



Secado del tarwi (*Lupinus mutabilis*) por métodos combinados: deshidratación osmótica y microondas con aire caliente

Drying of lupine (*Lupinus mutabilis*) by combined methods: osmotic
dehydration with hot air and microwave

Viviano Paulino Ninaquispe Zare*

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n. Ciudad.
Universitaria, Trujillo Perú.

Recibido Octubre 2013. Aceptado 10 Noviembre 2013

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue optimizar el secado del tarwi (*Lupinus mutabilis*) deshidratando osmóticamente y microondas con aire caliente. El tarwi desamargado fue deshidratado osmóticamente utilizando un diseño factorial de 2x2x2 (30% y 40% de azúcar, 5% y 10% de sal, y 30°C y 40°C). Se determinó el mejor tratamiento (40% de azúcar, 5% de sal y 40°C) mediante una evaluación sensorial con 20 panelistas entrenados. En esta primera etapa se logró reducir la humedad de 68.63% a 36.36%. Con el mejor tratamiento se procedió a optimizar el secado con microondas y aire caliente utilizando un Diseño Compuesto Central Rotable variando la potencia del microondas de 220 a 880 W y la temperatura del aire caliente de 50 a 80°C. Los datos obtenidos fueron analizados con Statistica 7.0. Se concluyó que una potencia de microondas entre 700 y 900 W y una temperatura del aire caliente entre 50 y 60°C, durante 5 minutos, permite obtener una humedad final de 10% y una variación del color de 32.

Palabras clave: lupino, deshidratación osmótica, secado, tarwi.

ABSTRACT

The objective of this work was to optimize the drying of lupine (*Lupinus mutabilis*) osmotically dehydrated and microwave with hot air. Debittered tarwi was osmotically dehydrated using a 2x2x2 factorial design (30% and 40% sugar, 5% and 10% salt, and 30 °C and 40 °C). The best treatment (40% sugar, 5% salt, 40 ° C) by a sensory evaluation with 20 trained panelists was determined. In this first stage was reduced moisture 68.63% to 36.36%. With the best treatment we proceeded to optimize the microwave drying and hot air using a Composite Rotatable Design Central varying the microwave power of 220 to 880 W and hot air temperature of 50 to 80 ° C. The data obtained were analyzed with Statistica 7.0. It was concluded that microwave power between 700 and 900 W and a hot air temperature between 50 and 60 ° C for 5 minutes, allows to obtain a final moisture of 10% and a color variation of 32.

Key words: lupine, osmotic dehydration, drying, lupine.

*Autor para correspondencia.

Email: vninaquispe@unitru.edu.pe (V. Ninaquispe)

1. Introducción

Según Gross (1982) el lupino andino (*Lupinus mutabilis*) es una planta leguminosa reconocida como una de las más ricas en nutrientes. Se caracteriza por tener elevado contenido de proteína y ácidos grasos que la constituyen en una excelente alternativa para la nutrición humana y animal. Se destaca por 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.

Entre las fuentes vegetales, las semillas de leguminosas son una de las más ricas fuentes de proteína (20 – 40% de las semillas secas) y han sido consumidas por el hombre desde tiempos inmemoriales. El *Lupinus mutabilis*, importante por su contenido de proteína y aceite, se coloca en un plano muy competitivo con la soya (Dávila, 1987).

Las proteínas y el aceite de estas semillas constituyen más de la mitad de su peso; así, un estudio hecho en 300 diferentes genotipos de semillas muestra 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%. La fracción fibrosa de la semilla está contenida principalmente en el tegumento, representando el 11,03 % de la semilla y tiene un alto contenido de fibra y carbohidratos, es especialmente rico en celulosa y hemicelulosa, por lo que es una alternativa para la alimentación de bovinos.

El grano de tarwi crudo es amargo (alto contenido de esparteína, lupinina y otros), por lo tanto es inconsumible; por ello para consumir los granos de tarwi el primer paso es el desamargado (deslupinación). La forma más común es el desamargado manual que consiste en limpiar el grano de impurezas, seleccionar el grano por tamaño, remojar el grano durante un día en agua, cocer el grano en agua durante una hora, colocar en un recipiente apropiado y poner en agua corriente durante 4-5 días hasta que se elimine el sabor amargo. El tarwi llega a tener 68% de humedad aproximadamente durante este proceso (Rastogi *et al.*, 2002).

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. Mientras más sea el tiempo de secado de un alimento mayor será la pérdida de sus propiedades nutritivas.

Una forma particular de secar los alimentos es la deshidratación osmótica, que permite eliminar parcialmente el agua de los tejidos de los alimentos por inmersión en una solución hipertónica, sin dañar el alimento y afectar desfavorablemente su calidad (Rastogi *et al.*, 2002).

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).

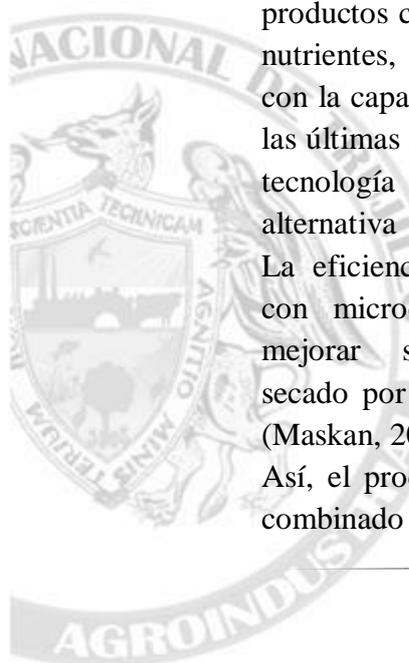
Las investigaciones llevadas a cabo para el secado de diferentes productos, demuestran que la aplicación de largos tiempos de proceso y temperaturas elevadas conduce a una degradación sustancial de la calidad de los productos como: el sabor, el color, los nutrientes, arrugamiento, e interferir con la 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).

Asimismo, Berteli (2005) realizó una investigación sobre el secado de sólidos granulados al vacío asistido con microondas y la aplicación de microondas en un lecho fluidizado, instalado en el interior del horno microondas adaptado, permitiendo trabajar con o sin microondas. El proceso de secado al vacío y de microondas, en comparación con los secadores de bandejas con y sin aplicación de las microondas, mostró los tiempos de secado más bajas. También, Pereira, (2007) concluye que el aumento de la potencia de las microondas aplicada provocó una aceleración en la cinética de secado tanto en el período inicial como en el final. La temperatura del aire presentó una influencia secundaria en el secado cuando fueron incorporados los microondas al proceso. La deshidratación osmótica presentó poca influencia en la cinética del secado, redujo los tiempos de secado por la disminución de la humedad inicial, pero presentó ventajas en relación a la calidad del producto en términos de apariencia visual y arrugamiento de las bananas.

Con esta información, el objetivo de este trabajo de investigación fue optimizar el secado del tarwi (*Lupinus mutabilis*) deshidratando osmóticamente y microondas con 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. La humedad del tarwi se determinó en una estufa MEMMERT Modelo BE. Para la deshidratación osmótica del tarwi se prepararon soluciones de sacarosa (30 y 40% m/m) y sal (5 y 10% m/m), y se utilizaron dos temperaturas (30 y 40 °C) con un diseño 2x2x2. Se determinó la pérdida de agua a intervalos de 5 min para las dos primeras mediciones y luego 10 minutos hasta 90 minutos para las mediciones posteriores con los que se elaboraron curvas de secado. Las experiencias se llevaron a cabo por triplicado. Finalmente se determinó el mejor tratamiento evaluando el sabor en una escala no estructurada donde se utilizó líneas de 10 centímetros. Este método de análisis sensorial está incluido en el análisis descriptivo cuantitativo donde mide todas las características sensoriales de un producto. Después de haber realizado el análisis de varianza a los datos, se realizó la prueba de Tuckey.

Luego, el tarwi deshidratado osmóticamente 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 el

Diseño Compuesto Central Rotacional (DCCR) del tipo 22+2*2+3 siendo 11 ensayos en total. Las variables independientes fueron la potencia del microondas (220 a 880 W) y la temperatura del aire caliente (50 a 80 °C). Las variables dependientes fueron la humedad final y la variación del color medido en un Colorímetro KONIKA MINOLTA CR400. El tiempo de secado fue de 5 minutos.

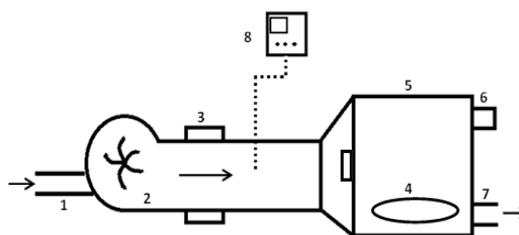


Fig. 1. Equipo de secado por combinación de microondas y aire caliente: (1) ingreso de aire; (2) ventilador centrífugo; (3) calentador eléctrico; (4) bandeja circular; (5) horno microonda; (6) medidor de temperatura; (7) extracción del aire; (8) medidor de flujo de aire y temperatura; (9) medidor de potencia.

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

3.1 Deshidratación osmótica del tarwi

Para analizar cómo influye en la deshidratación osmótica la temperatura y la solución osmótica, se varió la misma en 30 y 40°C; y 30 y 40% de azúcar con 5 y 10% de sal; respectivamente; la relación masa de solución a masa de tarwi, R, fue 4. En la figura 2 se muestran los resultados obtenidos en los experimentos.

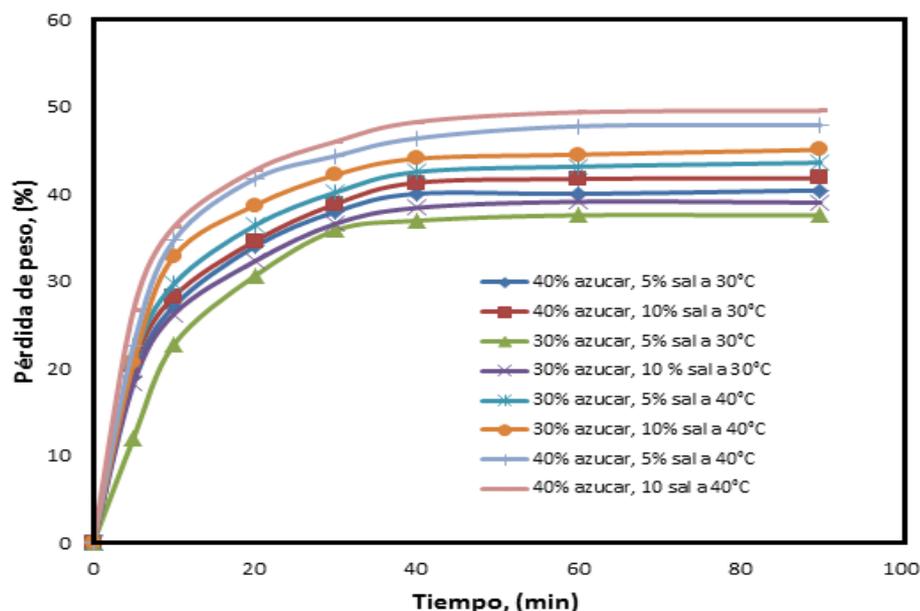


Fig. 2. Promedio (± 0.95 *Desviación estándar) de la pérdida de peso en función del tiempo de todos los tratamientos con diferentes proporciones de azúcar y sal, y a 30 °C y 40°C.

En la deshidratación osmótica del tarwi, las temperaturas altas (superiores a 50°C) pueden producir cambios en la permeabilidad de la pared celular, ocasionando modificaciones en su selectividad respecto a los solutos de la solución. Un incremento en la temperatura favorece la difusión ya que el coeficiente de difusión para una concentración de la solución osmótica constante tiene una dependencia con la temperatura del tipo de Arrhenius (Rastogi y Raghavarao, 2004). Esto se confirma en la Figura 2 en donde se aprecia cómo la pérdida de agua es superior a una temperatura de 40°C. En las experiencias se modificó la temperatura en 10 °C y la pérdida de peso se modificó en aproximadamente un 7,49% comparando el 10% de sal a 40°C y 5% de sal a 30°C con una concentración constante de 40% de azúcar.

Asimismo, se aprecia cómo la pérdida de agua es mayor a una temperatura de 40°C. Utilizando 10% de sal a 30°C y 40°C, con una concentración de 30% de azúcar, la pérdida de peso se modificó en aproximadamente un 5,95%. La diferencia es mucho mayor cuando comparamos el 10% de sal a 30°C y 5% de sal a 40°C con una concentración constante de 30% de azúcar; la pérdida de peso es de 13,12% aproximadamente.

Si analizamos el efecto sinérgico de los dos solutos: sacarosa y sal en la pérdida de agua del producto, se observa que cuando se incrementa la concentración de los solutos en la solución, se produce una mayor deshidratación del producto, ya que la actividad de agua de la solución acuosa disminuye y la fuerza impulsora para la deshidratación es mayor. Además, según algunos investigadores (Teles *et al.*, 2006;

Ferrari y Hubinger, 2010) cuando se trabaja con concentraciones de sacarosa muy elevadas, superiores a 50 % m/m, el exceso de sacarosa forma una costra superficial sobre el producto y podría actuar como barrera no sólo para la transferencia de sólidos sino también para la difusión del agua. También, se puede apreciar que la velocidad de deshidratación osmótica, la pendiente de pérdida de peso en función del tiempo, aumenta con el incremento en la concentración de sacarosa. Se puede observar que la mayor pérdida de peso se produce aproximadamente durante la primera hora de deshidratación osmótica para todas las concentraciones de sacarosa ensayadas. La pérdida de agua es mayor que la ganancia de sólidos (Conway *et al.*, 1983). Este fenómeno está relacionado con la diferencia de tamaño molecular y la selectividad de la membrana o pared celular que permite pasar a algunas moléculas y a otras no.

Si se compara la pérdida de agua para las dos concentraciones de sacarosa en la solución deshidratante (30 % m/m y 40 % m/m) se puede inferir que a altas concentraciones de sacarosa se

alcanzan pérdidas considerables de agua junto con una ganancia de solutos baja (Conway *et al.*, 1983; Hawkes y Flink, 1978; Islam y Flink, 1982).

En contraste, a bajas concentraciones de sacarosa en la solución deshidratante la pérdida de peso y de agua resultante es menor y se favorece la ganancia de sólidos. Con la deshidratación osmótica el tarwi disminuyó su humedad de 68,63 a 36,36%.

3.1.1 Deshidratación osmótica del tarwi

Terminada el tiempo de deshidratación osmótica de 90 minutos, las muestras fueron sometidas a evaluación de sabor en una escala no estructurada, cuyos resultados se muestran en la tabla 1. Se realizó un análisis de varianza donde resultó que los tratamientos son altamente significativos. Para determinar el mejor tratamiento se realizó la prueba de Tuckey, resultando que el tratamiento con 40% de azúcar, 5% de sal y una temperatura de 40°C con una humedad final de 36.36% fue el mejor.

Tabla 1. Resultados de la evaluación del sabor del tarwi deshidratado osmóticamente sometido a diferentes tratamientos.

Repetición	Tratamiento a 40°C				Tratamiento a 30°C			
	40% azúcar y 10% sal	40% azúcar y 5% sal	30% azúcar y 10% sal	30% azúcar y 5% sal	40% azúcar y 10% sal	40% azúcar y 5% sal	30% azúcar y 10% sal	30% azúcar y 5% sal
1	4,6	8,3	3,9	6,9	5,5	7,1	3,5	7,5
2	4,8	8,5	3,1	6,3	5,8	7,0	3,2	8,1
3	4,2	8,7	3,5	6,7	5,3	7,3	3,5	7,6
4	4,3	8,9	3,2	6,8	5,4	6,9	3,1	7,4
5	4,8	8,2	3,6	6,1	5,7	6,8	3,2	7,5
6	4,6	8	3,8	6,3	5,2	7,2	3,6	7,2
7	4,5	8,2	3,5	6,7	5,1	7,3	3,4	7,1

8	4,3	8,5	3,4	6,6	5,8	7,3	3,2	7,8
9	4,5	8,4	3,5	6,8	5,4	7,2	3,5	7,5
10	4,2	8,6	3,2	6,9	5,6	6,8	3,4	7,3
11	4,7	8,2	3,1	6,4	5,7	6,9	3,1	7,6
12	4,1	8,3	3,5	6,8	5,8	7,1	3,2	7,8
13	4,0	8,9	3,1	6,3	5,1	7,3	3,3	7,6
14	4,2	8,2	3,2	6,2	5,2	6,9	3,4	7,5
15	4,3	8,4	3,4	6,7	5,3	7,2	3,2	7,4
16	4,5	8,7	3,2	6,4	5,4	7,3	3,3	7,5
17	4,7	8,2	3,1	6,8	5,6	6,7	3,2	7,8
18	4,8	8,6	3,2	6,5	5,7	6,9	3,5	7,6
19	4,3	8,1	3,4	6,3	5,2	6,8	3,1	7,6
20	4,6	8,6	3,2	6,4	5,1	6,7	3,0	7,5
Promedio	4,5	8,4	3,4	6,5	5,4	7,0	3,3	7,5

3.2 Secado del tarwi por combinación de microondas y aire caliente

Tarwi deshidratado osmóticamente fue secado utilizando microondas y aire

caliente, durante cinco. Los resultados se ingresaron al programa Statistica 7.0 (Tabla 2).

Tabla 2. Humedad final y variación del color del tarwi con deshidratación osmótica luego del secado con microondas y aire caliente.

Ensayo	Potencia del microondas (W)		Temperatura del aire caliente (°C)		Humedad final (%)	Variación de color
	Real	Codificado	Real	Codificado		
1	330	-1	54	-1	14,76 ± 0,22	24,7372 ± 2,45
2	770	1	54	-1	11,98 ± 0,16	32,3143 ± 3,24
3	330	-1	76	1	14,57 ± 0,19	21,0732 ± 1,45
4	770	1	76	1	10,45 ± 0,12	54,4568 ± 4,92
5	220	-1.41	65	0	16,33 ± 0,24	22,1567 ± 0,96
6	880	1.41	65	0	9,57 ± 0,06	51,2069 ± 0,94
7	550	0	50	-1.41	14,00 ± 0,14	22,5554 ± 0,83
8	550	0	80	1.41	12,52 ± 0,15	28,4384 ± 2,81
9	550	0	65	0	13,00 ± 0,13	28,3737 ± 0,78
10	550	0	65	0	13,22 ± 0,11	29,4538 ± 2,60
11	550	0	65	0	13,33 ± 0,14	31,0652 ± 3,05

Asimismo en la figura 3 se muestra los colores finales de los tarwi correspondientes a los 11 ensayos.

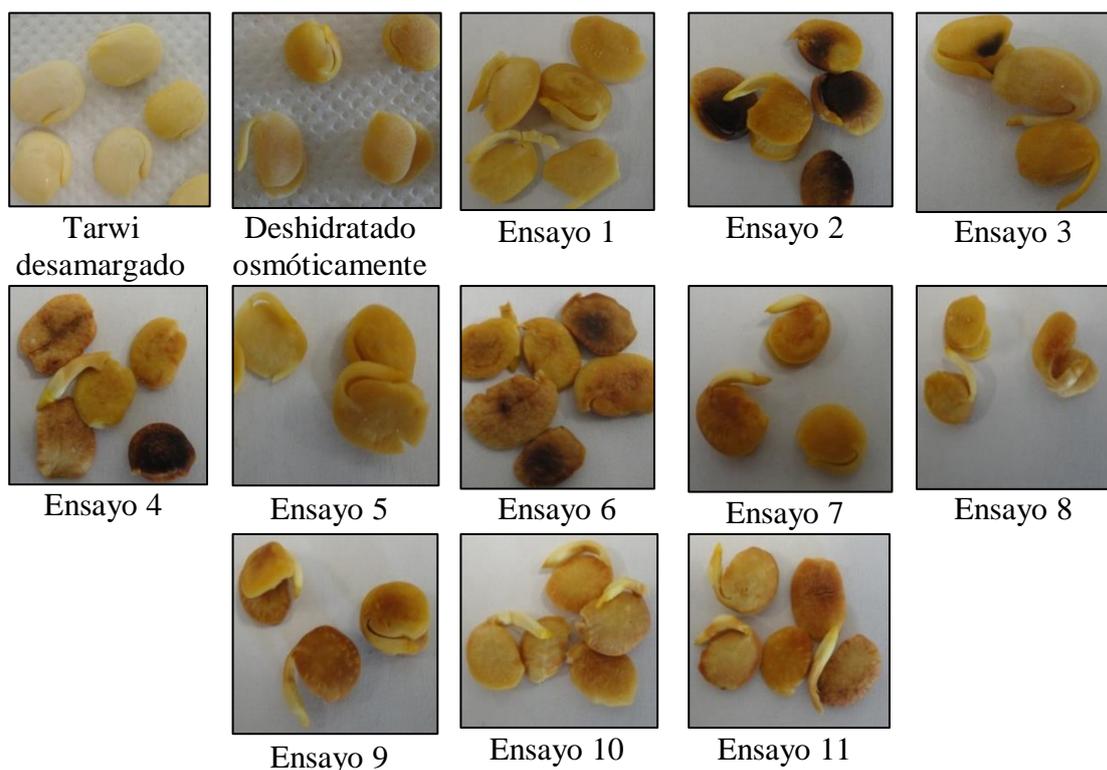


Fig. 3. Muestras de tarwi sometidos a las condiciones de la tabla 1 durante 5 y 10 minutos de secado con microondas y aire caliente.

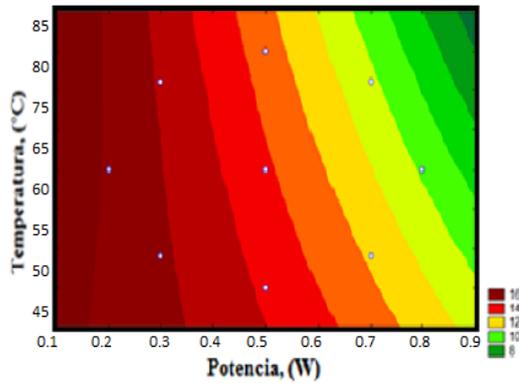
Según la tabla 1 el tarwi que fue previamente deshidratado osmóticamente, la humedad final para los 11 tratamientos varió entre 9,57% y 16,33%, obteniéndose una mayor humedad para el tratamiento 5 cuya potencia del microondas fue la más baja (220 W) y el tratamiento que tuvo menor humedad fue el 6 donde la potencia del microondas fue la mayor (880 W) quedando claramente establecido que la humedad final del tarwi está en relación directa con la potencia del microondas. Según el análisis de varianza sólo la potencia del microondas (lineal, $p = 0,000022$) y temperatura del aire caliente (lineal, $p = 0,017259$) son significativos ($p < 0,05$), los demás no tienen efecto significativo. Así mismo, según el coeficiente de determinación ($R^2 = 98,02\%$) y

coeficiente de determinación ajustado ($R_{aj}^2 = 96,04\%$) nos permite definir las regiones de interés (Figura 4a).

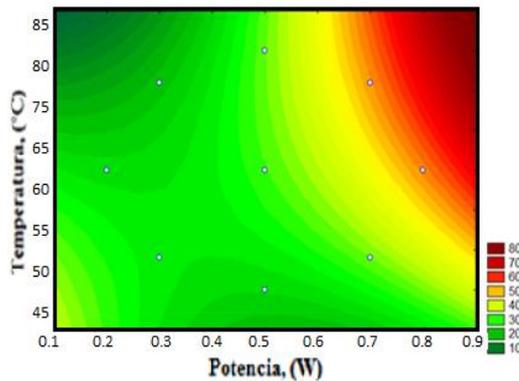
En cuanto a la variación del color, según el análisis de varianza solo la temperatura (cuadrática) no es significativo ($p < 0,05$). También los coeficientes son altos de determinación ($R^2 = 97,64\%$) y el ajustado ($R_{aj}^2 = 95,28\%$) por lo que podemos definir las regiones de interés (Figura 4b).

El análisis de la curva de contorno permite definir las condiciones más adecuadas que minimizan la humedad final del tarwi. Así, de la figura 4a, 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 5 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.



(a)



(b)

Fig. 4. Curvas de contorno para la humedad final (a) y variación del color (b) del tarwi deshidratado

De la figura 4b se puede determinar los mismos valores óptimos de las variables cuya potencia del microondas varía de 700 a 900 W y temperatura del aire caliente de 50 a 60°C.

Finalmente, 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%.

4. CONCLUSIONES

Para el estudio del efecto de la deshidratación osmótica del tarwi (*Lupinus mutabilis*) en el secado utilizando microondas y aire caliente, se ha comparado los tiempos de secado; y se ha determinado que:

- El mejor tratamiento según los panelistas en la deshidratación osmótica del tarwi (*Lupinus mutabilis*) desamargado fue de 40% de azúcar, 5% de sal y una temperatura de 40°C logrando bajar la humedad de 68.63% a 36.36%.
- Cuando el tarwi desamargado (*Lupinus mutabilis*) fue sometido previamente a una deshidratación osmótica, 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 cuando se secó con microondas y aire caliente durante 5 minutos.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Berteli, M. 2005. Estudio Comparativo de Processos de Secagem de Sólidos Granulados com e Sem Assistência de Microondas. Tese de doutorado da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, Brasil.
- 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.
- Conway, J.; Castaigne, G.; Picard, G.; Vovan, X. 1983. Mass transfer considerations in the osmotic dehydration of apples. Canadian Institute Food Science and Technology Journal. 16 (1): 25-29.
- 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.
- Ferrari, C.; Hubinger, M. 2010. Cinética de transferência de massa de melão desidratado osmoticamente em soluções de sacarose e maltose. Ciênc. Tecnol. Aliment.
- Gross, R. 1982. El cultivo y la utilización del Tarwi. Estudio FAO. Producción y Protección Vegetal, N° 36, p. 36-48.
- Hawkes, J.; Flink, J. 1978. Osmotic concentration of fruits slices prior to freeze dehydration. J. Food Proc. Preserv. 2, 265-284.
- 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.
- Islam, M.; Flink, J. 1982. Dehydration of potato II. Osmotic concentration and its effect on air drying behaviour. Journal of Food Technology, 17, 387-403.
- Istadi, I.; Sitompul, J. 2002. A comprehensive mathematical and numerical modeling of deep-bed grain drying. Drying Technology 20(6): 1123-1142.
- 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.
- Pereira, N. 2007. Estudo da aplicação de microondas na secagem de bananas tratadas osmoticamente. Tese de doutorado da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, Brasil.
- Rastogi, N.; Raghavarao, K.; Niranjan, K.; Knorr, D. 2002. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. Trends in Food Science and Technology, 13, 48-59.
- 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.

Teles, U.; Fernández, F.; Rodríguez, S.; Lima, A.; Maia, G.; Figueiredo, R. 2006. Optimization of osmotic dehydration of melons followed by air-drying. Int. J. Food Sci. Tech., 41(6), 674-680.

