ser físico, químico o microbiológico provocando una disminución de su calidad y vida útil, Peralta (2001).

Se ha demostrado que la actividad del agua (a_w) depende de la temperatura en muchos productos. Por tal motivo, resulta de interés realizar las observaciones y comprobaciones a distintas temperaturas, dentro de los rangos habituales de fabricación, uso, transporte y almacenamiento del producto, Gil et al, (2012).

Existen pocos trabajos con modelos matemáticos de secado de frutas y hortalizas amazónicas y todas ellas a nivel de laboratorio, especialmente como cinética de secado y aplicación en la rehidratación como adsorción y desorción. Ruiz, (2021). De esta manera el estudio de la actividad de agua (a_w) mediante su relación con la humedad de equilibrio (X_e) reflejadas en una isoterma y analizadas mediante un modelo matemático resulta muy importante para determinar su durabilidad bajo ciertas condiciones de calor y humedad ambiental.

Los resultados demuestran que la aplicación de modelos matemáticos en la conservación y transformación de las materias primas pueden ser aplicados tanto a nivel de laboratorio como industrial, de esta manera puede ser aplicado a cualquier trabajo de investigación en la ciencia y tecnología de alimentos, contribuyendo a disminuir costos, elevando la calidad y cantidad del producto, creando nuevas alternativas a la Industria de alimentos, Ruiz, (2021).

CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes del estudio

Solis C (2010), en su investigación “Modelamiento matemático de la transferencia de sacarosa en la deshidratación osmótica del fruto de la carambola (*Aberrhoa carambola L*)” define como se lleva a cabo esta transferencia logrando el incremento de sólidos (0.87 a 3.42) maximizando la pérdida de agua (3.15 a 6.65), para tal efecto empleo un diseño experimental compuesto central con 2 niveles y 4 factores con 3 repeticiones, los parámetros adecuados fueron: tiempo 150 min, concentración de solución 65 °Brix, relación fruta/solución 1:4 y temperatura de 50 °C.

Pulido N, Diaz C y Váquiro H (2014), investigaron el “Modelado de las isotermas de sorción y del calor isostérico de sorción en polen apícola” relacionando el contenido de humedad y la actividad de agua para determinar las isotermas a las temperaturas de 50 °C y 60 °C, empleando el método gravimétrico con sales saturadas, empleando el modelo de GAB y tres modelos empíricos para modelizar las isotermas de sorción. A partir del modelo de GAB se empleó el modelo de Clausius-Clapeyron para determinar el calor isostérico de sorción. El modelo de GAB presento mejor ajuste que los otros tres modelos.

Ovalle J (2015) realizó la “evaluación de isotermas de adsorción en harina de pijuayo (*Bactris gasipaes*)”, a las temperaturas de 20°C, 30°C, 40°C, para el rango de a_w entre 0.1 a 0.87 se utilizó seis modelos matemáticos (GAB, BET, HALSEY, OSWIN, CHUNG-PFOST, HENDERSON) donde las curvas de adsorción de la harina de pijuayo tuvieron un comportamiento del tipo **1**, que es una singularidad de muestras ricas en carbohidratos. Las isotermas de GAB y HALSEY se ajustaron mejor al comportamiento experimental de adsorción de la harina de pijuayo, presentando coeficientes de determinación R^2 superiores al 96%, P menores al 10% SEM menores a 0.014 y una dispersión

de los residuos de forma aleatoria. Se calculó la energía de activación E_a utilizando la ecuación de Arrhenius, para las variables termodinámicas del modelo de GAB X_m , CGAB y KGAB presentando su influencia con la temperatura con valores de E_a 1,9177kJ/mol; 41,4151 kJ/mol y -1,8737kJ/mol, respectivamente. Los resultados obtenidos indican que la harina de pijuayo presenta regular a baja capacidad de adsorción de humedad con respecto a otras harinas.

Rodríguez J. (2015), investigo sobre el “Efecto de la temperatura sobre las isothermas de adsorción de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) en hojuelas”, evaluó el efecto en las temperaturas de 25 y 45 °C, empleando los modelos matemáticos de GAB y BET, Caurie y Henderson. El modelo GAB presento valores de 0.0701 y 0.0468 (g de agua/g de sólido seco) mayores a los calculados por BET 0.0565 y 0.0358 (g de agua/g de sólido seco). Finalmente concluyo que el modelo que mejor se ajusta es de GAB y se estimó la vida útil de la hojuela 11.5 y 9.9 meses a las temperaturas de 25 y 45 °C.

Choque-Quispe et al (2018), desarrollaron la investigación “evaluación de las isothermas de sorción de granos y harina de kiwicha (*Amarantus caudatus*) emplearon el método estático gravimétrico para intervalos de humedad relativa de 10 a 90% a temperaturas de 18, 20, 25 y 30 °C. Se estudiaron 11 modelos matemáticos y se modelaron a datos experimentales a través de RNL tomando como criterio de convergencia el coeficiente de correlación R^2 y el error medio relativo $\%E$, así el modelo de Adam y Shove presentó mejor ajuste para los granos de kiwicha, mientras que para la harina fue el modelo de Peleg. Asimismo, se observó que la temperatura de almacenamiento influye significativamente ($p\text{-value} < 0,05$) en la humedad de equilibrio (X_e) de los granos y harina de kiwicha. El calor isostérico de adsorción oscila entre 6,340 a 0,235 KJ/g para humedades de 0,06 a 0,15 g de agua/g m.s. para los granos de la variedad Oscar Blanco, para la variedad Noel Vietmeyer oscila entre 2,556 a 0,518 KJ/g para humedades de 0,04 a 0,12 g de agua/g m.s., y para

el grano CICA de 4,645 a 0,176 KJ/g para humedades de 0,06 a 0,14 g de $agua/g$ $m.s.$, en tanto que para la harina de la variedad Oscar Blanco se encuentra entre 32,028 a 1,99 KJ/g para humedades de 0,05 a 0,12 g de $agua/g$ $m.s.$, y para la variedad Noel Vietmeyer de 26,992 a 0,648 KJ/g para humedades de 0,06 a 0,20 g de $agua/g$ $m.s.$

Vito J (2019), investigo sobre “determinación de la vida útil mediante pruebas aceleradas (ASLT) de un producto extruido enriquecido con concentrado protéico de pota (*Dosidicus gigas*)” en condiciones controladas de temperatura de 35 °C, 45 °C y 55 °C, y de humedad relativa de 85 %, utilizando los empaques #1, #2 y #3 que corresponden a Polipropileno Biorientado Metalizado, Polipropileno y Coextruido Polietileno-Poliamida, respectivamente. La inaceptabilidad del producto se determinó evaluando los atributos de color, apariencia, olor, sabor y textura, encontrándose al atributo textura, como el de mayor influencia en la pérdida de calidad sensorial. Asimismo, el tiempo de vida útil del producto también se determinó mediante la ganancia de humedad durante el almacenamiento, de acuerdo a la Ley de Fick y a la Ley de Henry, resultando 161, 127 y 72 días para los empaques #1, #2, y #3, respectivamente. La máxima estabilidad del producto se determinó mediante la isoterma de adsorción a (25 °C), detectándose que la isoterma de sorción es de tipo II, la cual se ajusta mejor al modelo Guggenheim, Anderson y de Boer ($r^2 > 0.96$) con valor de la monocapa (X_m) de 11.96 $g/100$ $m.s.$

1.2 Bases teóricas

1.2.1 Generalidades de *Bixa orellana* L (achiote)

a) Clasificación científica

Nombre común:	ACHIOTE
Nombre Científico:	<i>Bixa orellana</i> L.
Sub-División:	Angiosperma
Clase:	Dicotiledónea
Orden:	Parietales
Familia:	Bixaceae

b) Origen

Bixa orellana Linn era cultivada en épocas precolombinas desde Brasil y Bolivia hasta México. El nombre popular, "achiote", es el más conocido en el comercio mundial y procedería de la palabra nahuatl "axiotl". Este vegetal sería nativo, según algunos autores, de una región del alto Amazonas en el Brasil, aunque otros lo dicen que es originario de una zona comprendida entre el centro de México y Panamá.

c) Descripción.

El achiote (*Bixa orellana* L) en el Perú crece en la zona amazónica y su nombre justamente se lo debe al descubridor del río Amazonas: Francisco de Orellana. La planta tiene una altura entre 3-5 m aunque algunos mencionan que puede llegar hasta 10 m. El tallo es cilíndrico recto y su base tiene entre 20-30 cm de diámetro. Las hojas son simples, alternas y de forma acorazonada, palmatinervadas, y tienen estípulas de color marrón rojizo y/o verde oscuro, miden entre 8-20 cm de largo, y 4-15 cm de ancho.

Figura 1: Achiote con capsulas de color rojo



Fuente: Proyecto de Investigación y Enseñanza “Cultivo y Conservación de Plantas Medicinales Amazónicas” de la Facultad de Agronomía – Zungarococha – UNAP-2022

d) Principios activos:

-Carotenoides: Bixina, norbixina, metil-bixina, beta-caroteno, criptoxantina, luteína y zeaxantina., etc. Proteínas, azúcares, celulosa, grasas, vitamina A, B y C; calcio, fierro y fósforo.

-Mucílagos Taninos. Las semillas contienen:

-Lípidos

-Ácidos : Linoleico Alfa-linolénico Oleico.

-Aminoácidos: Glutamato Aspartato Leucina.

-Cenizas: Fósforo Calcio. Hierro Zinc.

Otros principios activos en el achiote son los carotenoides (vitaminaA), vitaminas del complejo B, C, leuteína, pectina, norbixina, y glucósido de apigenina.

Figura 2. Variedades de achiote en cuanto a color



Fuente: Capsulas de color y verde.

Proyecto de Investigación y Enseñanza “Cultivo y Conservación de Plantas Medicinales Amazónicas” de la Facultad de Agronomía – Zungarococha – UNAP-2022

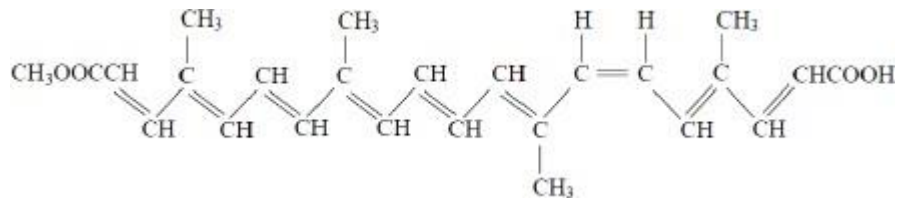
La Amazonia Peruana contiene una gran diversidad genética de la especie *Bixa orellana* L. referida a:

- Hábito de crecimiento (arbustos y árboles).
- Coloración del tallo (gris, anaranjado y marrón).
- Color de las hojas (verdes con diferentes tonalidades y violetas).
- Color de las flores (blancas y violetas con diferentes tonalidades).
- Color de los frutos (verdes con diferentes tonalidades; amarillo con diferentes tonalidades, anaranjado, rojo con diferentes tonalidades, marrón y negro).

- Forma de los frutos (ovoide, redondo elíptico y cónico).
- Espinosidad de los frutos (sin espinas, muy baja, baja, alta y muy alta espinosidad).
- Longitud de las espinas (muy cortas, cortas, largas y muy largas); número de semillas por fruto (González, 1992).

Fórmula estructural

En la Figura aparece la fórmula estructural de la bixina (ácido cis-polieno monometil éster dicarboxílico) según Mosquera (1989) mencionado en Devia & Saldarriaga (2002).



Fórmula estructural de la bixina. (Mosquera (1989) mencionado en Devia & Saldarriaga (2002)).

Otros principios activos en el achiote son los carotenoides (vitamina A), vitaminas del complejo B, C, leuteína, pectina, norbixina, y glucósido de apigenina.

1.2.2 El agua en los alimentos

Huaman B (2016) citando a Lopes-Filho, et al (2006) manifiesta que el agua presente en el interior del alimento interactúa de forma diferente dependiendo del estado en que se encuentre.

Prieto y Gordillo (2006) indican que el agua contenida se encuentra bajo dos formas, una fijada fuertemente por las fuerzas moleculares y la segunda atrapada en la sustancia adsorbente.

- Agua libre o Adsorbida. Es la forma predominante la cual se libera con gran facilidad y es estimada en mayores cantidades usados para el cálculo del contenido en agua.
- Agua Ligada. Se encuentra combinada o absorbida, se halla en los alimentos como agua de cristalización ligada a las proteínas y a las moléculas de sacáridos y absorbida sobre la superficie de las partículas coloidales, siendo la más difícil de eliminar, (Belitz, 2012).

1.2.2.1 Distribución del agua en los alimentos

Badui (2008) manifiesta que el agua se encuentra unida de forma diferente dependiendo si el alimento es de origen vegetal o animal y esta característica también se presenta en productos elaborados industrialmente

1.2.3 Actividad de agua

Zapana F (2017) citando a Fennema (2000), indica que las reacciones que puedan ocurrir en un alimento tanto químicas como bioquímicas se deben a la presencia de agua en una cantidad suficiente para que se produzca el cambio. Asimismo, Argyropoulos & Müller (2014) manifiestan que a actividades de agua (a_w) mayores a 0.6 el deterioro del alimento es inminente haciendo énfasis en que también un secado excesivo influye en la calidad del alimento.

Shafiur Rahman (2009), proponen la siguiente ecuación que relaciona la actividad de agua (a_w) con la humedad relativa.

$$a_w = \frac{(P_w^u)_{sy}}{P_w} = HRE$$

Donde:

a_w = Actividad de agua

(P_w^u) = Presión parcial de vapor de agua en el sistema (alimento).

P_w^u = Presión de saturación del agua líquida pura a la misma temperatura.

HRE = Humedad relativa de equilibrio.

1.2.3.1 Alteraciones que ocurren en alimentos por cambios en la A_w

Las alteraciones se deben a varios factores:

- Crecimiento microbiano

La reducción de la actividad de agua proporciona una mayor estabilidad a los alimentos. La mayoría de las bacterias no crecen bajo actividades de agua de 0,90 y en la mayoría de hongos y levaduras se inhiben el crecimiento entre 0,88-0,80.

- Reacciones Enzimáticas

Las reacciones enzimáticas empiezan a manifestarse cuando no han sido desactivadas a través de un tratamiento térmico u otros mecanismos. Pueden ocurrir en alimentos de baja humedad, a partir de valores de 0,20 de a_w , aumentando considerablemente cuando superan valores de 0,70 de a_w . En este tipo de reacción, el agua cumple el papel de disolvente y medio de difusión de los reactivos.

1.2.3.2 Pérdida de calidad de un alimento

De la cruz (2009) manifiesta que existen varios factores que acortan la vida útil de un producto y con ello la pérdida de calidad, siendo estas: la forma en que fue elaborado el producto, el empaque empleado para su conservación, la humedad relativa del lugar, el tiempo de almacenamiento. Una forma de controlar estos factores e incrementar su vida útil sería tener una atmósfera controlada, un correcto empaque, realizar un buen tratamiento térmico todo para inactivar el crecimiento de microorganismos dañinos para la salud.

1.2.3.3 Vida útil de un alimento

Ancco (2008) citando a Richardson (1976) manifiesta que la vida útil de un alimento se refiere al tiempo que transcurre desde su elaboración hasta que es consumido y esta firmemente ligado a los factores que lo rodean como el clima y al máximo cambio de sus componentes que afectan su aceptabilidad.

Según manifiesta Vito (2019) uno de los factores que más influyen en el deterioro de un alimento es la humedad y para controlar el contenido de humedad del alimento dentro de un envase, deben seleccionarse la permeabilidad al vapor de agua del material de empaque, así como el área superficial y el espesor de este, tomando en cuenta el almacenamiento que se requieren o la duración de la vida de anaquel. Algunos alimentos son susceptibles a la oxidación y, por lo tanto, deben almacenarse en un envase con baja permeabilidad al oxígeno. La mayoría de los alimentos se deterioran más rápidamente a temperaturas altas, por lo que deben controlarse las condiciones de almacenamiento con el objeto de reducir al mínimo las fluctuaciones de temperatura.

Ancco (2008) manifiesta que el control de estos factores va a retardar o prevenir los siguientes efectos:

- La acción bacteriana o enzimática que produce sustancias indeseables en el producto que no son inhibidas por tratamientos térmicos, baja actividad de agua, o métodos químicos.
- Pérdida de calidad estética como son: color, aroma, textura y apariencia general.
- Penetración de insectos o ataques a los productos empacados.
- Cambios físicos que se refieren a la evaporación de la humedad, que conduce a la formación de costras o superficies deshidratadas.
- Reacciones químicas como son: oxidación, hidrólisis, reversión de grasas, oxidación de pigmentos, desnaturalización de proteínas que conduce a cambios de textura, pérdida de agua incorporada y cambios en las proteínas funcionales, rancidez y pardeamiento no enzimático.

- Contaminación ambiental debido a polvos y a agentes volátiles.
- Pérdidas de valor nutritivo, esto es, las pérdidas de vitaminas y la desnaturalización proteica.
- Interacción entre el producto y el empaque.
- Pérdida de las propiedades nutricionales.

Para la determinación de vida en anaquel de productos alimenticios, mediante pruebas aceleradas (ASLT), se requieren tres temperaturas de almacenamiento diferentes, las más recomendables son: $P_{amb} = -10^{\circ}\text{C}$, T_{amb} y $T_{amb} = +10^{\circ}\text{C}$ (donde P_{amb} es la temperatura ambiente), con las cuales se obtiene un gráfico de vida en anaquel vs el tiempo (Núñez y Chumbiray, 1991).

Aplicando los principios de química fundamental, la velocidad de cambio de la calidad del alimento en general puede ser expresada como una función de la composición y de factores ambientales:

$$\frac{dQ}{dt} = F(C_i E_j) \quad (*)$$

Donde C_i son los factores de la composición, como concentración de componentes reactivos, catalizadores orgánicos, enzimas, inhibidores de la reacción, pH, actividad del agua o poblaciones microbianas; y E_j son los factores ambientales tales como la temperatura, humedad relativa, presión total y presión parcial de diferentes gases, luz. Excluyendo el efecto de los factores ambientales, E_j , asumiendo que estos permanecen constantes, la ecuación (*) se simplifica y expresa el cambio de los constituyentes relacionados con la calidad del alimento, como función del tiempo, Ocampo (2003) citado por Castillo y Silva (2015).

$$\frac{dA}{dt} = -K * A^n \quad (**)$$

Donde:

A es un factor físico, químico, microbiológico o sensorial de la calidad,
 k es la constante de velocidad que representa la tasa de variación del factor A
 n es el orden aparente de reacción, la cual puede ser positiva o negativa, dependiendo de si se trata de ganancia o pérdida de A .

Uno de los modelos más utilizados en la determinación de la vida de anaquel de un producto es el Modelo de Arrhenius.

Las reacciones de pérdida de calidad de los alimentos han mostrado que siguen un comportamiento de Arrhenius con la temperatura, dado por la ecuación (**):

$$K = K_0 \text{Exp} \left(\frac{-E_a}{R} \right) \quad (***)$$

Donde:

K = constante de velocidad de la reacción.

K_0 = constante de la ecuación de Arrhenius.

E_a = energía de activación que se necesita para vencer la degradación de productos.

R = 1.987 cal/mol, constante universal de los gases.

En términos prácticos esto significa que si los valores de K se obtienen a diferentes temperaturas, y se grafica el $\ln K$ vs. $1/T$, se obtiene una línea recta con pendiente $-E_a/R$.

Usualmente, la velocidad de reacción se determina a tres o más temperaturas y K se grafica contra la en papel semi logarítmico o se emplea un ajuste por regresión lineal de la ecuación, Viteri (2010) citado por Castillo y Silva (2015).

1.2.4 Importancia de las isotermas de sorción en la industria alimentaria

Zuidema, (2002) manifiesta que mediante las isotermas de sorción de humedad se pueden establecer las condiciones ideales para su manipulación y conservación, el tiempo de la vida de anaquel de los productos deshidratados acondicionados en embalaje permeables y las condiciones de equilibrio después de la mezcla de productos con distintas actividades de agua

1.2.4.1 Sales empleadas para determinar las isotermas de sorción

Una isoterma de sorción es la curva que indica, en el equilibrio y para una temperatura determinada, la cantidad de agua retenida por un alimento en función de la humedad relativa de la atmosfera que le rodea; o si se quiere, e inversamente, la presión parcial de vapor ejercida por el agua del alimento en función del contenido de agua en el mismo (Becerra E, 2016.)

Tabla 1: Sales empleadas para la determinación de actividades de agua

Nombre	Nomenclatura	Aw teórica 30°C	Aw en Aqualab
Hidróxido de potasio	KOH	0.074	0.079
Cloruro de litio	LiCl	0.113	0.107
Acetato de potasio	CH ₃ COOK	0.216	0.250
Cloruro de magnesio	MgCl ₂ ·6H ₂ O	0.324	0.329
Carbonato de potasio	K ₂ CO ₃	0.432	0.427
Nitrato de magnesio	Mg(NO ₃) ₂	0.514	0.535
Yoduro de potasio	KI	0.679	0.687
Cloruro de sodio	NaCl	0.751	0.753
Cloruro de potasio	KCl	0.836	0.847
Sulfato de potasio	K ₂ SO ₄	0.970	0.973

Fuente: Labuza et al, 1985

1.2.5 Isotermas en alimentos

De acuerdo con Kaymak-Ertekin & Gedik, (2004) citado por Zapana (2017) donde se indica que las isotermas de sorción de humedad representan la

relación entre el contenido de humedad en equilibrio y la actividad del agua (a_w) a temperaturas y presiones constantes. Los alimentos en su forma estructural son bien complejos y están muy ligadas al contenido de agua, es así que las isotermas permiten describir las propiedades higroscópicas y la interacción con los biopolímeros.

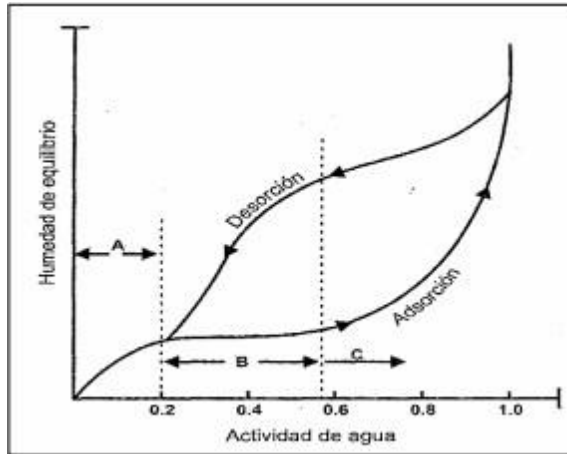
Las isotermas de sorción de humedad son usualmente descritas por gráficos en el que se representa la relación de equilibrio entre la actividad de agua de un alimento y la humedad relativa del entorno que lo rodea, a temperatura constante, López (2017).

Al respecto Bala, 2017; Boente et al., (1996) citado por Zapana (2017) manifiestan que el conocimiento de las isotermas es muy importante en la Agroindustria o Industria Alimentaria para el diseño de equipos, empaques, predicción de calidad, estabilidad vida útil y para calcular los cambios de humedad.

Una isoterma se puede dividir típicamente en tres regiones; el agua en la región A representa agua fuertemente unida, y la entalpía de vaporización es considerablemente más alta que la del agua pura. El agua ligada incluye agua estructural y agua de la monocapa, que es adsorbida por los grupos hidrófilos y polares de los componentes alimenticios (polisacáridos, proteínas, etc.) (Shafiur Rahman, 2009).

En la región B, las moléculas de agua se unen con menos firmeza que en la primera zona, por lo general se presentan en pequeños capilares. La entalpía de vaporización es ligeramente más alta que la del agua pura. Esta clase de agua constituyente puede considerarse como la transición continua del agua ligada al agua libre. Las propiedades del agua en la región C son similares a las del agua libre que se mantiene en los vacíos, grandes capilares, grietas; y el agua en esta región se une de manera suelta a los materiales alimenticios (Fellows, 2000; Shafiur Rahman, 2009).

Figura 3: Isoterma de sorción para un producto alimenticio.



Fuente: Fellows, 2000; Shafiur Rahman, 2009.

1.2.5.1 Clasificación de las isotermas de sorción

Brunauer et al (1940); Tóth (2002) clasifican las isotermas de sorción según su forma y proceso, estableciendo cinco tipos diferentes; como se muestra en la figura 3, que son:

Tipo 1: presentan un aumento característico de la actividad del agua en relación con el aumento del contenido de humedad, interna de un material.

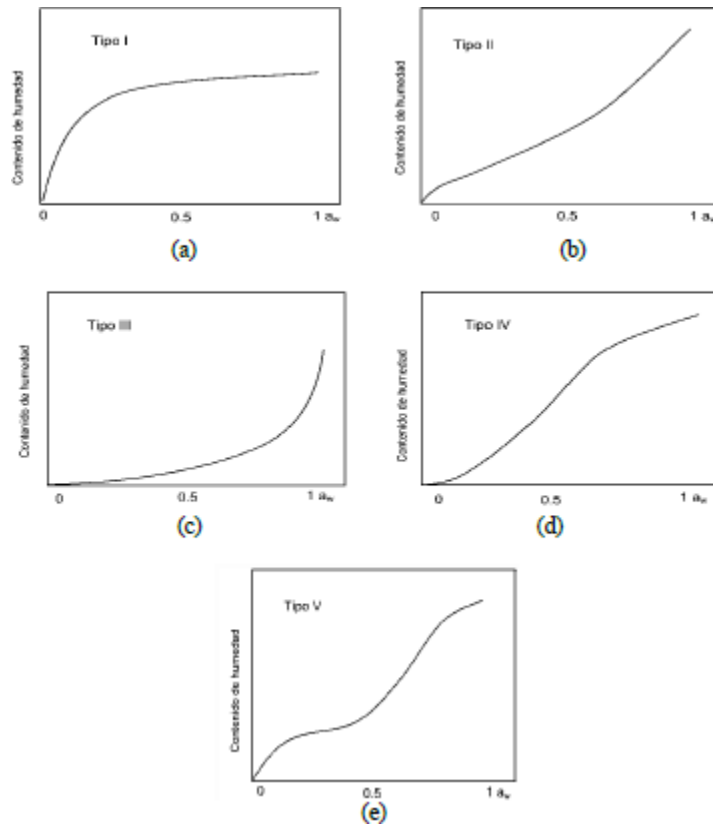
Tipo 2: isotermas de sorción sigmoidales.

Tipo 3: conocida como la isoterma de Flory-Huggins.

Tipo 4: describe la adsorción de un sólido hidrófilo hinchable hasta que se alcanza una hidratación máxima del sitio.

Tipo 5: la isoterma de adsorción multicapa Brunauer-Emmett-Teller (BET). Las dos isotermas encontradas con más frecuencia en los productos alimenticios son de los tipos 2 y 4 (Blahovec & Yanniotis, 2009; Mathlouthi & Rogé, 2003).

Figura N° 4: Isotermas de adsorción de Vander Waals



Fuente: Mathlouthi & Rogé, (2003)

1.2.5.2 Métodos de medición de las isotermas

Actualmente existen tres métodos para la toma de datos y graficarlas correctamente, entre estos están el método gravimétrico, el método manométrico y el método higrométrico. El método gravimétrico, consiste en pesar consecutivamente la muestra hasta alcanzar peso constante producto de la ganancia de humedad, el método manométrico consiste en medir la presión del vapor de agua cuando se encuentra en equilibrio con la muestra de estudio para un contenido de humedad determinado y el método higrométrico consiste en medir la humedad relativa del medio cuando está en equilibrio con la humedad de la muestra, (Iglesias y Chirife, 1976).

1.2.6 Modelización matemática de las isothermas de adsorción

Sandoval *et al.*, (2002) citado por Huamán (2016) manifiesta que se propusieron varios modelos teóricos, semi teóricos y empíricos, indicando que los modelos teóricos implican los elementos físicos de sorción de humedad, algunos de los cálculos realizados en el progreso de las ecuaciones consistente en resoluciones que logran trascender en pronósticos teóricos incorrectos o próximos de los valores de a_w .

Ruiz (2021) en su investigación cita a Araujo (2001) quien indica que los modelos matemáticos propuestos tienen como finalidad la de explicar la interrelación de la materia prima con el agua presente en el interior del alimento buscando ajustar los datos encontrados con su composición.

1.2.6.1 Modelo de B.E.T (Brunauer, Emmet y Teller)

Rizvi (1986) citado por Gabas (1998), el modelo de B.E.T es el más utilizado y proporciona un buen ajuste para una variedad de alimentos sobre una región de actividad de agua entre 0.05 y 0.45, siendo expresado de la siguiente forma:

$$x_e = \frac{x_m C_{BET} a_w}{(1 - a_w)(1 + a_w (C_{BET} - 1))}$$

Donde

x_e = Humedad de equilibrio (g agua/g m.s)

x_m = Humedad de la monocapa (g agua/g m.s)

a_w = Actividad de agua

C_{BET} = Constante de B.E.T relacionada al calor de sorción.

1.2.6.2 Modelo de G.A.B (Guggenheim, Anderson y De Boer)

Kiranoudis *et al* (1993); Wolf *et al* (1984), citado por Vega *et al* (2006), el modelo de G.A.B es una ecuación de tres parámetros, utilizado para ajustar

datos de sorción de productos alimenticios hasta actividades de agua de 0.9 (Lima, 2006).

Lomauro et al (1985) citado por Lima (2006), verificaron que el modelo de G.A.B puede representar más del 50% de las isothermas de frutas, vegetales y carnes. siendo expresado de la siguiente forma:

$$x_e = \frac{x_m C_{GAB} K_{GAB} a_w}{(1 - K_{GAB} a_w)(1 - (1 - C_{GAB}) K_{GAB} a_w)}$$

Donde:

x_m = Humedad de la monocapa (g agua/g m.s)

C_{GAB} = Constante de Guggenheim, característica del producto y relacionada con el calor de adsorción de la monocapa.

K_{GAB} = Es un factor de corrección relacionado con el calor de sorción.

a_w = Actividad de agua.

1.2.7 Predicción del contenido de humedad de un alimento

Núñez y Chumbiray,(1991) citado por Rodriguez (2010) indican que la ganancia o pérdida de humedad para un alimento mantenido a temperatura constante y expuesto a una determinada humedad relativa externa puede predecirse a por la ecuación

$$\frac{dW}{d\theta} = \frac{K}{X} A (P_{externa} - P_{interna})$$

1.2.7.1 Condiciones para predecir el tiempo de ganancia de humedad de un alimento empacado.

Los factores serian:

- 1) La isoterma de adsorción.- Para simplificar la isoterma puede asumirse como una línea recta de la forma:

$$X = ba_w + C_0$$

- 2) Permeabilidad de la película k / x
- 3) La relación inicial del área de empaque (A) al peso contenido (Ws).

$$\frac{A}{Ws} = \frac{m^2}{g \text{ sólido}}$$

- 4) La humedad relativa y la temperatura a la cual el producto está expuesto. De esto y de la isoterma puede hallarse el contenido de humedad que el alimento alcanzaría si no estuviera empacado, además el valor de P_0 a la temperatura de la prueba puede obtenerse a partir de tablas estándar (Núñez y Chumbiray, 1991) citado por Rodríguez (2010).

1.2.7.2 Determinación de la humedad de equilibrio (X_e)

Es el contenido de humedad de una sustancia que está en equilibrio con una presión parcial de vapor, también sería la resta de masa inicial menos la masa de sólido seco dividido entre la masa de sólido seco. Huaman (2016).

$$X_e = \frac{m_{eq} - m_s}{m_s}$$

Donde:

X_e = Humedad contenida (g agua/g.m.s)

m_{eq} = Masa inicial (g)

m_s = masa de sólido seco (g)

1.3 Definiciones de términos básico

- Atomización: El secado por aspersion (SA) es una operación unitaria en la que un producto líquido se atomiza en una corriente de gas caliente, que generalmente es aire, para obtener instantáneamente un polvo muy fino (10 - 50 μm) o de partículas de gran tamaño (2 - 3 mm), Cahuaya G (2017).
- Adsorción: Es un proceso en el que las moléculas de agua se mezclan de forma progresiva y reversible con sólidos alimentarios mediante quimisorción, adsorción física y condensación multicapa (Zapana, 2017).
- Tiempo de vida útil: Es el tiempo en el cual conservará sus propiedades fisicoquímicas, organolépticas y nutricionales un producto alimenticio elaborado (Bello, 2000).
- Isoterma: Es la relación de la humedad crítica y la actividad de agua, de gran interés en la ciencia y tecnología de alimentos para hacer predicciones de vida útil y de aceptabilidad de productos que se deterioran por la ganancia de humedad, Huertas G, Moreno A (2015).
- Actividad de agua: Se define como la relación existente entre la presión de vapor de agua en un sistema y la presión de vapor de agua pura a la misma temperatura en un entorno cerrado, una vez alcanzado el equilibrio a la misma temperatura constante, (Rahman, 1995; Martín, 2015)

CAPITULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1 Formulación de la hipótesis

2.1.1 Hipótesis general

Es posible la determinación de las isothermas de adsorción del polvo atomizado de *Bixa orellana* L. (achiote).

2.1.2 Hipótesis específicas

Existe relación entre las isothermas de adsorción y el contenido de humedad de equilibrio y la actividad de agua presente en el polvo atomizado de *Bixa orellana* L (achiote).

2.2 Variables y su operacionalización

VARIABLES INDEPENDIENTES

Temperatura, actividad de agua, humedad de equilibrio.

VARIABLE DEPENDIENTE

Isothermas de adsorción.

Para la isotermas de adsorción

VARIABLES	DEFINICIÓN	TIPO POR SU NATURALEZA	INDICADOR	ESCALA DE MEDICIÓN	CATEGORÍAS	VALORES DE LAS CATEGORÍAS	MEDIO DE VERIFICACIÓN
Dependiente							
Isoterma de adsorción.	Curvas generadas al ganar humedad del medio y recreadas mediante los modelos matemáticos de GAB y BET	Cuantificación dentro del recipiente a emplear.	gr agua	Intervalo	Alto	< 1	Cuaderno de apuntes
Independiente							
Temperatura	Parámetro que mide el estado térmico de un cuerpo o sustancia en un determinado momento.	Cuantificación durante el proceso.	°C	Permanente	Bajo	20	Cuaderno de apuntes
					Alto	30	
actividad de agua	Relación existente entre la presión de vapor de agua en un sistema y la presión de vapor de agua pura a la misma temperatura en un entorno cerrado, una vez alcanzado el equilibrio a la misma temperatura constante,	Cuantificación durante el proceso.	%	Intervalo	Bajo	0.0	Cuaderno de apuntes
					Alto	1.0	
humedad de equilibrio.	Es el contenido de humedad de un material higroscópico después de estar expuesto a un ambiente en condiciones controladas de temperatura y humedad relativa, durante un lapso prolongado	Durante el proceso.	gr agua/gr materia seco	Intervalo	Bajo	0.0	Reporte de Análisis
					Alto	70.0	

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1 Tipo y Diseño

El tipo de investigación fue experimental. Su característica principal consiste en la correcta manipulación y control de las variables presentes en la investigación. Para obtener las isotermas de adsorción del polvo atomizado del Achiote se trabajó con la sal Nitrato de Magnesio y como muestra testigo Agua Destilada, las dos soluciones fueron colocados en campanas de desecación y alojados a las temperaturas seleccionadas por la investigación que son de 20 °C, 25 °C y 30 °C, cada solución presenta una actividad de agua conocida a la temperatura de operación y mediante el pesado continuo se determinó la humedad de equilibrio para cada muestra.

3.2 Diseño muestral

Población

Este estudio está constituido por los frutos de *Bixa orellana* L. (achiote), provenientes del Proyecto de Investigación y Enseñanza “Cultivo y Conservación de Plantas Medicinales Amazónicas” de la Facultad de Agronomía – Zungarococha – UNAP, ubicado al margen derecho de la carretera Iquitos – Puerto Almendra a 50 minutos de la ciudad de Iquitos. La superficie seleccionada de 5000m² corresponde a la plantación del “Achiote” establecida hace 13 años producto de la colecta de diferentes morfotipos.

Muestra

La muestra estará constituida por los frutos que estén en perfecto estado provenientes de la comunidad de Zungarococha.

3.3 Procedimiento de recolección de datos

El trabajo de Investigación se desarrolló en la Planta Piloto de la FIA-UNAP en los laboratorios de Fisicoquímica, Microbiología de Alimentos y el Taller de Operaciones Unitarias en la ciudad de Iquitos, Provincia de Maynas, Región Loreto.

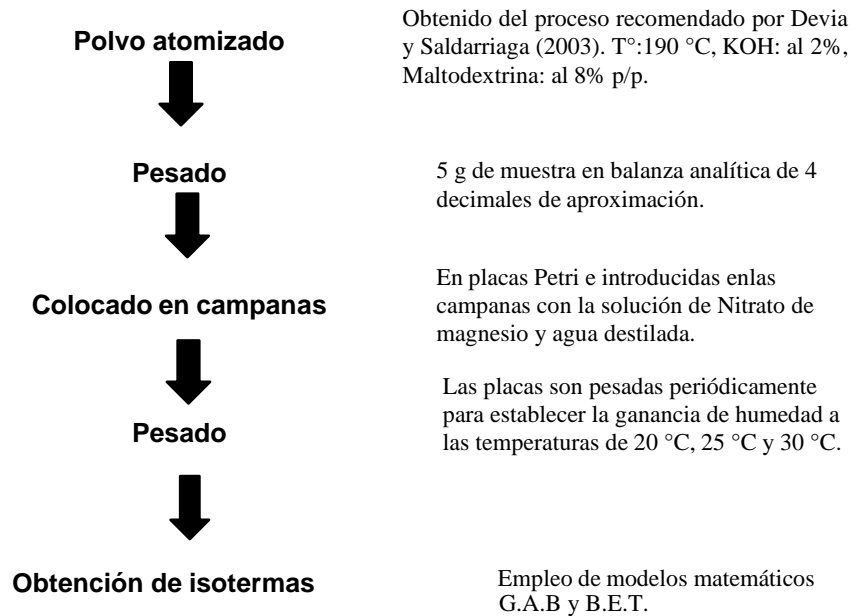
El polvo atomizado de *Bixa orellana* L. (achiote) se obtuvo de lo recomendado por Bardales (2019).

Las isothermas de adsorción y la actividad de agua (a_w) fueron generadas luego de aplicar el método Isopiéstico-gravimétrico, registrándose los pesos cada cierto tiempo para cada solución (Nitrato de magnesio y Agua destilada) determinándose el agua ganada (X_e) y concluyendo con los modelos matemáticos de G.A.B y B.E.T

3.3.1 Proceso experimental de la obtención de las isothermas del polvo atomizado

Bixa orellana L (achiote)

Figura 5. Diagrama de flujo seguido para la obtención de las isothermas de adsorción del polvo atomizado de *Bixa orellana* L (achiote) mediante método isopiéstico-gravimétrico



Descripción del Proceso

Polvo atomizado

Fue obtenido del extracto de las semillas de *Bixa orellana* (achiote) y sometido a un proceso de atomizado.

Pesado

Se pesó dos muestras de 5 g de cada una del polvo atomizado de *Bixa orellana* (achiote) en una balanza analítica con 4 decimales de aproximación.

Colocado en campanas

Las muestras pesadas fueron puestas en placas Petri e introducidas en dos campanas de vidrio, una conteniendo una solución salina de Nitrato de magnesio y otra con Agua destilada, el ambiente estará controlado con temperaturas de 20, 25 y 30 °C.

Pesado

Las placas Petri con las muestras fueron pesadas periódicamente para así poder establecer la ganancia de humedad en las temperaturas acondicionadas.

Obtención de las isotermas

La ganancia de humedad fue procesada mediante los modelos matemáticos de G.A.B y B.E.T para obtener las isotermas características para cada condición.

Análisis de Humedad del polvo atomizado de *Bixa orellana* L. (achiote)

Los análisis se realizaron en el laboratorio de análisis físico químico de la FIA para determinar la mejor temperatura de secado en base al contenido final de humedad.

El porcentaje de Humedad se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$\%H = \frac{A_1 - A_2}{A_3} \times 100$$

Donde:

A₁= Peso de la placa de vidrio más muestra

A₂= Peso final

A₃= Peso de la muestra

Análisis Espectrofotométrico

FAO/WHO (2006), es una técnica analítica, usando una adaptación de la metodología descrita y la concentración de la muestra.

Kato *et al.*, (1992), Para calcular el porcentaje de bixina se determinará aplicando la ecuación.

$$X = \frac{A \times V}{E_1^{1\%} \times m} \times \frac{1V_i}{d_c d_i}$$

Donde:

X = % de bixina (g / 1g de muestra)

m = masa de la muestra (g)

V = volumen inicial de extracción (ml)

V_i = volumen de difusión (ml)

d_i = volumen de alícuota para dilución (ml)

A = Absorbancia leída en la longitud de onda de 487 nm

E₁^{1%} = cociente de adsorbancia (3090)

d_c = trayectoria óptica de la célula (1,0 cm)

Para convertir el resultado obtenido en un porcentaje de bixina, se multiplica por el factor 1,076

3.4 Procesamiento y análisis de datos

Los datos registrados por el método isopiéstico-gravimétrico se procesaron en una hoja de cálculo de Microsoft Excel 2019 para la generación de las isotermas de adsorción evaluando al mismo tiempo su tipo de comportamiento.

3.4.1 Proceso de extracción del extracto de achiote

Devia y Saldarriaga (2003) indican los pasos a seguir, a las semillas se les deja sumergidas en una solución alcalina con una concentración de 2% (KOH) por 12 horas. Luego se separa la solución coloreada y las semillas que quedan se mezclan con otra parte de la solución de KOH y se agitan durante un tiempo experimentalmente. Luego de la agitación, se separan la semilla nuevamente, se lavan con solución de KOH y se secan. A esta solución básica se le baja su pH con ácido sulfúrico o ácido clorhídrico, para finalmente ser atomizado.

Reactivos y solventes usados

Hidróxido de Potasio (KOH): Aspecto: Sólido, Color: Blanco, Olor: Inodoro, pH: 13,5 (solución. 0,1 M), Punto de fusión: 360 °C, Punto inicial de ebullición: 1327 °C, Densidad: 2,04 g/cm³, Solubilidad: En agua 20 °C. **Agua destilada.**

Está limpia de electrolitos, sales minerales, microorganismos y otras sustancias contaminantes. Es inodora, incolora e insípida. Buena conductora de electricidad.

3.5 Aspectos éticos

La información recolectada para la ejecución del proyecto son datos fiables, y declaro que no existe plagio de ningún tipo en la presente investigación, asimismo, durante el desarrollo del presente trabajo no atentaremos contra los recursos naturales y en el manejo de materiales de laboratorio se harán de acuerdo al plan de manejo de residuos sólidos peligrosos y no peligrosos de la UNAP.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 Resultados físico-químico del polvo atomizado *Bixa orellana L* (achiote)

Tabla 2: Análisis físico-químico del achiote atomizado.

Vitamina C	86.56
Humedad	4.32
Ceniza	2.09
Grasa	0.35
Proteínas	3.53
Carbohidratos	89.71
Bixina	4.28

La tabla 2 muestra los resultados obtenidos después del proceso de atomizado recomendado por Devia y Saldarriaga (2003) con las condiciones de operación de: temperatura de entrada: 190 °C, concentración de KOH: 2 %, Maltodextrina: 8 % p/p. donde la temperatura se puede elevar hasta 200 °C y no se incrementarían sustancialmente los demás valores, indicando que las temperaturas son ideales para este proceso

Tabla 3: Resultados del análisis microbiológico del polvo atomizado de *Bixa orellana L* (achiote)

Ensayos microbiológicos	Cantidad (UFC/g)
Mohos	10
Levadura	< 10
E. Coli (NMP/g)	0
Salmonella sp	Ausencia en 25 g

La tabla 3 muestra los resultados microbiológicos practicados al polvo atomizado de *Bixa orellana L* (achiote), estos valores microbiológicos indican que el proceso seguido para la elaboración del mismo son los correctos presentando valores aceptados por la Norma NTS N° 071 MINSA / DIGESA V.01 que establece los parámetros microbiológicos aceptables en calidad sanitaria y de inocuidad para alimentos y bebidas de consumo humano.

4.2 Valores obtenidos de la humedad adsorbida durante el proceso

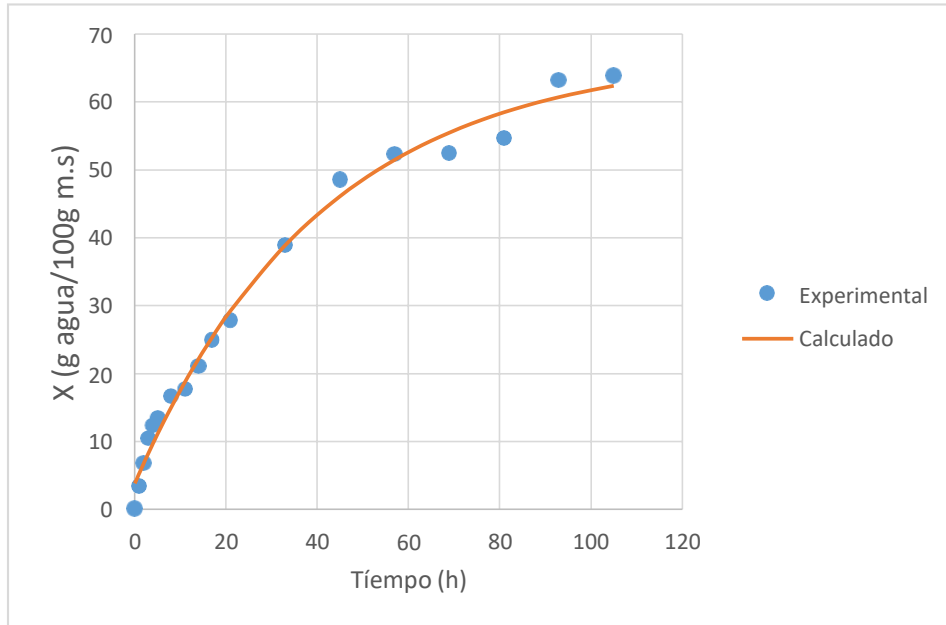
Tabla 4: Humedad X (g de agua/100g m.s) con agua destilada a 20 °C

Tiempo (h)	Humedad (x)	Tiempo (h)	Humedad (x)
0	0.124	17	25.012
1	3.424	21	27.774
2	6.848	33	38.964
3	10.518	45	48.604
4	12.374	57	52.406
5	13.51	69	52.464
8	16.754	81	54.73
11	17.742	93	63.2
14	21.112	105	63.93

La tabla 4 muestra la evolución del incremento del contenido de humedad (X) del polvo atomizado de achiote estando expuesta al agua destilada dentro de una campana a una temperatura controlada de 20 °C, se aprecia que después de 105 h esta alcanza una humedad de equilibrio experimental de 63.93 g agua/100 g.m.s.

Estos datos fueron analizados de acuerdo a los modelos matemáticos de G.A.B y B.E.T para obtener las isotermas de sorción.

Figura 6: Ganancia de humedad con agua destilada a la temperatura de 20 °C.



La Figura 6 muestra como se va incrementando el contenido de humedad conforme pasa el tiempo, la curva se obtuvo relacionando los datos de la tabla 4, se observa que la humedad aumenta sustancialmente durante las primeras 105 horas para después poco a poco llegar al equilibrio. La curva generada durante la absorción de humedad es de tipo exponencial el cual mediante regresión de la ecuación (1) se pudo ajustar sus valores encontrando un valor estimado de (X_e) igual a 67.27 g agua/100 g.m.s. El análisis de regresión para la curva ajustada se realizó mediante el modelo matemático de evolución del contenido de humedad predicho.

$$Y = 67.27032 + 63.43282e^{0.024398 t} \quad (1)$$

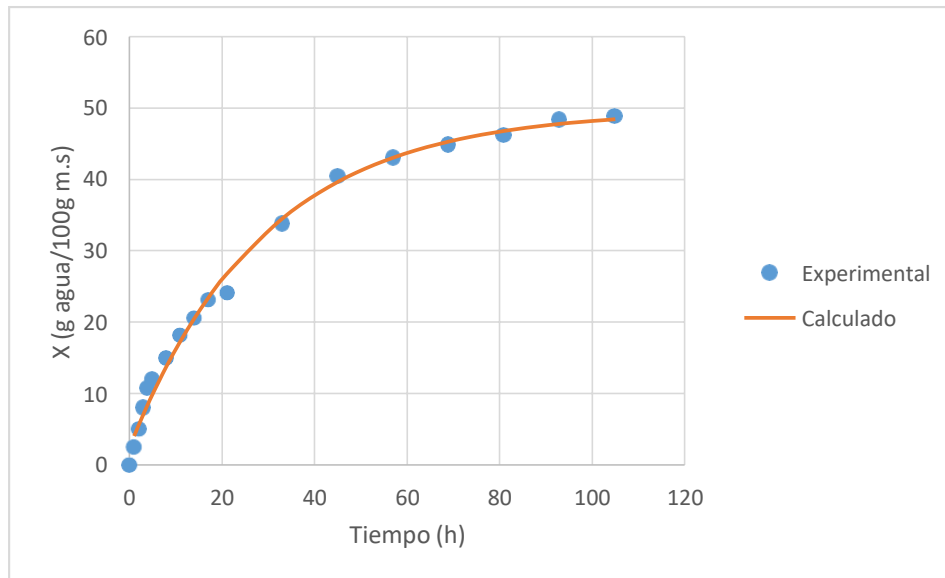
Tabla 5: Humedad X (g de agua/100g m.s) con nitrato de magnesio a 20 °C

Tiempo (h)	Humedad (X)	Tiempo (h)	Humedad (X)
0	3	17	23.108
1	2.484	21	24.098
2	4.968	33	33.828
3	8.038	45	40.492
4	10.764	57	43.064
5	11.958	69	44.856
8	14.968	81	46.208
11	18.206	93	48.416
14	20.598	105	48.88

La tabla 5 muestra la evolución del incremento del contenido de humedad (X) del polvo atomizado de achiote estando expuesta al nitrato de magnesio dentro de una campana a una temperatura controlada de 20 °C, se aprecia que después de 105 h esta alcanza una humedad de equilibrio experimental y no absorbe mucha humedad del aire que lo rodea llegando solo a 48.88 g agua/100 g.m.s.

Estos datos fueron analizados de acuerdo a los modelos matemáticos de G.A.B y B.E.T para obtener las isotermas de sorción.

Figura 7: Ganancia de humedad con nitrato de magnesio a la temperatura de 20 °C



La Figura 7 muestra un incremento ordenado de la humedad del medio conforme pasa el tiempo, la curva se obtuvo relacionando los datos de la tabla 5, se observa que la humedad aumenta durante todo el proceso llegando al límite a las 105 horas para después poco a poco llegar al equilibrio. La curva generada durante la absorción de humedad es de tipo exponencial el cual mediante regresión de la ecuación (1.a) se pudo ajustar sus valores encontrando un valor estimado de (X_e) igual a 49.72 g agua/100 g.m.s.

El análisis de regresión para la curva ajustada se realizó mediante el modelo matemático de evolución del contenido de humedad predicho.

$$Y = 49.72496 + 47.26795e^{0.034348t} \quad (1.a)$$

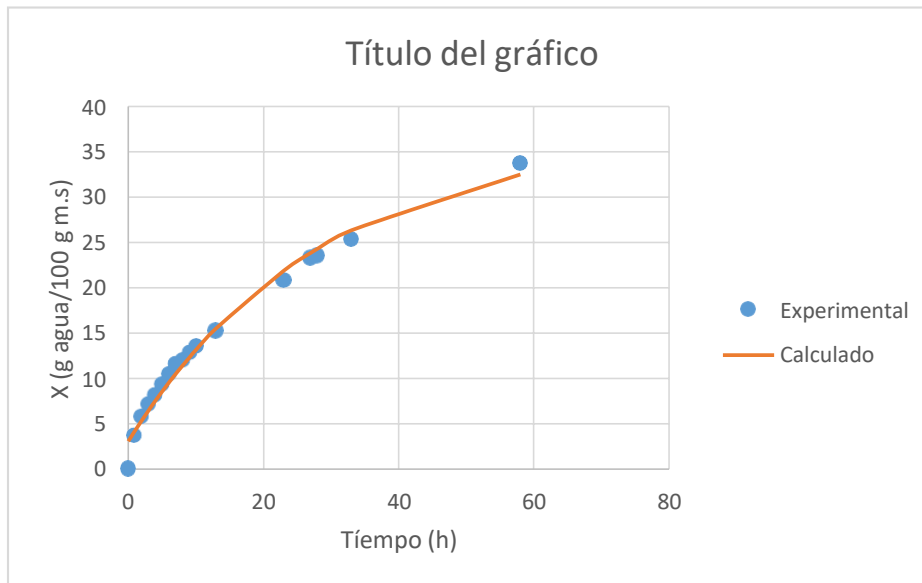
Tabla 6: Humedad X (g de agua/100g m.s) con agua destilada a 25 °C

Tiempo (h)	Humedad (x)	Tiempo (h)	Humedad (x)
0	0	11	14.114
1	3.736	13	15.234
2	5.75	23	20.84
3	7.138	24	21.778
4	8.112	25	22.2
5	9.304	26	22.764
6	10.4	27	23.308
7	11.54	28	23.552
8	11.98	33	25.312
9	12.76	58	33.73
10	13.486		

En la tabla 6 se visualiza la evolución del incremento del contenido de humedad (X) del polvo atomizado de achiote estando expuesta al agua destilada a temperatura constante de 25 °C dentro de una campana, se muestra que después de 58 h esta alcanza una humedad de equilibrio experimental de 33.73 g agua/100 g.m.s.

Estos datos fueron analizados de acuerdo a los modelos matemáticos de G.A.B y B.E.T para obtener las isotermas de sorción.

Figura 8: Ganancia de humedad con agua destilada a la temperatura de 25 °C.



La figura 8 muestra un incremento ordenado de la humedad del medio conforme pasa el tiempo, la curva se obtuvo relacionando los datos de la tabla 6, se observa que la humedad aumenta durante todo el proceso llegando al límite a las 58 horas para después poco a poco llegar al equilibrio. La curva generada durante la absorción de humedad es de tipo exponencial el cual mediante regresión de la ecuación (1.b) se pudo ajustar sus valores encontrando un valor estimado de (X_e) igual a 36.828 g agua/100 g.m.s. El análisis de regresión para la curva ajustada se realizó mediante el modelo matemático de evolución del contenido de humedad predicho.

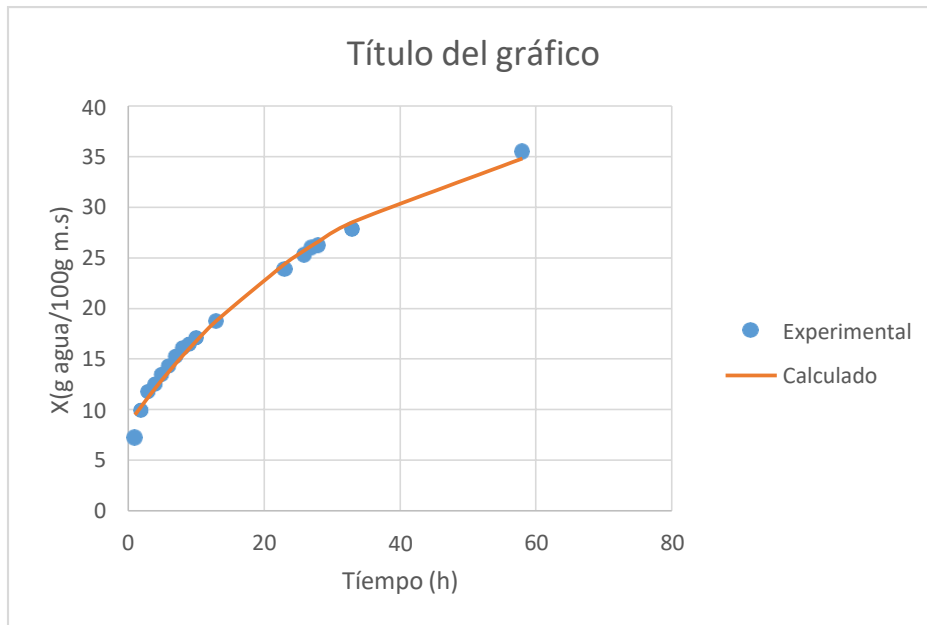
$$Y = 36.82875 + 33.77834e^{0.035396t} \quad (1.b)$$

Tabla 7: Humedad X (g de agua/100g m.s) con nitrato de magnesio a 25 °C

Tiempo (h)	Humedad (x)	Tiempo (h)	Humedad (x)
0	1	9	16.454
1	7.262	10	17.12
2	9.924	13	18.748
3	11.764	23	23.916
4	12.52	26	25.31
5	13.46	27	26.028
6	14.312	28	26.24
7	15.236	33	27.856
8	16.086	58	35.53

La tabla 7 muestra la evolución del incremento del contenido de humedad (X) del polvo atomizado de achiote estando expuesta al nitrato de magnesio dentro de una campana a una temperatura controlada de 25 °C, se aprecia que después de 58 h esta alcanza una humedad de equilibrio experimental y no absorbe mucha humedad del aire que lo rodea llegando solo a 35.53 g agua/100 g.m.s.

Figura 9 : Ganancia de humedad con nitrato de magnesio a la temperatura de 25 °C.



La Figura 9 Muestra la curva del incremento del contenido de humedad (X) del polvo atomizado de achiote estando expuesta al nitrato de magnesio dentro de una campana a una temperatura controlada de 25 °C, se realizó un ajuste a los datos mediante la ecuación (1.c) determinando un valor estimado de (Xe) igual a 40.539 g agua/100 g.m.s.

El análisis de regresión para la curva ajustada se realizó mediante el modelo matemático de evolución del contenido de humedad predicho

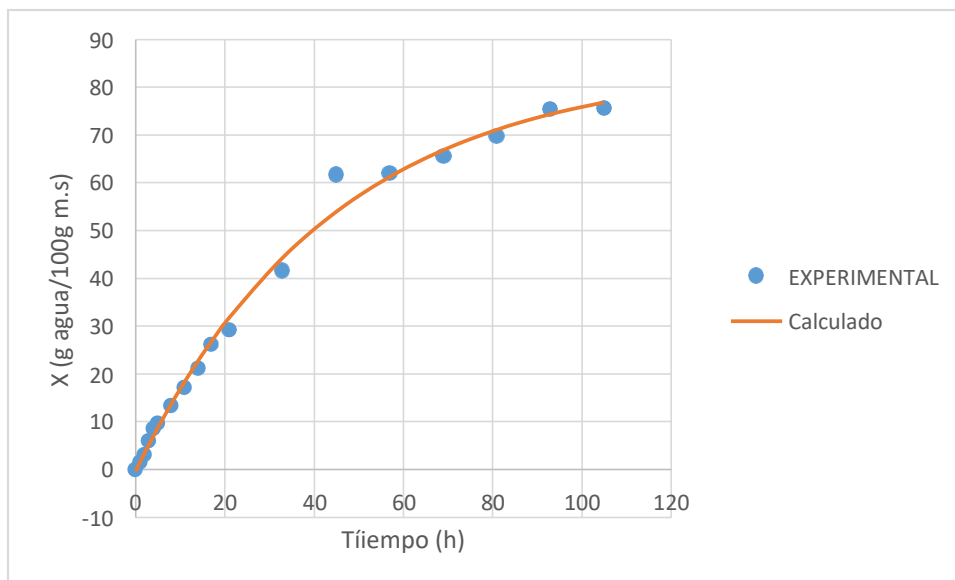
$$Y = 40.537944 + 31.992775e^{0.0297013t} \quad (1.c)$$

Tabla 8: Humedad X (g de agua/100g m.s) con agua destilada a 30 °C

Tiempo (h)	Humedad (x)	Tiempo (h)	Humedad (x)
0	0	17	26.16
1	1.546	21	29.152
2	3.092	33	41.556
3	5.938	45	61.692
4	8.542	57	61.954
5	9.712	69	65.52
8	13.312	81	69.652
11	17.146	93	75.408
14	21.142		

La tabla 8 muestra la evolución del incremento del contenido de humedad (X) del polvo atomizado de achiote estando expuesta al agua destilada dentro de una campana a una temperatura controlada de 30 °C, se aprecia que después de 93 h esta alcanza una humedad de equilibrio experimental de 75.40 g agua/100 g.m.s.

Figura 10: Ganancia de humedad con agua destilada a la temperatura de 30 °C.



La figura 10 muestra la curva del incremento del contenido de humedad (X) del polvo atomizado de achiote estando expuesta al agua destilada dentro de una campana a una temperatura controlada de 30 °C, se realizó un ajuste a los datos mediante la ecuación (1.d) determinando un valor estimado de (Xe) igual a 84.8123 g agua/100 g.m.s.

El análisis de regresión para la curva ajustada se realizó mediante el modelo matemático de evolución del contenido de humedad predicho

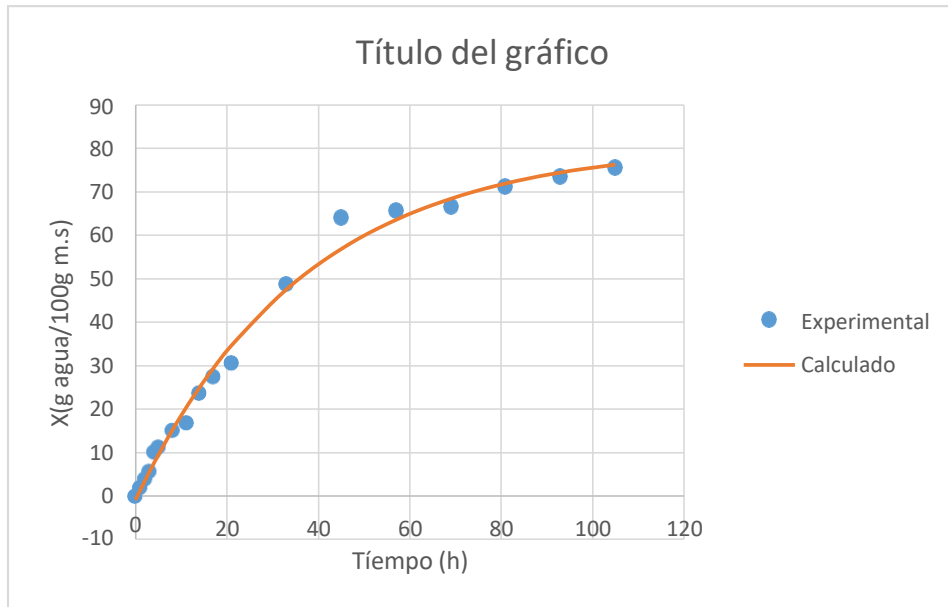
$$Y = 84.812324 + 85.185827e^{0.0225396t} \quad (1.d)$$

Tabla 9: Humedad X (g de agua/100g m.s) con nitrato de magnesio a 30 °C

Tiempo (h)	Humedad (x)	Tiempo (h)	Humedad (x)
0	0	17	27.284
1	1.952	21	30.364
2	3.904	33	48.722
3	5.532	45	64.022
4	9.982	57	65.642
5	11.108	69	66.644
8	14.896	81	71.088
11	16.626	93	73.422
14	23.676	105	75.522

La tabla 9 muestra la evolución del incremento del contenido de humedad (X) del polvo atomizado de achiote estando expuesta al nitrato de magnesio dentro de una campana a una temperatura controlada de 30 °C, se aprecia que después de 105 h esta alcanza una humedad de equilibrio experimental de 75.52 g agua/100 g.m.s.

Figura 11: Ganancia de humedad a la temperatura de 30 °C.



La figura 11: Muestra la curva del incremento del contenido de humedad (X) del polvo atomizado de achiote estando expuesta al nitrato de magnesio dentro de una campana a una temperatura controlada de 30 °C, se realizó un ajuste a los datos mediante la ecuación (1.e) determinando un valor estimado de (Xe) igual a 81.054 g agua/100 g.m.s.

El análisis de regresión para la curva ajustada se realizó mediante el modelo matemático de evolución del contenido de humedad predicho

$$Y = 81.054486 + 81.9726e^{0.0270974t} \quad (1.e)$$

4.3 Resultados obtenidos para las constantes de los modelos de B.E.T y G.A.B

Tabla 10: Valores obtenidos de la constante de B.E.T

	T (°C)	Agua destilada Ea (J/mol K)	Nitrato de magnesio Ea (J/mol K)
C	20	7.056	4.919
	25	5.068	5.406
	30	6.08	10.125
Xm	20	1.431	0.584
	25	1.43	1.435
	30	1.072	1.899

Tabla 11: Valores obtenidos de la constante de G.A.B

	T (°C)	Agua destilada Ea (J/mol K)	Nitrato de magnesio Ea (J/mol K)
K	20	0.9120069	0.9120069
	25	0.79192089	0.90931556
	30	0.91206299	0.9120065
C	20	23.7239716	23.7239716
	25	214.574611	12.8846933
	30	23.4570222	23.7297203
Xm	20	4.28002444	4.28002444
	25	6.45071081	4.37845275
	30	4.27926862	4.27991426

En la tabla 10 se presentan las constantes de los modelos matemáticos B.E.T. los valores obtenidos de la monocapa (Xm) a las tres temperaturas de proceso para el agua destilada presenta una diferencia entre las temperaturas de 20

°C que tienen 1.431 g agua/g.m.s mientras que a 30 °C presenta 1.072 g agua/g.m.s lo que indica que la temperatura afecta directamente en el vapor de agua, un valor bajo de la (Ea) indica mayor interacción con él medio que lo rodea, para el nitrato de magnesio los valores obtenidos a estas mismas temperaturas están también diferenciadas pero sucede lo inverso absorbiendo menos agua del medio por presentar una (Ea) superior a la temperatura de 30 °C.

De la tabla 11 en la constante Xm de G.A.B para el agua destilada a la temperatura de 20 °C presenta un valor de 4.28 J/mol k y a 30 °C presenta 4.27 J/mol k esta cercanía de valores indica que el polvo atomizado de achiote absorbe humedad del medio sin afectarle la temperatura, el mismo efecto se observa en el nitrato de magnesio, indicando que el modelo de G.A.B. refleja bien los datos experimentales.

Tabla 12: Valores de la energía de activación para las constantes de G.A.B

	Energía de activación (J/mol K)	
	Agua destilada	Nitrato de magnesio
K	-112.097	-2.472
C	987.536	486.402
Xm	325.858	16.888

En la tabla 12 la Energía de activación (Ea) se calcula a partir de los valores de las constantes encontradas durante el proceso de rehidratación generadas a partir de las temperaturas de 20 °C, 25 °C y 30 °C aplicando la ecuación lineal de Arrhenius, en consecuencia, este valor representa la energía necesaria para romper los enlaces en cualquiera de estas temperaturas. El valor K (diferencia de potencial químico) es de 112.097 J/mol K representa lo necesario para romper la unión de los enlaces para el agua destilada.

Los valores de la constante C (constante energética) para el agua destilada es mayor que la unidad, lo que indica que la mayor absorción se da a nivel de la monocapa durante las primeras horas resultado mucho menor para el nitrato de magnesio indicando que la adsorción se realiza en forma más lenta.

Figura 12: Isotermas de absorción mediante los modelos de G.A.B y B.E.T a 20 °C.

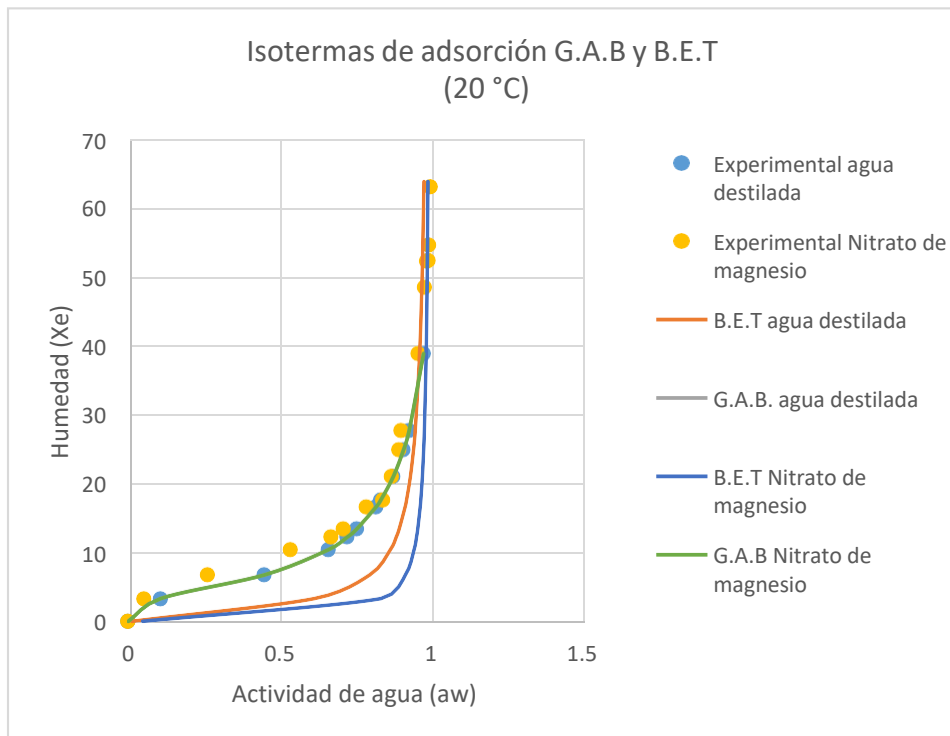


Figura 13: Isotermas de absorción mediante los modelos de G.A.B y B.E.T a 25 °C

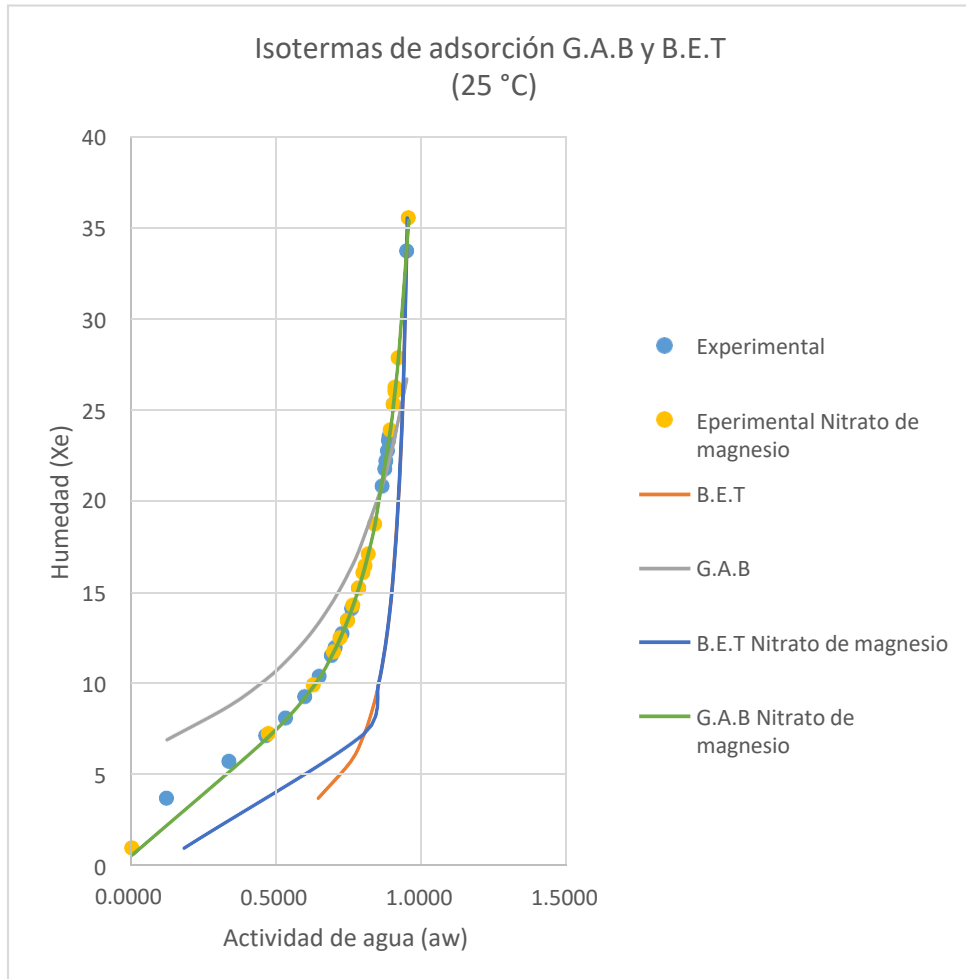
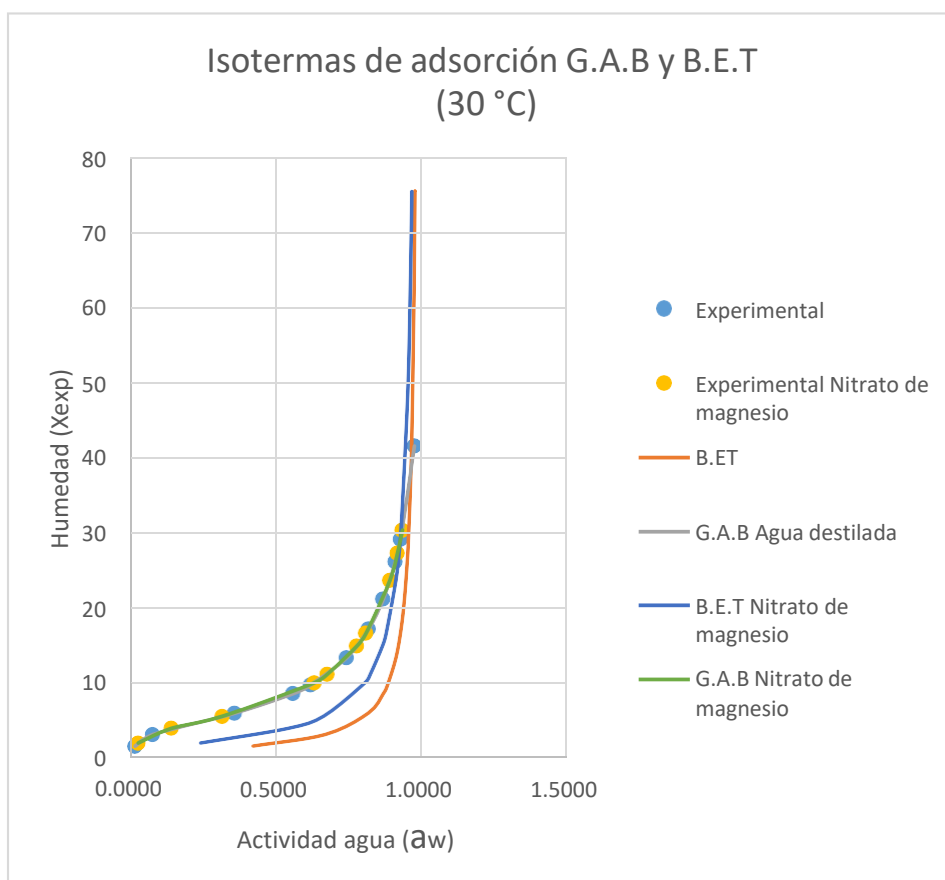


Figura 14: Isotermas de absorción mediante los modelos de G.A.B y B.E.T a 30 °C



Las figuras 12 hasta la figura 14, muestran todas las isotermas generadas a las temperaturas de 20 °C, 25 °C y 30 °C las mismas que presentan una curva típica del tipo II (b) relacionada con los productos biológicos según lo descrito por Vander Waals, Mathlouthi & Rogé, (2003).

A la temperatura de 20 °C los valores experimentales de la actividad de agua (a_w) presenta valores de 0.97 con una humedad (X_e) de 38.96 g agua / 100 g m.s para el agua destilada, el modelo de B.E.T tiene un acercamiento con los valores iniciales y finales, pero la curva generada presenta una concavidad más pronunciada que la sigmoideal, la curva generada por el modelo de G.A.B presenta una curva más precisa acercándose a los valores experimentales.

El nitrato de magnesio presenta experimentalmente una absorción lenta de agua llevando 105 h para llegar al equilibrio (X_e) 63.93 g agua / 100 g m.s y una (a_w) 0.99, el modelo de B.E.T. no representa bien esta isoterma presentando la misma concavidad hacia abajo pero el modelo de G.A.B si presenta una mejor representación de la isoterma.

A la temperatura de 25 °C los valores experimentales presentan una curva más vertical indicando una rápida absorción de humedad por parte del polvo de atomizado de achiote, la actividad de agua (a_w) presenta valores de 0.897 una humedad (X_e) de 23.30 g agua / 100 g m.s para el agua destilada, el modelo de B.E.T no representa bien esta isoterma, la curva generada por el modelo de G.A.B presenta un mejor acercamiento a los datos experimentales.

El nitrato de magnesio también presenta experimentalmente una curva de crecimiento normal con una humedad de equilibrio (X_e) de 25.31 g agua / 100 g m.s y una (a_w) 0.91, el modelo de B.E.T. no representa bien esta isoterma el modelo de G.A.B si presenta una mejor representación de la isoterma con una humedad de equilibrio (X_e) de 25.33 y una (a_w) de 0.91.

A la temperatura de 30 °C los valores experimentales presentan una curva más acentuada hacia arriba indicando una rápida absorción de humedad por parte del polvo de atomizado de achiote, la actividad de agua (a_w) presenta valores de 0.98 una humedad (X_e) de 41.55 g agua / 100 g m.s para el agua destilada, el modelo de B.E.T no representa bien esta isoterma, la curva generada por el modelo de G.A.B presenta un mejor acercamiento a los datos experimentales con una (a_w) de 0.98 y una humedad de equilibrio de 41.5 g agua / 100 g m.s.

El nitrato de magnesio también presenta experimentalmente una curva de crecimiento normal con una humedad de equilibrio (X_e) de 30.36 g agua / 100 g m.s y una (a_w) 0.94, el modelo de B.E.T. presenta un mejor acercamiento a los datos experimentales, el modelo de G.A.B si presenta una mejor representación de la isoterma coincidiendo en la representación con los valores experimentales una humedad de equilibrio (X_e) de 30.36 g agua / 100 g m.s y una (a_w) de 0.94

Las curvas se perfilan mejor conforme aumenta la temperatura indicando que la absorción de humedad se realiza en forma más homogénea en la monocapa, en todas las temperaturas el modelo de G.A.B es el que mejor comportamiento presenta.

La curva del Nitrato de magnesio de G.A.B a las temperaturas de 20 °C, 25 °C y 30 °C presenta la forma más parecida al tipo II sigmoideal, con una actividad de agua (aw) inicial de 0.02 incrementándose hasta 0.94.

Las curvas obtenidas a la temperatura de 25 °C para el agua destilada presentan una absorción de humedad más lineal indicando sensibilidad a la temperatura incrementando la presión de vapor en el interior de la campana y consecuentemente mayor humedad en el medio que rodea a la muestra.

4.4 Calculo del tiempo de vida útil

Tabla 13: Índice de peróxido

Semanas	20 °C	25 °C	30 °C
1	0.69	0.66	0.68
2	0.70	0.69	0.71
3	0.71	0.72	0.73

$$\text{Lg } K = \text{Ln } K_0 - \frac{E_a}{R} * \frac{1}{T_a} \quad \text{Ecuación de Arrhenius modificada para encontrar } E_a \text{ y } K$$

$$Y = 23.737 - 81.37 \frac{1}{T_a}$$

Constantes encontradas: Lg K: 2E+10;

Ea: 67618.47 J/mol

Ea: 16.16 Kcal/mol.

Los valores del Índice de peróxido se tomaron considerando que el polvo atomizado se encontraba envasada dentro de un empaque de alta densidad.

Tabla 14: Proyecciones de la constante K para diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	Lg K
10	0.00663
20	0.01769
25	0.02820
30	0.04425
40	0.10437
50	0.23341
60	0.49736

Tabla 15: Proyecciones del tiempo de vida útil del polvo atomizado de *Bixa orellana L.*

T (°C)	Dias	Semanas	Meses	I. Peróxido (meqO ₂ /kg)
10	2030.38	270.71	67.67	4.95
20	761.02	101.49	25.36	4.81
25	477.56	63.67	15.91	4.71
30	304.33	40.57	10.14	4.97
40	129.04	17.20	4.30	4.94
50	57.70	7.69	1.92	4.92
60	27.07	3.61	0.90	4.96

La tabla 15, nos muestra los resultados proyectados para el tiempo de vida útil (TVU) del polvo de *Bixa orellana L* (achiote) basados en los datos obtenidos de la tabla 13 que indica los diferentes valores del peróxido contenido en la muestra evaluada.

La Norma Técnica Peruana (N.T.P) el valor máximo de peróxido para un alimento es de 10 meq O₂/kg como indicador del deterioro de un alimento.

El contenido de peróxido presente en la Bixa orellana L (achiote) en estado fresco es de 0.8 meq O₂/kg, al ser deshidratado a 50 °C este valor se incrementa hasta 1.48 meq O₂/kg, como se aprecia es muy bajo el índice de peróxido debido en parte por la poca cantidad de grasa presente en la semilla que fluctúa entre 1.62 y 2.03 también valores bajos comparados con otras frutas oleaginosas, teniendo estas consideraciones la proyección del (TVU) se proyectó considerando un índice <5 meqO₂/kg obteniendo los resultados mostrados en la tabla 13.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

Las isotermas generadas mediante los modelos presentan forma sigmoideal o del tipo II que es un indicador de una adsorción física en multicapas igual comportamiento reporto Miranda et al, (2014) para la harina de maíz nixtamalizada.

En las isotermas del polvo atomizado de achiote a las tres temperaturas 20 °C, 25 °C y 30 °C se presentan las tres regiones de la actividad de agua (a_w) típicas del tipo II, a (a_w) comprendida entre 0.2 - 0.6 y la siguiente etapa a 0.8 similar valor en la actividad de agua (a_w) reporto Miranda et al (2014) al realizar las isotermas de maíz a temperaturas de 24 °C, 30 °C y 35 °C reportando regiones comprendidas entre 0.2 -0.4 y la siguiente de 0.6 y 0.7, al respecto Chen y Lai, (2008) manifiestan que esto se originaria por el llenado de poros a bajas actividades de agua (a_w) seguido del llenado de agua de los grandes poros y la disolución de solutos a altas actividades de agua (a_w) con la formación de multicapas ya sea por efectos físicos o químicos.

Labuza y Altunakar, (2007) indica que el efecto de la temperatura frente al contenido de humedad es mayor cuanto más seco se encuentre el producto, en esta investigación el polvo atomizado tenía un contenido de humedad del 3 – 4 % b.s por lo que las isotermas de adsorción muestran una dependencia de la temperatura, esto es llegan a la actividad de agua (a_w) final con menor contenido de humedad de equilibrio (X_e) es decir la pendiente de la curva es menos pronunciada al subir la temperatura producto.

En la tabla 11 se muestran los valores de la constante X_m de G.A.B a 20 °C para el agua destilada y nitrato de magnesio fueron de 4.28 J/mol K a 25 °C estos valores de X_m fueron de 6.45 J/mol K y 4.37 J/mol K respectivamente y a la temperatura de 30 °C estos valores de X_m fueron de 4.27 J/mol K y 4.2792 J/mol K respectivamente indicando que a 25 °C hay una mayor absorción de humedad manifestándose mejor en el agua destilada, también los valores de las constantes a 30 °C que son K: 0.912 J/mol K, C:23.457 J/mol K y X_m : 4.279 J/mol K estos valores están muy cercanos a lo reportado por Alvarez L

(2001).en las isothermas de la harina de plátano a la temperatura de 29.2 °C que son, $K= 0.814$, $C= 22.428$ y $X_m= 6.009$.

La Energía de activación obtenido del cálculo de los datos registrados en la tabla 13 en nuestro proceso es de $E_a= 67618.47 \text{ J/mol} = 67.618 \text{ KJ/mol}$ este valor en un rango de temperaturas de 20 °C, 25 °C y 30 °C Ruiz (2021) reporto una $E_a= 52.374 \text{ KJ/mol}$ para un rango de temperaturas de 20 °C, 25 °C y 30 °C para el polvo atomizado de *Mauritia flexuosa* (aguaje), estos valores son aceptables ya que el aguaje presenta mayor cantidad de grasas retrasando el proceso de absorción de humedad.

En la tabla 15 se tiene que para una temperatura de 20 °C se tiene una proyección de 25.36 meses, a 25 °C un tiempo de 15.91 meses y a 30 °C un tiempo 10.14 meses siendo similar a lo reportado por Ruiz (2021) que indica a 20 °C un tiempo proyectado de vida útil de 21.68 meses, a 25 °C un tiempo de 15.11 meses y a 30 °C un tiempo de 10.66 meses.

Las isothermas generadas por ambos métodos de G.A.B y B.E.T predicen muy bien el contenido de humedad de la monocapa (x_m) y son consideradas las más útiles para asegurar la estabilidad de la calidad de un alimento deshidratado en almacenamiento. (Vito J, 2019)

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

Los modelos matemáticos de BET y GAB empleados reflejaron bien las curvas de las isotermas de sorción del polvo atomizado de achiote que presentaron una forma sigmoideal ósea tipo S característico de todos los productos biológicos.

El modelo que reflejo mejor los datos experimentales fue el de G.A.B que cubre un rango de actividad de agua (a_w) comprendido entre 0.10 – 0.90 mientras que el de B.E.T cubre un rango inferior de 0.010 – 0.5 desviándose de los valores a una (a_w) de 0.5 induciendo al error.

Es importante conocer el valor de la energía de activación (E_a) pues está directamente relacionado con la velocidad de reacción de un proceso, indicando que a una (E_a) alta la velocidad de reacción es baja es decir si el producto presenta un contenido de humedad alto va a tener una baja energía de activación.

Los modelos matemáticos nos sirven para predecir ciertos comportamientos de los alimentos en situaciones extremas y nos predice un rango de valores para evitar estos inconvenientes.

CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

Realizar trabajos de investigación considerando otras formas de preservar el alimento y aplicar diferentes modelos matemáticos para determinar sus isotermas realizando así un aporte a la calidad del alimento.

Investigar cuales modelos matemáticos son los que presentan un mejor ajuste frente a los valores experimentales considerando las propiedades nutricionales del alimento.

CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN

Alvarez L. (2001). Predicción de ganancia de humedad en harina de plátano (*Musa paradisiaca*, variedad inguiri) empacado, mediante modelos matemáticos deterministas. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Facultad de Industrias Alimentarias. Tingo María – Perú.

Ancco T. 2008. Determinación de vida en anaquel de galletas enriquecidas con kañihua (*Chenopodium pallidicaule* Sp.) por pruebas aceleradas de almacenamiento. Universidad Nacional del Altiplano – Puno. Escuela de Post grado. Maestría en Agricultura Andina. Especialidad Postcosecha y Marketing. Puno – Perú.

Araujo C.M. (2001) “Suco de camu-camu (*Myrciaria dubia* H.B.K Mc Vaugh) microencapsulado obtenido a través de secado por atomización”. Tese Doutorado em Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade estadual de Campinas, Campinas, Sao Paulo –Brasil.

Bala, B. K. (2017). *Drying and storage of cereal grains*. Primera edición. Editorial Wiley Blackwell. Pondicherry, India. 340.

Badui, S.D. *Química de los alimentos*. IV Pearson Educación. D.F Mexico. México. 2008. 1191 p.

Becerra E. 2016. Agua y actividad de agua. Universidad Nacional de San Agustín. Facultad de Ingeniería de Procesos. Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias. Arequipa – Perú.

Bello, J. (2000). Ciencia bromatológica, principios generales de los alimentos. Madrid - España. Ediciones Díaz de santos. 591p.

Boente, G., González, H. H. L., Martínez, E., Pollio, M. L., & Resnik, S. L. (1996). Sorption isotherms of corn- study of mathematical models. *Journal of Food Engineering*, 29(1), 115 – 128

Blahovec, J., & Yanniotis, S. (2009). Modified classification of sorption isotherms. *Journal of Food Engineering*, 91(1), 72 - 77.

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.

Cahuaya G. (2017). Efecto del secado por aspersion en el contenido de vitamina c, capacidad antioxidante y características fisicoquímicas de jugo de naranja. Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de Industrias Alimentarias. Huancayo – Perú.

Castillo D y Silva C. 2015. Determinación de la vida de anaquel del chocolate de taza elaborado por ASDEME, mediante pruebas aceleradas (ASLT) en dos tipos de anaquel. Universidad Nacional de Piura. Facultad de Ingeniería Industrial. Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial e Industrias Alimentarias. Piura – Perú.

Chen, C., Lai, L. (2008). Mechanical and water vapor barrier properties of tapioca starch/decolorized hsian-tsao leaf gum films in the presence of plasticizer. *Food Hydrocolloids* 22, 1584 - 1595.

Choque-Quispe D, *et al*, Evaluación de las isotermas de sorción de granos y harina de kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Rev.ion.*2018.31(2):67-81. Bucaramanga (Colombia). 2018.

De la Cruz. (2009). Complementación proteica de harina de trigo (*Triticum aestivum* L.) por harina de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) y suero en pan de molde y tiempo de vida útil. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima - Perú.

<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1742/TAL15.121-T.pdf?sequence=1>.

Devia, J; Saldarriaga, L. (2003). Planta piloto para obtener colorante de la semilla del achiote (*Bixa orellana*). Revista Universidad EAFIT, vol.39, n° 131, p. 8-22.

FAO/WHO N° 3, Compendio de especificaciones de Aditivos Alimentarios. Comité conjunto de expertos en aditivos alimentarios, 2006.

Fellows, P. J. *Food Processing Technology*. Segunda edición. Editorial Woodhead Publishing Limited. Cambridge - England. 2000.

Fennema, O. R. *Química de Los Alimentos*. Segunda Edición. Editorial ACRIBIA, S.A. Zaragoza - España. 2000.

Gabas, A. L. Secagem de uva Itália em Jeito fixo. Tese de Mestrado em Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, Sao Paulo - Brasil. 1998.

Gil et al, (2012). Isotermas de adsorción y desorción de agua en leche descremada en polvo. Revista Avances en Ciencias e Ingeniería – ISSN:0718-8706. Av. Cien. Ing: 4(1), 51-59 (enero/marzo,2013).

Huaman B. (2016). Isotermas de adsorción de la harina de castaña (*bertholletia excelsa h.b.k*) en la región de madre de dios. Universidad Nacional

Amazónica de Madre de Dios. Facultad de Ingeniería Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial. Puerto Maldonado – Perú.

Imbarex. (2017). Imbarex Natural Colors & Ingredients. Obtenido del sitio web: <https://www.imbarex.com/es/colorantes-naturales-en-la-industria-alimentaria/>

Iglesias H.A y Chirife J (1976). Prediction of the effect of temperature on water sorption isotherms of food material. *J. of food Sc. And Technology*, 11, 109-116.

Kato, Osvaldo Ryohei, et al. Epoca de colheita de sementes de urucu: emergencia e teor de corantes. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 1992, vol. 27, no 9, p. 1291-1302.

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.

Labuza, T. and schmidl, m. 1985. accelerated shelf life testing of foods. *food technology*. vol 39(9) 57 – 64 p.

<https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US8629267>

Labuza, T.P., Altunakar, B. (2007) Water prediction and moisture sorption isotherms. In *Water Activity in Foods*, Pp: 109-154, IFT Press, Blackwell Pu.

Lima, E. E. Producao e armazenamento da farinha de facheiro (*Cereus squamosus*). Tese de Mestrado em Engenharia Agrícola, Área de concentracao em armazenamento e processamento de produtos agrícolas, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, Paraíba- Brasil. 2006.

López Y. (2017). Estudio de la cinética de deshidratación osmótica para la conservación de lisa (*mugil cephalus*). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Facultad de Ciencias Biológicas. Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera.

Martín J. (2015). Cinética de sorción de humedad en productos de molinería, obtención acelerada de datos y caracterización matemática. Universidad de Cordova. Facultad de Veterinaria. Departamento de Bromatología y Tecnología de Alimentos. Cordova.

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

Núñez C. y CHumbiray M. (1991) Determinación de vida en anaquel de productos alimenticios procesados mediante pruebas acelerada. Fundamentos teóricos de la vida en anaquel (SHELF-LIFE) .de productos alimenticios. Universidad de Lima.

Peralta G.D. (2001). Condiciones de almacenamiento de dos variedades de granos de kiwicha (*amaranthus caudatus*) a través de modelos matemáticos de isothermas de adsorción. Universidad Nacional José María Arguedas , Facultad de Ingeniería. Tesis pregrado. Andahuaylas – Perú

Pereyra T. (2017). Vida en anaquel de la harina de trigo (*Triticum aestivum L*) extruida, elaborada por el Molino San Miguel E.I.R.L, mediante pruebas de vida util aceleradas. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias. Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias. Lambayeque – Perú.

Pulido N, Diaz C y Váquiro H. “Modelado de las isothermas de sorción y del calor isostérico de sorción en polen apícola”. II Congreso de Investigación e Innovación en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Alimentos. Rev. Fac. Agr. Medellín 67(2). 2014 supl.2.

Ramírez-Miranda M, Cruz y Victoria M, Vizcarra-Mendoza M.G. y Anaya-Sosa I. Determinación de las isothermas de sorción y las propiedades termodinámicas de harina de maíz nixtamalizada. Revista Mexicana de Ingeniería Química. Vol. 13, No. 1 (2014) 165-178.

Rahman, S. (1995). *Food Properties Handbook*. Ed.: S. Rahman, CRC Press, Boca Ratón (Florida).

Rodríguez M. (2010). Efecto de las fluctuaciones de temperatura ambiente sobre el valor de la actividad de agua de un alimento deshidratado. Tesis de grado. Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias. Huancayo-Perú.

Rodríguez J. Efecto de la temperatura sobre las isothermas de adsorción de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) en hojuelas. Tesis. Trujillo. Universidad Nacional de Trujillo. 2015

Ruiz R. Modelización de las isothermas de sorción del atomizado de *Mauritia flexuosa* aguaje y su efecto en el contenido vitamínico A, Iquitos 2020. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Facultad de Agronomía. Iquitos – Perú. 2021.

Sandoval,A; Barreiro, J.; Tovar,X. yAngueira,M. (2002). “Características de sorción del cacao fermentado en polvo (*Theobroma cacao*)”. Rev.Téc. Ing. Universidad del Zulia. 5(1): 1-7.

Shafiur Rahman, M. *Food properties handbook*. Second edition. Editorial CRC Press Taylor & Francis Group. London - New York. 2009.

Tóth, J. (2002). *Adsorption: Theory, Modeling, and Analysis*. Marcel Dekker, Inc. New York.

Viteri, P. G. (2010). Desarrollo de un producto alimenticio: crema de chocolate, utilizando aceite de palma en industrial DANEC S.A. Tesis (Ingeniero Químico). Riobamba, Ecuador. Escuela Superior Técnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. 165 p.

Vito J. 2019. Determinación de la vida útil mediante pruebas aceleradas (ASLT) de un producto extruido enriquecido con concentrado proteico de pota (*Dosidicus gigas*). Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de pesquería. Lima – Perú.

Zapana F. (2017). Estudio comparativo de isotermas de adsorción, propiedades físicas y microestructurales de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) cultivadas a diferentes altitudes. Universidad Nacional del Altiplano. Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial. Puno – Perú.

ANEXOS

Recepción y selección de materia prima (achiote)



Interior de los frutos de *Bixa orellana* L (achiote)



Granos secos de la semilla de *Bixa orellana* L (achiote)



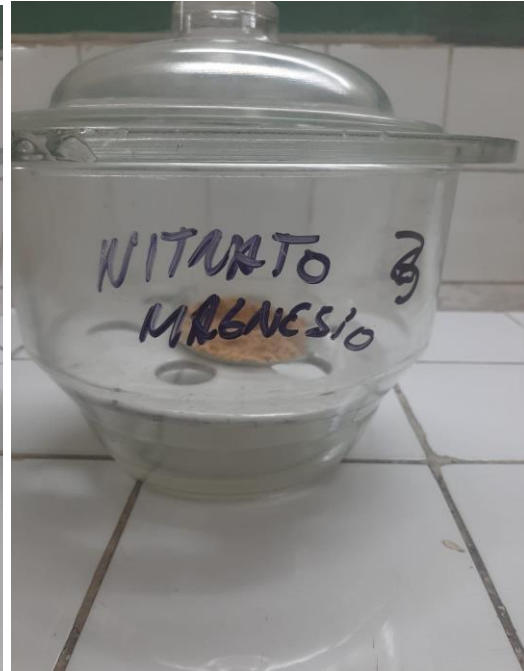
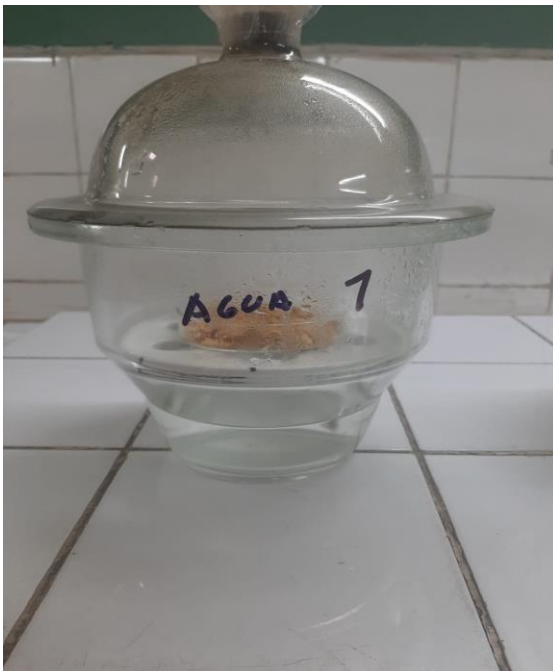
Solución extraída con KOH al 2%,



Atomizado del extracto de *Bixa orellana* L (achiote) temperatura 190 °C, maltodextrina 8 %.

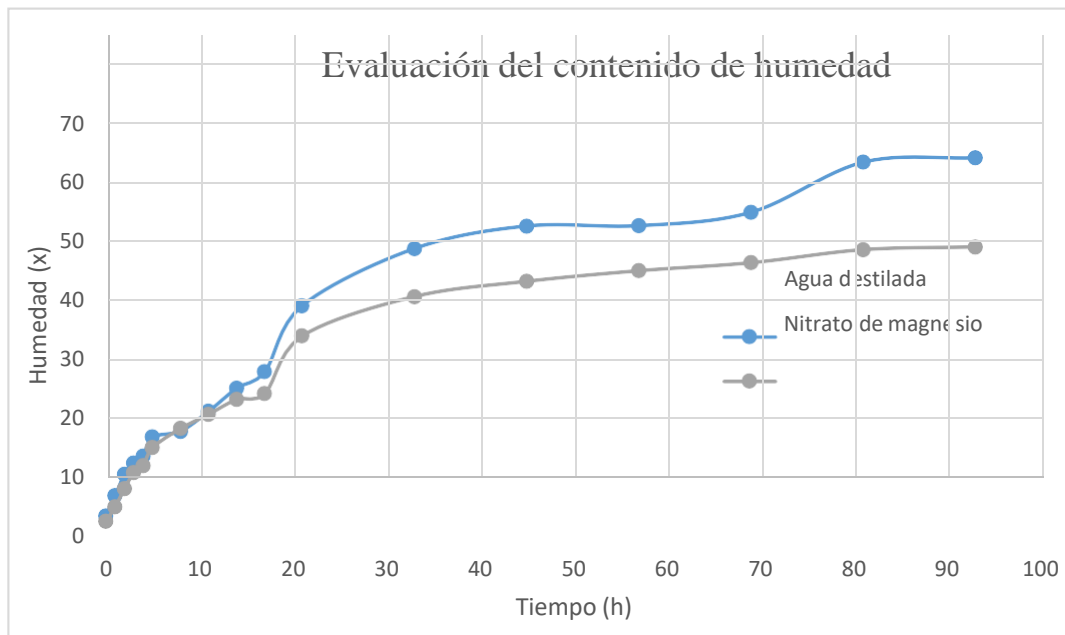


Muestras colocadas en campanas con la solución de agua destilada y nitrato de magnesio



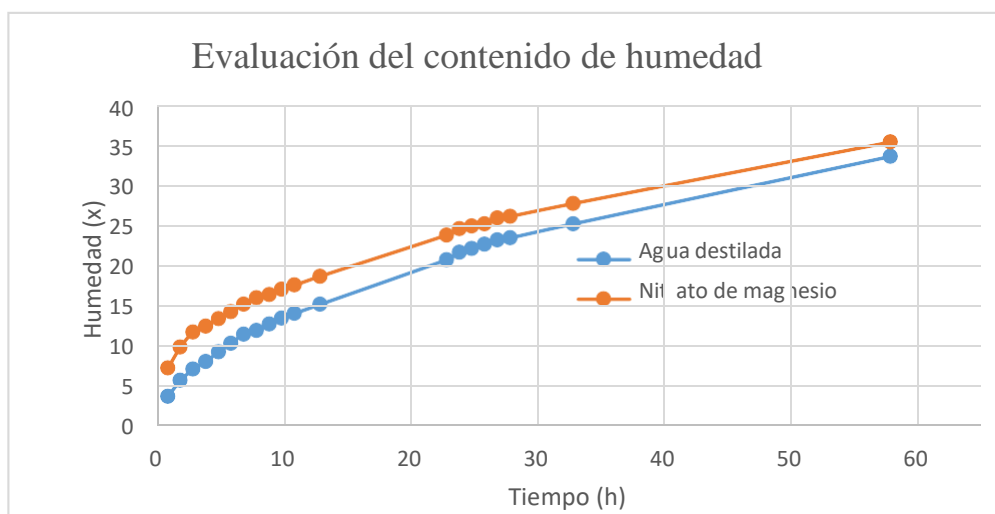
DATOS RECOLECTADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LASISOTERMAS (20 °C)

Tiempo (h)	Agua destilada	Nitrato de magnesio
	Humedad (X)	Humedad (X)
0	2.341	1.343
1	3.424	2.484
2	6.848	4.968
3	10.518	8.038
4	12.374	10.764
5	13.51	11.958
8	16.754	14.968
11	17.742	18.206
14	21.112	20.598
17	25.012	23.108
21	27.774	24.098
33	38.964	33.828
45	48.604	40.492
57	52.406	43.064
69	52.464	44.856
81	54.73	46.208
93	63.2	48.416
105	63.93	48.88



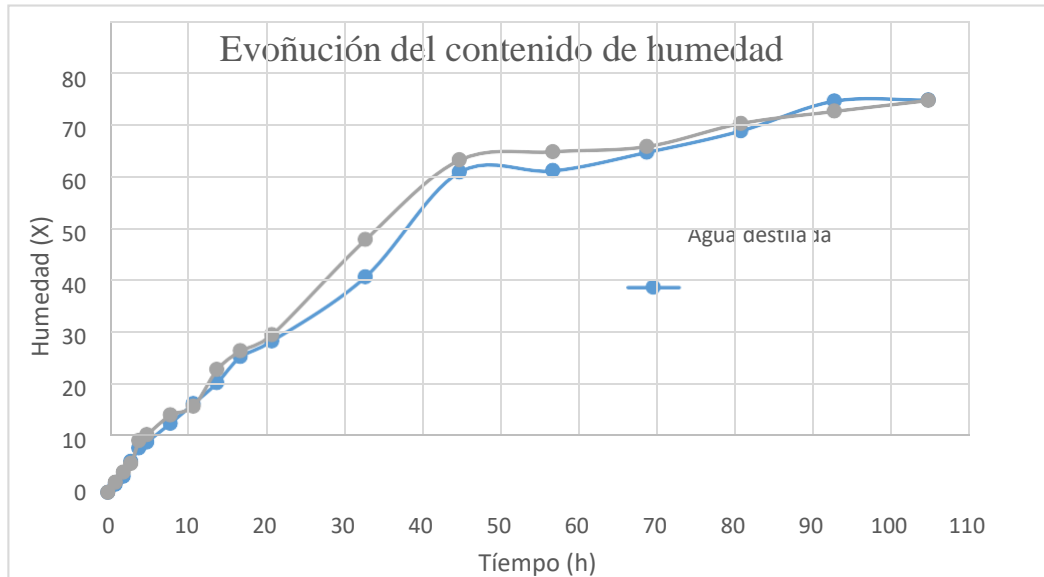
DATOS RECOLECTADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS ISOTERMAS (25 °C)

Tiempo (h)	Agua destilada Humedad (X)	Nitrato de magnesio Humedad (X)
0	2.32	2.251
1	3.736	7.262
2	5.75	9.924
3	7.138	11.764
4	8.112	12.52
5	9.304	13.46
6	10.4	14.312
7	11.54	15.236
8	11.98	16.086
9	12.76	16.454
10	13.486	17.12
11	14.114	17.64
13	15.234	18.748
23	20.84	23.916
24	21.778	24.688
25	22.2	25.022
26	22.764	25.31
27	23.308	26.028
28	23.552	26.24
33	25.312	27.856
58	33.73	35.53



DATOS RECOLECTADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LASISOTERMAS (30 °C)

	Agua destilada	Nitrato de magnesio
Tiempo (h)	Humedad (X)	Humedad (X)
0	0	0
1	1.546	1.952
2	3.092	3.904
3	5.938	5.532
4	8.542	9.982
5	9.712	11.108
8	13.312	14.896
11	17.146	16.626
14	21.142	23.676
17	26.16	27.284
21	29.152	30.364
33	41.556	48.722
45	61.692	64.022
57	61.954	65.642
69	65.52	66.644
81	69.652	71.088
93	75.408	73.422
105	75.606	75.522



Ecuación de Arrhenius

$$\ln K = \frac{-Ea}{RT} + \ln A$$

$$y = mx + b$$

Reordenando Arrhenius a la ecuación de la recta

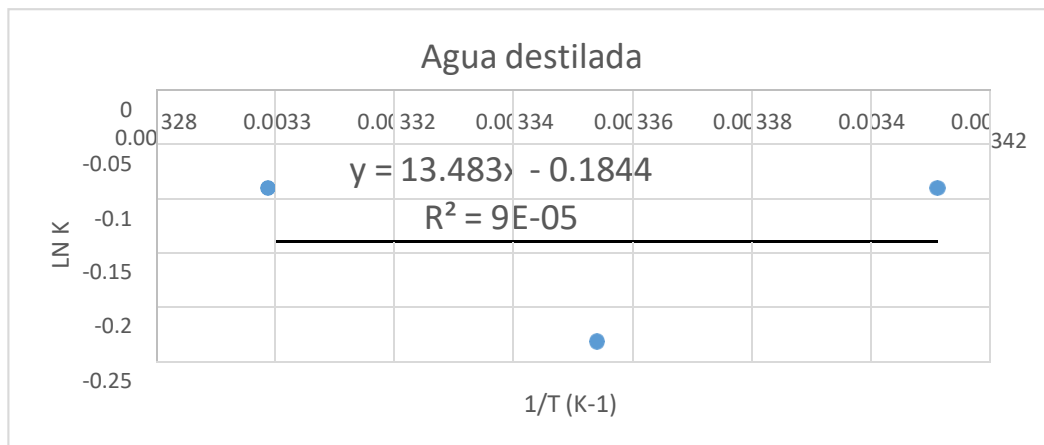
$$\ln K = \frac{-Ea}{R} \frac{1}{T} + \ln A$$

$$m = \frac{-Ea}{R}$$

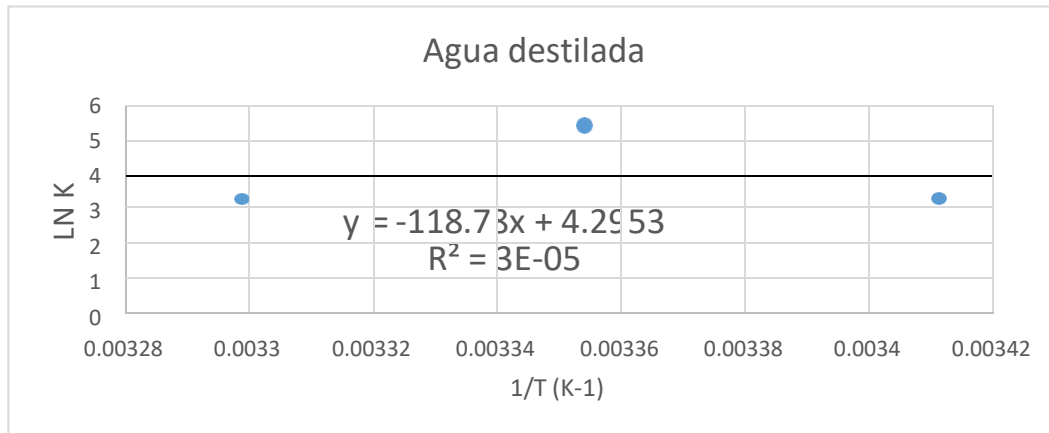
$$Ea = -mR \quad R = \frac{8,314J}{molK}$$

CALCULO DE LA ENERGÍA DE ACTIVACIÓN (Ea) POR MÉTODO DE ARRHENIUS CON LAS CONSTANTES DE (GAB)

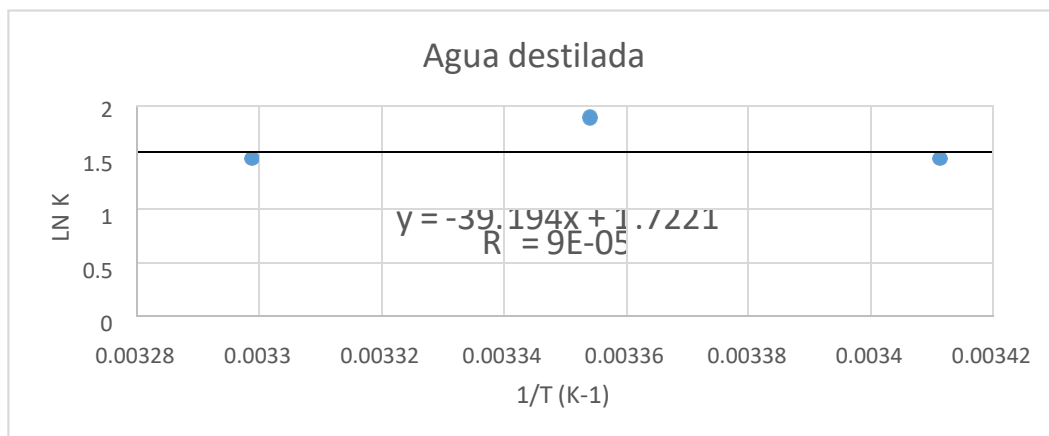
T°C	Constante K	TK	LN(K)	1/T(k-1)	Ea (J/mol K)
20	0.912006896	293.15	0.09210773	0.00341122	
25	0.791920891	298.15	0.23329378	0.00335402	-112.097662
30	0.912062985	303.15	0.09204623	0.0032987	



T°C	Constante C	TK	LN(K)	1/T(k-1)	Ea (J/mol K)
20	23.72397157	293.15	3.166486	0.00341122	
25	214.5746107	298.15	5.36865751	0.00335402	987.53692
30	23.4570222	303.15	3.1551699	0.0032987	



T°C	Constante Xm	TK	LN(K)	1/T(k-1)	Ea (J/mol K)
20	4.280024437	293.15	1.45395872	0.00341122	
25	6.450710813	298.15	1.86419033	0.00335402	325.858916
30	4.279268622	303.15	1.45378211	0.0032987	



Calculo del tiempo de vida útil (TVU)

$$ARRHENIUS: \log(K) = \text{Log}(K_0) - \left(\frac{Ea}{R} \right) \left(\frac{1}{T_a} \right)$$

INDICE DE PEROXIDO			
<u>Semanas</u>	<u>20 °C</u>	<u>25 °C</u>	<u>30°C</u>
1	0.69	0.66	0.68
2	0.70	0.69	0.71
3	0.71	0.72	0.73

<u>T°C</u>	<u>1/T°K</u>	<u>K</u>	<u>LN K</u>
20	0.003413	0.0143	-4.2475
25	0.0033557	0.0435	-3.135
30	0.0033003	0.0355	-3.3382

