



Artículo original / Original article

Evaluación de las isotermas de desorción de las hojas de sachá culantro (*Eryngium Foetidum* L.)

Evaluation of desorption isotherms of sachá cilantro leaves (*Eryngium Foetidum* L.)

Cecilia Prisca Ccollqquesaña-Apaza ¹; Julio César Chillihuani-Coronado ¹; Julián Colquehuanca-Vilca ¹; Palmer Vicente Pulla-Huillca ^{1*}

¹Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Puerto Maldonado, Perú

Recibido: 25/04/2024
Aceptado: 30/06/2024
Publicado: 25/07/2024

*Autor de correspondencia: pvph2710@gmail.com

Resumen: El presente estudio evalúa las isotermas de desorción del sachá culantro (*Eryngium foetidum* L.), considerando que dicha especie es una hierba aromática amazónica interesante por sus compuestos bioactivos con propiedades medicinales pero que actualmente solo se comercializa fresca en mercados locales, sin embargo tiene una gran probabilidad de comercializarse seca. Para estructurar las isotermas se utilizó el “método estático gravimétrico” a 35, 45 y 55°C. Los resultados obtenidos se ajustan mejor al modelo GAB, obteniéndose isotermas del tipo II, muy comunes en alimentos. La “actividad de agua” debe oscilar entre 0,43 y 0,56, se recomienda el almacenamiento del producto en humedades menores al 56%.

Palabras clave: *Eryngium foetidum* L.; isotermas; sachá culantro

Abstract: The present study evaluates the desorption isotherms of sachá cilantro (*Eryngium foetidum* L.), considering that this species is an aromatic Amazonian herb interesting for its bioactive compounds with medicinal properties but that is currently only sold fresh in local markets, however it has a great probability of being marketed dry. To structure the isotherms, the “gravimetric static method” was used at 35, 45 and 55°C. The results obtained fit better to the GAB model, obtaining type II isotherms, very common in foods. The “water activity” should range between 0.43 and 0.56; storage of the product at humidity levels less than 56% is recommended.

Keywords: *Eryngium foetidum* L.; isotherms; sachá cilantro

1. Introducción

El sachá culantro (*Eryngium foetidum* L.) es una hierba aromática originaria de América Central que fue introducida a Asia por los chinos como un producto sustituto del cilantro común (Jaramillo et al., 2011) (Basilio-Atencio & Flores-Ayala, 2021). En Madre de Dios, esta hierba es usada en su estado fresco en la gastronomía por su aroma y sabor agradable; así en el mercado local no existe oferta del producto en su estado seco debido al desconocimiento de los parámetros de secado y conservación. Por otra parte, diversas investigaciones revelan que el sachá culantro presenta compuestos importantes con propiedades antioxidantes y medicinales que pueden aprovecharse en la industria alimentaria y farmacéutica (Heredia Baca, 2002). A pesar de ser una hierba representativa de la región, con muchos usos tradicionales e interesantes atributos, la literatura científica registra escasa información de las propiedades de desorción de humedad, dicha información es trascendental para determinar el punto óptimo en un proceso de secado y mejorar su estabilidad en anaquel. Generalmente, las hierbas frescas contienen entre 60% a 80% de agua, lo cual constituye una característica ideal para la proliferación de bacterias haciéndolo un alimento perecedero; sin embargo, estos niveles de humedad pueden reducirse por lo menos al 15% para su adecuada conservación (Hilbay et al., 2016) (Hassini et al., 2015). Por otro lado, la obtención de las isotermas del sachá culantro permitiría establecer condiciones óptimas de almacenamiento. El presente estudio tiene como objetivo evaluar las isotermas de desorción del sachá culantro (*Eryngium foetidum* L.), lo que proporcionaría información científica valiosa para revalorizar esta hierba mediante procesos mínimos y promover su cultivo en nuestra región.

2. Materiales y métodos

2.1. Lugar de ejecución

La presente investigación fue realizada en Madre de Dios-Perú, específicamente en las instalaciones de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (UNAMAD), en el Laboratorio de Procesos Agroindustriales y en el Laboratorio de Química. Asimismo, las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Análisis Químico de la Universidad Agraria de la Molina-Lima.

2.2. Población y muestra

Las materias primas utilizadas fueron hojas de Sachá culantro adquiridas en la Feria de Productores de la ciudad de Puerto Maldonado. Asimismo, considerando que esta hierba aromática se produce de manera incipiente y casi silvestre en la amazonia peruana, se realizó un muestreo no probabilístico o muestreo dirigido, escogiendo las mejores hojas encontradas en el mercado.

2.3. Metodología

El presente estudio es experimental de tipo correlacional, asimismo, para el desarrollo del experimento se siguieron los pasos detallados en la Figura 1.

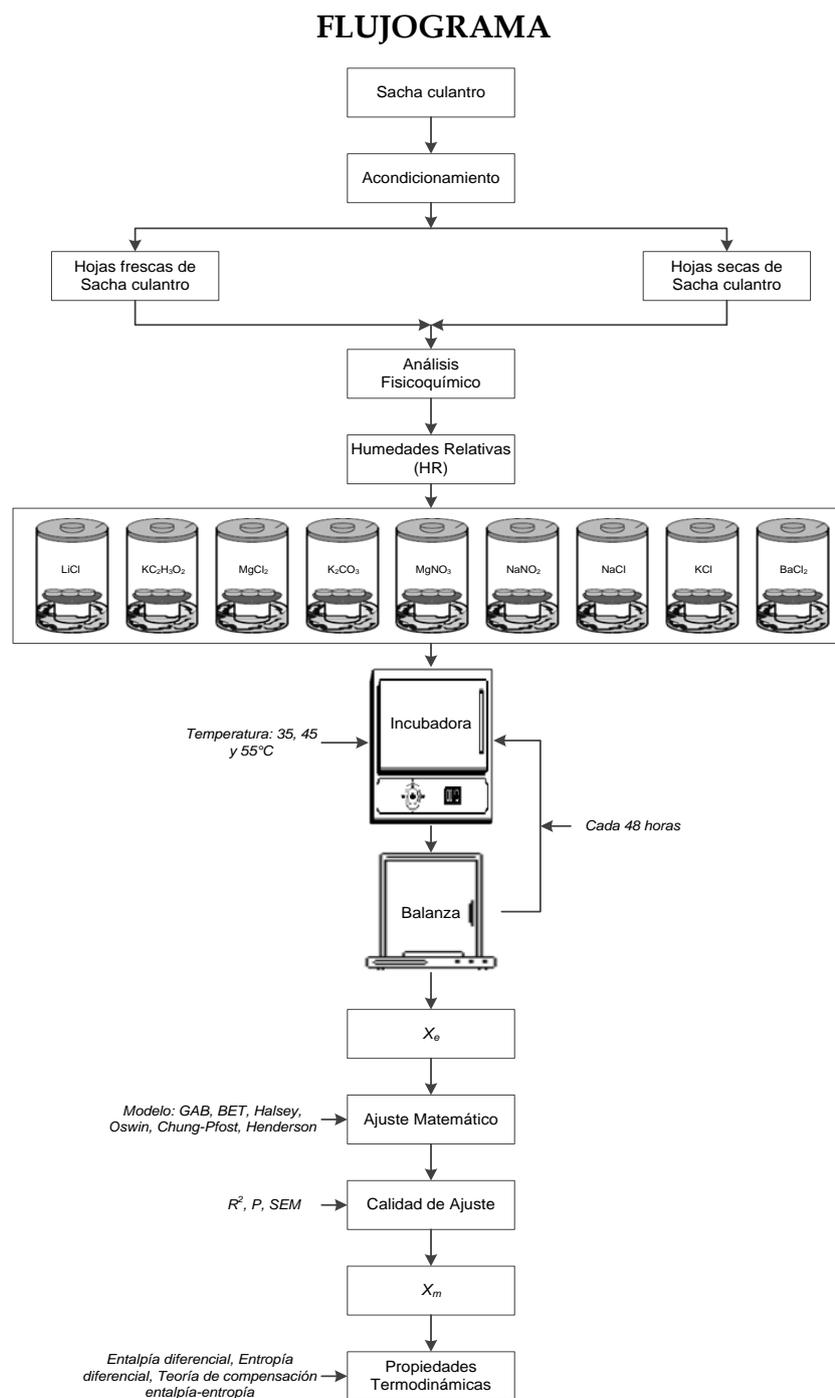


Figura 1. Diseño del estudio para la Evaluación de las isothermas de sorción y las propiedades termodinámicas de las hojas de Sacha culantro (*Eryngium foetidum* L.)

Acondicionamiento del material de estudio: Antes de obtener los materiales para el estudio se realizó un proceso de acondicionamiento en el cual las hojas de Sacha culantro fueron seleccionadas retirando aquellas con indicios de proliferación de insectos y/o plagas, hojas marquitas y rotas, seguidamente fueron lavadas con agua corriente y desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio a 5 ppm por espacio de dos minutos, luego de eso, el material de estudio pasó por una etapa de drenado con agua destilada.

Preparación de los dos materiales de estudio: Una vez terminada la etapa de drenado, se obtuvieron las hojas frescas para los ensayos pertinentes.

Análisis fisicoquímico: Las muestras se embolsaron al vacío en bolsas de polietileno esterilizadas, luego se enviaron a analizar al laboratorio de análisis químico de la Universidad Agraria de la Molina. Los métodos utilizados para el análisis proximal fueron: método AOAC 925.10 para la humedad, método AOAC 922.06 para el contenido de grasas, método AOAC 930.05 para cenizas, método NTP 205.003.1980 para analizar fibras, método AOAC 920.152 para proteínas. Asimismo, los porcentajes de kcal provenientes de carbohidratos, grasas y proteínas se calcularon por el método MS INN Collazos (Ayala-Aponte, 2011).

Obtención de las Isotermas de desorción: Las "isotermas de desorción", se obtuvieron mediante el "método estático gravimétrico" (Gabas et al., 2009). Así, las humedades relativas experimentales se hallaron por medio de soluciones salinas saturadas con un rango de actividad de agua (a_w) de 0,11 a 0,85, las cuales fueron estimadas por medio de ecuaciones de regresión presentadas en la Tabla 1 (Labuza et al., 1985). Las sales y correspondientes humedades relativas a las temperaturas de estudio se muestran en la Tabla 2.

Tabla 1. Sales y ecuaciones de regresión utilizadas para obtener una a_w a una determinada temperatura (K)

Sales	Formula	Ecuación de regresión	r ²
Cloruro de Litio	(LiCl)	$\ln a_w = (500,95 1/T) - 3,85$	0,976
Acetato de Potasio	(CH ₃ CO ₂ K)	$\ln a_w = (861,39 1/T) - 4,33$	0,965
Cloruro de Magnesio	(MgCl ₂)	$\ln a_w = (303,35 1/T) - 2,13$	0,995
Carbonato de Potasio	(K ₂ CO ₃)	$\ln a_w = (145,00 1/T) - 1,30$	0,967
Nitrato de Magnesio	(Mg(NO ₃) ₂)	$\ln a_w = (356,60 1/T) - 1,82$	0,987
Nitrato de Sodio	(NaNO ₂)	$\ln a_w = (435,96 1/T) - 1,88$	0,974
Cloruro de Sodio	(NaCl)	$\ln a_w = (228,92 1/T) - 1,04$	0,961
Cloruro de Potasio	(KCl)	$\ln a_w = (367,58 1/T) - 1,39$	0,967

Fuente: Labuza et al. (1985)

Tabla 2. Humedades relativas en función de las temperaturas de estudio

Sales	Formula	Humedad relativa (%)		
		35°C	45°C	55°C
Cloruro de Litio	(LiCl)	11,42	10,81	10,54
Acetato de Potasio	(CH ₃ CO ₂ K)	23,67	21,55	20,61
Cloruro de Magnesio	(MgCl ₂)	32,87	31,80	31,31
Carbonato de Potasio	(K ₂ CO ₃)	44,32	43,63	43,30
Nitrato de Magnesio	(Mg(NO ₃) ₂)	53,58	51,54	50,60
Nitrato de Sodio	(NaNO ₂)	65,85	62,80	61,40
Cloruro de Sodio	(NaCl)	76,17	74,30	73,42
Cloruro de Potasio	(KCl)	85,46	82,11	80,56

Las humedades de equilibrio se determinaron a temperaturas de 35, 45 y 55°C. El ajuste de las cifras experimentales se realizó con modelos matemáticos de isotermas comúnmente utilizados en alimentos. La calidad de ajuste fue evaluada mediante "el coeficiente de determinación" (R²), el desvío porcentual medio (P) y el "error estándar de humedad" (SEM). El contenido de humedad de la monocapa (X_m) fue obtenida a partir del modelo de GAB, ajustado anteriormente.

2.4. Tratamiento de datos

Para determinar las constantes de los modelos matemáticos se utilizó el análisis de "regresión no lineal" estimado por el método Quasi-Newton, con un número máximo de 500 interacciones y un criterio de convergencia de 0.0001 con ayuda del programa STATISTICA para Windows versión 5.0. Los ajustes se realizaron a un "nivel de significancia" del 5%. Se utilizó el coeficiente de determinación (r²) para evaluar la calidad del ajuste de los modelos matemáticos; este parámetro es uno de los primeros criterios para seleccionar la ecuación que describe mejor los datos experimentales. (Carvalho Lago & Noreña, 2015).

3. Resultados y discusiones

3.1. Análisis fisicoquímico

En la Tabla 3, presentamos los resultados del análisis fisicoquímico tanto de hojas frescas como hojas secas realizados considerando tres repeticiones.

Tabla 3. Análisis Fisicoquímico de las hojas de sachaculantro

Factor evaluado	Valor obtenido (hojas frescas)	Valor obtenido (hojas secas)
Humedad (g/100g de muestra)	87,97	9,90
Grasa (g/100g de muestra)	0,53	3,10
Cenizas (g/100g de muestra)	1,80	10,85
Fibra Cruda (g/100g de muestra)	1,73	10,90
% kcal de glúcidos	60,50	68,65
% kcal de lípidos	11,00	8,40
% kcal de proteínas	28,50	22,95
Energía total (kcal/100g de muestra)	43,60	332,50
Carbohidratos (g/100g de muestra)	6,60	57,10
Proteínas (g/100g de muestra, factor 6,25)	3,10	19,05

3.2. Modelado de las isotermas de desorción

En la Tabla 4 detallamos los resultados considerando los modelos matemáticos propuestos, en los cuales se presentan los valores de r^2 y %E.

Tabla 4. Parámetros estimados y criterios de ajuste de los modelos para las isotermas de desorción de Sachaculantro

Modelo	Parámetros	Temperatura (C°)		
		35	45	55
GAB	X_m	0,0556	0,0484	0,0376
	C	58,3440	40,5478	8,7700
	K	1,0051	1,0190	1,0210
	r^2	0,9964	0,9971	0,9994
	E (%)	5,9405	7,1808	3,7474
BET	X_m	0,0578	0,0560	0,0445
	C	33,0443	11,0098	3,7815
	r^2	0,9961	0,9928	0,9969
	E (%)	7,0424	7,1808	3,7474
Halsey	A	0,0558	0,0571	0,0464
	B	1,1353	1,0581	0,9988
	r^2	0,9935	0,9920	0,9988
	E (%)	12,0077	12,2278	5,4533
Peleg	K_1	0,1647	1,1981	0,1108
	n_1	0,5793	10,0324	0,7531
	K_2	1,1001	0,1580	0,7762
	n_2	9,1704	0,6511	8,4494
	r^2	0,9940	0,9966	0,9987
	E (%)	9,4944	8,6400	5,8408
Oswin	A	0,1069	0,0927	0,0656
	B	0,7540	0,8080	0,8518
	r^2	0,9843	0,9814	0,9930
	E (%)	18,8636	21,0434	16,6722
Henderson	A	3,5379	3,5241	4,0862
	B	0,6956	0,6509	0,6260
	r^2	0,9611	0,9568	0,9764
	E (%)	29,5593	34,9993	32,1455
Caurie	V	79,1408	105,3431	126,0981

	X_s	0,0484	0,0454	0,0418
	r^2	0,9543	0,9499	0,9728
	E (%)	29,4882	34,5857	30,6635

Analizando los coeficientes obtenidos en cada modelo mostrados en la Tabla 4, se observa en general un buen ajuste de las cifras experimentales, puesto que los coeficientes de correlación (r^2) fueron superiores a 0,92 en todos los casos. Por otra parte, se obtuvieron %E superiores a 10% para todos los modelos a excepción de GAB, BET y Peleg en las tres temperaturas trabajadas. Estos datos nos llevan a estimar que estos dos modelos se ajustan correctamente los datos experimentales, lo cual es consistente con investigaciones precedentes.

3.3. Isotermas de desorción de Sachá culantro

En la Figura 2, presentamos las isotermas de desorción según el modelo GAB a las tres temperaturas trabajadas.

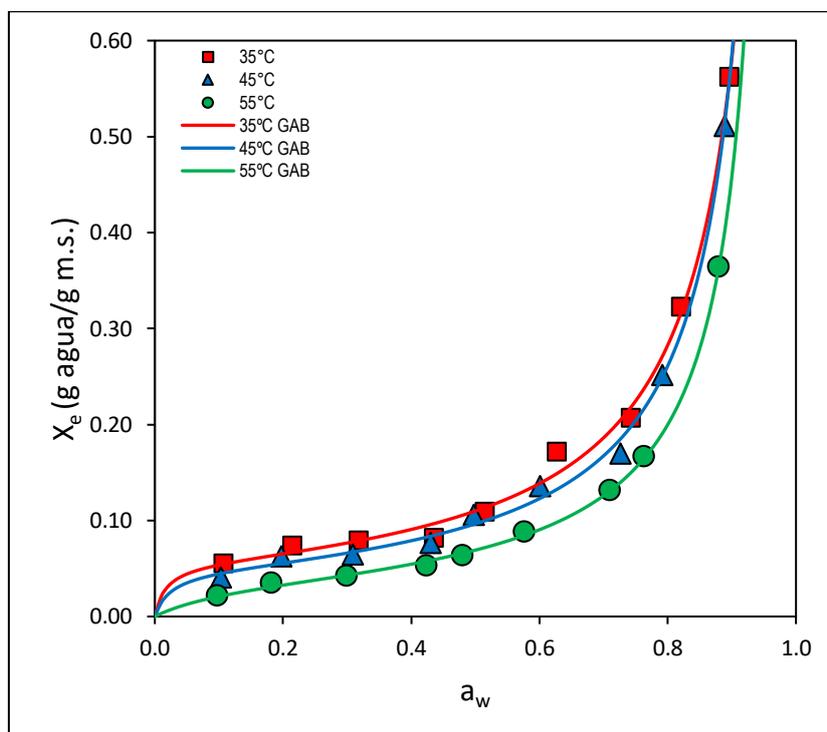


Figura 2. Isotermas de desorción para el sachá culantro a las temperaturas de estudio según modelo GAB

En la Figura 2, se muestra que, para el caso de 55°C, se presenta una tendencia lineal hasta el punto 0,49 de actividad de agua, a partir de esa cifra, la tendencia se vuelve exponencial; por otra parte, para las temperaturas de 45°C y 35°C, se observa una tendencia lineal hasta el punto 0,43 de actividad de agua, a partir de esta cifra, la tendencia es exponencial. En tal sentido, los resultados obtenidos denotan que a medida que se incrementa la "actividad del agua" (a_w), la cantidad de agua desorbida (X_e) se va incrementando, lo que indica que más agua se libera de las hojas de sachá culantro a mayor a_w . Asimismo, notamos que, a una misma actividad del agua, la cantidad de agua desorbida es menor a temperaturas más altas (55°C) comparándola con temperaturas más bajas de 35 y 45°C, lo cual sugiere que estas serían las temperaturas más adecuadas para su tratamiento.

Asimismo, mediante los ensayos de sorción determinamos que el tiempo necesario para alcanzar la "humedad de equilibrio" (X_e) en el material estudiado fue de 25, 15 y 10 días para las temperaturas de 35°C, 45°C y 55°C respectivamente.

Finalmente, el valor de “*humedad de la monocapa*” (X_m) fue obtenido mediante los modelos matemáticos GAB y BET, en el primero varían de 0,0469 a 0,0651 g agua/g m.s. en la adsorción y de 0,0376 a 0,0556 g agua/g m.s en la desorción; en el segundo, la X_m de las hojas de sachaculantro varía de 0,0433 a 0,0507 g agua/g m.s. en la adsorción y de 0,0445 a 0,0578 g agua/g m.s en la desorción.

3.4. Discusión

En cuanto a las tendencias observadas en el fenómeno de desorción, no logramos encontrar en la literatura científica resultados similares en otros estudios realizados en productos similares; sin embargo, si se evidencian comportamientos similares en los estudios de Ayala-Aponte et al. (2012) y González Hurtado et al. (2014), realizados en pitajaya amarilla y jamón de cerdo cocido respectivamente.

En el presente estudio, se encontraron isothermas experimentales de tipo II, similares a las encontrados en los estudios de Červenka et al. (2015) quien trabajó con hierba mate verde y tostada, Bensebia & Allia (2016) con hojas de romero y con el estudio de Pergher et al. (2016) en el que se trabajó con hojas de una planta medicinal denominada Congorosa. Por otra parte, en el presente estudio el modelo matemático GAB fue el que mejor se ajustó a los datos experimentales obtenidos, esta tendencia es similar a la presentada en los estudios de Bensebia & Allia (2016) y Červenka et al. (2015).

4. Conclusiones

Al evaluar las isothermas de desorción de las hojas de sachaculantro (*Eryngium foetidum* L.) se observó una tendencia directamente proporcional entre la humedad de equilibrio y la actividad de agua e inversamente proporcional al aumento de la temperatura para un mismo valor de “*actividad de agua*” de manera similar a otros productos vegetales, por lo cual se concluye que la humedad y la temperatura tienen efectos en las condiciones de almacenamiento del material.

Las isothermas del sachaculantro presentaron un comportamiento del tipo II. El modelo matemático de GAB mostró mejor ajuste las cifras experimentales con valores de r^2 mayores a 96%, y E (%) menores a 10%.

Las condiciones adecuadas para el almacenamiento de las hojas de sachaculantro son de una humedad hasta 6.51% en b.s. a una humedad relativa del ambiente de hasta 56%, para temperaturas de almacenamiento entre 25°C a 35°C.

Finalmente, se determinaron los valores de humedad de la monocapa (X_m) por medio de los modelos de GAB y BET los cuales varían de 0,0469 a 0,0651 g agua/g m.s. en la adsorción y de 0,0376 a 0,0556 g agua/g m.s en la desorción de acuerdo con el modelo de GAB. De acuerdo con el modelo BET, la X_m de las hojas de sachaculantro varía de 0,0433 a 0,0507 g agua/g m.s. en la adsorción y de 0,0445 a 0,0578 g agua/g m.s en la desorción.

Agradecimiento

Agradecemos a los profesionales de los laboratorios de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios y de la Universidad Agraria de la Molina por su invaluable colaboración para las pruebas fisicoquímicas y los ensayos necesarios para este estudio.

Financiamiento

Ninguno.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Contribución de autoría

C-A, C. P.; C-C, J. C.; C-V, J. y P-H, P. V.: Conceptualización, análisis formal, investigación, escritura (preparación del borrador final) y supervisión.

C-A, C. P.; C-C, J. C. y P-H, P. V.: Investigación, metodología y curación de datos.

C-A, C. P. y C-V, J.: Tratamiento de datos.

C-C, J. C. y P-H, P. V.: Investigación y recopilación de datos.

Referencias bibliográficas

- Ayala-Aponte, A. A., Serna Cock, L., & Rodriguez, G. (2012). Isotermas de desorción de humedad en pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(2), 135-143.
- Ayala-Aponte, A. (2011). Estimación de las isotermas de adsorción y del calor isostérico en harina de yuca. *Bioteología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 9(1), 89-96. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/bioteologia/article/view/761>
- Basilio-Atencio, J., & Flores-Ayala, J. (2021). Optimización de parámetros para la deshidratación por lecho fluidizado del sachá culantro (*Eryngium foetidum* L.). *Revista de Investigación Agropecuaria Science and Biotechnology*, 1(3), 13-28. <https://doi.org/10.25127/riagrop.20213.700>
- Bensebia, O., & Allia, K. (2016). Analysis of adsorption-desorption moisture isotherms of rosemary leaves. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 3(3), 79-86. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2016.01.005>
- Carvalho Lago, C., & Noreña, C. P. Z. (2015). Thermodynamic analysis of sorption isotherms of dehydrated yacon (*Smallanthus sonchifolius*) bagasse. *Food Bioscience*, 12, 26-33. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2015.07.001>
- Červenka, L., Hloušková, L., & Žabčíková, S. (2015). Moisture adsorption isotherms and thermodynamic properties of green and roasted Yerba mate (*Ilex paraguariensis*). *Food Bioscience*, 12, 122-127. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2015.10.001>
- Gabas, A. L., Telis-Romero, J., Giraldo-Gómez, G. I., & Telis, V. R. N. (2009). Propiedades termodinámicas de sorción de agua de la pulpa de lulo en polvo con encapsulantes. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 29(4), 911-918. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612009000400032>
- González Hurtado, M. I., Porrás Barrientos, L. D., Agudelo Flórez, A. C., Quintero Cardona, O. A., & Diosa Quintero, C. F. (2014). *Determinación de isotermas de desorción en jamón de cerdo cocido almacenado entre 4°C y 12°C | Vitae*. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/vitae/article/view/16604>
- Hassini, L., Bettaieb, E., Desmorieux, H., Torres, S. S., & Touil, A. (2015). Desorption isotherms and thermodynamic properties of prickly pear seeds. *Industrial Crops and Products*, 67, 457-465. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.01.078>
- Heredia Baca, J. A. (2002). Deshidratación del sachá culantro (*eryngium foetidum* L.), por flujo de aire caliente. *Repositorio - UNSM*. <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/59>
- Hilbay, R., Armas, S. E. C., Escudero, M. A. G., & Cabrera, T. A. P. (2016). Reingeniería en los procesos de secado, molienda y tamizado de plantas aromáticas para mejorar la calidad

- de los derivados, caso: Empresa JAMBI KIWA. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 1(1), Article 1. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.47>
- Jaramillo, B. E., Duarte, E., & Martelo, I. (2011). *Composición química volátil del aceite esencial de Eryngium foetidum L. colombiano y determinación de su actividad antioxidante*.
- Labuza, T. P., Kaanane, A., & Chen, J. Y. (1985). Effect of Temperature on the Moisture Sorption Isotherms and Water Activity Shift of Two Dehydrated Foods. *Journal of Food Science*, 50(2), 385-392. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1985.tb13409.x>
- Pergher, G., Schmalko, M., & de Battista, G. (2016). *Parámetros Fisicoquímicos e Isotermas de Adsorción de Hojas de Especies Silvestres de Maytenus ilicifolia Martius*. 20-27.