



Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA



[Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0)

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial, siempre y cuando den crédito y licencia a nuevas creaciones bajo los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA

EVALUACION DE ORIGINALIDAD

CONSTANCIA

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

**DETERMINACIÓN DE ISOTERMAS DE ADSORCIÓN
PARA TUNA (*Opuntia tuna*) DESHIDRATADA**

Presentado por:

MINA MEDINA PEDRO ENMANUEL

Bachiller del nivel **PREGRADO** de la Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos. El resultado obtenido es **2 % de porcentaje de similitud** por el cual se otorga el calificativo de:

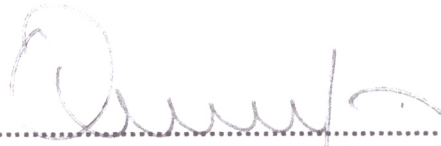
APROBADO

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Observaciones:

APROBADO OBTUVO EL 2% (MENOR AL 20% REQUERIDO)

Ica, 23 de febrero de 2022


.....
JUAN MARINO ALVA FAJARDO
DIRECTOR DE UNIDAD DE INVESTIGACION
FACULTAD DE INGENIERIA PESQUERA Y DE
ALIMENTOS

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”
FACULTAD DE INGENIERÍA PESQUERA Y DE ALIMENTOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS



**“DETERMINACIÓN DE ISOTERMAS DE
ADSORCIÓN PARA TUNA (*Opuntia tuna*)**

DESHIDRATADA”

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
INGENIERO DE ALIMENTOS**

PRESENTADO POR:

Bach: MINA MEDINA PEDRO ENMANUEL

ASESOR:

DRA. AVALOS SEGOVIA NELIDA LUCIA

PISCO - PERÚ

2022

DEDICATORIA

A mis padres, Pedro y María por su apoyo incondicional y orientación por superarme, muchas gracias a ellos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco cordialmente a mi asesora, la Dra. Nérida Avalos por su gran orientación constante durante este importante proyecto.

Al Ing. Ángel Ruiz Fiestas por el despeje constante de dudas en las distintas fases metodológicas de la presente tesis.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO I.	
MARCO TEORICO	5
1.1 Antecedentes del problema de Investigación	5
1.1.1 Antecedentes a nivel Internacional	5
1.1.2 Antecedentes a nivel Nacional	6
1.1.3 Antecedentes a nivel local.....	8
1.2 Bases teóricas	9
1.2.1 Características de la tuna.....	9
1.2.2 Actividad acuosa y su relación con el almacenamiento.....	16
1.2.3 Isoterma de adsorción	21
1.2.4 Efecto de la temperatura sobre la actividad de agua (A_w).....	23
1.2.5 Concepto de capa monomolecular.	24
1.2.6 Modelos matemáticos aplicados al fenómeno de adsorción	25
1.3 Marco conceptual	30
1.3.1 Isotermas de adsorción	30
1.3.2 Capa monomolecular	30
1.3.3 Actividad de agua.....	30
1.3.4 Humedad relativa	31
CAPÍTULO II.	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	31
2.1 Situación problemática.....	31
2.2 Formulación del problema	32
2.2.1 Problema general.....	32
2.2.2 Problemas específicos	32
2.3 Delimitación del problema.....	33
2.3.1 Delimitación espacial	33
2.3.2 Delimitación temporal.....	33
2.3.3 Delimitación conceptual.....	33
2.4 Justificación e importancia de la investigación.....	33
2.4.1 Justificación.....	33
2.4.2 Importancia	34

2.5	Objetivos de la investigación	34
2.5.1	Objetivo general	34
2.5.2	Objetivos específicos	34
2.6	Hipótesis de la investigación.....	34
2.6.1	Hipótesis general.....	34
2.6.2	Hipótesis específicas	35
2.7	Variables de investigación	35
2.7.1	Identificación de variables.	35
2.7.2	Operacionalización de variables	35
CAPÍTULO III.		
ESTRATEGIA METODOLÓGICA		36
3.1	Tipo, nivel y diseño de investigación.....	36
3.1.1	Tipo de la investigación	36
3.1.2	Nivel de la investigación.....	36
3.1.3	Diseño de la investigación	36
3.2	Población y muestra materia de investigación.....	37
3.2.1	Población.....	37
3.2.2	Muestra.....	37
CAPÍTULO IV.		
TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.....		38
4.1	Técnicas de recolección de datos	38
4.2	Instrumentos de recolección de datos	38
4.3	Técnicas de procesamiento, análisis e interpretación de datos	38
CAPÍTULO V.		
MATERIALES Y MÉTODO		39
5.1	Materiales.....	39
5.2	Método para la obtención de las curvas de adsorción para la tuna deshidratada..	40
5.3	Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de G.A.B.	40
5.4	Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de CAURIE.....	41
5.5	Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de HALSEY.....	42
5.6	Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de HENDERSON-THOMPSON	42
5.7	Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de B.E.T	43

5.8	Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de Oswin	43
5.9	Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de Smith	44
5.10	Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de Chung-Pfost	44
5.11	Fórmula para calcular el error medio relativo.....	44

CAPÍTULO VI.

PRESENTACIÓN, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 45

6.1	Isotermas de adsorción obtenidas experimentalmente para la tuna deshidratada .	45
6.3	Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de Caurie a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C	49
6.4	Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de Halsey a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C.....	52
6.5	Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de Henderson -Thompson a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C	55
6.6	Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de Oswin a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C	58
6.7	Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de Smith a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C	61
6.8	Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de Chung-Pfost a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C	63
6.9	Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de BET a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C	66
6.10	Isotermas de adsorción experimental y obtenidas con modelos matemáticos a 20°C, 30°C, 40°C	69
6.11	Valores del coeficiente de correlación y el error medio relativo	72

CONCLUSIONES73

RECOMENDACIONES74

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS75

ANEXOS79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. La Tuna	10
Figura 2. Tuna silvestre	11
Figura 3. Tuna blanca	12
Figura 4. La tuna amarilla	13
Figura 5. Isotermas de sorción.....	22
Figura 6. Isotermas de sorción a diferentes temperaturas	24
Figura 7. Curvas de adsorción experimental para la tuna deshidratada a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C.....	46
Figura 8. Isotermas de adsorción de G.A.B. a la temperatura de 20°C.....	47
Figura 9. Isotermas de adsorción de G.A.B. a la temperatura de 30°C.....	47
Figura 10. Isoterma de adsorción de G.A.B. a la temperatura de 40°C	48
Figura 11. Isotermas de adsorción de GAB a 20°C , 30°C y 40°C.....	48
Figura 12. Isoterma de adsorción de Caurie a la temperatura de 20°C	50
Figura 13. Isoterma de adsorción de Caurie a la temperatura de 30°C	50
Figura 14. Isoterma de adsorción de Caurie a la temperatura de 40°C	51
Figura 15. Isotermas de adsorción de Caurie a 20°C , 30°C y 40°C.....	51
Figura 16. Isoterma de adsorción de Halsey a 20°C	53
Figura 17. Isoterma de adsorción de Halsey a 30°C	53
Figura 18. Isoterma de adsorción de Halsey a 40°C	54
Figura 19. Isotermas de adsorción de Halsey a 20°C , 30°C y 40°C	54
Figura 20. Isoterma de adsorción de Henderson - Thompson a 20°C.....	56
Figura 21. Isoterma de adsorción de Henderson - Thompson a 30°C.....	56
Figura 22. Isoterma de adsorción de Henderson - Thompson a 40°C.....	56
Figura 23. Isotermas de adsorción de Henderson - Thompson a 20°C , 30°C y 40°C..	57
Figura 24. Isoterma de adsorción de Oswin a 20°C	58
Figura 25. Isoterma de adsorción de Oswin a 30°C	59
Figura 26. Isoterma de adsorción de Oswin a 40°C	59
Figura 27. Isotermas de adsorción de Oswin a 20°C , 30°C y 40°C	60
Figura 28. Isoterma de adsorción de Smith a 20°C.....	61
Figura 29. Isoterma de adsorción de Smith a 30°C.....	61
Figura 30. Isoterma de adsorción de Smith a 40°C.....	62
Figura 31. Isotermas de adsorción de Smith a 20°C , 30°C y 40°C.....	62
Figura 32. Isotermas de adsorción de Chung-Pfost a 20°C.....	63
Figura 33. Isotermas de adsorción de Chung-Pfost a 30°C.....	64

Figura 34. Isotermas de adsorción de Chung-Pfost a 40°C.....	64
Figura 35. Isotermas de adsorción de Chung-Pfost a 20°C , 30°C y 40°C	65
Figura 36. Isotermas de adsorción de B.E.T. a 20°C	66
Figura 37. Isotermas de adsorción de B.E.T. a 30°C	67
Figura 38. Isotermas de adsorción de B.E.T. a 40°C	67
Figura 39. Isotermas de adsorción de B.E.T. a 20°C , 30°C y 40°C.....	68
Figura 40. Curva de adsorción para Tuna deshidratada a 20°C, datos experimentales y sus modelos.	69
Figura 41. Curva de adsorción para Tuna deshidratada a 30°C, datos experimentales y sus modelos.	70
Figura 42. Curva de adsorción para Tuna deshidratada a 40°C, datos experimentales y sus modelos.	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Producción mensual de tuna, según región, Año 2018 (t).....	15
Tabla 2. Producción mensual de tuna, según región, Año 2019 (t).....	16
Tabla 3. Sales para la prueba de adsorción.....	38
Tabla 4. Contenido de humedad de equilibrio para la tuna deshidratada a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C, a diferentes actividades de agua.....	45
Tabla 5. Valores de los parámetros X_m , C_g y K del modelo G.A.B. estimados para la tuna deshidratada.....	49
Tabla 6. Valores de los parámetros γ , X_s del modelo Caurie estimados para tuna deshidratada.....	52
Tabla 7. Valores de los parámetros α y β del modelo Halsey estimados para la tuna deshidratada.....	55
Tabla 8. Valores de los parámetros f , η del modelo Henderson - Thompson estimados para la tuna.....	57
Tabla 9. Valores de los parámetros A y B del modelo Oswin para tuna deshidratada.....	60
Tabla 10. Valores de los parámetros A y B del modelo Smith para tuna deshidratada.....	63
Tabla 11. Valores de los parámetros A y B del modelo Chung-Pfost para tuna deshidratada.....	65
Tabla 12. Valores de los parámetros X_m , C del modelo BET estimados para la tuna deshidratada.....	68
Tabla 13. Coeficientes de correlación y el error medio relativo para la tuna deshidratada.....	72

ANEXOS

Figura 43. Pesado de la muestra inicial.....	80
Figura 44. Pesado de la muestra sin cascara.....	80
Figura 45. Rodajas de tuna en la bandeja del secador.....	81
Figura 46. Tuna deshidratada.....	81
Figura 47. Pesado de la muestra deshidratada para la prueba de adsorción.....	82
Figura 48. Muestras de tuna en las campanas con diferentes soluciones salinas.....	82
Figura 49. Muestras de tuna en placas konguay para ensayo a 30 °C y 40°C.....	83
Cálculos de los modelos matemáticos.....	84

RESUMEN

El trabajo de Tesis “Determinación de isothermas de adsorción para tuna (*Opuntia tuna*) deshidratada”. Tiene como finalidad estudiar y analizar los diferentes tipos y modelos matemáticos que se plantean para obtener las isothermas de absorción con sus parámetros característicos. Los modelos matemáticos elegidos fueron: GAB, BET, Halsey, Caurie y Henderson, Oswin, Smith y Chung-Pfost. Las curvas de adsorción obtenidas experimentalmente a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C presentan forma sigmoïdal. Los contenidos de humedad para un mismo nivel de agua tomando en cuenta la temperatura presentada disminuyen; el modelo de GAB ayudó a observar los parámetros con los datos empíricos y error relativo, seguido del modelo de Halsey. Los valores de la capa monomolecular fueron: para la temperatura de 20°C, 9.887 gramos de agua/100 gramos de masa seca, para 30°C, 9.703 gramos de agua/100 gramos de masa seca, y para 40°C, 9.573 gramos de agua/100 gramos de masa seca

Palabras claves: Tuna deshidratada, isothermas de adsorción, modelos matemáticos, capa monomolecular, contenido de humedad.

ABSTRACT

The thesis work "Determination of adsorption isotherms for dehydrated prickly pear (*Opuntia prickly pear*)" As a purpose, it wants to study and analyze the different types and mathematical models that are proposed to obtain the absorption isotherms with their characteristic parameters. The mathematical models chosen were: GAB, BET, Halsey, Caurie and Henderson, Oswin, Smith and Chung-Pfost. The adsorption curves obtained experimentally at temperatures of 20°C, 30°C and 40°C have a sigmoidal shape. Moisture content for the same level of water taking into account the temperature presented. the GAB model helped to observe the parameters with the empirical data and relative error, followed by the Halsey model. The values of the monomolecular layer were: for the temperature of 20°C, 9.887 grams of water/100 grams of dry mass, for 30°C, 9.703 grams of water/100 grams of dry mass, and for 40°C, 9.573 grams of water/100 grams of dry mass

Keywords: Dehydrated prickly pear, adsorption isotherms, mathematical models, monomolecular layer, moisture content.

INTRODUCCIÓN

Los frutos tienen unas características que suele llamar la atención y está en su diversidad de colores y también su variedad de tamaños y formas. Aparte de sus características visuales las frutas también tienen un alto contenido de nutrientes y sustancias que ayudan a la salud general del ser humano. La tuna, tiene un sabor agradable, y además de esto tiene nutrientes que ayudan al organismo. La tuna o nopal es una planta que suele dar frutos en América tropical y Subtropical, la fruta puede encontrarse en los comercios informales de nuestro país, ya que es muy demandada y conocida en la población. Podemos encontrar varios tipos de tuna: las rojas, anaranjadas y verdes, al comer la tuna no hay desperdicio debido a que se pueden comer completas, ya sea en licuados o en un plato típico de cualquier ciudad. En la actualidad el país Perú es el principal proveedor de esta fruta.

Las isotermas de absorción, en las cuales se observan la similitud funcional entre el movimiento de agua y los niveles de humedad balanceada a una temperatura dada, valorizan los parámetros del contenido de agua en alimentos y pueden ser interesantes para lograr avances científicos en las profesiones referentes a los alimentos (Pezzutti y Capriste, 1997).

Es de vital importancia el estudio de los parámetros de absorción de agua para lograr predecir el vencimiento la humedad crítica junto con el estado de agua para conocer los valores de aquellos productos que perecen por niveles altos de humedad adquiridos (Palou et al., 1997).

La presente investigación “Determinación de Isotermas de adsorción para tuna (*Opuntia tuna*) deshidratada”, Su finalidad es encontrar las isotermas de adsorción de la

tuna deshidratada mediante modelos matemáticos; para lo cual se utilizarán los modelos matemáticos de BET, GAB, Halsey, Henderson, Caurie, Oswin, Smith y Chung-Pfost.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEORICO

1.1 Antecedentes del problema de Investigación

1.1.1 Antecedentes a nivel Internacional

Ramírez-Miranda, Mónica (2012) “Determinación de isothermas de sorción en harina de maíz a tres temperaturas y su ajuste a modelos matemáticos”. Donde nos explica que, en México, se produce en grandes cantidades por empresas muy conocidas, así como en centros de acopio en las ciudades de todo el país. Este producto realiza la economía, pero es muy escasa la información del mismo, por ejemplo, por encima de los parámetros termodinámicos y de los movimientos de agua de la monocapa, que nos muestran las actividades de la harina mientras es distribuida y almacenada, así como los niveles de agua que se tienen que tener para poder guardar el producto de manera que perdure. Por esta razón la investigación encuentra estos datos, utilizando como producto harinas nixtamalizadas por las empresas grandes. Se crearon isothermas de absorción a tres niveles de temperaturas (24,30 y 35°C), en un promedio de movimiento acuosa de 0.074 a 0.970 contando con el Método Celda en Equilibrio (PEC), Las isothermas que se obtuvieron, en ambos lados de la muestra se caracterizan por un tipo II, de las cinco planteadas por Brunauer. Se encontró las valoraciones de monocapa con las ecuaciones de GAB y BET con los valores ubicados entre 0.06 – 0.14 (g de H₂O/g de estado sólido seco) para la harina nixtamalizada industrial y 0.11 – 0.15 (g de H₂O/g de estado sólido seco) para la harina nixtamalizada tradicional.

Se encontró los valores contenidos de humedad de seguridad (X_s), que nos muestran los niveles de contenido referente a la humedad, para lograr la estabilidad de alimentos durante su guardado en los almacenes con la fórmula de Caurie cuyas ponderaciones se encontraban en 0.03 y 0.04 (g de H_2O /g de estado sólido seco). Por último se pondero la temperatura calórica isotérmica de sorción admitido por la harina nixtamalizada para obtener un balanceado con las fórmulas de Clausius-Claperycon. Las ponderaciones de energía abierta de Gibbs que se encuentran en un diámetro de -386 ± 3.61 para harina nixtamalizada a grandes escalas y de -161 ± 1.22 para la harina tradicional. Debido a esto logramos concluir que el procedimiento es natural: los resultados de entalpia indican que podrían existir energías que podrían modificar el proceso de sorción y las ponderaciones determinadas de -16.9 ± 1.2 para harinas nixtamalizadas a gran escala y de -15.06 para harina tradicional nixtamalizada; las ponderaciones de entropía están en una frecuencia de 13.15 ± 4.6 para harina nixtamalizada a gran escala y de 5.09 ± 1.3 para harina del mismo tipo tradicional, lo que nos permite apreciar en el proceso de sorción cuando el estado es de agua-sólido es deshornado y complejo debido a su estructura, y que al prestarse un cambio de estado, rompe su estructura inicial dejando el sistema desordenado.

1.1.2 Antecedentes a nivel Nacional

Urquizo Zúñiga, Fabiola y Valdivia Salas (2015) “Comparación del efecto del secado combinado; osmodeshidratación-secado con el secado convencional para la obtención de harina de penca de tuna (*Opuntia ficus Indica*)”. La Tesis presentada evaluó la semejanza de un tipo combinado de osmodeshidratado-secado con el deshidratado rutinario, para el fruto de la tuna. Se utilizaron tres tipos de

procedimientos: 1) Solución Osmótica de azúcar de 40 °Brix 2) Solución Osmótica de azúcar de 50 °Brix, y 3) Solución osmótica de azúcar de 60 °Brix; cada uno de los procedimientos se recreó bajo un tiempo de cuatro horas de sumergimiento, utilizando mediciones precisas de peso que disminuye y de los grados Brix, cada porcentaje de tiempo de 30 minutos las primeras dos horas, y luego cada una hora, hasta dar por finalizado el tiempo indicado. Al completar el tratamiento de osmodeshidratado los productos finales fueron secados con aire caliente a los niveles de temperatura de 75°C por un tiempo alrededor de 3.75 horas. Se analizó físico y químicamente la materia prima y las muestras obtenidos bajo los distintos métodos aplicados. Los análisis presentados, como el Secado Convencional y el Secado combinado, fueron evaluados para medir su similitud en graficas de niveles de Humedad vs Tiempo Determinado; Pureza del jarabe – Disminución de peso vs Tiempo; Nivel de Humedad vs Rapidez del Secado; al igual se obtuvieron estudios de las similitudes teniendo en cuenta las concentraciones de soluciones osmóticas, permitiendo discernir el procedimiento eficaz para la creación de la harina de penca de la Tuna. Las muestras permitieron encontrar que aquellas que tuvieron un tratamiento previo de osmodeshidratado tuvieron una alta eficacia de cinética de deshidratado, haciendo que el tiempo de secado con aire caluroso disminuya y mejorando las características del producto como lo son textura y forma. Se concluyó que el procedimiento más eficaz fue en el que se utilizó la solución osmótica a 60° Brix.

Matos Chamorro y Rajo Angulo (2010) “Influencia del Tamaño de Partículas en las Isotermas de Adsorción de Harina de Haba (*Vicia faba L.*)”. El objetivo planteado del trabajo presentado fue ponderar u analizar el impacto de las dimensiones de las partículas por encima de la habilidad para absorber de los niveles de humedad de la

harina de haba (*Vicia faba L.*). Para obtener la harina fue determinante la acción del secado encontrando la humedad inicial en 63% bh del haba fresca y 10% bh en la harina. La determinación de las isothermas de absorción fue encontrada realizando métodos estáticos, utilizando las saturaciones y de a_w ya planteada ($LiCl = 0,11$; $MgCl_2 = 0,23$; $NaHCO_3 = 0,54$; $NaCl = 0,75$; $KNO_3 = 0,9$), para encontrar un balance termodinámico sin variables ($25^\circ C$); fueron utilizadas muestras de distintos tamaños gracias a la tamización de la harina (malla 12,16,20 y 32). Las ponderaciones empíricas de las isothermas de adsorción se modificaron a siete tipos matemáticos utilizados previamente en productos alimenticios. Con el modelo BET la ponderación de la monocapa (X_m) se establece entre los niveles de 0,02946 y 0,03691 g H_2O /100G de MS. En el modelo de GAB las ponderaciones de la capa monomolecular variaban entre 0,15817 y 0,18936 g H_2O / 100g de MS. Se determinó que el mejor énfasis en la calidad se obtiene para el modelo utilizado por Henderson, con un ERM de 4,57% por la malla 20.

1.1.3 Antecedentes a nivel local

Palomino Peralta Geraldine (2016) “Modelo matemático que se ajusta a la curva isotérmica de adsorción obtenida experimentalmente de la harina de garbanzo (*Cicer arietinum L.*)”.

Su finalidad fue determinar los distintos modelos matemáticos utilizados para encontrar las isothermas de adsorción y sus característicos criterios. Se obtuvieron las muestras en el mercado de Pisco, las muestras de adsorción se probaron a temperaturas de 20, 30 y $40^\circ C$. Las valoraciones de la isoterma de adsorción encontradas con el modelo matemático de GAB Fueron: para la temperatura de $20^\circ C$ $X_m = 7.26$ g de

agua/100 g.m.s, $C_g = 632.20$ y $K = 0.865$, para 30°C $X_m = 6.66$ g de agua/100 g.m.s,
 $C_g = 352.09$ y $K = 0.887$, para 40°C $X_m = 6.47$ g de agua/100 g.m.s, $C_g = 281.83$ y $K =$
 0.892

1.2 Bases teóricas

1.2.1 Características de la tuna

La tuna tiene su origen en el continente americano, fue llevada por los españoles al continente europeo y así se dio a conocer en otros países del mundo. En el país peruano la tuna se produce con facilidad en las regiones andinas, mayormente en Ancash, Arequipa, Apurímac, Huancavelica, Ayacucho. (Olivos, L. s.f).

Los nutrientes de la tuna son muy completos, tiene minerales esenciales como el fósforo, potasio, selenio, zinc y cobre. Y por si esto no fuera poco, tiene muy buenos niveles de vitamina C.

La tuna cuenta con un pigmento llamado "Betalaina", que es un excelente antioxidante, además de esto es fuertemente beneficioso para las personas que tienen Cáncer, se ha encontrado que incluso más que la vitamina C. Este compuesto impide la oxidación de las materias grasas, limitando la estructura de la placa arteriosclerótica, es netamente útil para los enfermos por afecciones referentes al estrés o que son muy sedentarios en su vida rutinaria (Olivos, L. s.f).

Su contenido comestible tiene características antisépticas y astringentes, recetados para personas que tienen diarrea. También cuenta con alcalinizantes que ayuda a esas personas que tienen problemas de Úlceras gástricas (Olivos, L. s.f).

Las personas con enfermedades coronarias la pueden utilizar debido a que tiene un alcaloide denominado “Xantina” el cuál sirve como tónico cardiovascular que amplía la fuerza de las palpitaciones del corazón. (Olivos, L. s.f).

La tuna de color morado tiene niveles de antioxidantes más altos (Mientras más color tiene una fruta mayor será sus propiedades antioxidantes).

Las características curativas de la fruta son conocidas desde hace mucho tiempo, las comunidades andinas tomaban jugos de tuna para disminuir la fiebre y la pulpa para poder contrarrestar las hernias, úlceras estomacales, diarrea y el hígado irritado. (Olivos, L. s.f).



Figura 1. La Tuna

1.2.1.1 Clasificación taxonómica

Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Orden	: Caryophyllidae
Familia	: Cactaceae
Subfamilia	: Opuntioideae
Tribu	: Opuntiae
Género	: <i>Opuntia</i>
Especie	: <i>Opuntia tuna</i>

1.2.1.2 Tipos de tunas

Tuna silvestre

La planta tiene su apogeo de crecimiento en el campo. En general están afectadas por la cochinilla, un parasito que se usa de colorante a nivel industrial. (El comercio 2011).



Figura 2. Tuna silvestre

Amarillas con espinas

Está se da por el cruce de dos variantes de tunas, una es la silvestre y la otra la amarilla sin espinas, creado mayormente por el intercambio de polen entre sus flores. Su fruto es de gran tamaño y circular, es una fruta muy vistosa debido a su color llamativo amarillo. (El comercio 2011).

Tuna blanca

Se reconoce por ser un fruto alargado. Su pulpa cuenta con un sabor muy dulce, mucho más que el resto de las tunas. Está planta cuenta con la principal ventaja de resistir el ataque de enfermedades y es de fácil manipulación debido a que no tiene muchas espinas (El comercio 2011).



Figura 3. Tuna blanca

Amarilla sin espina

La que más les gusta a los campesinos sin duda alguna es está variante. Ni la fruta ni la planta cuentan con espinas. Estas cuentan con mucha demanda en el mercado.

Su color llamativo las hace más vistosas para los consumidores. Su única desventaja es que la planta y su manipulación debe ser muy delicada (El comercio 2011).



Figura 4. La tuna amarilla

1.2.1.3 Beneficios del consumo de la tuna

Entre los beneficios que puedes encontrar con el consumo de tuna son:

- 1- La tuna tiene una gran cantidad de nutrientes como el potasio, calcio y fósforo, también tiene niveles importantes de vitamina C (Correo 2019).
- 2- Tiene 15% de carbohidratos y es alcalinizante.
- 3- Ayuda a disminuir el nivel de colesterol y triglicéridos del cuerpo. (Correo 2019).
- 4- Es extremadamente baja en calorías. (Correo 2019).
- 5- Ayuda a los pacientes diabéticos por su contenido de fructosa.
- 6- Regula la digestión y favorece los riñones.
- 7- Es extremadamente buena para el corazón y tiene usos anticancerígenos.

1.2.1.4 Producción de tunas en el Perú

En el país peruano la siembra de tuna es de 18 mil hectáreas gestionadas de la siguiente manera, el 70% se deriva a la tuna mientras que el 30% a la granja de cochinillas. Los campos tienen un porcentaje de eficacia de 9 Tm/ha, en números más entendibles serían 113 mil toneladas, el total se dividirá entre las variedades de tuna que tengamos en la plantación. Selva Industrial (2021).

La cosecha suele ser entre la primavera y el verano de Perú (Octubre - Marzo) sin embargo para la creación de celulosa y pulpas más concentradas son de diciembre a marzo. Selva Industrial (2021). La tuna es altamente demandada por los habitantes del Perú, a los cuales les encanta los productos frescos, debido a que en Perú se consume un 68% del total producido en cada región. Selva Industrial (2021).

En las tablas 1 y 2 se presenta la producción de tunas en el año 2018 y 2019 mensual según Región.

Tabla 1.**Producción mensual de tuna, según región, Año 2018 (t).**

Región	Total	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Nacional	79,863	8,577	22,459	23,006	12,798	4,842	3,585	1,969	464	444	376	588	756
.Amazonas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ancash	1,893	359	225	262	325	188	108	71	44	32	38	67	174
Apurímac	6,072	1,258	2,301	2,027	429	57	-	-	-	-	-	-	-
Arequipa	4,388	130	784	988	810	891	785	-	-	-	-	-	-
Ayacucho	27,220	2,785	8,215	8,179	5,867	311	205	219	212	227	270	329	401
Cajamarca	458	17	29	72	143	76	65	40	16	-	-	-	-
Callao	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cusco	13,205	1,750	5,950	5,505	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Huancavelica	8,216	1,086	2,088	2,631	1,802	568	-	-	-	-	-	-	40
Huánuco	157	4	43	69	37	4	-	-	-	-	-	-	-
Ica	939	386	440	112	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Junín	168	7	53	65	44	-	-	-	-	-	-	-	-
La Libertad	1,082	60	149	181	198	141	194	62	23	73	-	-	-
Lambayeque	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lima	11,327	546	1,627	1,326	2,182	1,985	2,014	1,456	28	25	52	71	18
Lima Metropolitana	709	-	123	267	207	75	8	8	6	5	5	6	-
Loreto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Madre de Dios	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Moquegua	2,647	189	295	475	538	365	206	113	135	81	11	116	124
Pasco	11	-	-	3	6	1	-	-	-	-	-	-	-
Piura	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Puno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
San Martín	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tacna	1,370	-	136	844	210	180	-	-	-	-	-	-	-
Tumbes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ucayali	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Ministerio de Agricultura y Riego- Sistema Integrado de Estadística Agraria (2020).

Tabla 2.**Producción mensual de tuna, según región, Año 2019 (t).**

Región	Total	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Nacional	78,141	10,615	19,373	19,884	16,580	4,809	1,557	696	412	408	282	283	3,243
Amazonas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ancash	2,842	314	385	388	239	335	290	187	164	163	114	91	172
Apurímac	6,027	1,296	2,477	1,876	319	58	0	0	0	0	0	0	0
Arequipa	6,456	677	1,341	1,775	1,358	1,041	264	0	0	0	0	0	1
Ayacucho	22,917	2,622	6,115	6,401	7,140	361	34	28	45	30	40	50	51
Cajamarca	535	32	40	68	72	82	58	50	26	25	14	21	48
Callao	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cusco	13,721	2,708	4,930	3,813	2,270	0	0	0	0	0	0	0	0
Huancavelica	8,779	534	765	1,980	2,061	1,186	0	0	0	0	0	23	2,230
Huánuco	149	4	44	65	32	4	0	0	0	0	0	0	0
Ica	958	573	380	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Junín	177	6	59	69	43	0	0	0	0	0	0	0	0
La Libertad	1,105	55	143	175	199	146	199	65	24	99	0	0	0
Lambayeque	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lima	9,641	1,661	1,883	1,949	1,818	961	556	261	86	54	53	22	337
Lima Metropolitana	682	0	108	305	223	16	7	6	7	6	4	0	0
Loreto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Madre de Dios	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Moquegua	2,790	133	202	525	623	436	147	96	60	32	57	75	404
Pasco	20	0	1	3	3	7	3	3	0	0	0	0	0
Piura	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Puno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
San Martín	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tacna	1,342	0	500	486	180	176	0	0	0	0	0	0	0
Tumbes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ucayali	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Ministerio de Agricultura y Riego- Sistema Integrado de Estadística Agraria (2020).

1.2.2 Actividad acuosa y su relación con el almacenamiento

Mayormente es el agua, elemento que más porcentaje tiene en los alimentos. El nivel de agua y el estado físico influye mucho en la percepción y gusto del producto como también afecta su balanceo microbiológico y físico-químico. (Pilosof *et al*, 1982, p. 1288-1290).

Tomando en cuenta sus elementos termodinámicos, se tiene la creencia de que no hay existencia de un suplemento para el agua. Tiene propiedades de solvencia, y una combinación extraña de alto calor, entalpia de cambio de proceso y mucho más que la hacen perfecta para procedimientos biológicos en condiciones controladas.

El agua es el principal elemento en el deterioro de los productos alimenticios, se denomina como la actividad de agua (a_w) por lo cual presenta uno de los parámetros fundamentales para prever la preservación de los alimentos, para lograr disminuir las probabilidades de crecimientos de microorganismos que generen efectos adversos. (Sandoval et al., 2002 p. 1-7).

Los parámetros termodinámicos de los efectos de los comportamientos de la sorción del agua son fundamentales para el secado en muchos aspectos. Los alimentos tienen elementos que asimilan los niveles de agua con su presión parcial la cual es importante para los resultados de efectos de transportación de masa y temperatura alta en su secado. Ellas nos dan el ultimátum para poder saber los alimentos que pueden ser secados con puntos invariables de humedad. Por último, la entalpia de sorción es aquella que nos permite saber los niveles de energía utilizados para eliminar la humedad de un producto y poder deshidratarlo, Rao(1986, p 133-214).

El agua presentada como humedad, determina considerablemente la calidad y la vistosidad de un producto alimenticio. Las características hidrantes están fuertemente asociadas a la correlación del contenido proteico con el líquido acuoso en varios aspectos del procesamiento de alimentos para su guardado. (Pilosof, 1982 p. 1288- 1290).

Agua succionada, ligada y retenida son terminaciones utilizadas para definir el agua agregada a los productos alimenticios o sus elementos, dicho esto es importante recalcar que cada terminación refiere distintos efectos.

Sorción:

Se utiliza para demostrar los efectos que puede tener un producto evaluando su contenido inicial de humedad, el cual disminuirá o aumentará mediante el balanceado de humedad que tenga el ambiente que rodea al producto.

Adsorción:

Es la habilidad de un material para absorber agua cuando está expuesto a una humedad relativa constante de la atmosfera donde se encuentra.

Absorción:

Se define como la habilidad de un elemento de succionar agua en su sistema cuando se le pone en contacto con agua al momento de colocar en superficie humedad o inmersión.

Retención:

Es la capacidad de un material de mantener el agua frente a efectos exteriores como la fuerza externa de gravedad, centrífuga y de compresión.

Agua ligada:

El agua es parte de la estructura de un alimento, precisamente porque está adherida, por efecto capilar, en su misma sustancia. (Fennema, 1996 p. 36, 48,54-57).

1.2.2.1 Actividad acuosa

Los parámetros utilizados para asimilar la actividad de agua con las características de un producto alimenticio es la actividad acuosa.

Lewis y Randall en el año 1923 plantearon las terminaciones de actividad de agua, se empezó a utilizar para las estructuras biológicas por Scott en 1953. Se teoriza que el fundamento del concepto empieza por Mossel y Westerdijk en el año 1949, en su estudio plantearon la actividad de agua como un parámetro del sustrato y como una derivación importante en el crecimiento de los microorganismos en los productos alimenticios. (Multon, 1980 p. 97-119).

Las legislaciones FDA aceptaron la explicación de los términos de actividad de agua en el año 1979 determinando que “Una actividad de agua (a_w) es útil cuando permite la inhibición del desarrollo de organismos que afecten el producto alimenticio”, aparte de esto las afectaciones de la actividad acuosa en el aporte del crecimiento de microorganismos, según lo antes visto podemos denotar que tienen un papel sumamente importante en que los alimentos no se deterioran con facilidad.

Los fenómenos de oxidación de lípidos, degradación en las vitaminas y los pigmentos, y las variaciones enzimáticas se afectan en altos niveles por la cantidad de vapor de agua y niveles acuosos de las estructuras de los alimentos. Las características

de las texturas de las capas de los alimentos secados también dependen en cierto grado de la adsorción de la humedad.

La a_w planteada como una de las bases principales del estudio de la termodinámica y física – química; se puede explicar de la siguiente manera: es la presión obtenida de manera fragmentada de vapor de agua (P) de un producto alimenticio por encima de la humedad de agua pura (P_0) a una temperatura dada (Labuza, 1980). El concepto planteado anteriormente se sobreentiende las ponderaciones que varían entre 0 y 1, en donde la mayoría mientras más disminuido se encuentre la a_w , el alimento será más estable y repercutirá en que no será tan afectado por los cambios en su guardado para su posterior distribución. Los movimientos o actividades del agua hacen un énfasis a los niveles de líquido en la fruta, verduras o cualquier alimento, y se puede explicar como el cociente que se encuentra entre la presión de vapor de agua utilizada en el alimento y la presión de vapor de agua pura a la misma temperatura. Esta valoración es equivalente a la humedad relativa en equilibrio (HRE) que se sobreentiende como la humedad a la cual se asimilan la presión de vapor de humedad del producto alimenticio y la presión fragmentada de humedad de las corrientes de aire, esto quiere que el alimento no tendrá disminución ni aumentará su humedad (Troller, 1980 p.76-82). La ecuación 1 dependerá del balanceado que tenga el alimento y el gas contenido del entorno, por lo cual las ponderaciones deben ser similares en las dos fases de temperatura (T) y presión (P) constantes (Martínez et al., 1999 p. 155-160).

$$a_w = \frac{P_w}{P_w^0} = \frac{HRE}{100} \quad (1)$$

Donde:

P_w = Con el alimento equilibrado tener una presión de humedad.

P_w^o = Presión de vapor de agua pura a la misma temperatura.

La actividad acuosa es una propiedad intrínseca relacionado con la humedad, por medio de curvas o isothermas de adsorción y desorción (Multon y Bizot, 1980 pág. 97-119). La ponderación de un movimiento acuoso nos plantea una estimación de los niveles de agua activos para que un microorganismo pueda acrecentarse, (Badui, 1982 p. 29).

1.2.3 Isotherma de adsorción

Está se puede explicar entendiendo la similitud entre la actividad acuosa y los niveles de humedad de un elemento sometido al calor constante, proceso que dependerá de la muestra en su estado inicial teniendo un equilibrio de humedad o sequedad, la cual permite balancearse con los niveles de humedad del aire contenidos en el entorno, disminuyendo o aumentando su humedad, indicando como el agua puede añadirse a la estructura de un alimento.

Es importante científicamente para aquellos que estudian los alimentos por la capacidad de prever cambios bruscos en la calidad de los productos, a la vez que mejora la investigación referente a los tipos de empaque y su almacenamiento para asegurar su durabilidad y tener estudiada su humedad máxima (Madigan et al., 2003 pág. 1-20).

Se desarrolla debido a la estructuración de la monocapa en la parte superficial del alimento continuando a una adsorción multicapa. La adsorción en multicapa de humedad se plantea como la acción de captar agua en los poros y espacios capilares, disolución de solutos y por último el atrapado mecánico de la humedad. Estos procedimientos pueden ser distintos en función del producto. (Barbosa, 1997 p. 71-88).

Las isothermas de adsorción fueron creadas para conocer el contenido de líquido en los productos investigados y poder determinar el temple según los niveles de humedad de cada alimento distinto. Una isoterma es una similitud que existe entre los niveles de humedad de un alimento y su actividad acuosa, la isoterma puede presentarse gráficamente pero también en forma de fórmula.

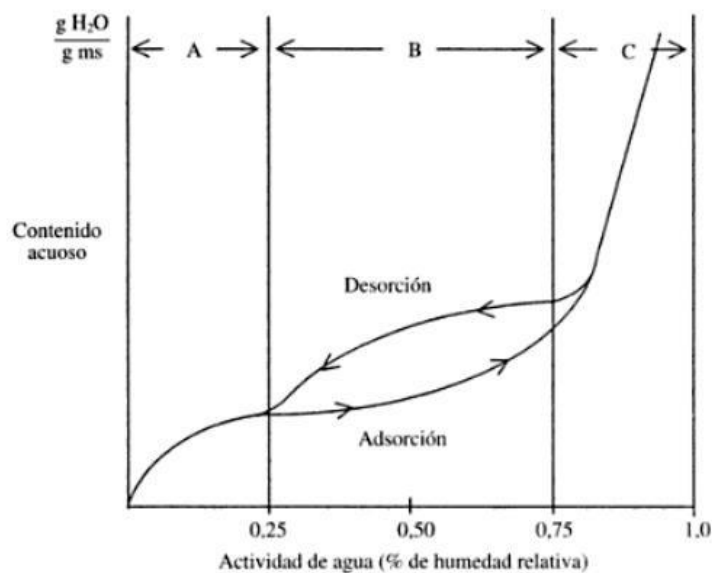


Figura 5. Isothermas de sorción.

En las isotermas de absorción podemos observar tres fases:

1. Cuando se mantiene la a_w entre 0 y 0.25. esta es la humedad obtenida muy involucrada en los alimentos, está tiene una capa anexa monomolecular, lo que quiere decir que solo tiene una capa de moléculas de agua que cubre la mayoría del alimento, que también se podría llamar “monocapa”.
2. Cuando se mantiene entre 0.25 y 0.75. Es un nivel agua ligado ligeramente a la multicapa que interactúa con la multicapa aferrándose por puentes de hidrogeno.
3. Cuando se mantiene sobre 0.75. Es líquido utilizable y con una buena utilidad de movimiento, está se puede cambiar debido al líquido multicapa. Existen dos tipos: el agua desligada y el agua atrapada.

Otros parámetros de las isotermas y sus variables en referencia a la temperatura.

Una gran parte de los estudios, al momento que se aumenta la temperatura, podemos denotar que el contenido de humedad baja solamente cuando la a_w se encuentra invariable, baja la higroscopicidad del producto, esto quiere decir, el aumento de la temperatura afecta de manera descendente los isotermas de sorción; concluyendo que es un acercamiento de la isoterma en dirección al eje de (Fennema, 1996 pág. 36, 48,54-57).

1.2.4 Efecto de la temperatura sobre la actividad de agua (A_w)

Los niveles de agua del producto disminuirán conforme aumente de manera considerable la temperatura. Explicado en otras palabras, si se quiere que el alimento

contenga una específica medida de agua, tiene que balancearse su temperatura para que aumente su actividad de agua. Rodríguez Francisco (2002).

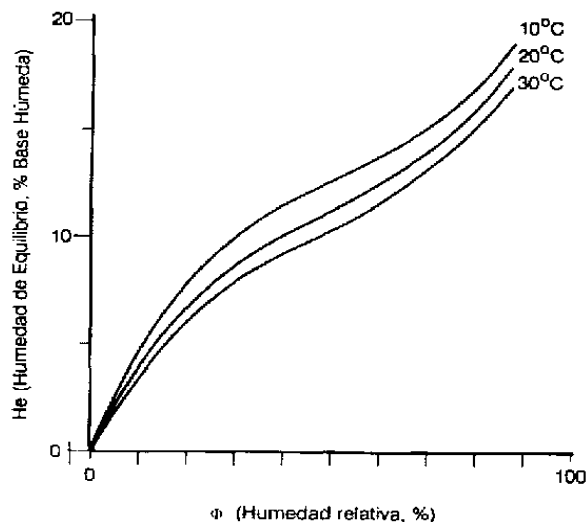


Figura 6. Isotermas de sorción a diferentes temperaturas

1.2.5 Concepto de capa monomolecular.

Los alimentos tienen una estructura compleja y heterogénea, contienen proteínas, grasas, sales minerales, carbohidratos, vitaminas, y enzimas, una gran parte de los nutrientes tienen mucha hidratación. El contenido de agua y los lípidos están separados y suelen ser un 80% de la mayoría de la cantidad de humedad. En las isotermas de sorción, la actividad del agua que comprende de 0,0 a 0,3 se asimila al contenido de agua ligado fuertemente, la mayoría de los autores concluyen que en la parte de la isoterma hay una lámina en su superficie monomolecular de contenido de líquido fijado a los grupos polares de ciertos elementos, fundamentalmente los de NH_3^+ y COO^- De las proteínas y los grupos OH de almidones y también, la cristalización de sales y azúcares.

Teniendo en cuenta el nivel de agua de los alimentos, esta cantidad se encuentra representada de 3 a 10 gramos por cien gramos de peso seco desgrasado.

Las mayorías de las personas que han investigado este tema llegan a la conclusión de que la capa monomolecular en teoría los niveles de agua que tiene que tener el producto en cuestión para que pueda ser un producto deshidratado porque el agua no tiene solventes ni reactividad, así mismo es complicado el desarrollo de los macroorganismos lo que protege a las proteínas. Rodríguez Francisco (2002).

1.2.6 Modelos matemáticos aplicados al fenómeno de adsorción

Resulta evidente el interés de disponer de una expresión matemática que exprese, para cada alimento, la relación $X=f(A_w)$.

Para cuestiones biológicas se han planteado más de 200 fórmulas de isothermas. Una gran cantidad de estas están fundamentadas en modelos de absorción como la fórmula de BET. Otras de ellas están basadas a fórmulas experimentales con máximo 2 o 3 variables móviles. Como existen tantas fórmulas de isothermas solo han sido considerado 5 de ellas que son muy útiles en la categoría de alimento.

Los modelos matemáticos más utilizados son:

1.2.6.1 Modelo de BET.

$$\frac{A_w}{n(1-A_w)} = \frac{1}{X_m \cdot C} + \frac{C-1}{X_m \cdot C} \cdot A_w \quad (2)$$

Donde:

A_w = Actividad de agua.

X = Humedad del producto Kg H₂O/ Kg sólido seco.

X_m = Niveles de humedad disponible en base a la capa monomolecular de agua adsorbida Kg H₂O/ Kg sólido seco.

C = Valores asimilados con contenido calórico de adsorción del agua retenida.

El modelo de BET, comprende herramientas útiles para analizar las isotermas de sorción y el principal la absorción de agua en algunos alimentos. Sin embargo, la fórmula 2 se sale de la línea a partir de a_w es superior a 0.3 – 0.5. Esto suele pasar principalmente porque luego de estos niveles de a_w , las causas que nos ayudan a comprender las relaciones de las actividades de agua en los alimentos no tienen procesos de sorción, solo del motivo solvente y en el sistema comienza con el comprendimiento del agua moviendo los solutos de forma líquida (Martínez et al 1999 pág. 155-160).

1.2.6.2 Modelo de Caurie.

$$X = \exp \left[A_W \cdot (\ln \gamma) - \frac{1}{4.5 \cdot X_S} \right] \quad (3)$$

Donde:

X = Humedad del producto Kg H₂O/ Kg sólido seco.

X_s = Humedad de seguridad que proporciona altos niveles de estabilidad para que el alimento deshidratado perdure mientras se almacena.

R = Especificaciones para cada producto.

La fórmula de Caurie, puede ser muy bien utilizada para las isotermas de humedad de equilibrio de varios productos alimenticios, para ponderaciones de a_w entre 0 y 0.85 (Labuza, 2000 pág. 49).

1.2.6.3 Modelo de GAB.

$$\frac{A_w}{n} = \frac{1}{X_m \cdot C_g \cdot K} + \frac{C_g^{-2}}{X_m \cdot C_g} \cdot A_w + \left(K \cdot \frac{1 - C_g}{X_m \cdot C_g} \right) \cdot A_w^2 \quad (4)$$

Donde:

X = Humedad del producto Kgr H₂O /Kgr sólido seco.

X_m y C tienen el mismo significado, respectivamente, que X_m, X y C del modelo de B.E.T., y k es un valor para corregir las características fundamentales del agua.

La fórmula de GAB puede ser representada como una amplitud de ecuación de BET, obteniendo y tomando en cuenta las características que han sido cambiadas del agua absorbida en la parte donde se encuentran múltiples capas (ecuación 4) (Martínez et al, 2000 pág. 155-160),

Este modelo se ajusta de manera más eficaz a los análisis de isotermas de absorción para la mayor parte de los productos alimenticios por lo cual es una buena opción para poder predecir las ponderaciones de los porcentajes de actividad de agua que escalan los 0.9 (Van Den Berg, C. y Brun, S. 1981 pág. 1-43).

1.2.6.4 Modelo de Halsey.

$$X = \alpha \left(\ln \left(\frac{1}{A_w} \right) \cdot \beta \right) \quad (5)$$

Donde:

X = Humedad del producto Kg H₂O/ Kg sólido seco.

α y β son dos parámetros característicos del producto.

Esta ecuación teórica, desarrollada a partir de la de B.E.T. es muy versátil y se ajusta muy bien en el intervalo $A_w = 0,10 - 0,80$.

1.2.6.5 Modelo de Henderson.

Existen diferentes formas de expresar la ecuación de este modelo, que es preciso citar debido a su amplia utilización en Tecnología de Alimentos. Una de estas expresiones es:

$$n = 0.01 \cdot \left[\frac{-\log(1-A_w)}{10^f} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (6)$$

Donde:

n = Humedad del producto Kg H₂O/ Kg sólido seco.

λ y σ son dos parámetros característicos del alimento.

La fórmula de Henderson recrea de forma útil los isotermas de equilibrio para ponderaciones entre 0,10 y 0,75 (Labuza 1984 pág. 53).

1.2.6.6 Modelo de Oswin.

Este se basa en una fórmula experimental, que toma como base el crecimiento de unas fórmulas numéricas para obtener curvas sigmoidales, compagina de manera eficaz mediante las ponderaciones del movimiento del agua de $0.0 < a_w < 1.0$, la fórmula de Oswin arregla en promedio el 57% de las isotermas de alimentos. Los valores encontrados en esta fórmula A y B del modelo de Oswin evidencian una similitud con el calor aplicado para distintas isotermas (Choque, 2009).

$$X_e = A \cdot \left[\frac{a_w}{(1-a_w)} \right]^B \quad (7)$$

Donde:

X_e = Humedad del producto Kg H₂O/ Kg sólido seco.

A y B = Parámetros característicos del modelo.

1.2.6.7 Modelo de Chung-Pfost.

Este modelo nos ayuda a predecir con un porcentaje alto de precisión las ponderaciones de vapor de agua equilibrado de cereales y granos por los porcentajes de vapor de agua relativo (20% a 90%), tomando siempre en cuenta el calor usado.

$$A_w = \exp\left(\frac{A}{RT} \exp(-BX_e)\right) \quad (8)$$

Donde:

X_e = Humedad del producto Kg H₂O/ Kg sólido seco.

A y B = Estas son las particularidades invariables del modelo.

1.2.6.8 Modelo de Smith.

La ecuación para el modelo de Smith es la siguiente:

$$M = B + A \cdot \log(1 - a_w) \quad (9)$$

Donde:

M = Humedad al equilibrio del alimento en base seca.

A y B = Constantes del modelo.

a_w = Actividad de agua.

1.3 Marco conceptual

1.3.1 Isotermas de adsorción

Se representan gráficamente desde como es el movimiento de una partícula en estado de absorción, estando arriba de un sólido o un líquido, una vez que suban sus niveles de concentración. Si las partículas que son absorbidas tienen las mismas características que un gas, se evaluará al momento de su análisis la presión. (Bolívar, G. s.f).

1.3.2 Capa monomolecular

Capa de adsorción de un agente de superficie, en la cual todas las moléculas adsorbidas están en contacto con la capa superficial del adsorbente. Real Academia de Ingeniería (s.f).

1.3.3 Actividad de agua

Es la medición y el movimiento de agua disponible que se puede encontrar en una matriz alimentaria. Es una variable técnica importante en los avances alimentarios,

ya que tiene cierta influencia en las categorías de microbios que podrían crecer, y sus habilidades para crecer adentro de un producto para la alimentación (Hiperbaric s.f).

1.3.4 Humedad relativa

El valor entre la fracción molar de humedad contenido en un lugar dado y la fracción molar de la humedad condicionada a la saturación. El motivo de las masas dependerá de las características de la masa de la humedad y la masa del gas seco, por lo tanto, la humedad relativa no es más que la formulación absoluta que nos ayuda a encontrar el contenido de humedad (Martínez, E. 2007).

CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

2.1 Situación problemática.

Los alimentos deshidratados aumentan su vida útil debido a una alteración disminuyendo los niveles de movimiento de agua, que origina que el alimento no sea atacado por microorganismos, ni se produzcan reacciones químicas, que disminuyan la calidad nutricional. Pero la captación de humedad cuando estos alimentos no son correctamente empacados y almacenados origina una disminución de la vida útil del alimento. Para obtener este valor que garantice la calidad del alimento se utilizan modelos matemáticos que permiten determinar estos parámetros, pero el problema es la confiabilidad de estas ecuaciones por lo que es necesario hacer una evaluación estadística que indique cual se ajusta más a los datos experimentales.

Las variables que podrían afectar el componente durante el guardado de alimentos deshidratados pueden ser: temperatura, niveles de humedad, intensidad de iluminación, grado de acidez, niveles de O₂ en el aire y la cantidad de tiempo almacenado (Quintero, 2008). Por lo cual es necesario tener un estudio de la ponderación final que la tuna deshidratada debe almacenarse al igual que las variables de humedades para su almacenamiento. Para llegar a esa conclusión, se requiere la utilización de isothermas de adsorción, las cuales son curvas que se asimilan, a una temperatura constante, el contenido de humedad de equilibrio con los movimientos termodinámico del contenido total de agua que tenga el alimento, es un escalón agua en estado de vapor o movimiento. El estudio final de estos fenómenos nos ayuda a garantizar los niveles de interacción del líquido y su sustrato (Ramírez 2012).

2.2 Formulación del problema

2.2.1 Problema general

¿Qué modelo matemático, presenta mejor correlación con la isoterma de adsorción para la tuna deshidratada obtenida experimentalmente?

2.2.2 Problemas específicos

- ✓ ¿Qué modelo matemático (GAB, BET, Halsey, Caurie, Henderson, Smith, Oswin y Chung-Pfost) presenta mejor correlación con los datos obtenidos experimentalmente en la prueba de adsorción de vapor de agua de la tuna?
- ✓ ¿De qué manera influye la temperatura en las isothermas de adsorción de humedad de la tuna deshidratada?
- ✓ ¿Cuál es el valor de la capa monomolecular de la tuna deshidratada, que garantiza su conservación?

2.3 Delimitación del problema

2.3.1 Delimitación espacial

Esta investigación tuvo lugar en el laboratorio de Ingeniería de Alimentos de la Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos de la Universidad Nacional “San Luis Gonzaga” de la ciudad de Ica.

2.3.2 Delimitación temporal

Las investigaciones comenzaron de Abril a Octubre de 2020 época de mayor cosecha.

2.3.3 Delimitación conceptual

Este proyecto analizó el estudio del fenómeno de adsorción en la tuna deshidratada para encontrar las isothermas de adsorción, el efecto de las temperaturas y la ponderación de la capa monomolecular.

2.4 Justificación e importancia de la investigación

2.4.1 Justificación

El proyecto se justifica porque mediante la aplicación de los modelos matemáticos, los parámetros de adsorción para la tuna deshidratada nos permitirán conocer el valor de la capa monomolecular, valor que garantiza que no hay actividad microbiana, no se producen reacciones químicas y el agua no actúa como solvente, por lo tanto, habrá un beneficio en la conservación y el almacenamiento del producto.

2.4.2 Importancia

Es importante porque los datos obtenidos experimentalmente, como los datos de adsorción y mediante la aplicación de los modelos matemáticos se obtendrá el valor de la capa monomolecular, valor que garantiza que no hay actividad microbiana, no se producen reacciones químicas y el agua no actúa como solvente; asimismo estos valores son muy útiles para el envasado y la selección de ingredientes mediante la predicción de los niveles de humedad máximo permitidos durante el guardado.

2.5 Objetivos de la investigación

2.5.1 Objetivo general

Determinar las isothermas de adsorción de la tuna deshidratada mediante modelos matemáticos.

2.5.2 Objetivos específicos

- Obtener las isothermas de adsorciones experimentales y con modelos matemáticos a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C.
- Determinar la influencia de la temperatura en las isothermas de adsorción.
- Determinar el valor de la capa monomolecular.

2.6 Hipótesis de la investigación

2.6.1 Hipótesis general

Las isothermas de adsorción obtenidas con datos experimentales no presentan diferencias con los valores obtenidos mediante modelos matemáticos.

2.6.2 Hipótesis específicas

- ✓ Las isothermas de adsorción obtenidas con el modelo de GAB, BET, Caurie, Halsey, Henderson, Oswin, Smith y Chung-Pfost no presentan diferencia con la obtenida experimentalmente.
- ✓ La temperatura influye en las isothermas de adsorción de la tuna deshidratada.
- ✓ El valor de la capa monomolecular garantizará la conservación de la tuna deshidratada en el almacenamiento.

2.7 Variables de investigación

2.7.1 Identificación de variables.

Variable independiente: X = Isothermas de adsorción.

Variable dependiente: Y = Aceptación del modelo matemático.

Variable interviniente: Z = Disponibilidad del recurso y disponibilidad de equipos.

2.7.2 Operacionalización de variables

Variable independiente (X)

X = Isothermas de Adsorción.

Dimensión:

X₁ = Datos obtenidos con los modelos matemáticos.

Indicadores:

X_{1,1} = Actividad del agua.

X_{1,2} = Contenido de humedad.

X_{1,3} = Constantes de adsorción.

Variables dependientes (Y)

Y = Aceptación del modelo matemático.

Dimensión:

Y_1 = Modelos matemáticos de B.E.T, G.A.B, Halsey, Henderson, Caurie.

Smith, Oswin, Chung-Pfost.

Indicadores:

$Y_{1,1}$ = Coeficiente de correlación.

$Y_{1,2}$ = Error medio relativo.

CAPÍTULO III. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

3.1 Tipo, nivel y diseño de investigación

3.1.1 Tipo de la investigación

Debido al modelo de la investigación, la tesis reunirá los elementos metodológicos de un estudio muy aplicado por lo que utilizará los análisis realizados por la Ingeniería de Alimentos, con el fin de aplicarlos en la obtención de isotermas de adsorción de la tuna deshidratada.

3.1.2 Nivel de la investigación

Dependiendo de la naturaleza del estudio de investigación, combina las características de un estudio experimental, descriptivo y explicativo.

3.1.3 Diseño de la investigación

Para diseñar el estudio se empleó el procedimiento experimental, el cual se identifica por la introducción y manipulación del elemento causal, que es la variable

independiente, para de esa manera establecer después el elemento efecto, el cual es la variable dependiente.

Por lo tanto, este método experimental nos ayudara a establecer el nivel de vapor de agua de conservación de la tuna colocada en deshidratación.

Para las curvas de adsorción se utilizó el método estático utilizando soluciones salinas saturadas que se encuentren en un radio de niveles de agua de 0,10 a 0,90, las evaluaciones de los datos se efectuaran con los modelos matemáticos indicados anteriormente. Para obtener los parámetros de adsorción, la fórmula de correlación y el error relativo se empleó el Excel y Mathcad 15.

3.2 Población y muestra materia de investigación

3.2.1 Población

Estará contenida por las tunas que se venden en el departamento de Ica.

3.2.2 Muestra

Considerando que tendremos que realizar la deshidratación de la tuna, utilizaremos 5 kilos, obtenido el producto secado utilizaremos 1 kilo para las pruebas de adsorción.

CAPÍTULO IV. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

4.1 Técnicas de recolección de datos

La recolección del informe se realizó a partir de los datos obtenidos experimentalmente de la prueba de adsorción a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C.

4.2 Instrumentos de recolección de datos

La recolecta del informe será realizadas bajos los parámetros planteados a continuación serán las campanas de deshidratación, placas konguay, balanza analítica marca Navigator con 2 decimales, higrómetros digital marca HTC-2. Los contenidos salinos saturados serán enumerados en la tabla 3.

Tabla 3.

Sales para la prueba de adsorción.

Sales
LiCl
MgCl ₂
K ₂ CO ₃
NaBr
NaNO ₃
NaCl
K ₂ CrO ₄

4.3 Técnicas de procesamiento, análisis e interpretación de datos

Los estudios mostrados experimentalmente serán modelados matemáticamente con los patrones de GAB, BET, Halsey, Caurie, Henderson, Smith, Oswin y Chung-Pfost, utilizaremos para ello el programa Mathcad 15.

CAPÍTULO V. MATERIALES Y MÉTODO

5.1 Materiales

Materia prima:

- Tuna deshidratada

Equipos y materiales de laboratorio:

- Placas Konguay
- Campanas de deshidratación
- Balanza de precisión
- Higrómetro
- Termómetros
- Placas Petrix

Reactivos químicos:

Soluciones salinas	Humedad relativa		
	20°C	30°C	40°C
LiCl	11.3	11.2	11.1
Mg Cl ₂	33.6	32.8	32.1
K ₂ C O ₃	43.9	43.6	43.4
NaBr	59.2	56.3	58.7
NaNO ₃	65.5	63.5	61.5
NaCl	75.4	75.6	75.3
K ₂ Cr O ₄	86.6	86.3	85.6

5.2 Método para la obtención de las curvas de adsorción para la tuna deshidratada

Para obtener las curvas de adsorción para la tuna deshidratada en primer lugar se obtuvo la humedad de las muestras, para esto en una placa Petrix calculamos 10 gramos de muestra y se llevaron a la estufa a 105 °C por 3-4 horas hasta obtener un peso estable, después se colocaron en una campana de deshidratación y posteriormente se procedió a pesarlo y determinar la humedad y sólidos secos, la prueba se hizo por triplicado y para los cálculos se consideró el promedio de las tres muestras.

Para obtener los parámetros de adsorción para la tuna deshidratada se determinaron los contenidos de humedad de equilibrio utilizando el método estático para lo cual se utilizaron soluciones salinas saturadas a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C. Se pesaron 1 gramo de muestra y se colocaron en placa konguay y en campanas que contenían los contenidos salinos saturados, para los grados de 30°C y 40°C se utilizaron estufas con temperatura regulable.

Después de 15 días se tomó el peso de las muestras colocadas a temperatura de 20°C y 30 °C y para las muestras a 40 ° C después de 48 horas, se calcularon los diferentes contenidos de humedad. Los parámetros de adsorción se determinaron utilizando modelos matemáticos, para lo cual se utilizó el programa Mathcad 15.

5.3 Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de G.A.B.

La ecuación de G.A.B. corresponde a un modelo parabólico, la ecuación y el modelo se presentan a continuación:

Ecuación

$$\frac{A_w}{X} = \frac{1}{X_m \cdot C_g \cdot K} + \frac{C_g - 2}{X_m \cdot C_g} \cdot A_w + \left(K \cdot \frac{1 - C_g}{X_m \cdot C_g} \right) \cdot A_w^2$$

Modelo parabólico

$$Y = A1 + B1 \cdot X + C1 \cdot x^2$$

Para obtener los parámetros de adsorción (X_m , C_g y K) se realiza el análisis de regresión cuadrática obteniéndose los parámetros $A1$, $B1$, $C1$ y el coeficiente de correlación (R).

5.4 Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de CAURIE

La ecuación de CAURIE para efecto de simplificación se ha linealizado, la ecuación y el modelo se presentan a continuación:

Ecuación

$$x := e^{\left(\ln(\gamma) \cdot A_w - \frac{1}{4.5 \cdot X_s} \right)}$$

$$\frac{1}{x} = e^{\left(\frac{1}{4.5 \cdot X_s} - \ln(\gamma) \cdot A_w \right)}$$

Modelo lineal

$$\ln\left(\frac{1}{x}\right) = \frac{1}{4.5 \cdot X_s} - \ln(\gamma) \cdot A_w$$

$$y = A + B \cdot x$$

5.5 Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de HALSEY

La ecuación de HALSEY para efecto de simplificación se ha linealizado utilizando logaritmo neperiano en los dos lados de la formula, la ecuación y el modelo se presentan a continuación:

Ecuación

$$x := \alpha \cdot \left(\ln \left(\frac{1}{A_w} \right) \right) \beta$$

Modelo lineal

$$\ln(x) = \ln \left[\alpha \cdot \left(\ln \left(\frac{1}{A_w} \right) \right) \beta \right]$$

$$\ln(x) = \ln(\alpha) + \ln(\beta) \cdot \ln \left(\ln \left(\frac{1}{A_w} \right) \right)$$

$$y = A + B \cdot x$$

5.6 Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de HENDERSON-THOMPSON

La ecuación de HENDERSON-THOMPSON para efecto de simplificación se ha linealizado, la ecuación y el modelo se presentan a continuación:

Ecuación

$$x = 0.01 \cdot \left(\frac{-\log(1 - A_w)}{10^f} \right)^{\frac{1}{n}}$$

Modelo linealizado

$$\log\left(\log\left(\frac{1}{1 - A_w}\right)\right) = f + n \cdot \log(100 - x)$$

$$y = A + B \cdot x$$

5.7 Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de B.E.T

La ecuación de BET corresponde a un modelo lineal la ecuación y el modelo se presentan a continuación:

Ecuación

$$\frac{A_w}{x \cdot (1 - A_w)} = \frac{1}{X_m \cdot C} + \frac{C - 1}{X_m \cdot C} \cdot A_w$$

Modelo lineal

$$y = A + B \cdot x$$

5.8 Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de Oswin

La ecuación de Oswin para efecto de simplificación se ha linealizado, la ecuación y la formula la podemos ver aquí:

$$x = A \cdot \left(\frac{A_w}{1 - A_w} \right)^B$$

Linealizando la ecuación

$$\ln(x) = \ln(A) + B \cdot \ln\left(\frac{A_w}{1 - A_w}\right)$$

5.9 Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de Smith

La ecuación de Smith para efecto de simplificación se ha linealizado, la ecuación y la formula la podemos ver aquí:

$$n = A - B \cdot \ln(1 - A_w)$$

$$y = A - B \cdot y$$

5.10 Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de Chung-Pfost

La ecuación de Chung-Pfost para efecto de simplificación se ha linealizado, la ecuación y la formula la podemos ver aquí:

$$Xe = A + B \cdot \ln(-\ln(A_w))$$

$$y = A + B \cdot x$$

5.11 Fórmula para calcular el error medio relativo

Para calcular el error medio relativo se utilizó la siguiente ecuación:

$$E = 100 \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^k \frac{(X_{exp} - X_{cal})}{X_{cal}}}{N}}$$

CAPÍTULO VI. PRESENTACIÓN, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Isotermas de adsorción obtenidas experimentalmente para la tuna deshidratada

En la tabla 4 se presentan los contenidos de agua en estado de vapor equilibrado de la tuna deshidratada a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C, los datos obtenidos se grafican en la figura 7.

Tabla 4.
Niveles de humedad de equilibrio para la tuna deshidratada a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C, a diferentes actividades de agua.

Grados 20°C		Grados 30°C		Grados 40°C	
Aw	n (g de agua / 100 g.m.s)	Aw	n (g de agua / 100 g.m.s)	Aw	n (g de agua / 100 g.m.s)
0.113	12.50	0.112	11.36	0.111	10.23
0.336	13.64	0.328	12.50	0.321	12.36
0.439	18.18	0.436	17.05	0.434	15.91
0.592	21.59	0.563	20.45	0.537	19.32
0.655	29.82	0.635	27.55	0.615	24.27
0.754	40.91	0.756	39.77	0.753	36.36
0.866	56.55	0.863	53.14	0.856	48.59

En la tabla 4 se observa que los niveles agua en estado de vapor equilibrado que aumentan con la suma de los niveles de la Aw, así mismo para un valor de Aw en estado de vapor equilibrada aumenta con la temperatura.

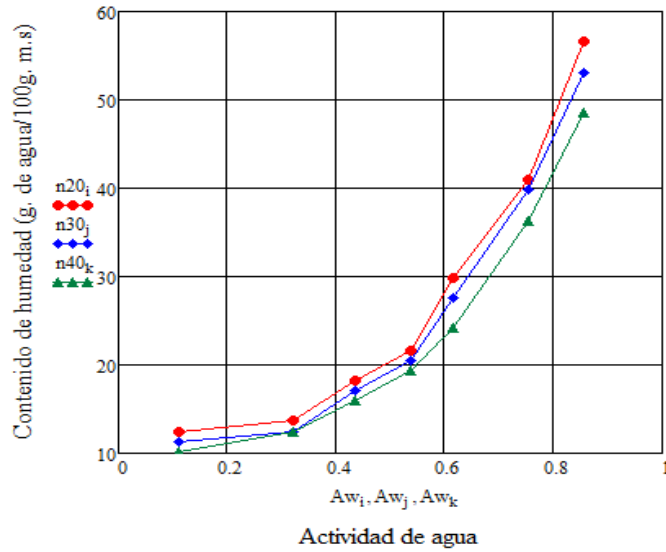


Figura 7. Curvas de adsorción experimental para la tuna deshidratada a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C.

6.2 Isoterma de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo G.A.B. a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C, para la tuna deshidratada

En las figuras 8, 9 y 10 se obtienen los resultados experimentales y las ponderaciones gracias al modelo de GAB a los grados de 20°C, 30°C y 40°C, en la figura 11 se presentan las tres curvas y en la tabla 5 las variables de la adsorción.

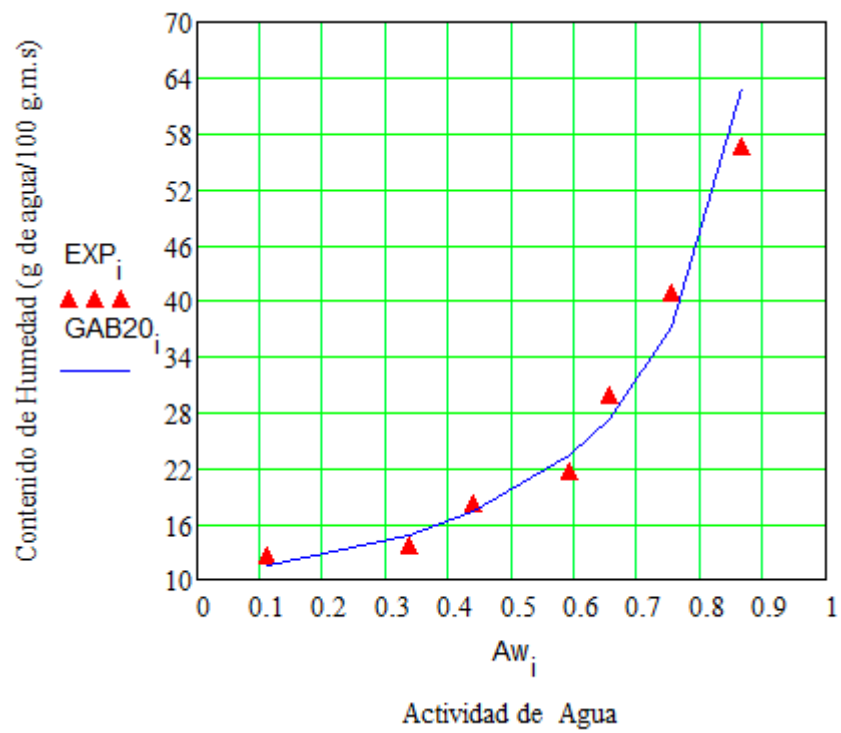


Figura 8. Isothermas de adsorción de G.A.B. a la temperatura de 20°C

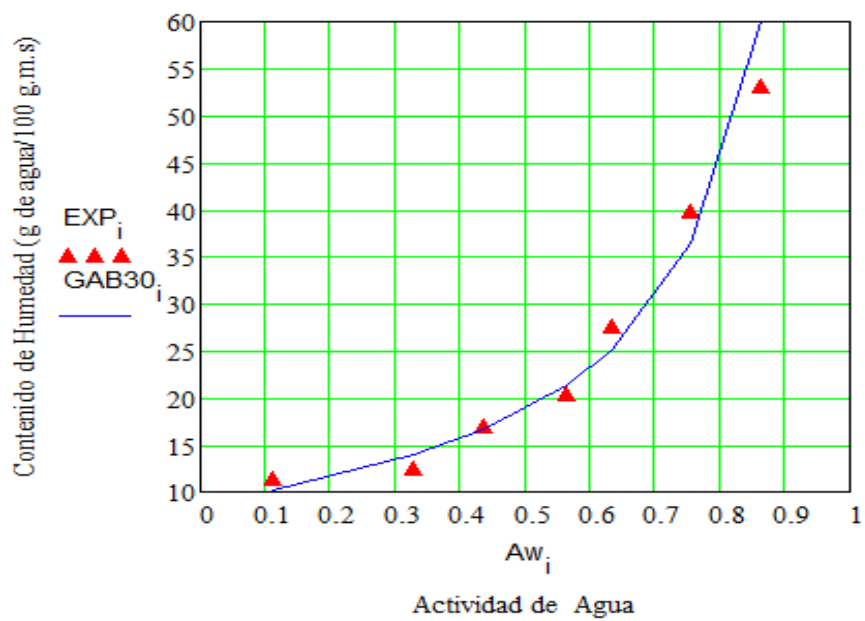


Figura 9. Isothermas de adsorción de G.A.B. a la temperatura de 30°C

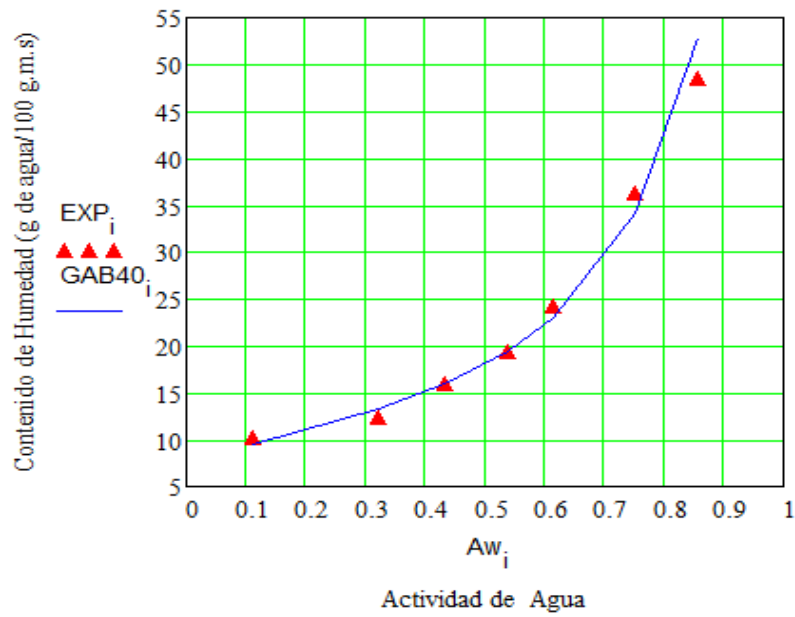


Figura 10. Isotherma de adsorción de G.A.B. a la temperatura de 40°C

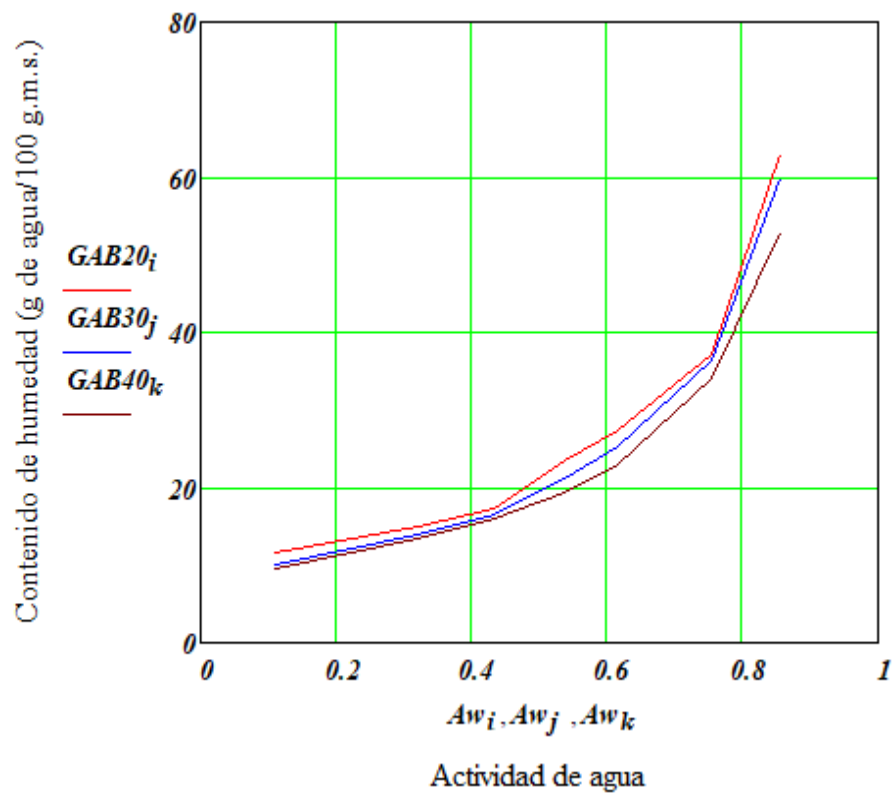


Figura 11. Isothermas de adsorción de GAB a 20°C , 30°C y 40°C

Tabla 5.

Valores de los parámetros X_m , C_g y K del modelo G.A.B. estimados para la tuna deshidratada.

Parámetros de la ecuación de			
G.A.B.	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
X_m (g de agua/100 g. m.s)	9.887	9.703	9.573
C_g (constante)	-197.886	117.439	62.848
K (constante)	0.973	0.971	0.957

El modelo de GAB determina que los valores de la capa monomolecular van de 9.88 a 9.57 g de agua/100 g de m.s para un intervalo de temperatura de 20 a 40 °C.

6.3 Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de Caurie a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C

En las figuras 12, 13 ,14 se obtienen los estudios apreciados en métodos experimentales y los ponderados gracias al modelo de Caurie a los grados de 20°C, 30°C y 40°C, en la figura 15 se muestran las 3 curvas y en la tabla 6 se obtienen las valoraciones de la fórmula de Caurie.

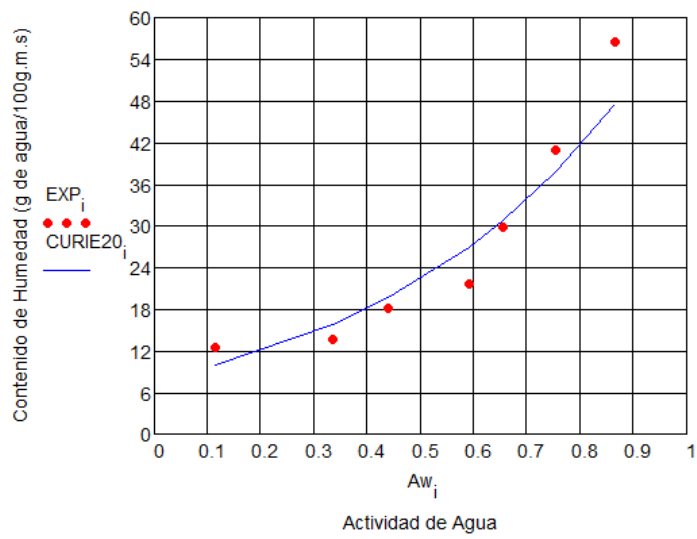


Figura 12. Isoterma de adsorción de Caurie a la temperatura de 20°C

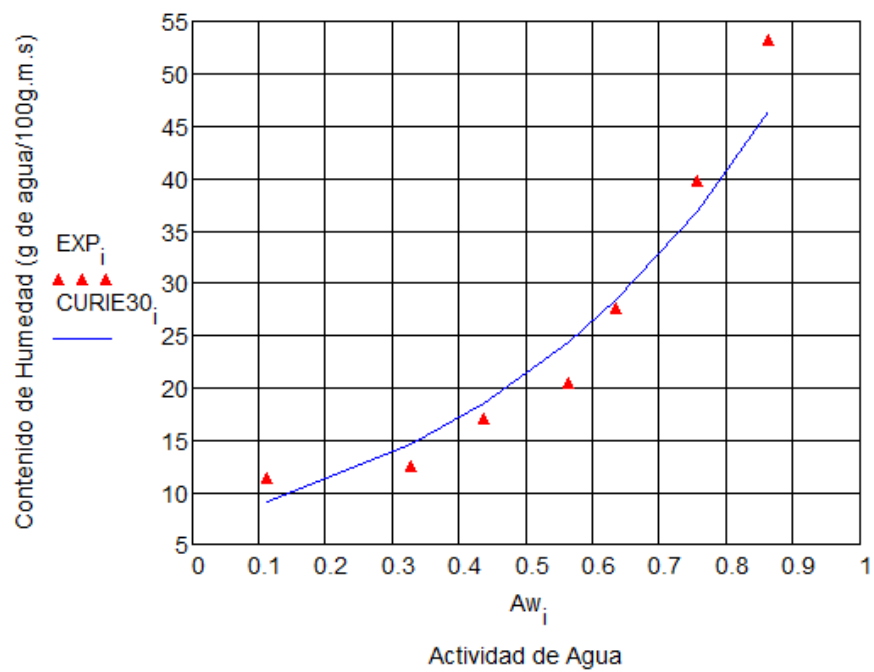


Figura 13. Isoterma de adsorción de Caurie a la temperatura de 30°C

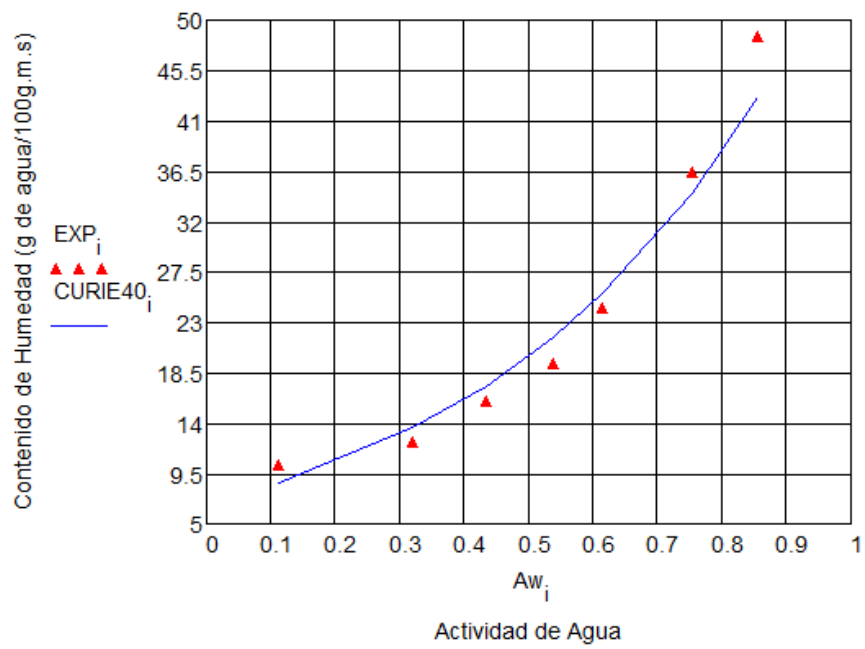


Figura 14. Isoterma de adsorción de Caurie a la temperatura de 40°C

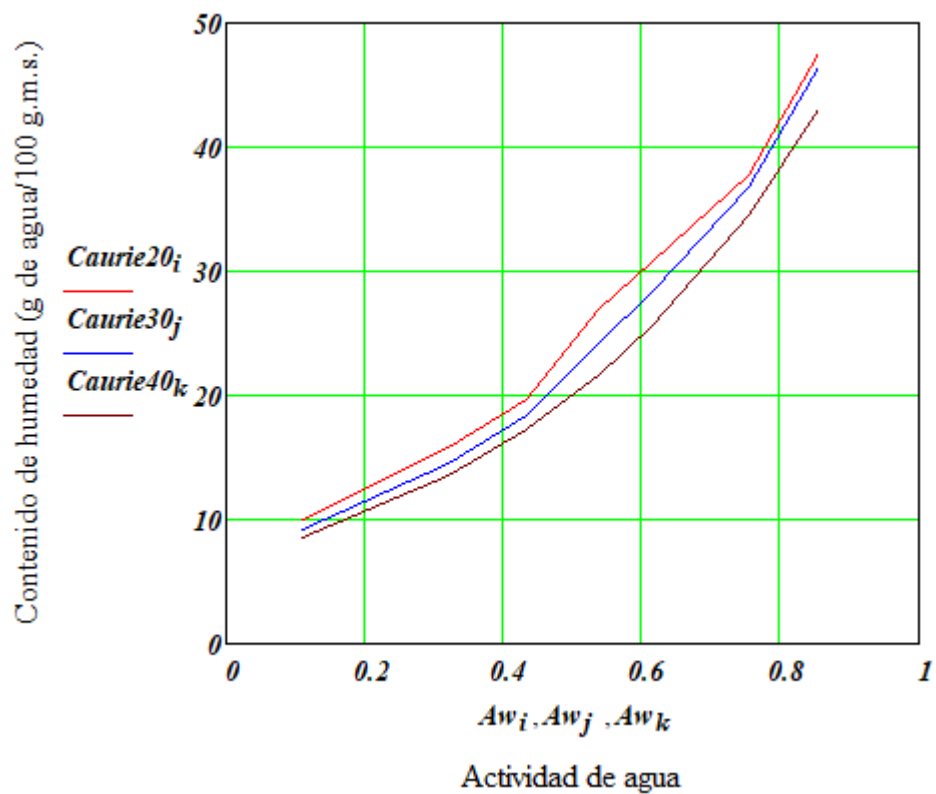


Figura 15. Isotermas de adsorción de Caurie a 20°C , 30°C y 40°C

Tabla 6.

Valores de los parámetros γ , X_s del modelo Caurie estimados para tuna deshidratada.

Parámetros de la ecuación de Caurie	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
γ	7.9768	8.7349	8.7031
X_s	-0.1076	-0.1129	-0.1162

Para el modelo de Caurie, se observa que para una actividad de A_w determinada los contenidos de los niveles de agua en estado de vapor tienden a disminuir cuando aumentan los niveles de calor.

6.4 Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de Halsey a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C

En las figuras 16, 17, 18 se obtienen los estudios apreciados en métodos experimentales y los ponderados gracias al modelo de Halsey a los grados de 20°C, 30°C y 40°C, en la representación 19 se presentan los 3 fenómenos obtenidos y en la tabla 7 se obtienen las variables de la fórmula de Halsey.

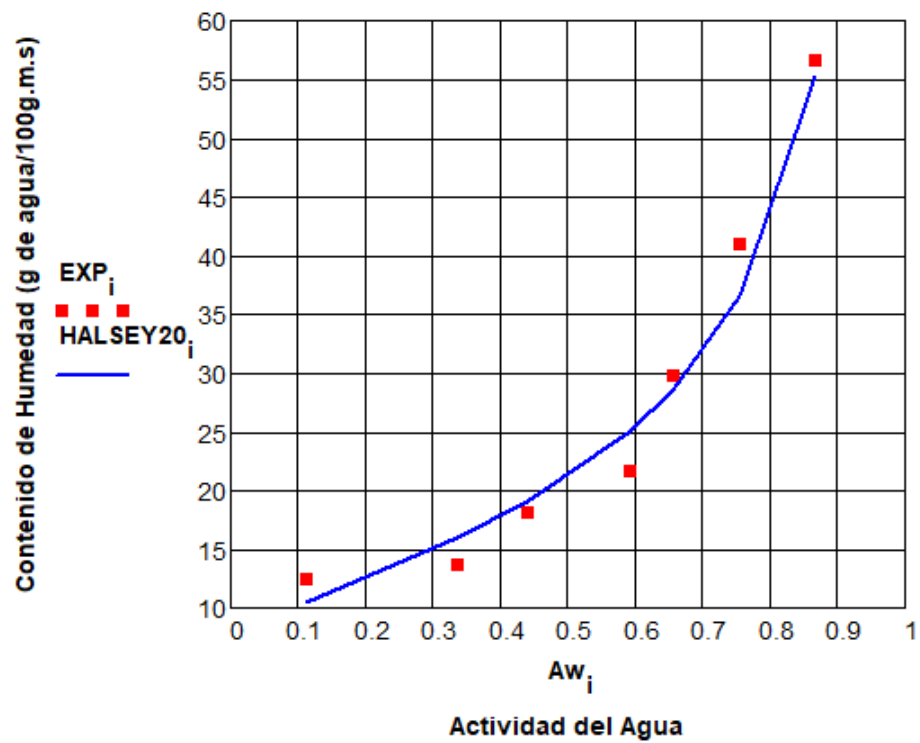


Figura 16. Isotherma de adsorción de Halsey a 20°C

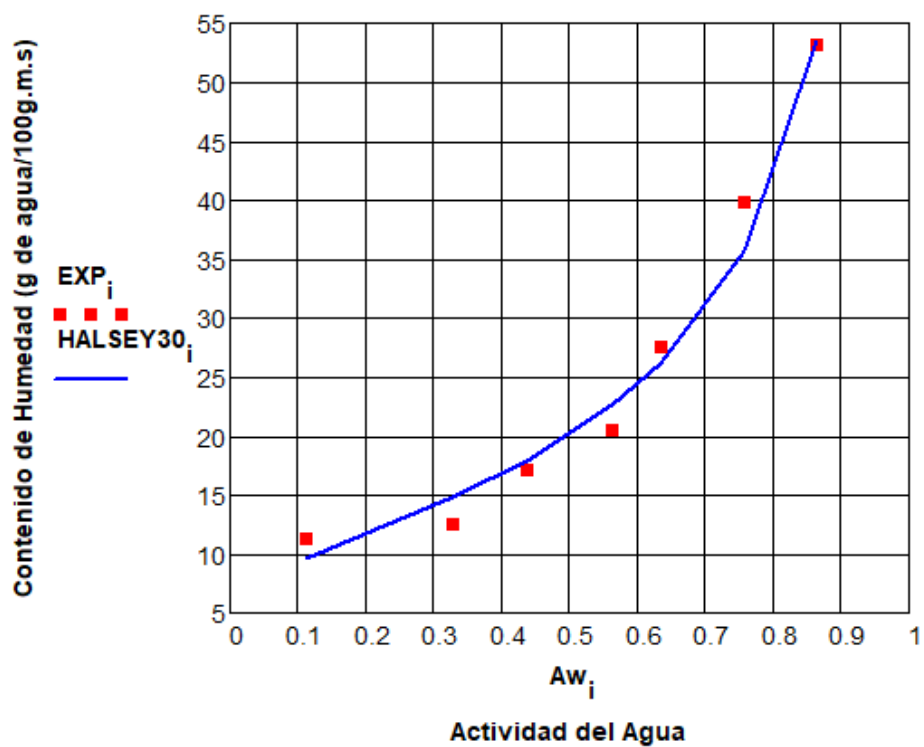


Figura 17. Isotherma de adsorción de Halsey a 30°C

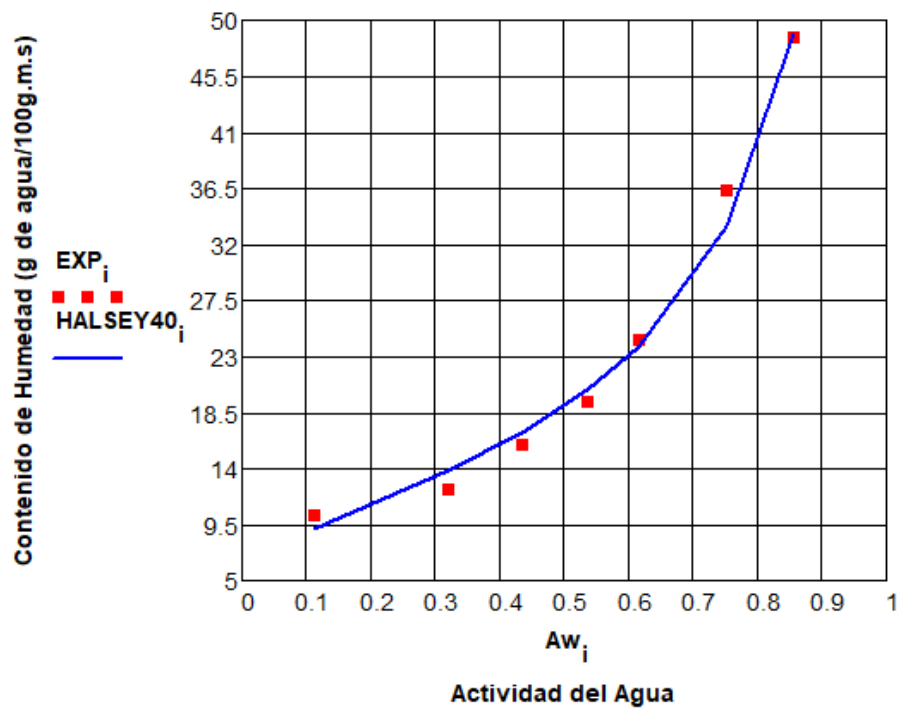


Figura 18. Isotherma de adsorción de Halsey a 40°C

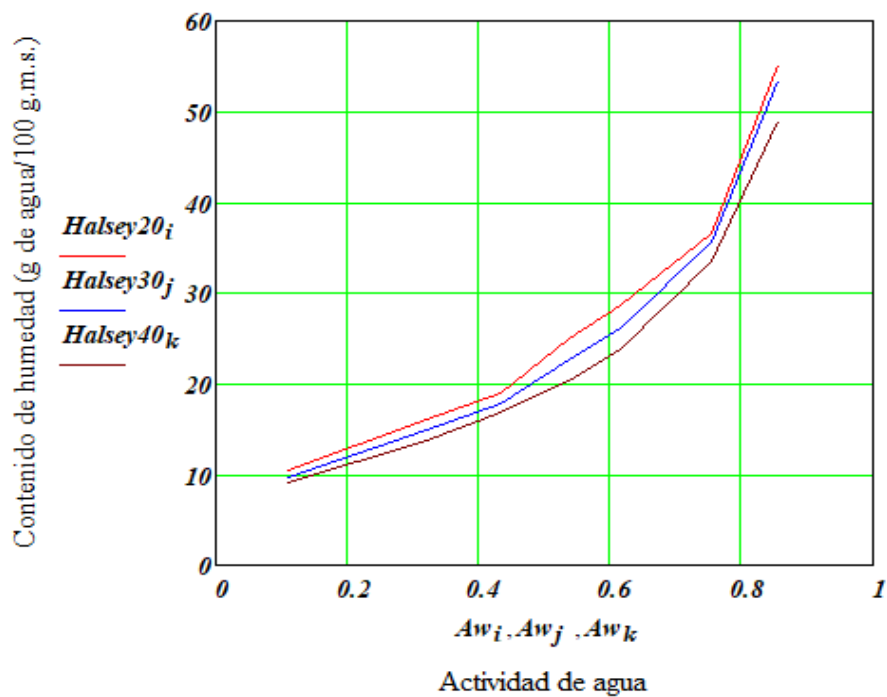


Figura 19. Isothermas de adsorción de Halsey a 20°C , 30°C y 40°C

Tabla 7.

VARIABLES DE LOS PARÁMETROS α Y β DEL MODELO HALSEY ESTIMADOS PARA LA TUNA DESHIDRATADA.

Parámetros de la ecuación de Halsey	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
α	16.893	15.887	15.006
β	-0.610	-0.633	-0.635

Para el modelo de Halsey, se observa que para una A_w determinada los contenidos de los niveles de agua en estado de vapor que tienden a disminuir cuando aumentan los niveles de calor.

6.5 Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de Henderson -Thompson a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C

En las figuras 20, 21, 22 se obtienen los estudios realizados experimentalmente y las ponderaciones gracias al modelo de Henderson a los grados 20°C, 30°C y 40°C, en la representación gráfica 23 se muestran las 3 curvas obtenidas y en la tabla 8 se verifican las variables de la ecuación de Henderson – Thompson.

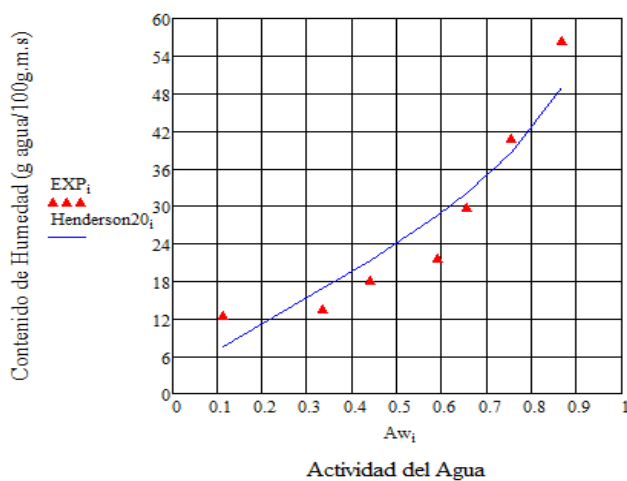


Figura 20. Isoterma de adsorción de Henderson - Thompson a 20°C

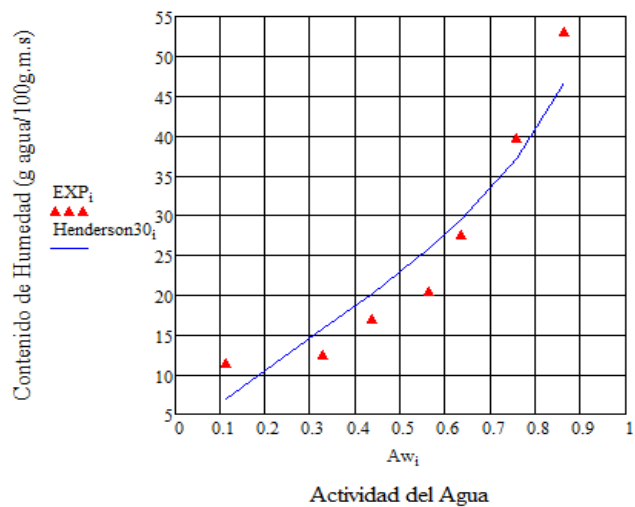


Figura 21. Isoterma de adsorción de Henderson - Thompson a 30°C

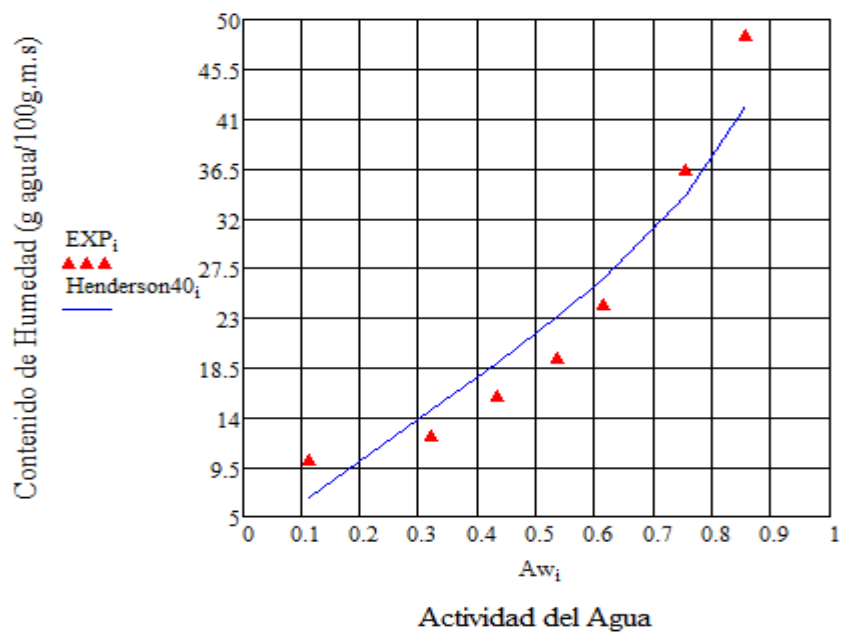


Figura 22. Isoterma de adsorción de Henderson - Thompson a 40°C

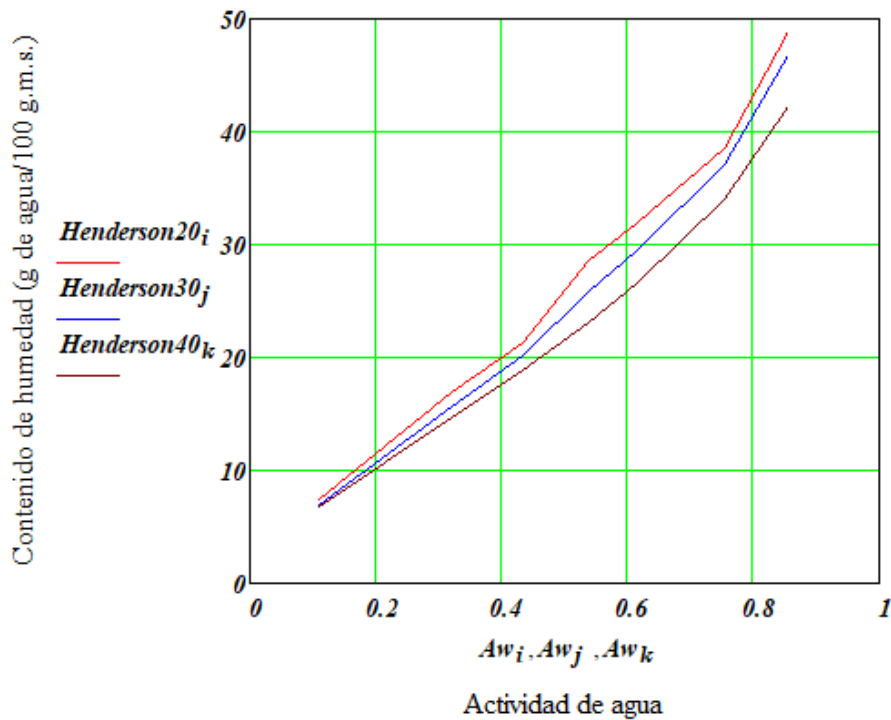


Figura 23. Isotermas de adsorción de Henderson - Thompson a 20°C , 30°C y 40°C

Tabla 8.

Valores de los parámetros f , η del modelo Henderson - Thompson estimados para la tuna.

Parámetros de la ecuación de			
Henderson - Thompson	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
f	5.589	5.477	5.624
η	1.499	1.475	1.531

Para el modelo de Henderson-Thompson, se observa que para una A_w determinada los contenidos de los niveles de agua en estado de vapor, tienden a disminuir cuando aumentan los niveles de calor.

6.6 Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de Oswin a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C

En las figuras 24, 25 ,26 se obtienen los estudios experimentales y los ponderados gracias al modelo de Oswin a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C, en la figura 27 se muestran las 3 curvas obtenidas y en la tabla 9 se obtienen las valoraciones de la fórmula de Oswin.

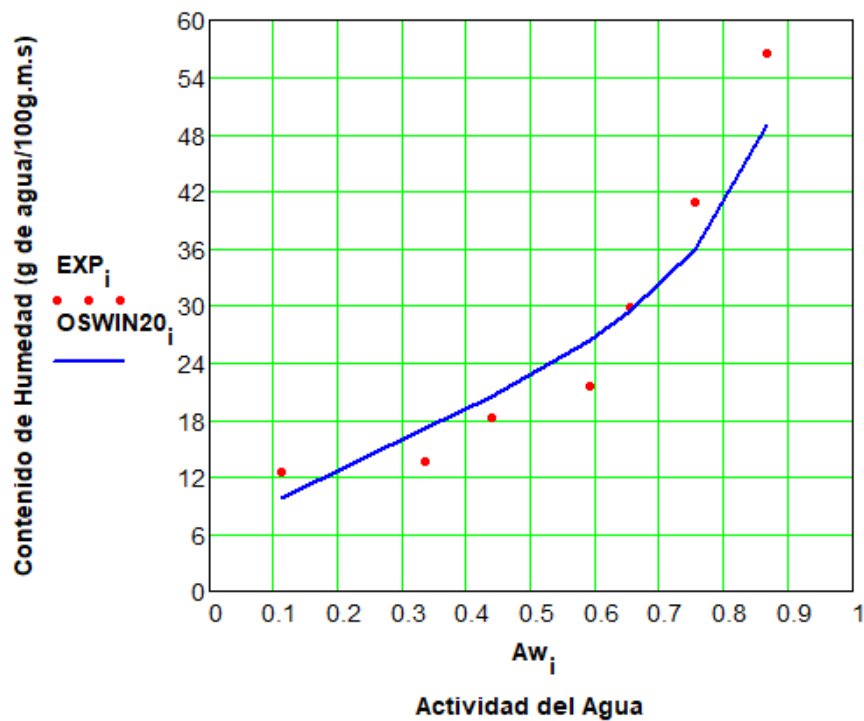


Figura 24. Isoterma de adsorción de Oswin a 20°C

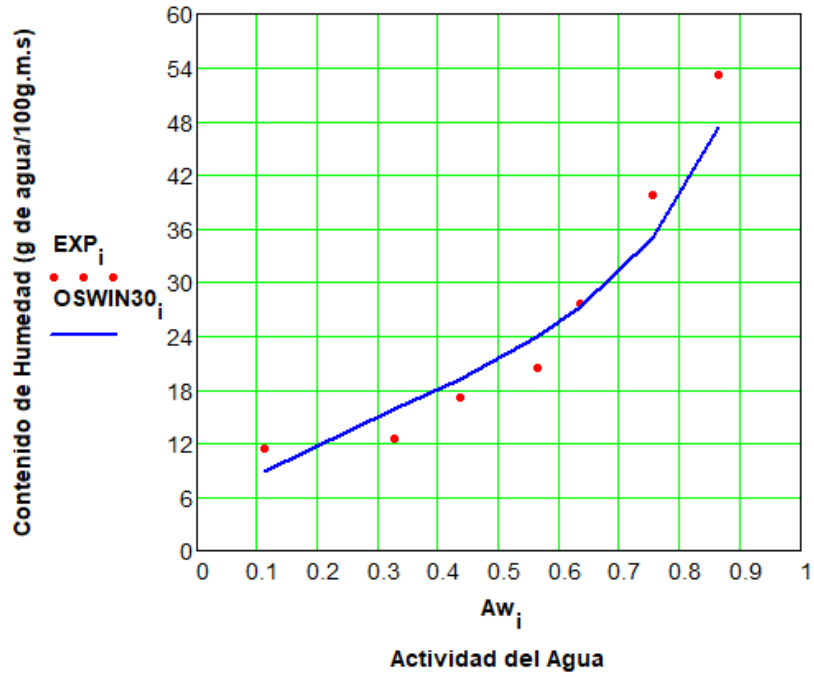


Figura 25. Isotherma de adsorción de Oswin a 30°C

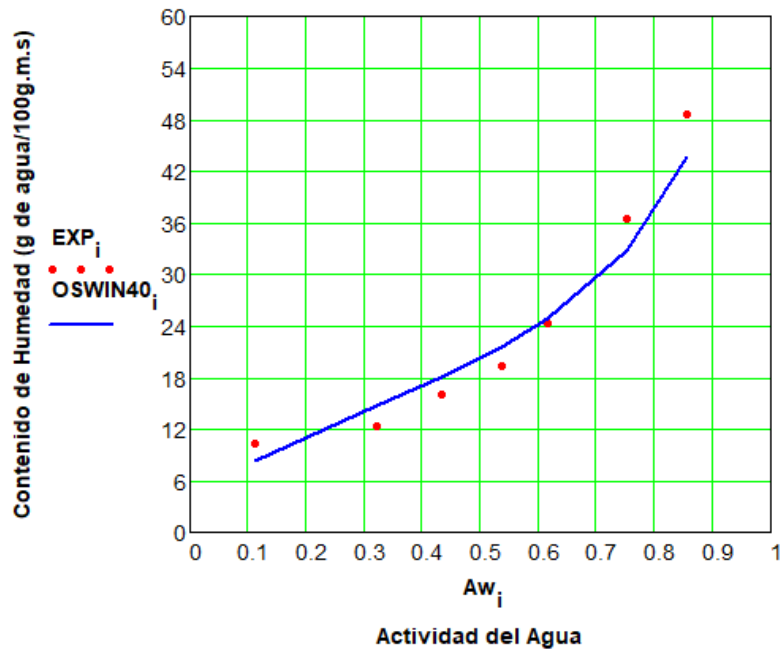


Figura 26. Isotherma de adsorción de Oswin a 40°C

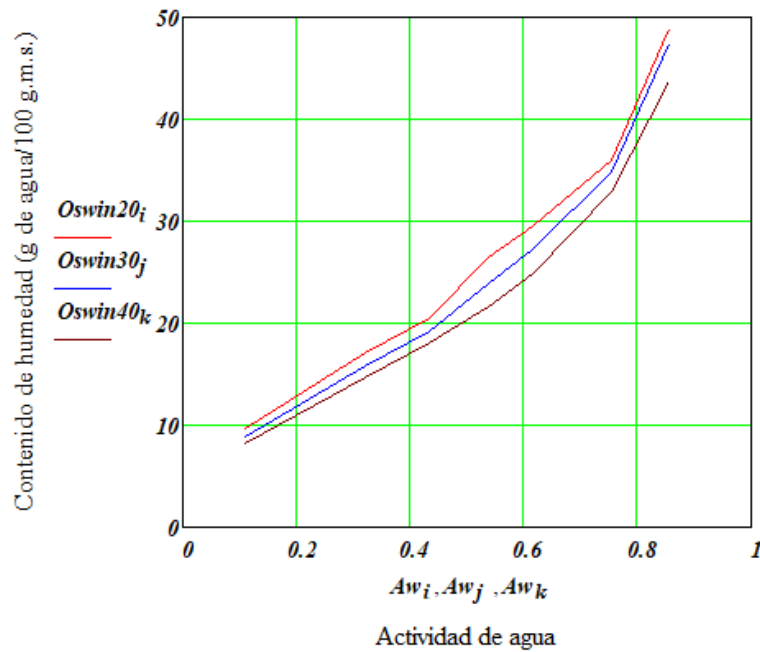


Figura 27. Isotermas de adsorción de Oswin a 20°C , 30°C y 40°C

Tabla 9.

Valores de las variables A y B del modelo Oswin para tuna deshidratada.

Parámetros de la ecuación de			
Oswin	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
A	22.629	21.471	20.249
B	0.413	0.430	0.429

Para el modelo de Oswin, se observa que para una A_w determinada los contenidos de los niveles de agua en estado de vapor que tienden a disminuir cuando aumentan los niveles de calor.

6.7 Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de Smith a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C

En las figuras 28, 29, 30 se obtienen los estudios experimentales y los valores con el modelo de Smith a los grados de 20°C, 30°C y 40°C, en representación gráfica 31 se muestran las 3 curvas obtenidas y en la tabla 10 se obtienen las variables de la fórmula de Smith.

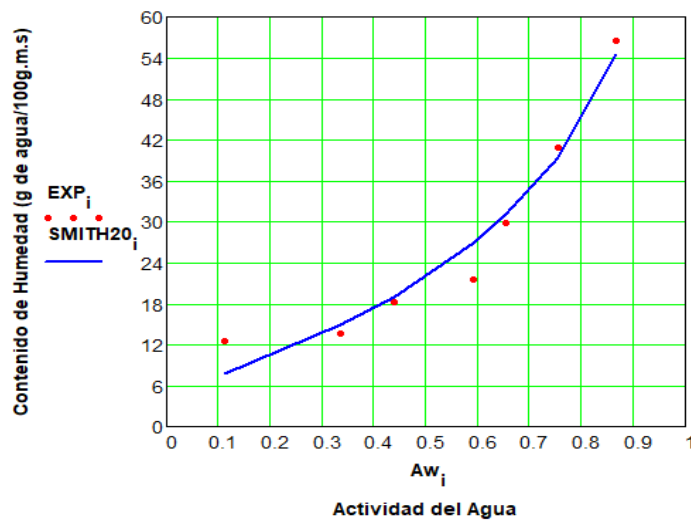


Figura 28. Isoterma de adsorción de Smith a 20°C

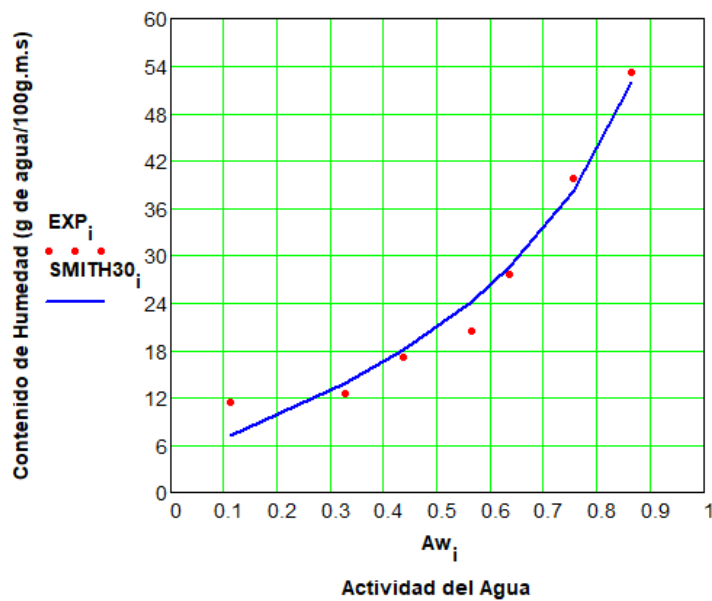


Figura 29. Isoterma de adsorción de Smith a 30°C

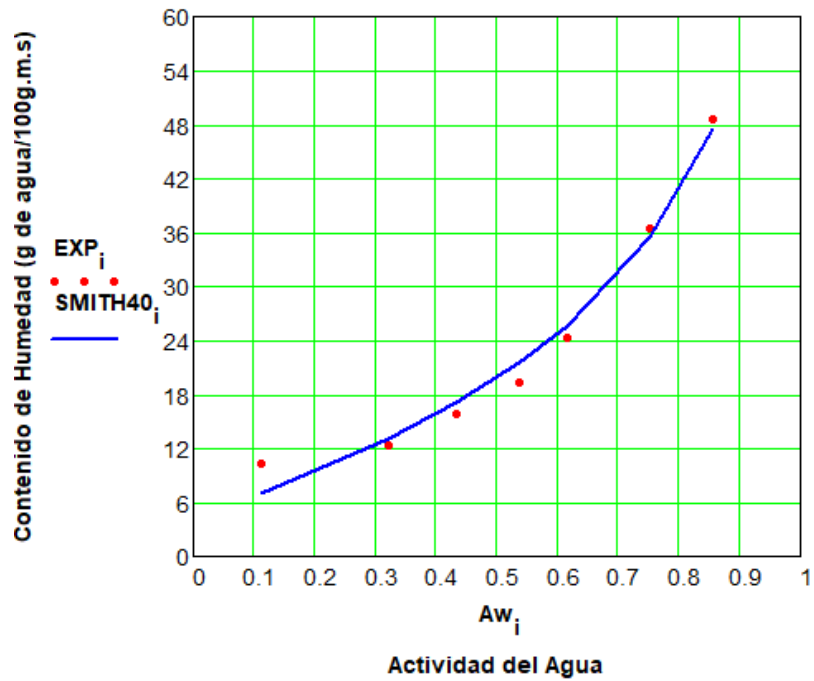


Figura 30. Isotherma de adsorción de Smith a 40°C

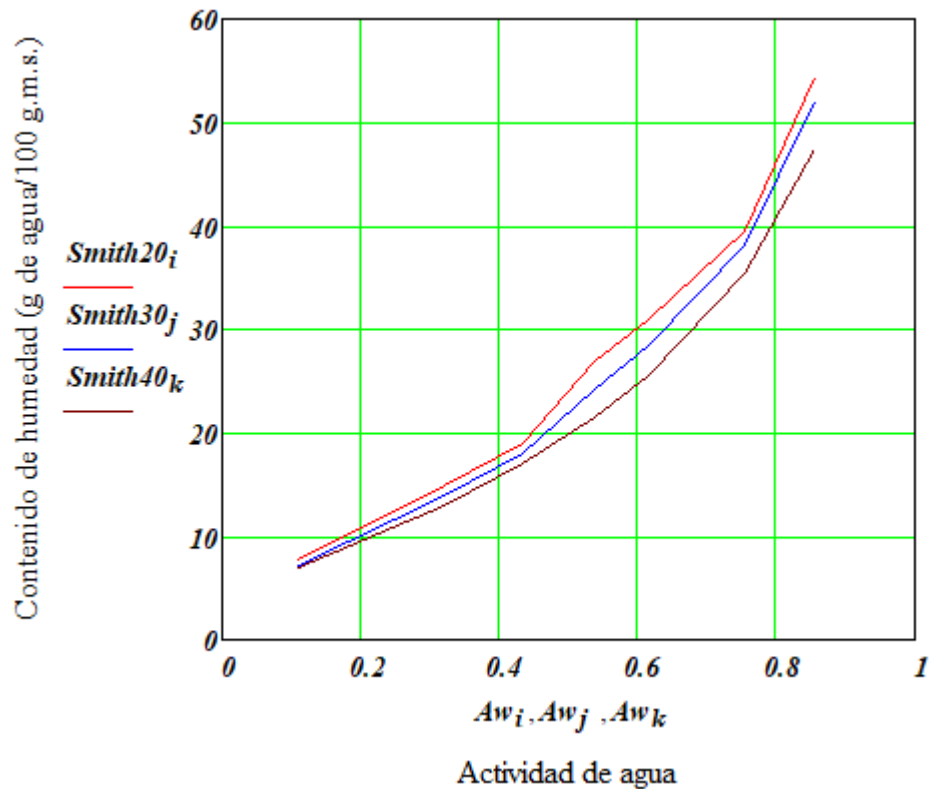


Figura 31. Isothermas de adsorción de Smith a 20°C , 30°C y 40°C

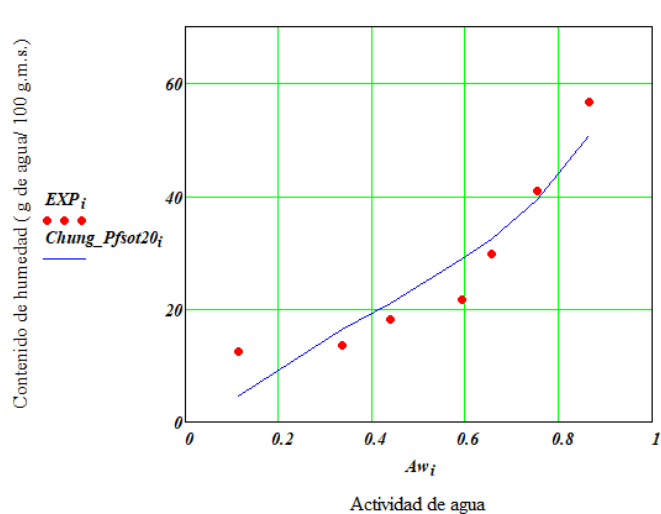
Tabla 10.**Valores de los parámetros A y B del modelo Smith para tuna deshidratada.**

Parámetros de la ecuación de			
Smith	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
A	4.688	4.319	4.384
B	-24.747	-23.974	-22.226

Para el modelo de Smith, se observa que para una A_w determinada los niveles de agua en estado de vapor balanceados disminuyen con el crecimiento de los niveles calóricos.

6.8 Isothermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de Chung-Pfost a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C

En las figuras 32, 33, 34 Se obtienen las muestras de manera experimental y los análisis gracias al modelo de Chung-Pfost a los grados de 20°C, 30°C y 40°C, en la figura 35 se muestran las 3 curvas obtenidas y en la tabla 11 se obtienen las valoraciones de la fórmula de Chung-Pfost.

**Figura 32. Isothermas de adsorción de Chung-Pfost a 20°C**

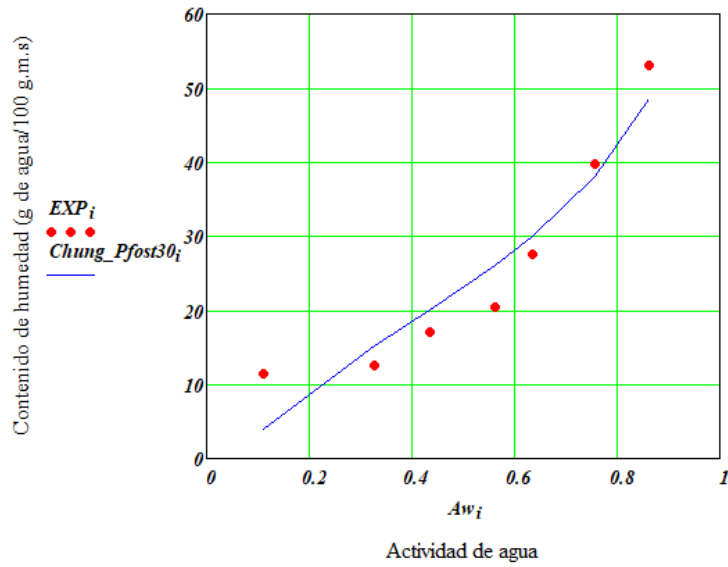


Figura 33. Isothermas de adsorción de Chung-Pfost a 30°C

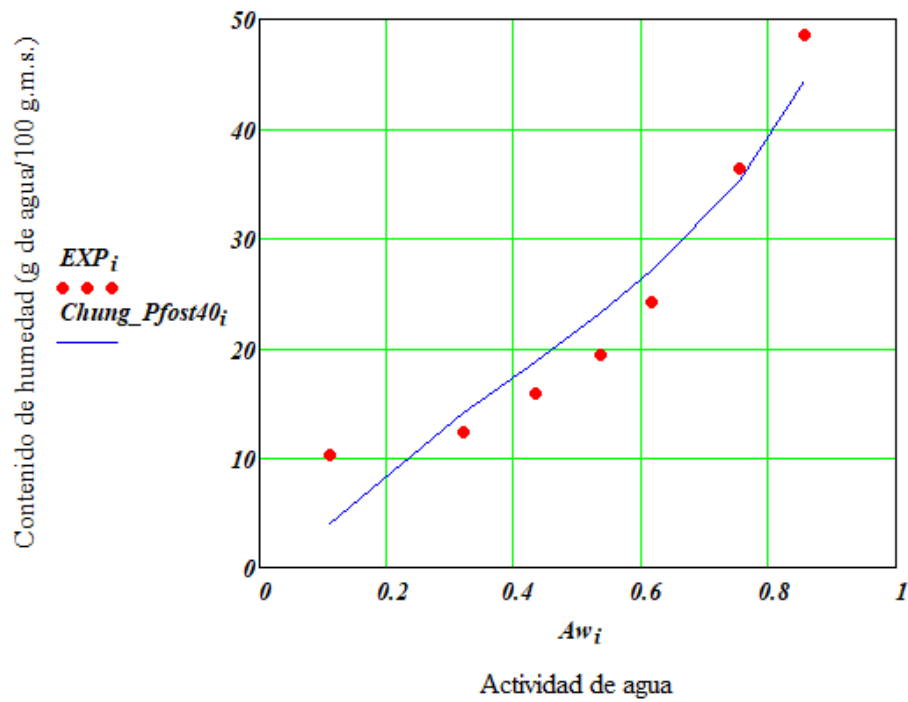


Figura 34. Isothermas de adsorción de Chung-Pfost a 40°C

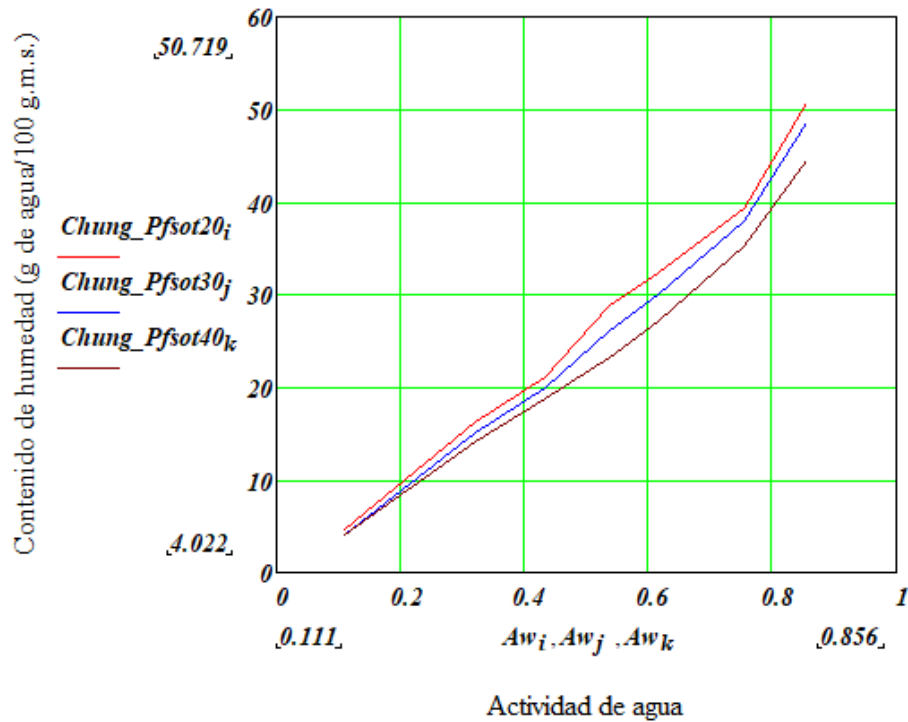


Figura 35. Isotermas de adsorción de Chung-Pfost a 20°C , 30°C y 40°C

Tabla 11.

Valores de los parámetros A y B del modelo Chung-Pfost para tuna deshidratada.

Parámetros de la ecuación de			
Chung-Pfost	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
A	17.808	16.953	16.055
B	-16.975	-16.502	-15.254

Para el modelo de Chung-Pfost, se observa que para una A_w determinada los niveles de agua en estado de vapor que tienden a disminuir cuando aumentan los niveles de calor.

6.9 Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de BET a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C

En las figuras 36, 37 ,38 Se obtienen las muestras de manera experimental y los análisis gracias al modelo de BET a los grados de 20°C, 30°C y 40°C, en la figura 39 se muestran las 3 curvas obtenidas y en la tabla 12 se obtienen las valoraciones de la fórmula de BET.

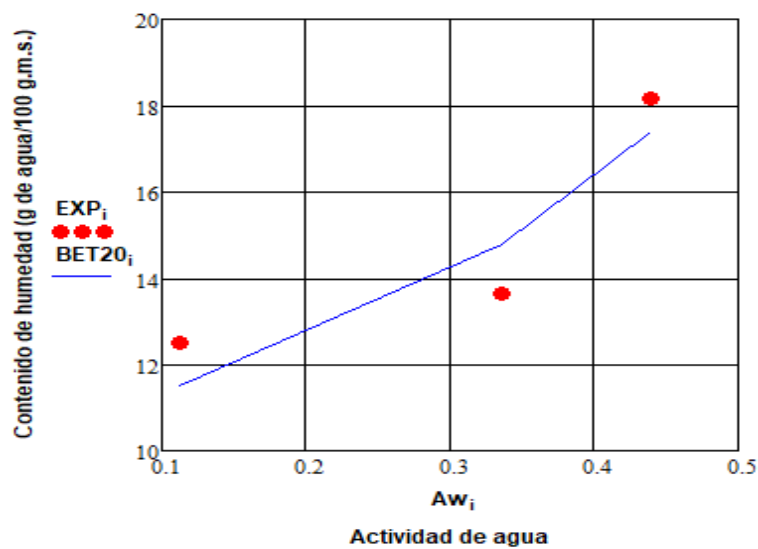


Figura 36. Isotermas de adsorción de B.E.T. a 20°C

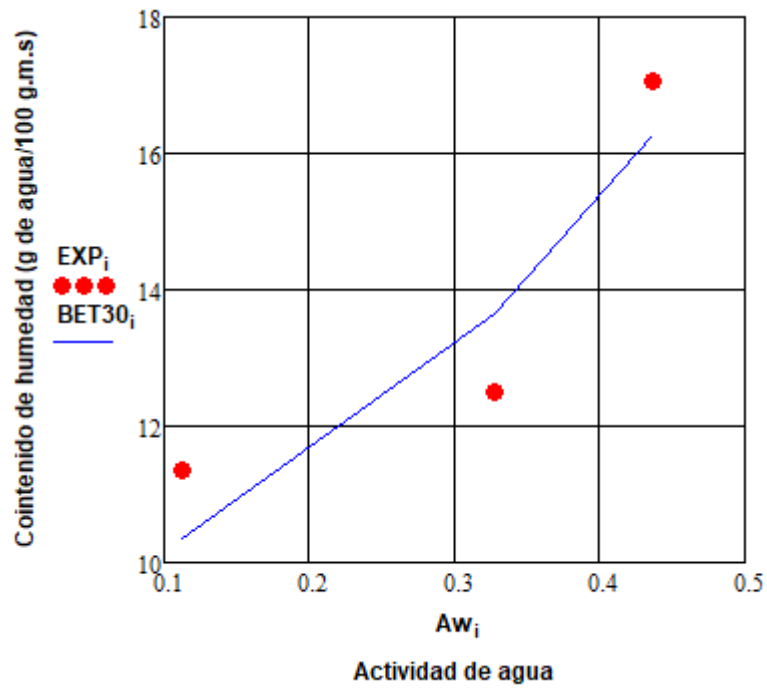


Figura 37. Isotermas de adsorción de B.E.T. a 30°C

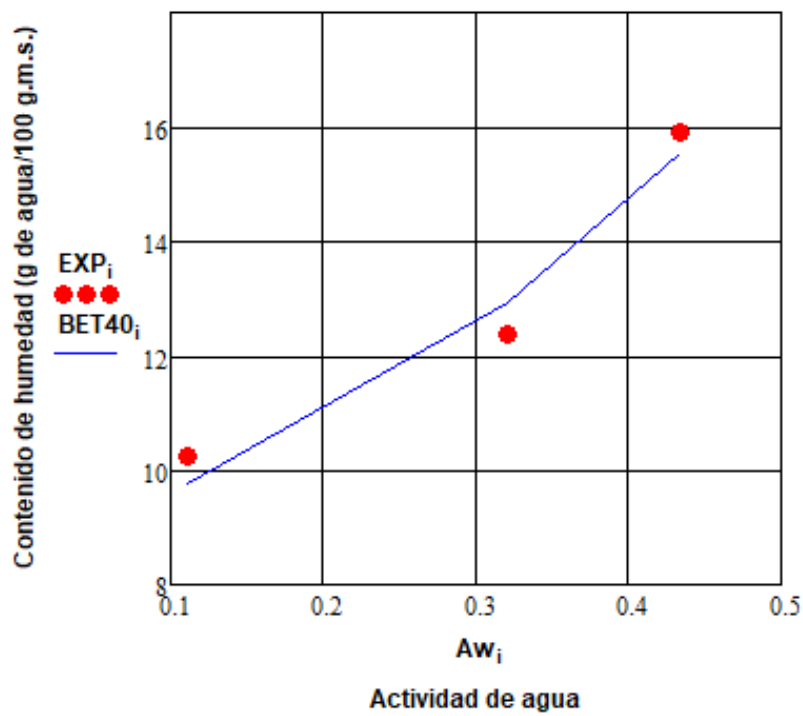


Figura 38. Isotermas de adsorción de B.E.T. a 40°C

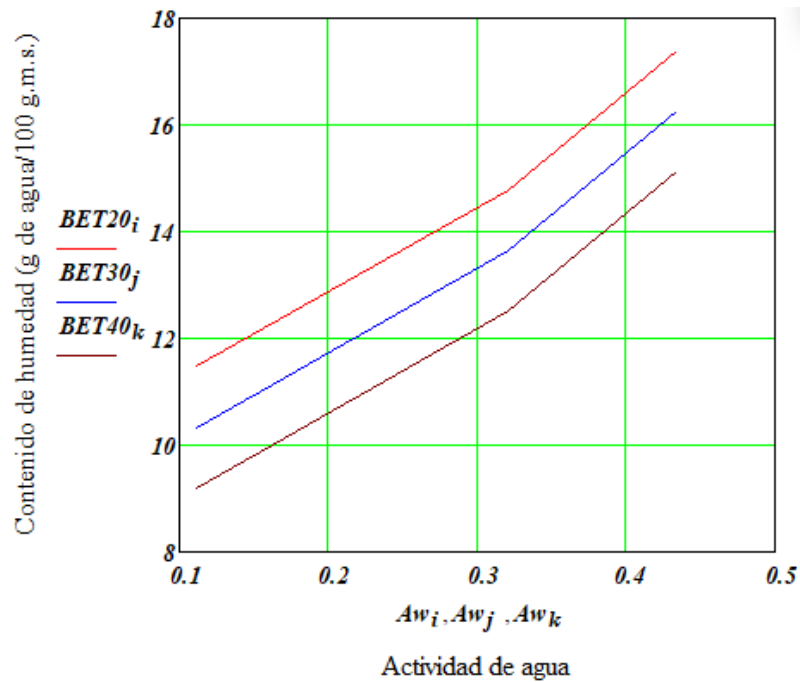


Figura 39. Isothermas de adsorción de B.E.T. a 20°C , 30°C y 40°C

Tabla 12.

Ponderaciones de los parámetros X_m , C del modelo BET estimados para la tuna deshidratada.

Parámetros de la ecuación de BET	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
X_m	9.680	9.171	8.828
C	-155.849	-7470.324	436.833

Para el modelo de BET, se observa que para una A_w determinada los contenidos de humedad de equilibrio disminuyen cuando se aumentan los niveles de temperatura. Los valores de la capa monomolecular varían de 9.68 a 8,42 g de agua /100 g.m.s para un alcance de temperaturas de 20°C a 40 °C.

6.10 Isotermas de adsorción experimental y obtenidas con modelos matemáticos a 20°C, 30°C, 40°C

En las figuras 40, 41 y 42 se muestran las curvas experimentales y expuestas a 20°C, 30°C y 40°C, a proporción, usando las ocho fórmulas ofrecidas.

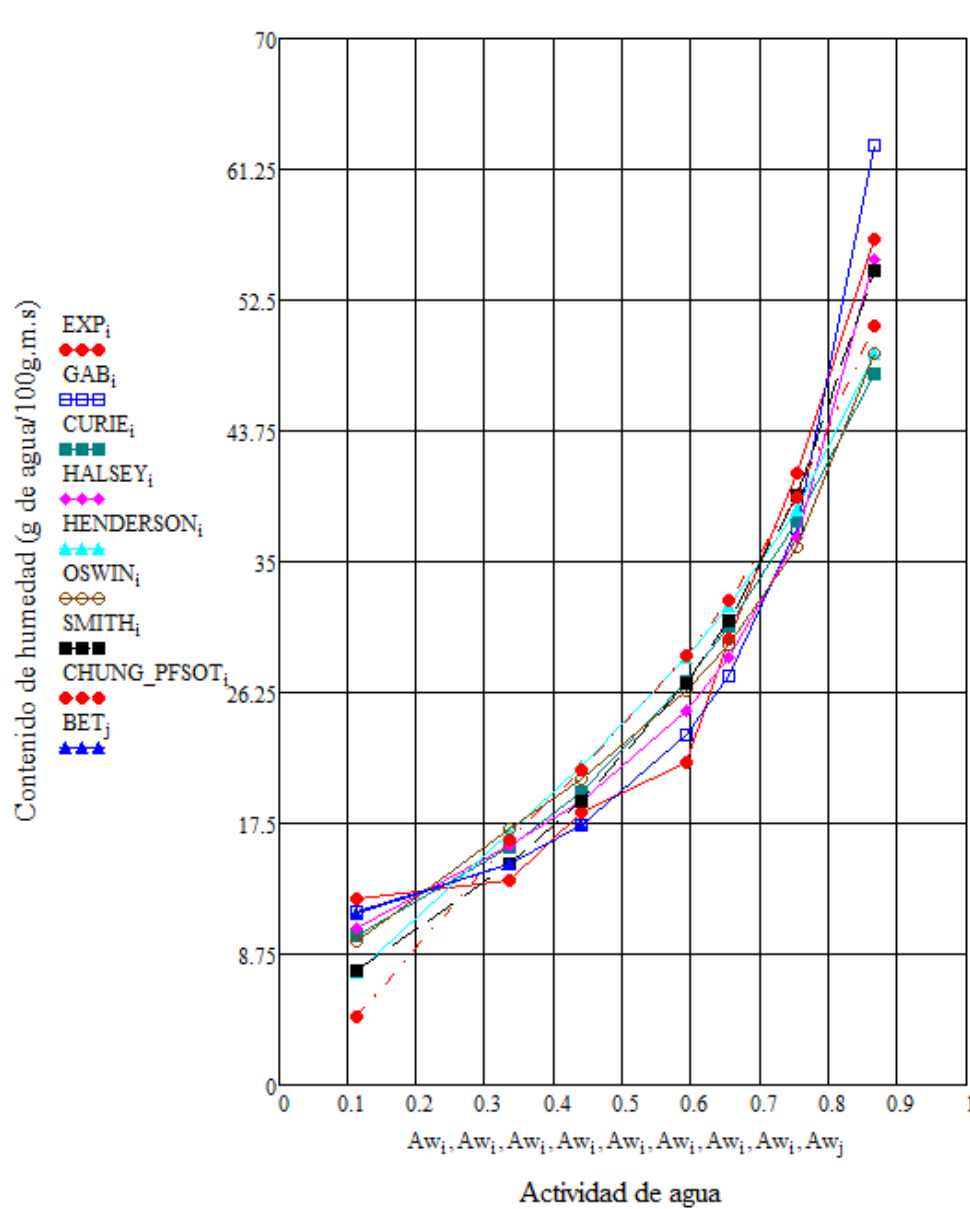


Figura 40. Curva de adsorción para Tuna deshidratada a 20°C, datos experimentales y sus modelos.

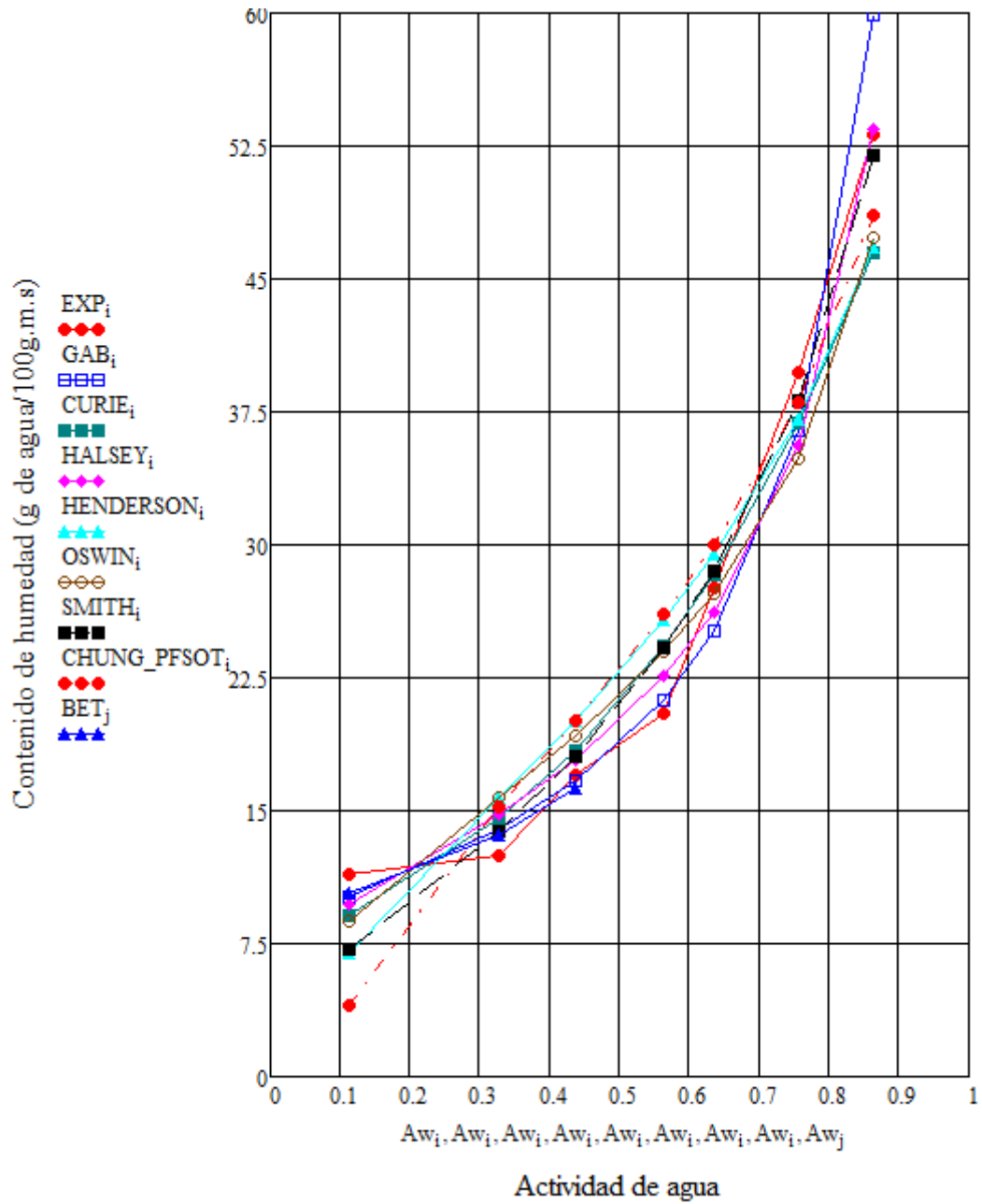


Figura 41. Curva de adsorción para Tuna deshidratada a 30°C, datos experimentales y sus modelos.

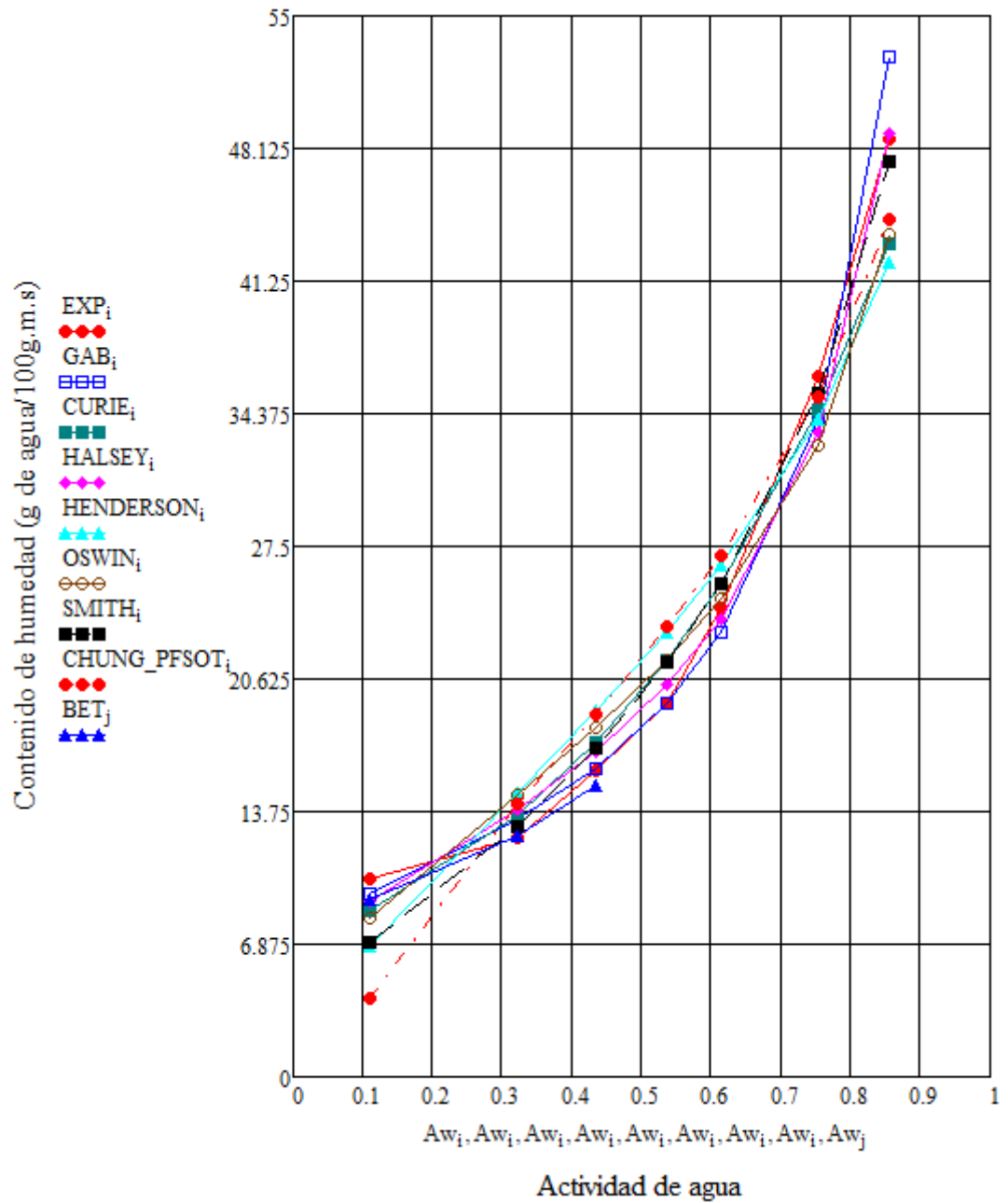


Figura 42. Curva de adsorção para Tuna desidratada a 40°C, dados experimentais e seus modelos.

Em relação a los modelos matemáticos podemos manifestar que la mayoría de modelos tiene la tendencia a formar curvas sigmoideal.

6.11 Valores del coeficiente de correlación y el error medio relativo

En la tabla 13, se derivan las ponderaciones de los coeficientes de correlación y el error medio relativo de cada una de las ecuaciones utilizadas para la tuna deshidratada.

Tabla 13.

Coefficientes de correlación y el error medio relativo para la tuna deshidratada.

ECUACIÓN	Temperatura	R	EMS %
GAB	20°C	0.958	8.445
	30°C	0.955	8.733
	40°C	0.977	6.151
CAURIE	20°C	0.955	15.449
	30°C	0.967	13.587
	40°C	0.979	10.349
HALSEY	20°C	0.974	11.89
	30°C	0.979	10.913
	40°C	0.990	7.516
HENDERSON- THOMPSON	20°C	0.899	23.324
	30°C	0.912	22.145
	40°C	0.930	19.130
OSWIN	20°C	0.943	17.455
	30°C	0.952	16.519
	40°C	0.967	13.337
SMITH	20°C	0.980	17.888
	30°C	0.986	16.372
	40°C	0.991	13.320
CHUNG-PFSOT	20°C	0.943	29.209
	30°C	0.953	29.573
	40°C	0.960	26.274
BET	20°C	0.990	7.110
	30°C	0.987	7.893
	40°C	0.997	4.038

CONCLUSIONES

Se comprueba la teoría de que las curvas de adsorción presentan forma sigmoideal.

El contenido de humedad disminuye según la temperatura para un mismo movimiento de agua (A_w).

Para obtener las curvas de adsorción con modelos matemáticos se utilizaron los modelos de G.A.B, B.E.T, Halsey, Henderson- Thompson y Curie, Oswin, Smith, y Chung-Pfost presentando alta correlación y el mejor error relativo el modelo de G.A.B, seguido del modelo de Halsey.

Tiene como característica fundamental El modelo de GAB al tener un agregado de más ponderaciones experimentales.

Los valores de la capa monomolecular fueron: para la temperatura de 20°C 9.887 g de agua/100 g.m.s, para 30°C 9.703 g de agua/100 g.m.s, y para 40°C 9.573 g de agua/100 g.m.s

RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones para obtener las curvas de desorción para la tuna.
- Realizar trabajos de investigación con otros tipos de frutas.
- Realizar investigaciones para determinar la vida útil de la tuna deshidratada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

a. Referencias bibliográficas

- Barbosa, G. (1997) *Manual de Laboratorio de Ingeniería en Alimentos*. Editorial Acriba, S.A. Zaragoza, España. p. 71-88.
- Badui, S. (1982) *Química de los Alimentos* Ed Pearson p.29
- Choque, D. (2009). *Evaluación de las isotermas de adsorción del Maíz Morado (Zea mays L.)- variedad Canteño*. Tesis de Maestría para optar el grado de Maestro .en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco-Perú.
- Fennema, O. (1996) *Química de los Alimentos*. Editorial Acriba, S.A. p.36,48,54-57
- Gustavo, V. Barbosa-Cánovas (2000) *Deshidratación de Alimentos* Editorial Acriba España.
- Labuza, T. (1980). *Influence Of Relative Humidity of the Physicochemical State of Lactose in Spray-Dried Sweet Whey Powders*. Journal of Food Processing and Preservation V.45, N.5 p. 1231 -1236.
- Labuza, T... (2000) *Essentials of Functional Foods* p. 49-53.
- Madigan (2003). *Brock: Biología De Los Microorganismos*. (10ª Edición). Ed. Pearson-Prentice-Hall, Madrid. p. 120.
- Martínez, N.; Andrés, A.; Chiralt, A. y Fito (1999). *Termodinámica y Cinética de Sistemas Alimento Entorno*. España: Editorial Universitaria Politécnica De Valencia, Servicio De Publicaciones. p 155-160.

- Matos, R. y Rajo A... (2010) *Influencia del tamaño de partículas en las isothermas de adsorción de harina de haba (Vicia faba L.)* Revista de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Vol. 1 Núm. 1
- Multon, J., Bizot H. (1980). *Water Adsorption in Cereal Food and Water Activity Measurement*. p. 97-119.
- Pilosof, A.M.R. Bartholomai, G.B., Chirife, J. Boquet, R. (1982). *Effect Of Heat Treatment on Sorption Isotherms and Solubility of Flour and Protein Isolates from Bean Phaseolus_Vulgaris*. Journal of Food Science Vol.47.
- Quintero, F... (Junio de 2008). *Determinación de las condiciones de manejo del producto terminado de harina Nixtamalizada y Fortificada*. Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Serdán, Ciudad Serdán Puebla.
- Ramírez Miranda Mónica. (2012) *Determinación de isothermas de sorción en harina de maíz a tres temperaturas y su ajuste a modelos matemáticos* Instituto Politécnico Nacional México p 1,2
- Rao, M., Rizvi, S. (1986). *Engineering Properties Of Foods*. Editorial Marce Dekker Inc. New York. P 133-214
- Sandoval, A.; Barreiro, J; Tovar, X. y Angueira, M. (2002). *Características de Sorción del Cacao Fermentado en Polvo (Theobroma Cacao)*. Revista Técnica Ingeniería. Universidad de Zulia. V.25 N.1: 1-7
- Urquizo Zúñiga, Fabiola y Valdivia Salas Karina (2015) *“Comparación del efecto del secado combinado; osmodeshidratación- secado con el secado convencional para la obtención de harina de penca de tuna (Opuntia ficus Indica)* Tesis Universidad Nacional de San Agustín Arequipa – Perú.

Van Den Berg, C. Brun. S(1981) *Water activity and its estimation in food systems theoretical aspects*. In *Water activity influences on food quality*. L.B. Rockland and G.F Stewart(ed) Academic Press, New York p 1-43

b. Referencias electrónicas

Bolívar, G, (s.f) Isotermas de adsorción: concepto, tipos, ejemplos Recuperado el 28 de Agosto 2020 de <https://www.lifeder.com/isotermas-de-adsorcion/>

El comercio (2011) *La tuna cuatro variedades se producen en el país* Recuperado el 24 de Noviembre 2019 de <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/tuna-cuatro-variedades-se-producen.html>

Hiperbaric (s.f) *Actividad de agua* Recuperado el 2 de Setiembre 2020 de <https://www.hiperbaric.com/es/actividad-de-agua-aw>

Matines, E. (2007) *Definiciones de humedad y su equivalente* Recuperado el 2 de Setiembre 2020 de <http://www.cenam.mx/dme/pdf/TM02.pdf>

Ministerio de Agricultura y Riego- Sistema Integrado de Estadística Agraria (2020) *Anuario Estadístico de Producción Agrícola* Recuperado el 14 de Octubre 2020 de <http://siea.minagri.gob.pe/siea/?q=produccion-agricola>

Olivos, L. (s.f) *La tuna, la reina entre frutas* Recuperado el 12 de Noviembre 2019 de <http://blogs.peru.com/infonutricion/2011/10/la-tuna-la-reina-entre-las-frutas.html>

Palau, E., Lopes, & Argaiz, A. (1997) *Effect of temperature on the moisture sorption isotherms of some cookies and corn snacks. Journal of Food Engineering*

Recuperado el 21 de Noviembre 2018 de

<https://www.researchgate.net/publication/223418011>

Effect of temperature on moisture sorption isotherms of some cookies and corn snacks

Pezzutti, A. & Crapiste, G.H. (1997). *Sorptional equilibrium and drying characteristics of garlic. Journal of Food Engineering.* Recuperado el 20 de Noviembre 2018

de <http://www.repositorio.furg.br/bitstream/handle/1/6695/MOMOMOM.pdf?sequence=1>

Real Academia de Ingeniería 8s.f) *Capa monomolecular* Reuperado el 28 de Agosto

2020 de <http://diccionario.raing.es/es/lema/capa-monomoleculardiu>

Selva Industrial (2021) *Boletín informativo Tuna – Diciembre 2020* Recuperado 25 de

Noviembre 2021 de <https://selva.com.pe/boletin-informativo-tuna-diciembre-2020/>

ANEXOS



Figura 43 Pesado de la muestra inicial



Figura 44 Pesado de la muestra sin cascara



Figura 45 Rodajas de tuna en la bandeja del secador



Figura 46 Tuna deshidratada



Figura 47 Pesado de la muestra deshidratada para la prueba de adsorción

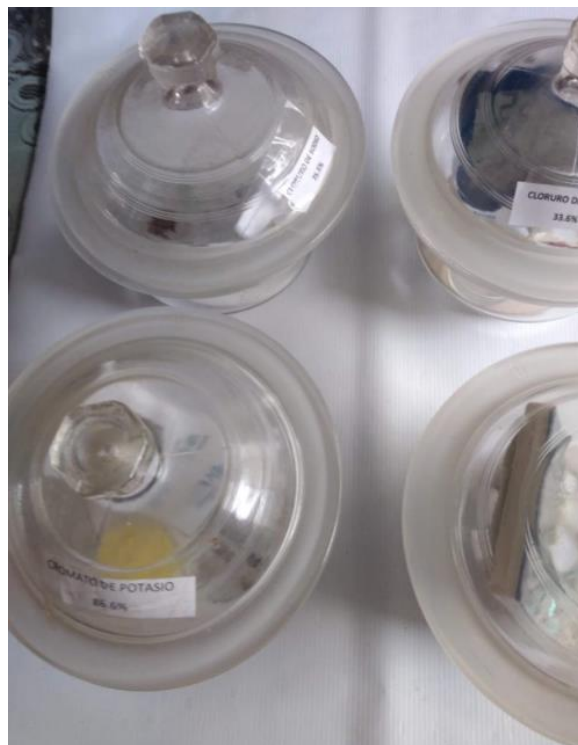


Figura 48 Muestras de tuna en las campanas con diferentes soluciones salinas



Figura 49 Muestras de tuna en placas konguay para ensayo a 30 °C y 40°C

Cálculos de los modelos matemáticos

Modelo de Gab

LA ECUACION

$$\text{GAB : } \frac{Aw}{n} = \frac{1}{Xm \cdot Cg \cdot K} + \frac{Cg - 2}{Xm \cdot Cg} \cdot Aw + \left(K \cdot \frac{1 - Cg}{Xm \cdot Cg} \right) \cdot Aw^2$$

$$\text{MODELO } z = A1 + B1 \cdot x + C1 \cdot x^2$$

NOMENCLATURA :
 Aw = Actividad del agua
 n = Contenido de humedad
 Xm = Valor de la capa monomeolecular
 Cg, K = Respectivas constantes

CURVA DE SORCION A 20°C

Datos de entrada :

i := 0..6

i =	Aw _i :=	n _i :=	
0	0.113	12.50	cloruro de litio
1	0.336	13.64	cloruro de magnesio
2	0.439	18.18	Carbonato de potasio
3	0.592	21.59	Bromuro de sodio
4	0.655	29.82	Nitrato de sodio
5	0.754	40.91	Cloruro de sodio
6	0.866	56.55	Cromato de potasio

Datos de entrada :

N := 7

$$x_i := Aw_i$$

$$z_i := \frac{Aw_i}{n_i}$$

i =	x _i =	z _i =
0	0.113	0.009
1	0.336	0.0246
2	0.439	0.0241
3	0.592	0.0274
4	0.655	0.022
5	0.754	0.0184
6	0.866	0.0153

INTRODUCCION DE LA

$$d = \begin{pmatrix} d_{0,0} & d_{0,1} & d_{0,2} \\ d_{1,0} & d_{1,1} & d_{1,2} \\ d_{2,0} & d_{2,1} & d_{2,2} \end{pmatrix}$$

$$d_{0,0} := N \quad d_{0,1} := \sum_i x_i \quad d_{0,2} := \sum_i (x_i)^2$$

$$d_{1,0} := \sum_i x_i \quad d_{1,1} := \sum_i (x_i)^2 \quad d_{1,2} := \sum_i (x_i)^3$$

$$d_{2,0} := \sum_i (x_i)^2 \quad d_{2,1} := \sum_i (x_i)^3 \quad d_{2,2} := \sum_i (x_i)^4$$

INTRODUCCION DEL VECTOR

$$v = \begin{pmatrix} v_0 \\ v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} \quad +$$

$$v_0 := \sum_i z_i \quad v_1 := \sum_i (x_i \cdot z_i) \quad v_2 := \sum_i [(x_i)^2 \cdot z_i]$$

PROCESO $\underline{m} := d^{-1} \cdot v$ resolución por matrices.

Datos de salida

$$\underline{m} := \begin{pmatrix} m_0 \\ m_1 \\ m_2 \end{pmatrix}$$

$$A1 := m_0$$

$$A1 = -5.2529 \times 10^{-4}$$

$$B1 := m_1$$

$$B1 = 0.10216$$

$$C1 := m_2$$

$$C1 = -0.0989$$

Calculo de Cg, K, Xm

$$E := \frac{A1 \cdot C1}{B1^2} \quad E = 4.978 \times 10^{-3}$$

$$E = \frac{1 - Cg}{(Cg - 2)^2}$$

$$E \cdot Cg^2 - (4 \cdot E - 1) \cdot Cg + (4 \cdot E - 1) = 0$$

donde

$$a := E \quad a = 4.978 \times 10^{-3}$$

$$b := -(4 \cdot E - 1) \quad b = 0.98$$

$$c := (4 \cdot E - 1) \quad c = -0.98$$

CALCULO DE
Cg

$$Cg1 := \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a} \quad Cg1 = 0.995$$

$$Cg2 := \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a} \quad Cg2 = -197.886$$

CALCULO DE
K

$$K1 := \frac{B1}{A1 \cdot (Cg1 - 2)} \quad K1 = 193.514$$

$$K2 := \frac{B1}{A1 \cdot (Cg2 - 2)} \quad K2 = 0.973$$

CALCULO DE Xm Valor de la capa MONOMOLECULAR

$$Xm := \frac{1}{A1 \cdot Cg2 \cdot K2} \quad Xm = 9.887 \quad \text{g de agua / 100 g m.s}$$

Modelo de Halsey

$$n = \alpha \cdot \left(\ln \cdot \frac{1}{Aw} \right) \cdot \beta$$

CURVA DE SORCION A 20°C

$i := 0..6$

$Aw_i :=$	$n_i :=$
0.113	12.50
0.336	13.64
0.439	18.18
0.592	21.59
0.655	29.82
0.754	40.91
0.866	56.55

MODELO

$$Y = A + B \cdot X$$

$$x_i := \ln \left(\ln \left(\frac{1}{Aw_i} \right) \right)$$

$$y_i := \ln(n)_i$$

$$A := \text{intercept}(x, y)$$

$$A = 2.827$$

$$B := \text{slope}(x, y)$$

$$B = -0.61$$

$$r := \text{corr}(x, y)$$

$$r = -0.974$$

$$\alpha := e^A$$

$$\alpha = 16.893$$

$$\beta := B$$

$$\beta = -0.61$$

$x_i =$

0.779
0.087
-0.194
-0.646
-0.86
-1.265
-1.939

$y_i =$

2.526
2.613
2.9
3.072
3.395
3.711
4.035

Modelo de Henderson

$$n = 0.01 \left[\frac{-\log(1 - Aw)}{10^f} \right]^{\frac{1}{\eta}}$$

$$\log \left[\log \left(\frac{1}{1 - Aw} \right) \right] = f + \eta \cdot [\log(100 \cdot n)]$$

$i := 0..6$

$Aw_i :=$ $n_i :=$ g de agua/ 100 g.m.s

0.113	12.50
0.336	13.64
0.439	18.18
0.592	21.59
0.655	29.82
0.754	40.91
0.866	56.55

$$\log \left(\log \left(\frac{1}{1 - Aw} \right) \right) = f + \eta \cdot (\log(100 \cdot n))$$

$$\log \left(\log \left(\frac{1}{1 - Aw_i} \right) \right) \quad \log(100 \cdot n_i) \cdot$$

-1.283	3.097
-0.75	3.135
-0.6	3.26
-0.41	3.334
-0.335	3.475
-0.215	3.612
-0.059	3.752

MODELO
LINEALIZADO

$$x_i := \log(100 \cdot n_i)$$

$$A := \text{intercept}(x, y)$$

$$B := \text{slope}(x, y)$$

$$r := \text{corr}(x, y)$$

$$A := |A$$

$$f := A$$

$$Y = A + B \cdot X$$

$$y_i := \log \left(\log \left(\frac{1}{1 - Aw_i} \right) \right)$$

$$A = -5.589$$

$$B = 1.499$$

$$r = 0.8999$$

$$A = 5.589$$

$$f = 5.589$$

MODELO DE CHUNG -PFOST PARA TUNA A 20°C

$$Xe = a + b \cdot \ln(-\ln(a_w))$$

$$i := 0..6$$

$$Aw_i :=$$

0.113
0.336
0.439
0.592
0.655
0.754
0.866

$$n_i :=$$

12.50
13.64
18.18
21.59
29.82
40.91
56.55

$$x_i := \ln(-\ln(Aw_i)) \quad y_i := n_i$$

$$A := \text{intercept}(x, y)$$

$$A = 17.808$$

$$B := \text{slope}(x, y)$$

$$B = -16.975$$

$$r := \text{corr}(x, y)$$

$$r = -0.943$$

+ ECUACION DE CURIE PARA TUNA a 20°C

$$x = \exp \left[Aw \cdot (\ln \gamma) - \frac{1}{4.5 \cdot x_s} \right]$$

CURVA DE SORCION A 20°C

$$i := 0..6$$

$Aw_i :=$	$n_i :=$	$\ln\left(\frac{1}{n_i}\right) =$
0.113	12.50	-2.526
0.336	13.64	-2.613
0.439	18.18	-2.9
0.592	21.59	-3.072
0.655	29.82	-3.395
0.754	40.91	-3.711
0.866	56.55	-4.035

MODELO LINEALIZADO

$$Y = A + B \cdot X$$

$$x_i := Aw_i$$

$$y_i := \ln\left(\frac{1}{n_i}\right)$$

$$\underline{A} := \text{intercept}(x, y)$$

$$A = -2.065$$

$$B := \text{slope}(x, y)$$

$$B = -2.0765 \quad \underline{B} := |B|$$

$$r := \text{corr}(x, y)$$

$$r = -0.955$$

$$X_s := \frac{1}{4.5 \cdot A}$$

$$X_s = -0.1076 \quad \gamma := e^B \quad \gamma = 7.9768$$

ECUACION DE OSWIN PARA TUNA

$$x = A \cdot \left(\frac{Aw}{1 - Aw} \right)^B$$

CURVA DE SORCION A 20°C

$i := 0..6$

$Aw_i :=$	$n_i :=$
0.113	12.50
0.336	13.64
0.439	18.18
0.592	21.59
0.655	29.82
0.754	40.91
0.866	56.55

MODELO

$$Y = A + B \cdot X$$

$$x_i := \ln\left(\frac{Aw_i}{1 - Aw_i}\right) \quad y_i := \ln(n_i)$$

$$\underline{A} := \text{intercept}(x, y) \quad A = 3.119$$

$$\underline{B} := \text{slope}(x, y) \quad B = 0.413$$

$$r := \text{corr}(x, y) \quad r = 0.943$$

$$\underline{A} := e^A \quad A = 22.629$$

+ ECUACION DE SMITH PARA TUNA

$$x = A \cdot \left(\frac{Aw}{1 - Aw} \right)^B$$

CURVA DE SORCION A 20°C

$i := 0..6$

$Aw_i :=$

$n_i :=$

0.113
0.336
0.439
0.592
0.655
0.754
0.866

12.50
13.64
18.18
21.59
31.82
40.91
54.55

MODELO

$$Y = A + B \cdot X$$

$$x_i := \ln\left(\frac{Aw_i}{1 - Aw_i}\right)$$

$$y_i := \ln(n_i)$$

$$A := \text{intercept}(x, y)$$

$$A = 3.124$$

$$B := \text{slope}(x, y)$$

$$B = 0.41$$

$$r := \text{corr}(x, y)$$

$$r = 0.944$$

$$A := e^A$$

$$A = 22.733$$

ECUACION DE BET

$$\frac{Aw}{n(1-Aw)} = \frac{1}{Xm-C} + \frac{C-1}{Xm-C} \cdot Aw$$

+

MODELO LINEALIZADO

$$y = A + B \cdot x$$

NOMENCLATURA :

Aw = Actividad del
 n = Contenido de humedad del alimento
 a un Aw determinado
 Xm = Valor de la capa monomolecular
 C =
 Constante

Curva de Sorción a 20 °C

Datos de entrada

i := 0..2

:

i :=	$n_i :=$	$Aw_i :=$
0	12.50	0.113
1	13.64	0.336
2	18.18	0.439

$$x_i := Aw_i \quad y_i := \frac{Aw_i}{n_i(1-Aw_i)}$$

i :=	$x_i =$	$y_i =$
0	0.113	0.01
1	0.336	0.037
2	0.439	0.043

PROCESO

:

$$A := \text{intercept}(x, y) \quad A = -6.628 \times 10^{-4}$$

$$B := \text{slope}(x, y) \quad B = 0.104$$

$$r := \text{corr}(x, y) \quad r = 0.99$$

CALCULO DE C

:

$$C := \frac{B}{A} + 1 \quad C = -155.849$$

CALCULO DE Xm

:

$$Xm := \frac{1}{A \cdot C} \quad Xm = 9.68$$