



Secado del tarwi (*Lupinus mutabilis*) por combinación de microondas y aire caliente

Drying of lupine (*Lupinus mutabilis*) by combination of microwave and hot air

Viviano Paulino Ninaquispe Zare

Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n, Trujillo, Perú.

Recibido 20 octubre 2013. Aceptado 10 de diciembre 2013.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue optimizar el secado del tarwi (*Lupinus mutabilis*) por combinación de microondas y aire caliente. El tarwi desamargado fue secado con microondas y aire caliente utilizando un Diseño Compuesto Central Rotable variando la potencia del microondas de 220 a 880W y la temperatura del aire caliente de 50 °C a 80 °C durante 5 y 10 minutos. Los datos obtenidos fueron analizados con Statistica 7,0. Se encontró que una potencia de microondas entre 700 y 800 W y una temperatura del aire caliente entre 50 y 60°C, durante 10 minutos, permite obtener una humedad final deseada de 10% y una variación del color de 32, para tarwi desamargado.

Palabras clave: lupino, secado, tarwi.

ABSTRACT

The objective of this research was to optimize the temperature and pH of pectin extraction from lemon rind French (*Citrus medica*) to maximize performance and degree of esterification, using response surface methodology. Extraction was carried out by acid hydrolysis with H₂SO₄ for 60 minutes, having as independent variables the pH (1,0 – 3,0) and temperature (70 - 90°C), and as dependent variables the performance and the degree of esterification. The Central Composite Rotational Design (DCCR) was used to perform optimization. The models obtained for performance and degree of esterification were validated through Regression Analysis and ANOVA (significant in both cases). Optimum values (T ° = 70-80 °C, pH = 1-1,5) were determined. The optimum extraction conditions were obtained the molecular weight of the pectin 30666,912 g / mol.

Keywords: medical citrus, pectin, French lemon, degree of esterification, DCCR.

1. Introducción

El tarwi (*Lupinus mutabilis*) es una leguminosa que fija nitrógeno atmosférico en cantidades apreciables de 100 kg/ha, restituyendo la fertilidad del suelo cultivada en el área andina desde épocas preincaicas. Se desarrolla en valles templados y áreas alto andinas. Su cultivo y consumo del grano paulatinamente están siendo disminuidos en los países andinos, sobretodo en Colombia, Argentina y Chile, no solo por falta de difusión de las formas de uso, sino

también por el desinterés de las instituciones encargadas de promover su consumo y cultivo, a pesar de su gran valor nutritivo y resistencia a factores adversos climáticos en las zonas donde se siembra.

El tarwi es una leguminosa anual, de la cual se utiliza en alimentación el grano desamargado, conocido como chocho en el norte de Perú y Ecuador, tarwi en el centro del Perú y tauri en el sur del Perú y Bolivia (chuchus en Cochabamba, Bolivia) (Castañeda,1988). Se destaca por

*Autor para la correspondencia
E-mail: vninaquispe@unitru.edu.pe

ser resistente a condiciones adversas, como plagas, enfermedades, sequías y heladas. Sus semillas ofrecen una disposición de proteínas vegetales que son aprovechadas en diversos procesos, en su mayoría artesanales (Jacobsen y Mujica, 2006).

La semilla de lupino es una fuente importante de metabolitos primarios y secundarios (Dini *et al.*, 1998); de igual manera, sus propiedades físicas y fisicoquímicas definen aspectos claves relacionados con el procesamiento de la semilla. Las características de la planta y las semillas varían de acuerdo con las zonas de cultivo ya que las condiciones ambientales inciden de manera diferente en la planta (Gaviola y Gaviola, 2008). Las proteínas y el aceite de estas semillas constituyen más de la mitad de su peso, un estudio hecho en 300 diferentes genotipos de semillas muestran que la proteína contenida varía de 41 a 51%. El aceite (cuyo contenido es inversamente proporcional a sus proteínas) varía de 24 a 14%. Al eliminar la cáscara de la semilla y moliendo el grano se obtiene una harina constituida por 50% de proteínas. La proteína del tarwi contiene cantidades adecuadas de lisina y cistina (Dávila, 1987). Ortega *et al.* (2009) encontraron que las semillas de lupino contienen 7,35% de nitrógeno total, 55,95% de carbono y 9,83% de hidrógeno. Con base en el contenido de cenizas (5,52%) se estima que el contenido de oxígeno equivale a 21,35%.

El tarwi puede ser consumido húmedo, pero para la comercialización y conservación del producto es necesario secarlo. Artesanalmente el tarwi (*Lupinus mutabilis*) es secado al natural, es decir, expuesto directamente al sol. Por este sistema se requiere un espacio bastante grande. Otra desventaja muy importante es el tiempo de secado que puede durar días dependiendo de la temperatura del medio ambiente. Como lo mencionan muchos autores, mientras más sea el tiempo de secado de un alimento mayor será la pérdida de sus propiedades

nutritivas. Otra forma de secar es utilizando microondas. Según Della (2010) en el secado con microondas existe una elevada velocidad de calentamiento y no provoca cambios significativos en la superficie del alimento (cuando se trabaja con tiempos y potencias de microondas adecuados).

Las investigaciones llevadas a cabo para el secado de diferentes productos, demuestran que la aplicación de largos tiempos de proceso y temperaturas elevadas conduce a una degradación sustancial de la calidad de los productos como: el sabor, el color, los nutrientes, arrugamiento, e interferir con la capacidad de re-hidratación. En las últimas décadas, la aplicación de la tecnología de microondas ofrece una alternativa a los procesos de secado. La eficiencia energética del proceso con microondas es el elemento a mejorar si lo comparamos con el secado por aire caliente o convectivo (Maskan, 2001). Así, el proceso de secado convectivo combinado con microondas pueden presentar ventajas en la eficiencia de conversión de energía; menos espacio requeridos, debido a los menores tiempos de procesamiento; y la calidad del producto puede ser mayor (Schiffmann, 1987).

Con esta información, el objetivo de este trabajo de investigación fue optimizar el secado del tarwi (*Lupinus mutabilis*) por combinación de microondas y aire caliente.

2. Materiales y métodos

Tarwi (*Lupinus mutabilis*) procedente del centro poblado de Chugurbamba, distrito de Sanagorán, provincia de Sánchez Carrión, La Libertad, Perú, fue utilizado para este trabajo.

El tarwi deshidratado fue secado utilizando simultáneamente microondas y aire caliente. Los experimentos se realizaron en un horno microondas doméstico, adaptado a un sistema de admisión de aire caliente y de extracción del aire húmedo durante el proceso de

secado (Figura 1). En esta etapa se utilizó la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR), específicamente el Diseño Compuesto Central Rotacional (DCCR). Las variables independientes fueron la potencia del microondas y la temperatura del aire caliente. Las variables dependientes fueron la humedad final y la variación del color medido en un Colorímetro KONIKA MINOLTA CR400.

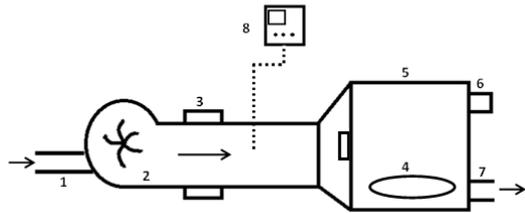


Figura 1. Equipo de secado por combinación de microondas y aire caliente

El análisis de datos se realizó con el software Statistica 7.0 (Modelación, Análisis de Varianza y Análisis de Superficie de Respuesta).

3. Resultados y discusión

Análisis proximal de la muestra

En la tabla 1 se reportan los valores obtenidos en el análisis de la composición química proximal del tarwi (*Lupinus mutabilis*), valores que se obtuvo de un promedio de tres repeticiones.

Tabla 1. Composición química proximal del Tarwi (*Lupinus mutabilis*)

	Tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i>)	
	Con cáscara	Sin Cáscara
Proteína (%)	46,98±0,49	44,78±1,12
Grasa (%)	25,87±0,20	28,02±0,17
Humedad (%)	7,34±0,05	7,03±0,03
Fibra (%)	7,87±0,05	0,96±0,02
Cenizas (%)	1,80±0,11	2,33±0,09

Observándose que el contenido proteico en base seca es más elevado en el tarwi con cáscara (46,98%) que el sin cáscara

(44,78%) cuyos valores son un poco mayores que el reportado por Sánchez (2011) que son de 43,11% y 40,06%, respectivamente. No se puede precisar las razones de estas diferencias debido a que Sánchez no especifica el lugar de donde se ha extraído la muestra. Se debe tener presente que existen muchos factores que influyen en la composición final del tarwi entre los principales tenemos el tipo de suelo, clima y labores culturales.

Con respecto al contenido de grasa existe una diferencia entre los tarwi desamargado con cascara (25,87 %) y sin cascara (28,02 %). Y si lo comparamos con el reportado por Sánchez (2011), la diferencia es mínima que son de 24,42% y 27,02%, respectivamente.

En cuanto al contenido de fibra se tiene 7,87 % en el tarwi desamargado con cáscara y 0,96 % en el tarwi desamargado sin cascara. Estos valores difieren mucho con el reportado por Sánchez (2011) que indica valores de 11,72 % y 1,55 % tanto para el tarwi con cascara y sin cascara, respectivamente.

Tabla 2. Humedad final y variación del color del Tarwi secado con microondas y aire caliente durante 5 y 10 minutos

Ensa- yo	Poten- cia (P)	Tempera- tura (°C)	Humedad final (%)		Variación del color	
			5	10	5	10
			min	min	min	min
1	330	54	59,46	34,53	23,7756	33,5811
2	770	54	49,27	8,01	14,7986	46,8218
3	330	76	56,39	30,71	22,3012	34,3169
4	770	76	44,87	7,38	16,9758	48,7819
5	220	65	61,76	38,42	24,8562	29,7681
6	880	65	43,17	6,59	16,2014	51,0703
7	550	50	55,74	26,26	20,9610	36,4637
8	550	80	50,44	12,64	24,3587	38,2065
9	550	65	52,21	13,14	19,5507	35,1720
10	550	65	52,07	12,17	21,3765	34,7396
11	550	65	51,12	14,59	22,6880	35,6683

Estas variaciones se deben a los factores que ya se mencionaron anteriormente. Por otro lado se debe precisar que la composición proximal del tarwi también depende mucho de la variedad. Según Lara, (2003) el rango del contenido de proteínas para el tarwi *L. mutabilis* es de 39,0 a 52,0%; *L. angustifolius* de 33,2 a 35,5%; *L. hispaniscus* de 43,9 a 46,9 %; y *L. albus* de 39,2 a 43,3%; notándose claramente el mayor contenido de proteínas en el tarwi (*L. mutabilis*).

En las figuras 2 y 3 se muestran los colores finales de los tarwi luego del secado con microondas y aire caliente durante 5 y 10 minutos, respectivamente.

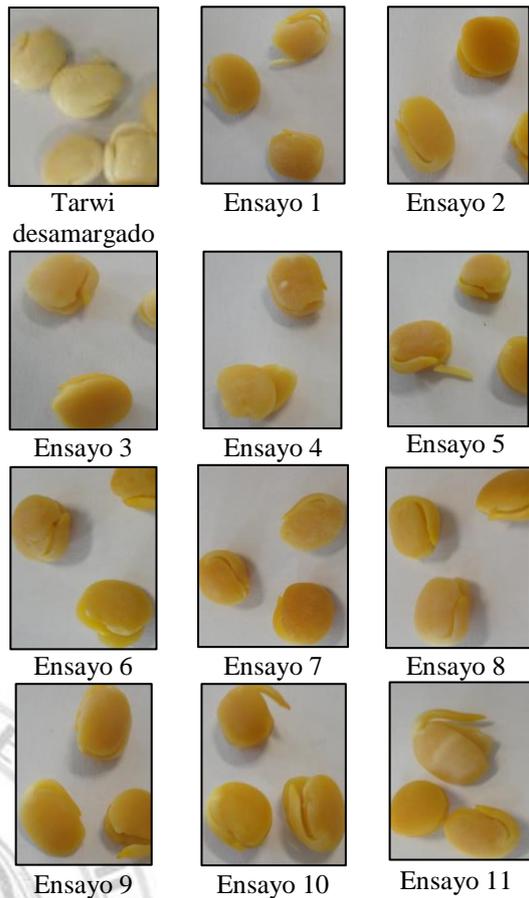


Figura 2. Colores de los tarwi secados con microondas y aire caliente durante 5 minutos

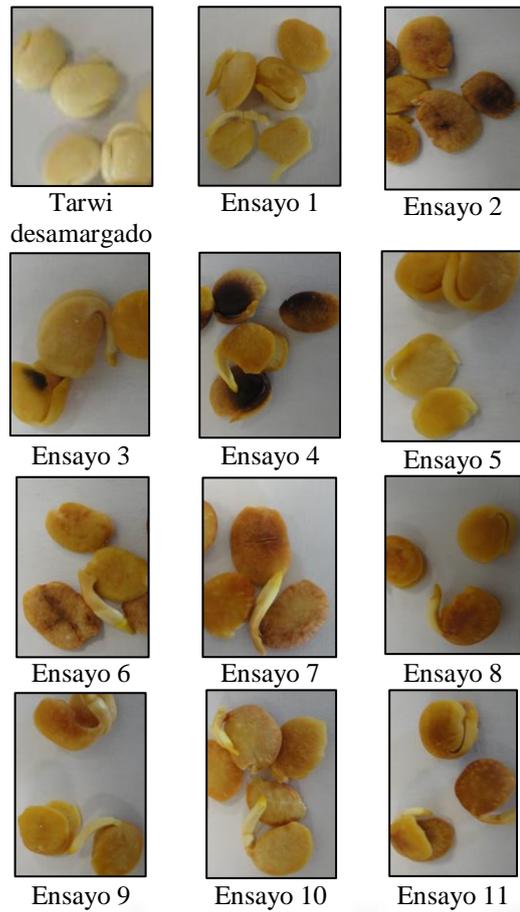


Figura 3. Colores de los tarwi secados con microondas y aire caliente durante 10 minutos

Según la tabla 2, cuando se seca el tarwi desamargado durante 5 minutos la humedad varía de 43,17 a 61,76 % lo que representa una humedad muy alta considerando que la humedad final requerida debe ser alrededor del 10%. Y cuando es secado durante 10 minutos la humedad varía de 7,38 a 38,42%. También se puede observar que la variación del color para un tiempo de secado de 5 minutos es mucho menor que cuando es secado por 10 minutos; pero se debe asegurar una humedad baja para garantizar la conservación del producto por más tiempo.

En las tablas 3 y 4 se muestra los coeficientes de regresión para las variables respuesta.

Se observa que para la humedad final no existe efecto significativo ($p > 0,05$) ni de la potencia ni de la temperatura en el modelo para un tiempo de 5 minutos mientras que para un tiempo de secado de 10 minutos es todo lo contrario. En el caso de la variación del color la potencia (lineal) y la interacción de ésta con la temperatura no existe efecto significativo ($p > 0,05$) para el secado en 10 minutos; para 5 minutos ninguna variable es significativa.

Tabla 3. Coeficientes de regresión para la humedad final del tarwi secado con microondas y aire caliente durante 5 y 10 minutos

	Secado en 5 minutos		Secado en 10 minutos	
	Coefic. Regres.	Valor-p	Coefic. Regres.	Valor-p
Mean/Interc.	95,51801	0,000444	206,38	0,009396
(1)Potencia (P) (lineal)	-0,02302	0,080123	-0,1642	0,015229
Potencia (P) (cuadrática)	0,00000	0,383269	0,0001	0,014060
(2)Temperatura (T)(lineal)	-0,75302	0,067746	-3,8392	0,040560
Temperatura(T)(cuadrática)	0,00504	0,091722	0,0261	0,054928
(1)lineal by (2) lineal	-0,00014	0,356020	0,0003	0,596549

De acuerdo a las Tablas 2, 3 y 4, el tiempo de secado por 5 minutos no es el adecuado por lo que se analizó los resultados del secado por 10 minutos.

En la tabla 5 se muestra el análisis de varianza para la humedad final del tarwi sometido al secado con microondas y aire caliente durante 10 minutos en donde la potencia del microondas y la temperatura del aire caliente (lineal) son significativas.

Tabla 4. Coeficientes de regresión para la variación del color del tarwi secado con microondas y aire caliente durante 5 y 10 minutos

	Secado en 5 minutos		Secado en 10 minutos	
	Coefic. Regres.	Valor-p	Coefic. Regres.	Valor-p
Mean/Interc.	39,08229	0,303066	97,82532	0,012563
(1)Potencia (P)(lineal)	-0,02243	0,497171	-0,03888	0,153817
Potencia (P)(cuadrática)	0,00002	0,360233	0,00006	0,004094
(2)Temperatura (T)(lineal)	-0,30045	0,763448	-1,92703	0,042761
Temperatura (T)(cuadrática)	0,00120	0,871868	0,01475	0,039521
(1) lineal by (2) lineal	0,00038	0,382595	0,00013	0,688526

Tabla 5. Análisis de varianza para la humedad final del tarwi secado con microondas y aire caliente durante 10 minutos

	SS	df	MS	F	p
(1)Potencia, (P) (lineal)	1120,563	1	1120,563	140,5552	0,000075
Potencia, (P) (cuadrática)	108,897	1	108,897	13,6592	0,014060
(2)Temperatura, (T) (lineal)	68,668	1	68,668	8,6132	0,032451
Temperatura, (T) (cuadrática)	49,567	1	49,567	6,2173	0,054928
1(lineal) by 2 (lineal)	2,544	1	2,544	0,3191	0,596549
Error	39,862	5	7,972		
Total SS	1356,957	10			

Así mismo, según el coeficiente de determinación ($R^2=97,062\%$) y coeficiente de determinación ajustado ($R^2_{aj}=94,125\%$) nos permite construir la superficie de respuesta y definir las regiones de interés (Figura 4).

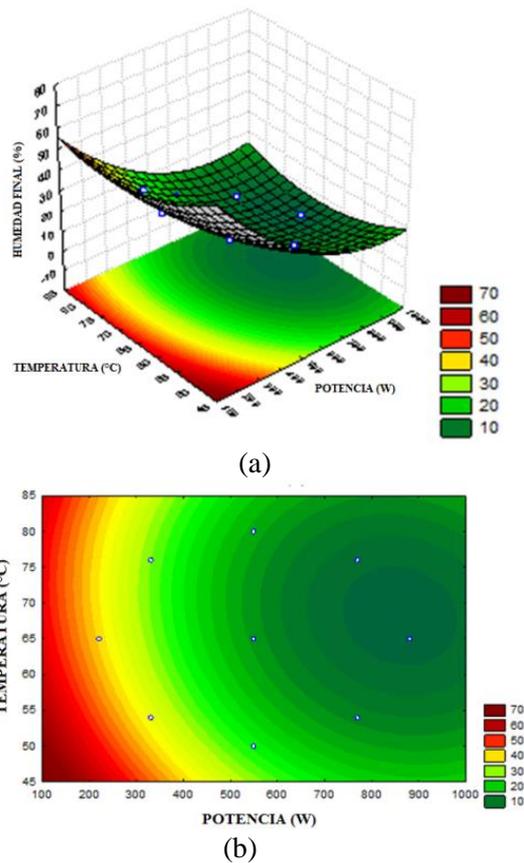


Figura 4. Superficie de respuesta (a) y curvas de contorno (b) para la humedad final del tarwi sometido al secado con microondas y aire caliente durante 10 minutos.

El modelo matemático es el siguiente:

$$\text{Humedad} = 206.3849 - 0.1642 * P + 0.0001 * P^2 - 3.8392 * T + 0.0261 * T^2 - 0.0003 * P * T$$

En la tabla 6 se muestra el análisis de varianza para la variación de color del tarwi en donde la potencia (cuadrática) y la interacción de la temperatura con la potencia son significativos ($p < 0,05$).

Tabla 6. Análisis de varianza para la variación de color del tarwi secado con microondas y aire caliente durante 10 minutos

	SS	df	MS	F	p
(1)Potencia, (W) (lineal)	418,7265	1	418,7265	201,7876	0,000031
Potencia, (W) (cuadrática)	51,9417	1	51,9417	25,0311	0,004094
(2)Temperatura, (°C) (lineal)	3,3332	1	3,3332	1,6063	0,260833
Temperatura, (°C) (cuadrática)	15,8837	1	15,8837	7,6545	0,039521
(1) lineal by (2) lineal	0,3748	1	0,3748	0,1806	0,688526
Error	10,3754	5	2,0751		
Total SS	488,2793	10			

Asimismo, con los coeficientes altos de determinación ($R^2 = 97,875\%$) y el ajustado ($R_{aj}^2 = 95,75\%$) es posible construir la superficie de respuesta (Figura 5).

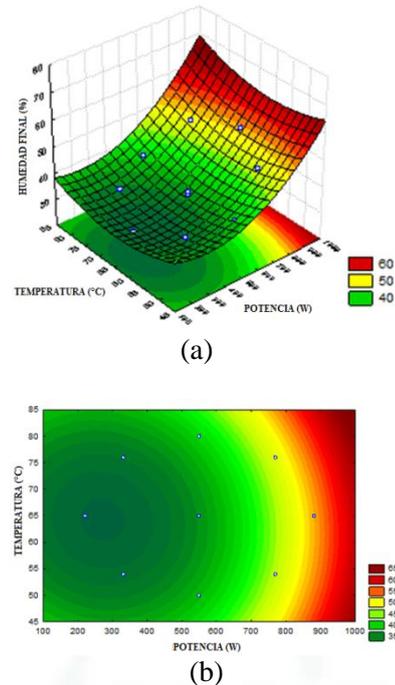


Figura 5. Superficie de respuesta (a) y curvas de contorno (b) para la variación del color del tarwi sometido al secado con microondas y aire caliente durante 10 minutos

De acuerdo a la tablas 6 y 8 se puede elaborar un modelo matemático de segundo orden considerando todos los factores significativos para la variación del color del tarwi cuyo coeficiente de determinación (R^2) es de 97,875%.

$$\Delta \text{Color} = 97,8253 - 0,03888 * P + 0,00006 * P^2 - 1,92703 * T + 0,01475 * T^2 + 0,00013 * P * T$$

De la figura 5, se verifica que cuando los valores de la potencia del microondas oscilan entre 850 y 1000 W y temperatura del aire caliente entre 55 y 85°C; la humedad final del tarwi alcanza valores cerca de 10% y una variación del color alrededor de 32 en 10 minutos de secado. Es decir, se necesita potencias altas del microondas y también temperaturas altas del aire caliente para

alcanzar valores bajos de humedad final del tarwi.

No existen trabajos de investigación sobre el secado del tarwi por lo que podemos comparar con el secado en lecho fluidizados y lechos fijos de los granos de café realizado por varios investigadores (Istadi y Sitompul, 2002; Sitompul *et al.*, 2003; Herman *et al.*, 2005; Parra *et al.*, 2008; Ciro *et al.*, 2011) donde el grano con una humedad inicial de 55 a 60% es secado hasta una humedad final entre 10 y 12% b.h. durante un tiempo de 18 a 20 horas utilizando temperatura del aire caliente de 50°C. Si comparamos con el tiempo de secado del tarwi en este trabajo de investigación no es conveniente ni pertinente; pero sí nos da una idea de la gran disminución del tiempo de secado que fue de 5 minutos para bajar la humedad de 36,36% a 10%.

De la figura 8 se puede determinar los valores óptimos de las variables, y consecuentemente de las respuestas para tener una humedad final del tarwi del 10% y una variación del color de 32 que son una potencia del microondas que varía de 700 a 900 W y una temperatura del aire caliente que varía de 50 a 60°C.

4. Conclusiones

Para el estudio del secado del tarwi desamargado (*Lupinus mutabilis*) por combinación de microondas y aire caliente se ha determinado que los valores óptimos fueron una potencia del microondas de 700 a 900 W y una temperatura del aire caliente de 50 a 60°C para obtener una humedad final de 10% y una variación del color de 32 durante 10 minutos.

5. Referencias bibliográficas

- Castañeda, A. 1988. " Estudio Comparativo de 10 variedades de Tarwi" (*Lupinus mutabilis Sweet*) conducidos en dos ambientes de la Sierra, Norte y Centro del Perú. Tesis Ing. Agrónomo. UNALM. Lima-Perú.
- Ciro, h., Cortes, m., López, J. 2011. Intermittent Coffee Drying in Deep Bed with Pulsed Airflow. Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín, Medellín, v. 64, n. 2.
- Dávila, J. 1987. Lupino como alimento humano: Proteína y aceite. Evento de información y difusión de resultados de investigación sobre chocho y capacitación en nuevas técnicas de laboratorio. ED. CONACYT/EPN/IIT. Ambato. pp. 1 – 5, 20
- Della, P. 2010. Secado de alimentos por métodos combinados: Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente. Tesis de Maestría en Tecnología de los Alimentos. Facultad Regional Buenos Aires. Argentina.
- Dini, I.; Schettino, O.; y Dini, A. 1998. Studies on the constituents of *Lupinus mutabilis* (Fabaceae): Isolation and characterization of two new isoflavonoid derivatives. J. Agric. Food Chem. 46 p. 5089 - 5092.
- Gaviola, S. y Gaviola, V. M. 2008. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y el color de cultivares de ajo (*Alliumsativum*) colorado. Cien. Inv. Agr. 35(1) p. 67 - 75.
- Herman, E., Salgado, M., García, M. 2005. Mathematical simulation of convection food batch drying with assumptions of plug flow and complete mixing of air. Journal of Food Engineering 68(3): 321-327.
- Istadi, I., Sitompul, J. 2002. A comprehensive mathematical and numerical modeling of deep-bed grain drying. Drying Technology 20(6): 1123-1142.
- Jacobsen, S.E. y Mujica, A. 2006. Geographical distribution of the Andean lupin (*Lupinus mutabilis Sweet*). pp. 931-932 En: Jacobsen, S.-E., C.R. Jensen & J.R. Porter (eds.). Book of Proceedings. VIII ESA Congress: European Agriculture in a Global Context. KVL, 11-15. July 2004, Copenhagen.
- Lara, A. 2003. Estudio de Alternativas tecnológicas para el desamargado de chocho (*Lupinus mutabilis Sweet*). Tesis de Doctorado en Química., Riobamba., Escuela Superior Politécnica de Chimborazo., Facultad de Ciencias Químicas., pp 35-36.
- Maskan, M. 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. Journal of Food Science, v. 48, p. 177-182.
- Ortega, D., Rodríguez, A., Zamora-Burbano, A. 2009. Caracterización de semillas de lupino (*Lupinus mutabilis*) sembrado en los Andes de Colombia. Universidad del Valle. Cali-Colombia.
- Parra, C., Roa, M., Oliveros, T. 2008. SECAFÉ Parte I: Modelamiento y simulación

- matemática en el secado mecánico de café pergamino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 12(4): 415-427.
- Sánchez, M. 2011. Biodisponibilidad del zinc en el tarwi (*Lupinus mutabilis*). Facultad de Medicina de UNMSM -E.P.G.
- Sitompul, J., Istadi, I., Sumardiono, S. 2003. Modeling and simulation of momentum, heat, and mass transfer in a deep-bed grain dryer. *Drying Technology* 21(2): 217-229.
- Schiffmann, R. 1987. Microwave and dielectric drying. IN: MUJUNDAR, A. S. *Handbook of industrial drying*. New York: Marcel Dekker. p 327-356.

