

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE COMPUESTOS FUNCIONALES EN
POLVOS DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica* Mill.), PROVENIENTES DE CLADODIOS
DE DISTINTO PESO**

PATRICIA ORIANA AGUILERA FELIÚ

SANTIAGO-CHILE

2012

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE COMPUESTOS FUNCIONALES EN
POLVOS DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica* Mill.), PROVENIENTES DE CLADODIOS
DE DISTINTO PESO**

**DETERMINATION OF FUNCTIONAL COMPOUNDS IN NOPAL POWDER ((*Opuntia
ficus-indica* Mill.), FROM DIFFERENT WEIGHT CLADODES.**

PATRICIA ORIANA AGUILERA FELIÚ

SANTIAGO-CHILE

2012

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE COMPUESTOS FUNCIONALES EN POLVOS
DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica* Mill.), PROVENIENTES DE CLADODIOS DE DISTINTO
PESO

Memoria para optar al Título Profesional
De Ingeniera Agrónoma
Mención: Agroindustria

PATRICIA ORIANA AGUILERA FELIÚ

PROFESORES GUÍA	Calificaciones
Sra. Carmen Sáenz H. Químico Farmacéutico, Dr.	6.2
Sr. Hugo Núñez K. Ingeniero Agrónomo, Mg Sc.	6.0
PROFESORES EVALUADORES	
Sr. Ítalo Chifelle G. Bioquímico, Dr.	6.5
Sr. Gabino Reginato M. Ingeniero Agrónomo Mg. Sc.	6.0
PROFESORA COLABORADORA	
Sra. Elena Sepúlveda E. Ingeniero Agrónomo.	

DEDICATORIA

Dedico cada minuto de trabajo en la planta piloto, en el laboratorio, en la biblioteca, en casa; cada trámite en las oficinas de la torre 15, en secretaría, en dirección de escuela, en notarías.

Dedico cada semestre de estudio, cada semestre congelado, cada trabajo que retrasó esta memoria.

Dedico cada satisfacción que me ha entregado mi carrera, cada inmensa felicidad de poder trabajar en el campo y de sentirme orgullosa de haber seguido mis principios y hacer un trabajo de calidad, que demuestre y enseñe con el ejemplo el perfeccionismo y la perseverancia que tanto me caracterizan.

Dedico mi futuro título y esta memoria a la personita que me hizo y me hace seguir siempre, a mi Nicolito. Con todo el amor de mi corazón, sigue tus sueños siempre, no aceptes no por respuesta, lucha con todo tu corazón.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi directora de tesis, por su paciencia y fuerza entregada durante toda la preparación y desarrollo de esta memoria.

Al personal de la planta piloto, con los que tuvimos que sortear tantos escollos en la preparación de la harina.

A los funcionarios del área de secretaría y dirección de escuela, que me dieron las directrices y facilidades para poder tramitar mi memoria, tan fuera de plazo.

A mi hermana, que en cada caída me levantó y me recordó el valor de la tenacidad y los sueños.

A mis amigos, es especial a unas, que estuvieron cada día conmigo en los momentos más difíciles.

CONTENIDO

Resumen.....	1
Summary.....	2
Introducción.....	3
Materiales y Métodos.....	5
Materia prima.....	5
Lugar de trabajo.....	5
Selección y tratamiento de material fresco.....	5
Preparación del polvo de nopal.....	5
Análisis realizados a los polvos de nopal.....	5
Granulometría.....	6
Rendimiento.....	6
Humedad.....	6
Actividad de agua.....	6
Acidez titulable.....	6
Fibra dietaria.....	6
Determinación de minerales (Ca, P y K).....	6
Preparación del extracto metanólico para los análisis de polifenoles Totales y actividad antioxidante.....	6
Determinación de polifenoles totales.....	7
Determinación de actividad antioxidante.....	7
Color.....	7
Propiedades tecnológicas de los polvos de nopal.....	7
Diseño experimental y análisis estadístico.....	8
Resultados y Discusión.....	9
Granulometría.....	9
Rendimiento.....	9
Humedad.....	10
Actividad de agua.....	10
Acidez titulable.....	10
Fibra dietaria.....	11
Determinación de minerales (Ca, P y K).....	12

Polifenoles totales.....	14
Actividad antioxidante.....	14
Color.....	15
Propiedades tecnológicas de los polvos de nopal.....	16
Conclusiones.....	17
Literatura citada.....	18

RESUMEN

Opuntia ficus indica, Mill. es una especie de tuna distribuida ampliamente en México y otras partes del mundo; sus tallos o cladodios son llamados “nopalitos”. Durante la poda, algunos tallos maduros son el material de desecho. Hay pocos reportes en la literatura sobre la utilización de cladodios para la preparación de harina o polvos de nopal y menos aún sobre el efecto de la edad o tamaño de los cladodios sobre las características y propiedades de los polvos. Los objetivos de este trabajo fueron determinar efecto del estado de madurez sobre el polvo de nopal para evaluar cuál el que ofrece mejores propiedades funcionales; determinar el contenido de fibra dietética total, soluble e insoluble y el contenido de polifenoles. Para la preparación de polvo de nopal, se utilizaron cladodios de distinto tamaño, que constituyeron cuatro tratamientos, T1: cladodios de 250 g, T2: 500 g, T3: 750 g y T4: 1000 g. Se determinó el rendimiento de los polvos, el contenido total de fenoles, la actividad antioxidante (EC50 y TEAC), el contenido de fibra dietaria total (FDT), soluble (FDS) e insoluble (FDI), la capacidad de retención de agua (CRA), la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la capacidad de absorción de moléculas orgánicas (CAMO), la capacidad de hinchamiento (CH), la capacidad de absorción de agua (CAA), el contenido de calcio (Ca), fósforo (P) y potasio (K), la acidez titulable, humedad, actividad de agua (A_w) y los parámetros de color (H, a^* , b^* , C^* y h°). El polvo de cladodios se elaboró según el método descrito por Sepúlveda *et al.* (1995). En los análisis realizados, los valores más altos los obtuvo el T1, excepto en el contenido de calcio. En relación a la proporción de FDI y FDS, la relación más recomendada para lograr beneficios en la salud es cercana a 2:1, lo que se consigue también en el T1. Se puede afirmar que los nopalitos jóvenes, de 250 g, presentan compuestos bioactivos en cantidades más elevadas y en una relación apropiada, para obtener polvos que tendrían un mayor efecto benéfico en la salud.

Palabras clave: compuestos bioactivos, fibra dietaria, antioxidantes, cladodios, polvos de nopal.

SUMMARY

Opuntia ficus indica, Mill. is a cactus largely distributed around Mexico and other countries. Their stems are called “nopalitos” or cladodes. During the pruning season, some cladodes are wasted. There are a few reports in literature about utilization of the cladodes for the preparation of nopal powder and even less about the effect of the cladodes age in the properties of the flours. The aim of this work was to determine the effect of maturity stage of cactus cladodes on cactus powder with the best functional properties and to determine the total, soluble and insoluble dietary fiber and polyphenol content. The cactus powder was prepared according to Sepúlveda et al. (1995) method. The different treatments according with the cladodes weight T1 (stems of 250 g), T2 (500 g), T3(750 g) and T4 (1000 g). The flour yield, total phenolics, antioxidant activity (EC50 y TEAC), total dietary fiber (TDF), soluble fiber (SDF), insoluble fiber (IDF), water retention capacity (WRC), ionic exchange capacity (IIC), fat adsorption capacity (FAC), swelling capacity (SC), water adsorption capacity (WAC), content of calcium (Ca), phosphorus (P) and potassium (K), tritatable acidity, humidity (H), water activity (Aw) and color values (H*, a*, b*, C* y h°) were determined. The results showed that the higher values were obtained in T1, but not in calcium content. In FDI:FDS ratio, the better relationship recommended for health benefits is close to 1:2 that was obtained in T1. With these results, young cladodes (250 g), show to have higher values of bioactive compounds and in an appropriated ratio with a higher potential to produce health benefits.

Key-words: bioactive compounds, dietary fiber, antioxidants, cladodes, cactus powder.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE COMPUESTOS FUNCIONALES EN POLVOS DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica* Mill.), PROVENIENTES DE CLADODIOS DE DISTINTO PESO

INTRODUCCIÓN

El nopal (*Opuntia* spp.) pertenece al grupo de plantas con metabolismo ácido crasuláceo (CAM) (Tovar *et al.*, 2006); es una planta originaria en México central, donde se utiliza como alimento tanto para el consumo de fruta, como de los cladodios jóvenes o nopalitos (Jaramillo-Flores *et al.*, 2003). El género *Opuntia* en el continente americano, se desarrolla con escaso manejo cultural y ha sido llamado “un tesoro bajo las espinas”, por su alto contenido de nutrientes que hasta ahora han sido poco aprovechados y estudiados (Sáenz, 2006).

Desde la década de los setenta, el interés en los nopales ha ido en aumento en México, en el sur de California, y también en Chile. La producción ha ido adquiriendo mayor relevancia en los últimos años (Stintzing y Carle, 2005). En Chile hay 1480,5 ha de tuna (ODEPA, 2009), principalmente para comercialización como fruta fresca, siendo el principal destino de la agroindustria la producción de cochinilla.

Desde el punto de vista de la industrialización, y para aumentar el potencial de esta especie, es necesario tener un mayor conocimiento de la composición química de las diferentes partes de la planta. Esto se vuelve indispensable si se quiere obtener productos funcionales, inocuos, atractivos, novedosos y de alta calidad, que es lo que se requiere en la dieta humana actual.

Los compuestos funcionales son aquellos que tienen efectos beneficiosos para la salud y los cladodios de la tuna son una fuente interesante de tales componentes, entre los que se destacan fibra dietética, vitaminas, carotenoides, compuestos fenólicos (Stintzing y Carle, 2005), (Rodríguez-García *et al.*, 2007) y minerales, como calcio, potasio y fósforo (Tovar *et al.*, 2006).

Desde hace algún tiempo se promueve el consumo de alimentos que, a través de un mayor valor nutritivo y funcional, mejoren la calidad de vida y ayuden a prevenir el desarrollo de enfermedades no transmisibles relacionadas, entre otros factores, con la dieta; tales como diabetes, enfermedades cardiovasculares, algunos tipos de cáncer, obesidad, etc. (Fontanot, 1999).

Estudios recientes señalan los usos de los cladodios de nopal en el área alimenticia y farmacéutica. El polvo de cladodio se utiliza en el control del exceso de peso, regulación del azúcar sanguínea y para aumentar la ingesta de fibra (Stintzing y Carle, 2005).

Lee *et al.* (2002), mencionan en un estudio del perfil farmacológico del extracto de cladodio liofilizado de *Opuntia ficus-indica* var. *Saboten*, señalándolo como responsable de reducir la actividad nociva de radicales superóxido e hidroxilo, atribuyéndole un eficiente poder antioxidante, debido a la presencia de carotenoides (α -cryptoxantina, β -caroteno y luteína). Stintzing y Carle (2005) mencionan las propiedades terapéuticas que se han estudiado en el nopal, entre ellas señalan que el extracto etanólico de los cladodios presenta un efecto analgésico similar al ácido acetilsalicílico; que la ingestión de cladodios reduce los niveles de glucosa en la sangre, exhibiendo un efecto hipoglicémico en pacientes no insulino dependientes; que reduce el colesterol total mediante la disminución de los niveles de lipoproteínas de baja densidad (LDL), que tiene un efecto diurético atribuible al alto nivel de potasio que presentan los

cladodios (548 mg/kg); además de propiedades antivirales contra virus como el virus del herpes e influenza tipo A y el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH), mediante la inhibición de la replicación de ADN y ARN viral.

Dentro de los componentes considerados funcionales en los cladodios de nopal, se encuentra la fibra dietética (Rodríguez-García *et al.*, 2007); la American Association of Cereal Chemist (AACC, 2001) la define como la parte comestible de las plantas o carbohidratos análogos, que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado humano, con una fermentación parcial o total en el intestino grueso. Forman parte de la fibra dietética los polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias vegetales asociadas, teniendo como principales fuentes de fibra dietética cereales, leguminosas, hortalizas y frutas; sin embargo, existen también otras fuentes de fibra dietética, entre las que se encuentra el polvo de nopal, como ha sido mencionado por autores como Sáenz (2006), Lecaros (1997), Padron-Pereira *et al.* (2009), Medina *et al.* (2006), Rodríguez-García *et al.* (2007), entre otros.

La fibra dietética promueve efectos fisiológicos benéficos, incluyendo disminución de la constipación, reducción del colesterol y la glucosa sanguíneas (AACC, 2001); prevención de algunos tipos de cáncer, diverticulosis y problemas al colon (Stintzing y Carle, 2005).

Numerosos autores señalan que existen diferencias en la composición química de los cladodios de distintas edades. Rodríguez-García *et al.* (2007) realizaron un análisis de 4 estados de madurez de cladodios, considerando cladodios de 60, 100, 150 y 200 g; encontrando diferencias en la composición química, considerando fibra soluble, fibra insoluble, contenido de calcio, fósforo y sodio, oxalato de calcio, relación calcio-fósforo, potasio, entre otras. Pimienta (1990) hace referencia a otro estudio que considera cladodios de 0,5; 1; 2; 3 y 4 años, en el que se observa que la fibra aumenta desde 8,0 a 17,5 g/100 g al progresar a madurez.

En relación al contenido de antioxidantes y a la capacidad antioxidante, no hay estudios sobre la variación de estas características en función de los estados de madurez de los cladodios, pero sí el efecto en la capacidad antioxidante al aplicar de diferentes tratamientos térmicos (Jaramillo-Flores *et al.*, 2003).

Uno de los procesos tecnológicos posibles de aplicar a los nopales es la deshidratación, método basado en la reducción de la actividad de agua (A_w). El producto resultante de la deshidratación y molienda de los cladodios es la harina o polvo de nopal, y podría ser una alternativa interesante para la industria de alimentos, pues puede ser incluida como ingrediente en variadas preparaciones, enriqueciendo nutricional y funcionalmente los alimentos (Rodríguez-García *et al.*, 2007).

Existiendo referencias que evidencian que la edad de los cladodios influye en la composición química de la harina o polvo de nopal, y que faltan estudios más exhaustivos sobre este tema, se plantea la presente investigación, que tiene como hipótesis que “El mayor grado de madurez de los cladodios de nopal aumenta el contenido de fibra dietética total, modifica las proporciones de fibra soluble e insoluble y el contenido de compuestos fenólicos”.

Los objetivos de este trabajo fueron determinar el estado de madurez que proporciona un polvo de nopal con mejores propiedades funcionales; determinar el contenido de fibra dietética total, soluble e insoluble y el contenido de polifenoles.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

El material vegetal utilizado corresponde a paletas de tuna (cladodios) de *Opuntia ficus-indica*, Mill. de 4 pesos distintos, que serán los tratamientos.

Lugar de trabajo

El material vegetal proviene de un huerto de tunas de la localidad de Noviciado perteneciente a la Ing. Agrónoma Sra. Elena Dagnino. El procedimiento se realizó en los laboratorios y Planta Piloto del Depto. de Agroindustria y Enología y cámaras de frío del Centro de Estudios de Postcosecha (CEPOC) de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

Selección y tratamiento del material fresco

El material de trabajo corresponde a cladodios colectados durante el mismo día, en el mes de septiembre, entre las 14 y 16 horas, período en el que las paletas presentan el nivel de acidez más bajo del día. El lugar de cosecha correspondió a una parcela ubicada en el sector de Noviciado, Región Metropolitana, Chile. Se definieron los tratamientos según el peso de las paletas: T1: 250 g, T2: 500 g, T3: 750 g y T4: 1000 g; se cosecharon 5 kg para cada tratamiento. Los cladodios se transportaron en cajas plásticas hasta una cámara frigorífica, donde se mantuvieron a 5° C hasta su procesamiento.

Preparación de los polvos de nopal

La preparación de los polvos de nopal se llevó a cabo según la metodología descrita por Sepúlveda *et al.* (1995). Las paletas se lavaron y escobillaron para eliminar suciedad y espinas, luego se cortaron en láminas de 0,5 cm de grosor con una laminadora marca Orion. Posteriormente las láminas se lavaron con agua clorada en una concentración de 200 mg L⁻¹, se drenaron por 12 horas y se secaron en un túnel de aire forzado a 40° C por 12-16 horas (túnel marca Tetlak). La molienda gruesa se realizó con un molino de martillo y la molienda fina con un molinillo de café. Con esto se logró una granulometría en que el 97% del polvo fue de un tamaño de grano menor a 425 μ .

Análisis realizados a los polvos de nopal

Los siguientes análisis se realizaron a cada tratamiento, por triplicado, en el laboratorio de Productos Vegetales del Departamento de Agroindustria y Enología de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, con excepción de la determinación de minerales que fue realizada en el Centro de Ensayos y Estudios Externos de Química de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Granulometría

Se determinó el tamaño de las partículas para cada muestra, según el método oficial de la AOAC (2007).

Rendimiento

Se determinó respecto al peso fresco de paletas utilizadas en cada tratamiento.

Humedad

Se determinó según el procedimiento descrito por la AOAC (2007).

Actividad de agua

Se determinó la actividad de agua de cada muestra en un equipo Aw-Wert messer, marca Luft, modelo 5803.

Acidez titulable

Se realizó según la metodología descrita por AOAC (2007). La preparación de la dispersión se realizó utilizando 2 g de polvo de nopal en 100 mL de agua destilada. La acidez se expresó como g de ácido málico en 100 mL de dispersión.

Fibra dietaria

Se determinó según el método enzimático-gravimétrico MES-TRIS Buffer (Lee *et al.*, 1992), efectuando una modificación al tamaño de la muestra (0.2 g) debido a su alta capacidad hidrofílica, lo que dificultaba el análisis. Las enzimas utilizadas fueron marca Megazyme (100 μ L de α amilasa, 100 μ L de proteasa y 100 μ L de amiloglucosidasa); del residuo obtenido en la digestión se obtuvo la fibra insoluble y del sobrenadante la fibra soluble. Se realizó en duplicado cada repetición y se descontó el porcentaje de proteínas y cenizas.

Determinación de minerales (Ca, K y P)

Realizado con técnica espectroscópica según el Protocolo del Centro de Ensayos y Estudios Externos de Química, de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Preparación del extracto metanólico para los análisis de polifenoles totales y actividad antioxidante

2 g de cada muestra se mezclaron con una mezcla de metanol al 80% y HCl al 1%, se agitaron en un Shaker (mod. IKA-COMBIMAG) durante 2 horas a 600 rpm. Se centrifugaron a 5000 rpm por 15 min a 20° C (centrífuga mod. Universal 320R, Hettich). Posteriormente se realizó una re-extracción de la misma manera con el precipitado y se juntaron ambos sobrenadantes.

Determinación de polifenoles totales

Se determinó según el método de Folin-Ciocalteu (Singleton y Rossi, 1965; citado por Turkmen, 2005), con extracto metanólico.

Determinación de actividad antioxidante

Se determinó de acuerdo al método Brand-Williams *et al.*, (1995). Los resultados se expresaron como EC50 y TEAC (mM de Trolox).

Concentración efectiva (EC50): El valor EC50 expresa la cantidad de extracto metanólico de polvo de nopal necesario para disminuir la absorbancia del DPPH en un 50%, calculando gráficamente la absorbancia contra la concentración de extracto usada.

TEAC: Se calculó mediante la ecuación $0,4864/EC50$, donde 0,4864 es el valor de EC50 de TROLOX que es el antioxidante de referencia, expresado como mM de Trolox.

Color

Se determinó con un colorímetro Minolta CR-200b, usando un plato blanco como estándar de calibración. Se obtuvieron parámetros de luminosidad (L), contribución de verde (a*) y amarillo (b*) y se calcularon los valores de croma (C*) y tono (h*), según lo sugerido por Mc Guire (1992).

Propiedades tecnológicas de los polvos de nopal

Se analizaron los polvos de nopal de acuerdo a sus propiedades tecnológicas, como CRA, CAA, CH, CAMO y CIC.

Capacidad de retención de agua (CRA): Se determinó mediante el procedimiento descrito por Zambrano *et al.* (2001). Por la higroscopicidad y viscosidad de la harina al mezclarla con agua, se redujo el tamaño de la muestra a 1 g, se agregaron 45 mL de agua destilada. Se agitó por 15 minutos, se dejó reposar por 6 horas, se centrifugó a 5000 rpm (centrífuga mod. Universal 320R, Hettich) por 15 minutos a 20° C. El líquido sobrenadante se eliminó y se pesó el residuo. La CRA se calculó de la siguiente manera: $CRA = (\text{peso del residuo} - \text{peso muestra inicial}) / \text{peso muestra inicial}$. El resultado se expresó en g de agua/g de muestra.

Capacidad de absorción de agua (CAA): Se determinó según el método descrito en Zambrano *et al.* (2001), con modificaciones por las características del polvo de nopal. Se pesó 1 g de cada muestra y se adicionaron 40 mL de agua destilada. Se centrifugó a 5000 rpm por 15 minutos a 20° C (centrífuga mod. Universal 320R, Hettich), se retiró el exceso de agua y se pesó. La CAA se determinó según la fórmula: $CAA \text{ aprox.} = \text{peso (inicial-final)} / \text{g de muestra}$.

Se calculó la cantidad de muestra para la determinación de la siguiente manera: $\text{Peso de muestra} = 15 / (CAA \text{ aprox.} + 1)$; se colocaron 4 tubos con +1,5, +0,5, -1,5 y -0,5 mL de agua destilada, se agitó vigorosamente por 2 minutos y se centrifugó a 5000 rpm por 15 minutos a 20° C (centrífuga mod. Universal 320R, Hettich); el promedio de las cuatro muestras representa el valor de la CAA. El resultado se expresó como g de agua/ g de muestra.

Capacidad de hinchamiento (CH): Se determinó según el método descrito por Valencia y Román (2006). Dos g de muestra se pesaron en probetas graduadas de 25 mL y se midió el volumen ocupado (V_0), se adicionaron 10 mL de agua destilada y se agitó manualmente durante 5 minutos. Se dejó en reposo por 24 horas a temperatura ambiente y se midió el volumen final de las muestras (V_1). La CH se calculó mediante la fórmula $CH = V_1 - V_0 / \text{peso muestra}$, los resultados se expresaron en mL de agua/g de muestra.

Capacidad de absorción de moléculas orgánicas (CAMO): Se determinó según la metodología citada por Kaur y Singh (2005). 0,5 g de polvo de nopal se colocaron en tubos centrifuga con 6 mL de aceite de maravilla. Las mezclas se agitaron con una varilla, se dejaron reposar por 30 minutos y se centrifugaron a 5000 rpm por 15 minutos a 20° C (centrífuga mod. Universal 320R, Hettich). Se retiró el exceso de aceite y se pesó el residuo. El valor de CAMO se obtuvo de la siguiente fórmula $CAMO = (\text{peso residuo} - \text{peso muestra inicial}) / \text{peso muestra inicial}$. Los resultados se expresaron en g de aceite/g de muestra.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC): Se determinó según la metodología descrita por Zambrano *et al.* (2001). Dos g de muestra se colocaron en exceso de HCl 2M por 24 horas, luego se centrifugaron a 5000 rpm por 15 minutos a 20° C (centrífuga mod. Universal 320R, Hettich), se lavaron con solución saturada de NaCl 3 veces, para eliminar el exceso de ácido. El residuo se mezcló con 50 mL de agua destilada y se tituló con NaOH 0,5 N, el cálculo se realizó con la siguiente fórmula $CIC = \text{gasto } *N / \text{peso muestra}$. Los resultados se expresaron en meq de $[H^+]$ /g de muestra seca.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se realizó un diseño experimental completamente al azar; con 4 tratamientos y 3 repeticiones. Se aplicó un análisis de varianza (ANDEVA) con un nivel de confianza de un 95% a los resultados y en caso de diferencias significativas, se aplicó la prueba de rangos múltiples LSD (diferencia mínima significativa) con el programa estadístico Statgraphics Centurion, versión 16.1. La unidad experimental de este trabajo son 5 kg de cladodios de nopal de 250 g cada uno para obtener T1, 5 kg de cladodios de nopal de 500 g cada uno para T2, 5 kg de cladodios de nopal de 750 g cada uno para T3 y 5 kg de cladodios de nopal de 1000 g cada uno para T4.

RESULTADOS Y DISCUSION

Con relación a la materia prima utilizada para este estudio, en la Figura 1 se pueden observar los cladodios recién cosechados de los cuatro tratamientos.



Cladodios recién cosechados de los 4 tratamientos estudiados.

Granulometría

Los resultados de la granulometría mostraron que un 97,81% del polvo de nopal, presenta un tamaño de partícula menor a 425 μm .

Aunque el Reglamento Sanitario de los Alimentos (2006) no especifica una granulometría para harinas o productos farináceos. Estos resultados coinciden con los de Yoong (2007), que en una molienda fina de polvos de cladodios de nopal descartó las partículas con tamaño superior a 600 μm , obteniendo un rendimiento de 98-99%.

Rendimiento

El rendimiento de los polvos de cladodios de nopal no presentó diferencias significativas entre tratamientos. Los valores fueron T1: $6,80 \pm 0,65$ (*), T2: $6,85 \pm 0,65$, T3: $4,99 \pm 0,65$ y T4: $5,02 \pm 0,65$, estos resultados se expresaron como g/100 g de peso fresco.

(*) Los valores \pm expresan el error estándar del análisis en cada caso.

Acidez titulable, Actividad de agua y Humedad

Los resultados de estos análisis se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Resultados de acidez titulable (g ácido málico/ 100 g materia seca), actividad de agua y humedad (g agua/100 g muestra) de los distintos polvos de nopal.

Análisis	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
Acidez titulable	3,95 ± 0,39(**)	2,65 ± 0,39	2,53 ± 0,39	2,53 ± 0,39
Actividad de agua	0,58 ± 0,02	0,54 ± 0,02	0,53 ± 0,02	0,54 ± 0,02
Humedad	12,00 ± 1,41a(*)	13,00 ± 1,41a	9,00 ± 1,41b	9,00 ± 1,41b

T1: cladodios de 250 g, T2: cladodios de 500 g, T3: cladodios de 750g, T4: cladodios de 1000 g.

(*) Las letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$) según prueba de rango múltiple LSD. (**) Los valores \pm expresan el error estándar del análisis en cada caso.

Acidez titulable: No se observaron diferencias significativas en el análisis estadístico. Los valores de los cuatro tratamientos son mayores al reportado por Padrón-Pereira *et al.* (2009), de 1,32 g ácido cítrico anhidro/ 100 g materia seca y al reportado por Ayadi *et al.* (2009) de 0,724 g de ácido málico/100 g de materia seca.

Este valor se ve influenciado por el horario en que se cosechen las paletas, debido al metabolismo crasuláceo, los nopales presentan una acidez variable durante el día, ello debe ser tomado en cuenta al momento de la cosecha, ya que habrá que conjugar el efecto de la acidez en los procesos de conservación con la aceptación de los productos por parte de los consumidores (Valdez *et al.*, 2008).

Actividad de agua: No se observaron diferencias significativas en el análisis estadístico entre tratamientos. Los valores son coincidentes con los del análisis de humedad de los polvos, donde se registró que a menor edad del cladodio, mayor es la cantidad de agua que queda presente en la muestra, lo que puede deberse a que gran parte del contenido de las paletas es mucílago, el que retiene agua dejándola no disponible.

Yoong (2007) encontró valores entre 0,4 y 0,45 en polvos de cladodios de nopal de 1-3 años, similares a los obtenidos en este estudio.

Siendo la actividad de agua una medida del agua disponible para reacciones químicas y para crecimiento de microorganismos, o sea, para reacciones que generan deterioro en un alimento, causando la pérdida o disminución de la vida útil de un producto, Fellows (1994), señala como valores de A_w mínimo aproximado para el crecimiento de microorganismos: 0,9 para bacterias, 0,85 para levaduras, 0,8 para hongos y 0,6 para levaduras osmófilas, por lo que los valores encontrados en este estudio aseguran la conservación de los polvos, siempre que se utilice un envase adecuado.

Humedad: Se encontraron diferencias significativas en Humedad entre los tratamientos.

Al respecto, el Reglamento Sanitario de los Alimentos, indica que las harinas pueden tener un máximo de 15% de humedad, estando los polvos de nopal estudiados bajo este nivel, sin embargo son valores mayores al valor reportado por Sáenz (1996), que fue de 7,5%.

Este valor de humedad puede ser manejado durante el proceso de deshidratación, sometiendo a más tiempo o más temperatura las láminas de las paletas; en el caso de este ensayo, estuvieron a una baja temperatura (40° C) por alrededor de 12-16 horas, con el objetivo de preservar los compuestos bioactivos.

Fibra dietaria

Los valores encontrados para el análisis de fibra dietaria se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Resultados de los análisis de fibra dietaria total, soluble e insoluble de los distintos polvos de nopal. Resultados expresados en g/100g.

Análisis	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
FDT	71,78 ± 3,88a(*)	52,67 ± 3,88b	59,19 ± 3,88ab	49,6 ± 3,88b
FDI	45,49 ± 2,52(**)	41,09 ± 2,52	39,58 ± 2,52	43,11 ± 2,52
FDS	26,28 ± 2,3a	11,58 ± 2,3b	19,61 ± 2,3a	6,48 ± 2,3b

T1: cladodios de 250 g, T2: cladodios de 500 g, T3: cladodios de 750g, T4: cladodios de 1000 g.

(*) Las letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$) según prueba de rango múltiple LSD. (**) Los valores \pm expresan el error estándar del análisis en cada caso.

Fibra dietaria total (FDT): Se encontraron diferencias significativas en FDT entre los tratamientos. Se observó que el mayor nivel de fibra total lo presentan los polvos del T1 y que va disminuyendo con la madurez de las paletas.

Al respecto Yoong (2007) reportó un valor de FDT de 54,6 g/100 g para polvo de nopal proveniente de paletas de 2-3 años de edad. Rodríguez-García *et al.* (2007) encontraron valores cercanos 56 g/100 g en paletas de 200 g, que según su estudio tenían 64 días de madurez. Sáenz *et al.* (2010) reportaron valores de 43 g/100 g para FDT en paletas de 1-3 años. Ayadi *et al.* (2009) reportaron que paletas de 2-3 años presentaron un 46,31% de FDT. Moreno-Alvarez *et al.* (2009) reportaron un valor de 41,5 g/100 g para paletas entre 11 y 17 cm.

Al respecto, se puede indicar que los valores de T2, T3 y T4 encontrados en este estudio están dentro del rango del encontrado por los autores que han estudiado fibra dietaria en polvos de nopal, siendo el valor de T1 superior al de los valores encontrados por los autores mencionados anteriormente. El contenido total de fibra y los niveles más altos se encuentran en nopalitos jóvenes, el valor disminuye con la madurez, al menos hasta el peso estudiado en esta memoria que es de 1000 g.

Fibra dietaria insoluble (FDI): No se encontraron diferencias significativas de FDI entre los tratamientos.

Al respecto Yoong (2007) reportó un valor de 30 g/100 g en polvos de nopal para FDI utilizando paletas de 2-3 años. Sáenz *et al.* (2010) reportaron un valor de 28,45 g/100 g utilizando paletas de 1,2 y 3 años. Rodríguez-García *et al.* (2007) reportaron un aumento en los valores de FDI de 29,87 g/100 g de polvo proveniente de paletas de 60 g y 41,65 g/100 g de polvo proveniente de paletas de 200 g. Al respecto, se observa que los valores encontrados en este estudio son mayores en todos los estadios de madurez en comparación a los datos entregados por Yoong (2007) y Sáenz *et al.* (2010), pero un valor cercano al encontrado por Rodríguez-García *et al.* (2007).

Fibra dietaria soluble (FDS): Se observaron diferencias significativas entre los tratamientos.

Se observa que el valor más alto lo presentó el polvo de nopal proveniente de paletas de 250 g (T1), decreciendo a medida que maduran las paletas.

Yoong (2007) reportó un valor de 24,7 g/100 g en polvo producido con paletas de 2-3 años. Sáenz *et al.* (2010) reportaron valores de 14,5 g/100 g en polvos de nopal de paletas de 1-3 años.

Hasta ahora no se han encontrado estudios que analicen el contenido de fibra en los estadios en que los hace este trabajo. Rodríguez-García *et al.* (2007) reportaron una disminución en los valores de FDS de 25,22 a 14,91 g/ 100 g de polvo para polvos provenientes de paletas de 60 y 200 g, respectivamente; similar a lo observado en este estudio.

La relación FDS/FDI también es importante, según la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2003) una relación adecuada entre ambos tipos de fibra sería de 1:2. Esto se presenta en el caso de T1 y T2, pero la relación cambia en T3 y T4, donde el contenido de FDS disminuye abruptamente, llegando a una relación de 1:7 en T4.

Minerales (Ca, P, K)

Los valores encontrados para el análisis de calcio, fósforo y potasio se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Contenido de calcio, fósforo y potasio en los distintos polvos de nopal. Resultados expresados en g/100g.

Análisis	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
K	4,31 ± 0,12a(*)	2,38 ± 0,12b	2,21 ± 0,12b	2,21 ± 0,12b
P	0,3 ± 0,01a(**)	0,13 ± 0,01b	0,12 ± 0,01b	0,12 ± 0,01b
Ca	1,36 ± 0,23a	3,05 ± 0,23b	3,11 ± 0,23b	3,63 ± 0,23b

T1: cladodios de 250 g, T2: cladodios de 500 g, T3: cladodios de 750g, T4: cladodios de 1000 g.

(*) Las letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$) según prueba de rango múltiple LSD. (**) Los valores \pm expresan el error estándar del análisis en cada caso.

Calcio: Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. El valor más alto se encontró en T4, observándose una disminución en el contenido del mineral a medida que el peso de las paletas disminuye. Los datos presentados en este estudio están en concordancia con los encontrados por otros autores. Rodríguez-García *et al.* (2007) reportaron valores de 3,3 g/100 g en polvo de paletas de 200 g; Stintzing y Carle (2005) reportaron valores entre 1,8 g/100 g y 5,7 g/100 g y Padrón-Pereira *et al.* (2009) reportaron un valor de 5,52 g/100 g para este mineral en polvo de paletas cosechadas entre 1 y 2 metros de altura desde el suelo, Tovar *et al.* (2006) reportaron valores entre 4,9 g/100 g y 8,1 g/100 g, estudiando siete cultivares distintos de indistintos estados de madurez de *Opuntia ficus-indica*. Sáenz *et al.* (2010) reportaron un valor de 3,43 g/100 g para polvos de *Opuntia ficus-indica* de cladodios de 1-3 años.

Según estos resultados, el contenido de calcio en los cladodios aumenta con la madurez, lo que se repite en los resultados de los autores mencionados, que si bien no hacen comparaciones entre los mismos pesos o edades de las paletas que este estudio, entregan resultados de edades o pesos de paletas en relación a estados de madurez de paletas.

Fósforo: Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. El valor más alto se encontró en la muestra T1, observándose una disminución en el contenido del mineral a medida que el peso de las paletas aumenta.

Los datos encontrados en este estudio son similares a los reportados por Sáenz *et al.* (2010) de 0,11 g/100 g en polvo de nopal proveniente de paletas de 1-3 años y a los presentados por Rodríguez-García *et al.* (2007) de 0,29 g/100 g en polvo de nopal proveniente de paletas de 200 g.

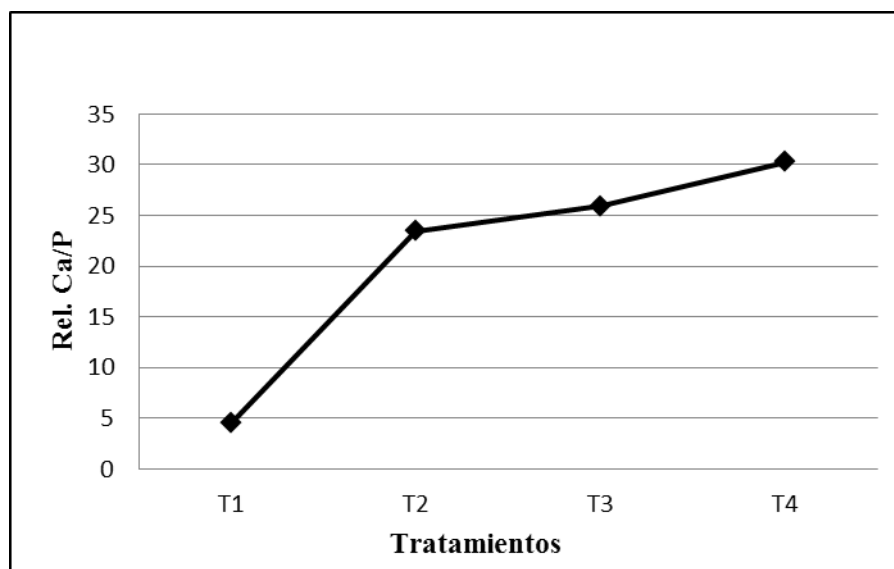
Potasio: Se encontraron diferencias significativas en el contenido de potasio entre los tratamientos.

El valor más alto se encontró en T1, observándose una disminución en el contenido del mineral a medida que el peso de las paletas aumenta.

Sáenz *et al.* (2010) reportaron un valor de 2,05 g/100 g en polvos de nopal de paletas de 1-3 años; Stintzing y Carle (2005) reportaron un valor de 5 g/100 g, Rodríguez-García *et al.* (2007) encontraron un valor de 6,02 g/100 g en polvo proveniente de paletas de 200 g, valor superior al encontrado en los cuatro tratamientos del polvo de nopal de este estudio.

Relación Calcio/Fósforo (Ca/P): La relación calcio-fósforo es un indicador de la biodisponibilidad de estos minerales (Rodríguez-García *et al.*, 2007), por lo que una alta relación de estos minerales podría dejar al nopal como una alternativa de suplemento alimenticio en pacientes con intolerancia a la lactosa, debido a su alto contenido de calcio (Rodríguez-García *et al.*, 2007).

No hay una relación ideal entre ambos nutrientes, ya que dependerá de las necesidades metabólicas, según edad, tipo de actividad, sexo, etc., pero lo más indicado es una relación de 2:1 para una fijación mineral ósea adecuada (Narbona *et al.*, 1998). La Figura 2 muestra la evolución de la relación Ca/P, como indicador de biodisponibilidad de estos minerales en los cuatro tratamientos.



Relación Ca/P de harina de nopal, en función del peso del cladodio.

El contenido de Ca aumenta en función del peso, al contrario el contenido del P que disminuye en función de la madurez. Muchos vegetales como soya, espinaca, granos y acelga; tienen valores menores en el contenido de Ca y, al igual que en el nopal, se encuentra en forma de oxalato de Ca, lo que lo hace menos disponible para la absorción (Rodríguez-García *et al.*, 2007).

El calcio y el fósforo son esenciales para la función y estructura de los tejidos y su fisiología y metabolismo están modulados e interrelacionados por otros nutrientes, por hormonas y por la vitamina D. Tienen una relación interdependiente, ya que un alto nivel de calcio implica pérdida de fósforo y viceversa (Rodríguez-García *et al.*, 2007).

Polifenoles totales y capacidad antioxidante

Los valores de polifenoles totales y capacidad antioxidante se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Fenoles totales y actividad antioxidante en polvos de nopal en los distintos polvos de nopal

Análisis	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
Fenoles Totales (mg EAG/ 100g muestra)	2936 ±1,62a(*)	1525 ± 1,62b	1457 ± 1,62b	1663 ± 1,62b
EC50	3,62 ± 0,36a(**)	1,44 ±0,36b	1,34 ± 0,36b	2,04 ±0,36b
TEAC (mM Trolox)	0,14 ± 0,049a	0,35 ± 0,049b	0,36 ±0,049b	0,26 ±0,049ab

T1: cladodios de 250 g, T2: cladodios de 500 g, T3: cladodios de 750g, T4: cladodios de 1000 g.

(*) Las letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$) según prueba de rango múltiple LSD. (**) Los valores \pm expresan el error estándar del análisis en cada caso.

Se encontraron diferencias significativas en polifenoles totales entre los tratamientos. El valor más alto lo presentó T1, con una tendencia al descenso en los valores a medida que las paletas son más maduras.

Al respecto, Ayadi *et al.* (2009) en cladodios de 2-3 años reportaron valores de 975,82 mgEAG/100 g en base a peso seco, Corral-Aguayo *et al.* (2008) reportaron valores de 209,1 mgEAG/100 g en base a peso fresco, Yoong (2007) en polvo de nopal de paletas de 1-3 años, reportó un valor de 1431 mgEAG/100 g en base a materia seca. Este valor es similar al encontrado en los tratamientos T2, T3 y T4, pero el valor de T1 es significativamente mayor a los resultados reportados por los autores antes mencionados.

Jaramillo-Flores *et al.* (2003) hicieron un estudio midiendo el contenido de compuestos fenólicos libres, en cladodios tratados durante 30 minutos a distintas temperaturas y reportaron que a mayor temperatura, disminuye la cantidad de estos compuestos, sin embargo la actividad antioxidante aumenta.

Respecto a la capacidad antioxidante, los resultados se expresaron como EC50 y como equivalente de TROLOX medida en mM Trolox (TEAC).

En relación al EC50. Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, presentado T1 un valor significativamente más alto que los demás tratamientos con una tendencia al descenso en los valores a medida que las paletas de mayor peso. Esto significa que en el caso de T1, con 3,62 mg de fenoles/g muestra se decolora el radical DPPH (2,2 difenil-1-picrilhidracilo) en un 50%, lo mismo para los tratamientos 2, 3 y 4.

En relación al TEAC, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. El TEAC o capacidad antioxidante equivalente Trolox, medida en mM Trolox es una medida inversa a EC50 y refleja la capacidad antioxidante de una determinada solución, comparada con la capacidad antioxidante del Trolox, que es conocida.

Color

El color registrado por el colorímetro en los distintos polvos de nopal se presenta en el Cuadro 5.

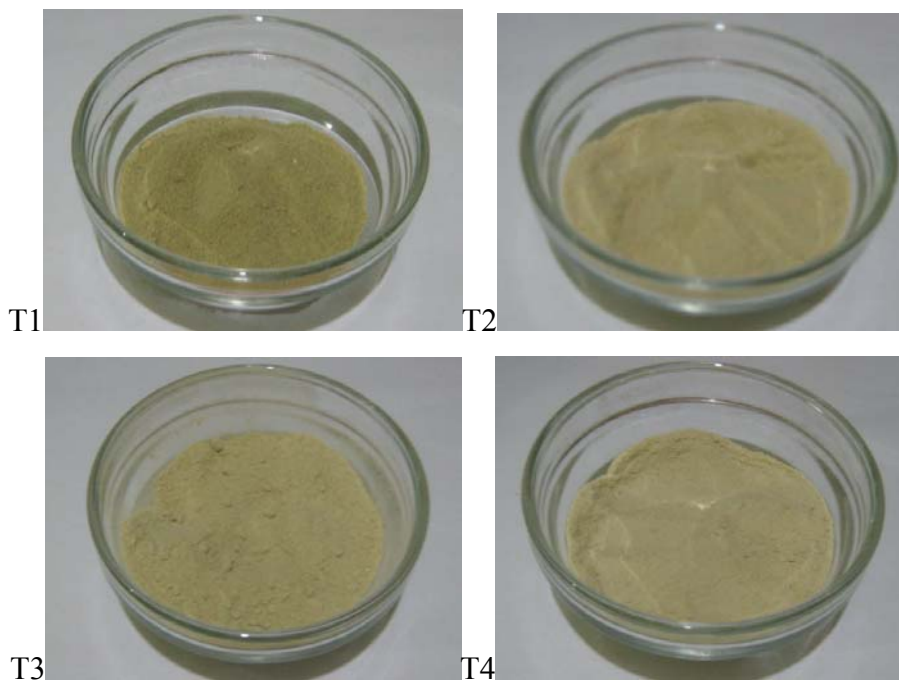
Cuadro 5. Parámetros de color de los polvos de nopal en los distintos polvos de nopal

Análisis	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
L	61,76 ± 1,46a(*)	70,91 ± 1,46b	73,97 ± 1,46bc	76,18 ± 1,46c
a*	-4,74 ± 0,59(**)	-5,64 ± 0,59	-6,21 ± 0,59	-6,03 ± 0,59
b*	24,03 ± 0,72	24,5 ± 0,72	23,96 ± 0,72	23,07 ± 0,72
h°	101,15 ± 1,41	102,96 ± 1,41	104,53 ± 1,41	104,64 ± 1,41
C*	24,6 ± 0,72	25,15 ± 0,72	24,8 ± 0,72	23,85 ± 0,72

T1: cladodios de 250 g, T2: cladodios de 500 g, T3: cladodios de 750g, T4: cladodios de 1000 g.

(*) Las letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$) según prueba de rango múltiple LSD. (**) Los valores \pm expresan el error estándar del análisis en cada caso.

L presenta diferencias significativas entre los tratamientos. Los demás parámetros no presentaron diferencias significativas. Al respecto, Yoong (2007) reportó en polvos de nopal de 1-3 años valores de L de 71,6, a* de -5,5, b* de 23,2, C* de 23,8 y h° de 103,4; Sáenz *et al.* (2010) reportaron valores de 73,37 para L, -5,2 para a*, 26,1 para b*, 5,6 para C* y 101,3 para h°; Ayadi *et al.* (2009) reportaron valores de 67,49 para L, -8,17 para a* y 25,15 para b*, valores que son similares a los registrados en este trabajo, en la Figura 2 se observa la apariencia de los polvos de nopal.



Color de las harinas de nopal, en base a los distintos pesos de cladodio.

Propiedades tecnológicas

Los valores para CAA, CIC, CAMO, CH y CRA se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Propiedades tecnológicas de los polvos de nopal de los distintos polvos de nopal

Análisis	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
CAA (g agua/g muestra)	10,41 ± 0,85(**)	10,34 ± 0,85	8,73 ± 0,85	9,44 ± 0,85
CIC (meq H ⁺ /g muestra)	0,37 ± 0,22a(*)	0,20 ± 0,22b	0,26 ± 0,22b	0,19 ± 0,22b
CAMO (g aceite/g muestra)	2,33 ± 0,047a	2,4 ± 0,047a	2,0 ± 0,047b	2,07 ± 0,047b
CH (mL de agua/g muestra)	5,13 ± 0,085	5,12 ± 0,085	4,98 ± 0,085	5,22 ± 0,085
CRA (g agua/g muestra)	5,85 ± 0,295a	3,98 ± 0,295b	5,0 ± 0,295a	5,65 ± 0,295a

T1: cladodios de 250 g, T2: cladodios de 500 g, T3: cladodios de 750g, T4: cladodios de 1000 g.

(*) Las letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$) según prueba de rango múltiple LSD. (**) Los valores \pm expresan el error estándar del análisis en cada caso.

Capacidad de absorción de agua (CAA): No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos.

Al respecto, Ayadi *et al.* (2009) reportaron un valor de 5,23 g de agua/100 g en polvo de cladodios de 2-3 años, Padrón-Pereira *et al.* (2009) reportaron un valor de 3,54 g de agua/100 g en polvo de paletas cosechadas entre 1 y 2 metros sobre el suelo. Así, los valores registrados en este estudio son mayores a los presentados por otros autores, lo que puede deberse a la diferencia de la metodología usada.

Este parámetro tiene relación con la presencia de fibra, al ser alto el contenido de fibra, se requiere un mayor contenido de agua para las preparaciones en las que se use el polvo de nopal, como en este caso. Un aumento en el contenido de FDT indica un aumento de CAA y un aumento de CAA, desde el punto de vista fisiológico, tiene beneficios relativos al aumento de viscosidad de los fluidos intestinales, lo que ayuda al aumento del peso fecal y ayuda al mejoramiento del tránsito intestinal (Padrón-Pereira *et al.*, 2009).

Capacidad de intercambio catiónico (CIC): Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. T1 presentó un valor significativamente mayor al resto de los tratamientos, con una tendencia al descenso en los valores con el peso de las paletas. Zambrano *et al.* (2001) reportaron un valor de 0,49; que es mayor a los valores encontrados en este trabajo.

Este parámetro es una propiedad relacionada con la fibra y su capacidad de formar complejos con algunos minerales y electrolitos. El aumento excesivo del contenido de fibra en la dieta, determina un aumento en la pérdida de Na, K, Ca y Mg en la materia fecal, lo que se traduce en un riesgo de interferir en la absorción de minerales y electrolitos en el tracto intestinal (Padrón-Pereira *et al.*, 2009).

Capacidad de absorción de moléculas orgánicas (CAMO): Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. El valor más alto lo presentó T2 y los valores disminuyeron con la madurez de las paletas.

Ayadi *et al.* (2009) reportaron un valor de 1,29; Zambrano *et al.* (2001) reportaron un valor de 0,69. Al respecto, se puede observar que los valores encontrados son todos mayores, lo que puede

deberse a que hay diferencias en la metodología.

Este parámetro se refiere a la capacidad de fijar moléculas orgánicas, como lípidos y proteínas, un aumento en el contenido de FDI indica un aumento en la capacidad de absorción de moléculas orgánicas, en parte, por el contenido de lignina (Padrón-Pereira *et al.*, 2009).

Capacidad de hinchamiento (CH): No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. Ayadi *et al.* (2009) reportaron un valor de 7,36 mL/g.

Este parámetro mide la capacidad del polvo de aumentar de volumen ante un exceso de agua, por lo que tiene relación con el aumento de saciedad estomacal y un aumento del bolo fecal (Valencia y Román, 2006).

Capacidad de retención de agua (CRA): Se observaron diferencias significativas entre los tratamientos. El valor más alto lo presentó T1, sin una tendencia clara en los valores de los tratamientos. Ayadi *et al.* (2009) reportaron un valor 6,85; Zambrano *et al.* (2001) reportaron valores de 4,7. Los valores son similares a los reportados por los autores que han estudiado esta propiedad en polvos de nopal, que es un indicador de los sólidos disueltos en agua, cuando el polvo de nopal es expuesto a un exceso de agua (Padrón-Pereira *et al.*, 2009).

CONCLUSIONES

Los polvos de nopal producto de nopales de menor peso, o menor estado de madurez (T1) posee niveles más altos de compuestos funcionales, siendo este tratamiento más rico en polifenoles totales y de mayor capacidad antioxidante, logrando a la vez un mayor rendimiento, en valor absoluto, por lo que considerando factores productivos, T1 presentaría un mejor comportamiento. Este tratamiento es a la vez el más rico en FDT, FDI y FDS, en K y P, por lo que en formulaciones suplementadas con estos minerales, la mejor fuente de materia prima sería el polvo proveniente de las paletas de 250 g. Aún cuando el contenido de calcio fue más alto en nopales de mayor peso, para que el calcio sea biodisponible debe tener una buena proporción con el fósforo, lo que se consigue en nopales jóvenes.

En cuanto a las propiedades tecnológicas, los valores más altos los presentaron nopales de 250 g, por lo que para ser considerados como ingredientes con efectos benéficos en la salud, los polvos de paletas de 250 g mostraron mejores resultados, rechazándose lo que se postuló en la hipótesis de este trabajo, lo que debe ser considerado al momento de hacer formulaciones que contengan polvo de nopal.

LITERATURA CITADA

- AACC. 2001. The definition of dietary fiber. AACC Report, 46 (3):112-124.
- AOAC. 2007. Official method of analysis. 18th edition, revision 2. Gaithersburg, Maryland. AOAC International, c2007. 6095p.
- AYADI, M.A.; ABDELMAKSoud, W.; ENNOURI, M. and ATTIA, H. 2009. Cladodes from *Opuntia ficu-indica* as a source of dietary fiber: effect on dough characteristics and cake making. Industrial Crops and Products, 30:40-47.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M.E. and BERSET, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT-Food Science and Technology, 28: 25-30.
- CORRAL-AGUAYO, R.; YAHIA, E; CARRILLO-LÓPEZ, A. and GONZÁLEZ-AGUILAR, G. 2008. Correlation between some nutritional components and the total antioxidant capacity measured with six different assays in eight horticultural crops. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56(22): 10498-10504.
- FELLOWS, P. 1994. Tecnología del Procesado de los Alimentos: principios y prácticas. Zaragoza, España. 549 p.
- FLORES-VALDEZ, C. A. 1992. Nopalitos, production, processing and marketing. In: Agr
- FONTANOT, M. 1999. Elaboración de galletas de avena con adición de harina de nopal rica en fibra dietética. Tesis para optar al Grado de Magíster en Ciencias Agropecuarias. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- INIA. Instituto de Investigación Agropecuaria. 2007. Censo Agropecuario 2007. Disponible en http://platina.inia.cl/ururi/docs/Informativo_INIA_URURI_21.pdf.
- JARAMILLO-FLORES, M.E; GONZALEZ-CRUZ, L.; CORNEJO-MAZON, M.; DORANTES-ALVAREZ, L.; GUTIERREZ-LOPEZ, G.F. and HERNANDEZ-SANCHEZ, F.2003. Effect of thermal treatment on the antioxidant activity and content of carotenoids and phenolic compounds of cactus pear cladodes (*Opuntia ficus-indica*). Food Science and Technology International, 9(4): 271-278.
- KAUR, M; SINGH, N. 2005. Studies on functional, thermal and pasting properties of flours from different Chickpea (*Cicer arietinum* L) cultivars. Food Chemistry, 91:403-411.
- LECAROS, M. 1997. Caracterización de harina de cladodio de nopal (*Opuntia ficus-indica*). Memoria para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- LEE, S.C; PROSKY, L and DE VRIES, J.W. 1992. Determination of total, soluble and insoluble dietary fiber in foods. Enzymatic-Gravimetric method, MES-TRIS buffer; Collaborative study. AOAC Int, 75: 395-416.

LEE, J.C.; KIM, H.R. and JANG, Y.S. 2002. Antioxidant property of an ethanol extract of the stem of *Opuntia ficus-indica* var. *Saboten*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50(22): 6490-6496.

LOPEZ-PALACIOS, C.; REYES-AGÜERO, J.A.; RAMIREZ-TOBIAS; H.M.; SUAREZ-MC-GUIRE, R.G. 1992. Reporting of objective color measurements. HortScience, 27(12): 1254-1255.

MEDINA, M; TIRADO, G; MEJÍA, I; CAMARILLO, I; CRUZ-VÁSQUEZ, C. 2006. Digestibilidad in situ de dietas con harina de nopal deshidratado conteniendo un preparado de enzimas fibrolíticas exógenas. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 41(7): 1173-1177.

MORENO-ALVAREZ, M.J.; HERNANDEZ, R.; BELEN-CAMACHO, D.L.; MEDINA-MARTINEZ, C.A.; OJEDA-ESACLONA, C.E. and GARCIA-PANTALEON, D.M. 2009. Making of bakery products using composite flour: wheat and cactus pear (*Opuntia boldingii* Britton et Rose) stem cladodes. Journal of the Professional Association for Cactus Development, 11: 78-87.

NARBONA, E.; GARRIDO, J.; MOLINA, M., SANTANA, R.; MALDONADO, J. 1998. Metabolismo fosfocálcico y estado mineral óseo en el recién nacido: estudio longitudinal. Departamento de Pediatría, Universidad de Granada, España. 16 p.

ODEPA. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. 2009. Catastro de superficies de plantación tunas en Chile. Disponible en www.odepa.gob.cl

PADRÓN-PEREIRA, C.A.; MORENO-ALVAREZ, M.J.; MEDINA-MARTINEZ, C.A. and GARCIA-PANTALEON, D.M. 2009. Obtention of enzymatically hydrolyzed product from cactus (*Opuntia boldingii* Britton et Rose) cladodes with whole flour. Pakistan Journal of Nutrition, 8(4): 459-468.

PIMIENTA, E. 1990. El nopal tunero. Universidad de Guadalajara. México. 246p.

REGLAMENTO SANITARIO DE LOS ALIMENTOS. 2006. Nueva edición. Lexnova ediciones, 2006. 168p.

RODRIGUEZ-GARCIA, M.E., HERNANDEZ-BECERRA, E.; PALACIOS-FONSECA, A.J.; QUINTERO, L.C. and MUÑOZ-TORRES, C. 2007. Physicochemical characterization of nopal pads (*Opuntia ficus indica*) and dry vacuum nopal powder as a function of maturation. Plant Foods for Human Nutrition. 62: 107-112.

SAENZ, C. 2006. *Opuntia* spp. bioactive compounds in foods: a plus for health. Acta Horticulturae, 728: 231-237.

SAENZ, C.; SEPULVEDA, E.; PAK; N. y LECAROS, M. 2010. Chemical and physical characterization of cactus cladodes (*Opuntia ficus-indica*) powder. Italian Journal of Food Science, 22(4): 1-22.

SEPULVEDA, E., SAENZ, C. y MORENO, M. 1995. Obtención y caracterización de harina de

nopal (*Opuntia ficus indica* (L.) Miller). Memorias del 6º congreso nacional y 4º congreso internacional "Conocimiento y aprovechamiento del nopal". Guadalajara, Jalisco, México, p.28-31

STINTZING, F. and CARLE, L. 2005. Cactus stems (*Opuntia spp.*). A review of their chemistry, technology and uses. *Molecular Nutrition and Food Research*, 49: 175-194

TOVAR; A.; PANDO, M.; GONZÁLEZ, H.; VÁSQUEZ, R. y MADRIGAL; M. 2006. Caracterización química y física de quince cultivares de nopal de los géneros *Opuntia* y *Nopalea*. *Boletín Nakari*, 17(2): 29-35

TURKMEN; N.; SARI, F. and VILIOGLU Y.S. 2005. The effect of cooking methods on total phenolics an antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chemistry*, 93:713-718

VALENCIA, F. y ROMAN, M. 2006. Caracterización fisicoquímica y funcional de tres concentrados comerciales de fibra dietaria. *VITAE, Revista de la Facultad de Química farmacéutica*, 13(2): 54-60

VALDEZ, R.; BLANCO, F.; VAZQUEZ, A. y MAGALLANES, R. 2008. Producción y usos del nopal para verdura. *Revista Salud Pública y Nutrición*, 14: 1-19.

VASQUEZ, A.; CALA, M.; MIRANDA, I.; TAFURT; G.; MARTINEZ, J. y STASHENKO, E. 2008. Actividad antioxidante y contenido total de fenoles de los extractos etanólicos de *Salvia aratocensis*, *Salvia sochensis*, *Bidens reptans* y *Montanoa ovalifolia*. *Scientia et Technica*, 33: 205-207

YOONG, A. 2007. Obtención, purificación y propiedades funcionales de la fibra dietética de cladodios de nopal (*Opuntia ficus-indica*). Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias Agropecuarias. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. 57p.

WHO. World Health Organization. 2003. Diet Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases. Report of a joint WHO/FAO Expert Consultation. World Health Organization, Geneva. 146p.

ZAMBRANO M.L.; GALLARDO, N.T. y MELÉNDEZ, P.R. 2001. Propiedades funcionales y metodología para su evaluación en fibra dietética. En: *Fibra dietética en Iberoamérica*, J.M. Lajolo. Valencia, España. pp195-209.