

EFFECTO DE LA ESPECIE Y MADUREZ SOBRE EL CONTENIDO DE NUTRIENTES DE CLADODIOS DE NOPAL

EFFECT OF THE SPECIES AND MATURITY OVER THE NUTRIENT CONTENT OF CACTUS PEAR CLADODES

Hugo M. Ramírez-Tobías¹, Juan A. Reyes-Agüero², Juan M. Pinos-Rodríguez² y Juan R. Aguirre-Rivera²

¹Botánica. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. Km. 35.5 Carretera México-Texcoco. 56230. Montecillo, Estado de México. México. (rthugo@yahoo.com). ²Instituto de Investigación de Zonas Desérticas y Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Altaír Núm. 200 Fracc. Del Llano. 78377. San Luis Potosí, San Luis Potosí. México.

RESUMEN

El uso forrajero del nopal es amplio y su calidad nutrimental muy variable. A pesar de los estudios realizados se desconoce con precisión la magnitud con que la especie y la madurez del cladodio afectan su contenido de nutrientes. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la especie de nopal (*Nopalea cochenillifera*, *Opuntia robusta* ssp. *larreyi*, *O. undulata*×*O. tomentosa* y *O. ficus-indica*) y del estadio de crecimiento (cuatro niveles, de nopalito tierno -EC1- a cladodio bien desarrollado -EC4-) sobre el porcentaje de materia seca (MS), proteína cruda (PC), fibra extraída con detergente neutro o ácido (FDN y FDA) y cenizas; en cladodios producidos en hidroponía en invernadero. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial 4×4 con cuatro repeticiones. La MS disminuyó ($p \leq 0.05$) de 5.7% en el EC1 a 3.9% en el EC3, a partir del cual aumentó con tasa de variación distinta entre especies. La PC fue estadísticamente similar entre especies y disminuyó significativamente ($p \leq 0.05$) de 21.7% en el EC1 a 16.9% en el EC4. *O. ficus-indica* presentó los mayores valores de FDN y FDA (34.4 y 17.6%). Los contenidos de FDN y FDA se incrementaron significativamente con el crecimiento. El contenido de cenizas aumentó significativamente con el crecimiento, de 26.4% en EC1 a 31.9% en EC4, de manera diferenciada entre especies.

Palabras clave: *N. cochenillifera*, *O. ficus-indica*, *O. robusta* ssp. *larreyi*, *O. undulata*×*O. tomentosa*, calidad nutrimental, forrajes.

INTRODUCCIÓN

Los nopales poseen adaptaciones morfofisiológicas que les permiten tolerar condiciones de aridez (Bravo, 1978). Su uso como forraje para ganado vacuno, ovino y caprino es tradicional en las zonas áridas y semiáridas del norte de México y se ha extendido a otras regiones del mundo (Flores y Aguirre, 1979).

La calidad nutrimental del nopal es muy variable y depende de factores como el genotipo, la edad y

ABSTRACT

The use of cactus cladodes as fodder is extended and its nutrimental quality is very variable. Despite the studies that have been carried out, the magnitude with which the species and maturity of the cladode affect its nutrient content is not precisely known. The objective of the present study was to evaluate the effect of the cactus species (*Nopalea cochenillifera*, *Opuntia robusta* ssp. *larreyi*, *O. undulata*×*O. tomentosa* and *O. ficus-indica*) and of the growth stage (four levels, from very young cladode -GS1- to well developed cladode -GS4-) on the percentage of dry matter (DM), crude protein (CP), fiber extracted with neutral or acid detergent (NDF) (ADF) and ash, in cladodes produced under hydroponics in the greenhouse. The design consisted of complete randomized blocks with a 4×4 factorial arrangement with four replicates. The DM decreased ($p \leq 0.05$) from 5.7% in GS1 to 3.9% in GS3, after which it increased with different rate of variation among species. The CP was statistically similar among species and decreased significantly ($p \leq 0.05$) from 21.7% in GS1 to 16.9% in GS4. *O. ficus-indica* presented the highest values of NDF and ADF (34.4 and 17.6%). The contents of NDF and ADF increased significantly with growth, from 26.4% in GS1 to 31.9% in GS4, and was differential among species.

Key words: *N. cochenillifera*, *O. ficus-indica*, *O. robusta* ssp. *larreyi*, *O. undulata*×*O. tomentosa*, nutrimental quality, fodders.

INTRODUCTION

The cactus have morphological adaptations that enable them to tolerate arid conditions (Bravo, 1978). Their use as fodder for cattle, sheep and goats is traditional in the arid and semi-arid zones in northern México and has been extended to other regions of the world (Flores and Aguirre, 1979).

The nutrimental quality of the cactus cladodes is very variable and depends on factors such as genotype, age and agronomic production conditions (Flores and Aguirre, 1979; Nobel, 1983). With a controlled environment such as hydroponics and the greenhouse, it is possible to reduce the variance due to the environment and to know more precisely the

Recibido: Julio, 2006. Aprobado: Junio, 2007.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 41: 619-626. 2007.

las condiciones agronómicas de producción (Flores y Aguirre, 1979; Nobel, 1983). Con un ambiente controlado como la hidroponía y en invernadero, es posible disminuir la varianza debida al ambiente y conocer con mayor precisión el efecto de la especie y del desarrollo sobre la calidad nutrimental del nopal. El nopal producido en hidroponía tiene altos contenidos de nutrientes, pero no hay información suficiente sobre los efectos de los factores especie y madurez. Por ello, el objetivo de este trabajo fue evaluar el contenido de nutrientes de tres especies de *Opuntia* y una de *Nopalea*, en cladodios de cuatro estadios de crecimiento producidos en hidroponía en invernadero. Se postula que la calidad nutrimental del nopal es diferente entre especies y que disminuye con el crecimiento del cladodio.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se instaló en noviembre de 2004, en el invernadero de la comunidad San José de la Peña, Municipio de Villa de Guadalupe, S.L.P., México. Los cladodios de nopal se plantaron en un sistema hidropónico de cultivo en grava (Sánchez y Escalante, 1988), formado por cuatro bancas de 1.8, 1.2 y 0.3 m de longitud, anchura y profundidad, uno para cada bloque o repetición. Como sustrato se utilizó tezontle rojo, preparado según las recomendaciones de Calderón *et al.* (1997).

La solución nutritiva (Cuadro 1) fue la usada para plantas de nopal (Calderón *et al.*, 1997). El riego se dio a las 9:00 y 13:00 h, cada tercer día (Olmos *et al.*, 1999). Antes de cada riego, el pH de la solución nutritiva se ajustó a 5.8 (Calderón *et al.*, 1997), con la adición de ácido sulfúrico. La solución nutritiva se aplicó por subirrigación, se recicló y cada 15 d se reemplazó completamente (Sánchez y Escalante, 1988).

Se evaluaron especies inermes de nopales procedentes de regiones climáticas distintas, cuyos brotes se utilizan como forraje o nopalito: *Nopalea cochenillifera* cv. Tamazunchale, de regiones cálidas húmedas; *O. robusta* ssp. *larreyi* cv. Tapón pelón, de zonas con clima semiseco templado con verano cálido y extremo; *O. ficus-indica* cv. Tlaconopal, de regiones con clima templado subhúmedo con verano fresco y largo, y la especie híbrida *O. undulata* × *O. tomentosa* cv. Valtierra, cultivada en una zona con clima entre semicálido y templado.

Los estadios de crecimiento (EC) se determinaron dividiendo por cuatro la longitud total promedio del cladodio maduro de cada especie. El valor obtenido, multiplicado por uno, correspondió a EC1, multiplicado por dos a EC2 y así sucesivamente. Por razones prácticas los valores se redondearon y a la longitud de cada EC se le agregó una tolerancia de ± 1.5 cm (Cuadro 2).

Los brotes se cosecharon en forma continua entre marzo y agosto de 2005, dependiendo del crecimiento de los cladodios y sin fechas predeterminadas. Así, cada 2 d se cosecharon sólo los cladodios con la longitud correspondiente a su tratamiento (Cuadro 2).

effect of species and development on the nutrimental quality of cactus cladodes. Cactus cladodes produced under hydroponics have high nutrient content, but there is not sufficient information on the effects of the species and maturity factors. Therefore, the objective of the present study was to evaluate the nutrient content in three species of *Opuntia* and one of *Nopalea*, in cladodes of four growth stages produced under hydroponics in a greenhouse. It is postulated that the nutrimental quality of cactus cladodes is different among species and that it is reduced with the growth of the cladode.

MATERIALS AND METHODS

The experiment was established in November of 2004, in the greenhouse of the community of San José de la Peña, Municipality of Villa de Guadalupe, S.L.P., México. The cactus cladodes were planted in a hydroponic cultivation system in gravel (Sánchez and Escalante, 1988), formed by four beds of 1.8, 1.2 and 0.3 m length, width and depth, one for each block or replication. Red tezontle was used as substrate, which was prepared according to the recommendations of Calderón *et al.* (1997).

The nutritive solution (Table 1) was that used for cactus plants (Calderón *et al.*, 1997). Irrigation was applied at 9:00 and 13:00 h, every other day (Olmos *et al.*, 1999). Prior to each irrigation, the pH of the nutritive solution was adjusted to 5.8 (Calderón *et al.*, 1997), with the addition of sulfuric acid. The nutritive solution was applied by sub-irrigation, was recycled and every 15 d was completely replaced (Sánchez and Escalante, 1988).

Inerm cactus species from different climatic regions were evaluated, whose shoots were used as fodder or "nopalito": *Nopalea cochenillifera* cv. Tamazunchale, from warm humid regions; *O. robusta* ssp. *larreyi* cv. Tapón pelón, from zones with semidry temperate climate with warm summer and widely oscillating temperatures; *O. ficus-indica* cv. Tlaconopal, from regions with

Cuadro 1. Composición de la solución nutritiva y fórmula de las sustancias utilizadas.

Table 1. Composition of the nutritive solution and formula of the substances used.

Elemento [†]	Concentración (mg L ⁻¹) [†]	Origen
N	150.0	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O
Ca	210.0	
P	40.0	KH ₂ PO ₄
K	225.0	K ₂ SO ₄
Mg	40.0	MgSO ₄ ·4H ₂ O
Fe	5.0	Quelato de Fe
Mn	2.0	MnSO ₄ ·4H ₂ O
Cu	0.1	CuSO ₄ ·5H ₂ O
Zn	0.2	ZnSO ₄ ·7H ₂ O
B	0.6	H ₃ BO ₃
Mo	0.05	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O

[†] Fuente: Calderón *et al.* (1997).

Cuadro 2. Longitud de los cuatro estadios de crecimiento de los cladodios de *Opuntia* y *Nopalea* estudiados.
Table 2. Length of the four growth stages of the cladodes of *Opuntia* and *Nopalea* studied.

Estadio de crecimiento	Especie [†]			
	1	2	3	4
EC1	6±1.5 cm	8±1.5 cm	8±1.5 cm	10±1.5 cm
EC2	12 ±1.5 cm	17±1.5 cm	16±1.5 cm	20±1.5 cm
EC3	17±1.5 cm	25±1.5 cm	24±1.5 cm	31±1.5 cm
EC4	23±1.5 cm	34±1.5 cm	32±1.5 cm	41±1.5 cm

[†] 1, *N. cochenillifera*; 2, *O. robusta* ssp. *larreyi*; 3, *O. undulata*×*O. tomentosa*; 4, *O. ficus-indica*.

Los porcentajes de materia seca (MS), proteína cruda (PC) y cenizas se obtuvieron según la AOAC (1990). Los porcentajes de fibras insolubles en detergente neutro (FDN) y ácido (FDA) se determinaron según Van Soest *et al.* (1991).

Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar, con un arreglo factorial de tratamientos (16), con cuatro repeticiones. Los factores y niveles fueron: especie de nopal (cuatro) y estadio de crecimiento (cuatro). Los datos se analizaron con el procedimiento GLM y la prueba LSMEANS (SAS, 1990).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Materia seca

La MS promedio de los cladodios de nopal producidos en hidroponía fue 4.5±0.8%, un valor bajo comparado con alrededor de 13% que presenta el nopal desarrollado en suelo (Flores y Aguirre, 1979). Tal diferencia se relaciona con la dependencia directa entre la precipitación pluvial antes del corte y el contenido de agua de los cladodios (Flores y Aguirre, 1979). Así, el bajo porcentaje de MS encontrado puede deberse al suministro constante de agua proporcionado con la hidroponía (Sánchez y Escalante, 1988) y a la capacidad de los nopales para absorberla y almacenarla (Gibson y Nobel, 1986).

La especie y el EC afectaron significativamente el porcentaje de MS del nopal, y su interacción resultó también significativa (Cuadro 3). Estos resultados sugieren una relación probable entre adaptación (capacidad o utilidad de almacenar agua) y la precipitación media anual de las regiones de origen de las especies evaluadas. Lo anterior puede deberse a la adaptabilidad de los nopales (Granados y Castañeda, 1991), por la cual evolucionaron y colonizaron ambientes diversos (Bravo, 1978). Así, *N. cochenillifera* con un porcentaje significativamente mayor de MS, proviene de climas con precipitación anual de unos 1000 mm. En contraste, *O. robusta* ssp. *larreyi* presentó el menor porcentaje de MS y es propia de áreas con precipitación anual de unos 400 mm. La especie híbrida y la de *O. ficus-indica* presentaron porcentajes

subhúmedo templado con verano fresco; y la especie híbrida *O. undulata*×*O. tomentosa* cv. Valtierra, que crece en una zona con un clima que varía de semi-cálido a templado.

Los estadios de crecimiento (GS) se determinaron dividiendo por cuatro el promedio total de longitud de los cladodios maduros de cada especie. El valor obtenido, multiplicado por uno, correspondió a GS1; multiplicado por dos, a GS2 y así sucesivamente. Por razones prácticas, los valores fueron redondeados y se agregó una tolerancia de ±1.5 cm a la longitud de cada GS (Tabla 2).

Los brotes se cosecharon continuamente entre marzo y agosto de 2005, dependiendo del crecimiento de los cladodios y sin fechas predeterminadas. Así, cada 2 d solo los cladodios con la longitud correspondiente a su respectivo tratamiento fueron cosechados (Tabla 2).

Los porcentajes de materia seca (DM), proteína cruda (CP) y cenizas se obtuvieron según la AOAC (1990). Los porcentajes de fibras insolubles en detergente neutro y ácido (NDF) (ADF) se determinaron según Van Soest *et al.* (1991).

El diseño experimental consistió en bloques completos aleatorizados, con un arreglo factorial de tratamientos (16), con cuatro repeticiones. Los factores y niveles fueron: especie de nopal (cuatro) y estadio de crecimiento (cuatro). Los datos se analizaron con el procedimiento GLM y la prueba LSMEANS (SAS, 1990).

RESULTS AND DISCUSSION

Dry matter

The average dry matter of the cactus cladodes produced under hydroponics was 4.5±0.8%, a low value compared to approximately 13% presented by the cladodes developed in soil (Flores and Aguirre, 1979). This difference is related to the direct dependence between rainfall prior to harvesting and the water content of the cladodes (Flores and Aguirre, 1979). Thus, the low percentage of DM that was found may be due to the constant supply of water provided with hydroponics (Sánchez and Escalante, 1988) and the capacity of the cactus to absorb and store it (Gibson and Nobel, 1986).

Species and GS significantly affected the DM percentage of the cactus, and their interaction was also

Cuadro 3. Efecto de la especie y del estadio de crecimiento en el contenido de nutrientes de nopal desarrollado en hidroponía.
Table 3. Effect of species and growth stage on the nutrient content of cactus developed under hydroponics.

Factor	Atributos [†]				
	MS (%)	PC (%)	FDN (%)	FDA (%)	Cenizas (%)
	Especie				
<i>N. cochenillifera</i>	4.9a [¶]	16.6a	24.6b	15.2b	29.6a
<i>O. ficus-indica</i>	4.4b	19.5a	34.4a	17.6a	29.5a
<i>O. robusta</i> ssp. <i>larreyi</i>	3.9c	21.1a	30.7ab	15.4b	29.7a
<i>O. undulata</i> × <i>O. tomentosa</i>	4.6b	19.8a	28.1b	16.8ab	28.9a
	Estadio de crecimiento				
EC1	5.7a	20.6ab	31.4a	15.5bc	26.4c
EC2	4.1b	21.7a	25.5b	14.9c	28.2b
EC3	3.9c	17.7b	26.4b	17.0ab	32.2a
EC4	4.1b	16.9b	34.5a	17.7a	31.1a
	Significación				
EE	0.1	2.6	3.4	1.1	1.2
SP [§]	***	NS	**	**	NS
EC [§]	***	*	**	**	***
SP*EC [§]	**	NS	NS	NS	*

[†] MS, materia seca; PC, proteína cruda; FDN y FDA, fibra insoluble en detergente neutro y ácido.

[¶] Medias con letras distintas en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

[§] Efecto de los factores especie (SP), estadio de crecimiento (EC) y su interacción (SP*EC).

***: $p \leq 0.001$; **: $p \leq 0.01$; *: $p \leq 0.05$; NS: $p \geq 0.05$. EE: error estándar.

de MS intermedios (Cuadro 3), y la precipitación de sus regiones de procedencia también es intermedia (unos 700 mm). Así, las reacciones diferenciales de los nopales pueden deberse a que las variaciones adquiridas por el proceso evolutivo condicionan el funcionamiento de un organismo en un ambiente distinto (Smith y Smith, 2001).

En todas las especies evaluadas el EC1 presentó mayor ($p \leq 0.05$) porcentaje de MS que los otros EC (Cuadro 3). Lo anterior parece relacionarse con la inexistencia de vacuolas grandes en órganos muy jóvenes (Schulze *et al.*, 2002) y con la disminución de la proporción área:volumen durante el crecimiento del cladodio. El EC3 parece ser el punto de inflexión de la curva decreciente del porcentaje de MS en relación con el crecimiento (Cuadro 3), aunque el patrón de variación fue distinto entre especies (Figura 1). El incremento ($p \leq 0.05$) del porcentaje de MS a partir del EC3 puede deberse al desarrollo del parénquima medular (Rodríguez y Cantwell, 1988) y a la acumulación de hemicelulosa y lignina asociada con la maduración de los tejidos.

Proteína cruda

Los nopales estudiados presentaron un contenido medio de PC de $19.2 \pm 5.2\%$, valor mayor que el registrado para cladodios de *Opuntia* y *Nopalea* desarrollados en suelo (Gregory y Felker, 1992) y que el de la alfalfa (De Alba, 1971). El contenido alto de PC

significan (Table 3). These results suggest a probable relationship between adaptation (capacity or utility of water storage) and the mean annual precipitation of the native regions of the evaluated species. The above may be due to the adaptability of the cactus (Granados and Castañeda, 1991), through which they evolved and colonized diverse environments (Bravo, 1978). Thus, *N. cochenillifera* with a significantly higher DM percentage, comes from climates with annual precipitation of around 1000 mm. In contrast, *O. robusta* ssp. *larreyi* presented the lowest DM percentage and is common to areas with annual precipitation of around 400 mm. The hybrid species and *O. ficus-indica* presented intermediate DM percentages (Table 3), and the precipitation of their regions of precedence is also intermediate (approximately 700 mm). Thus, the differential reactions of the cactus may be due to the fact that the variations acquired through the evolutionary process condition the functioning of an organism in a different environment (Smith and Smith, 2001).

In all of the species evaluated, GS1 presented a higher DM percentage ($p \leq 0.05$) than the other GS (Table 3). The above seems to be related to the inexistence of large vacuoles in very young organs (Schulze *et al.*, 2002) and with the reduction of the area:volume ratio during the growth of the cladode. GS3 appears to be the inflexion point of the descending curve of the DM percentage in relation to growth (Table 3), although the variation pattern was different

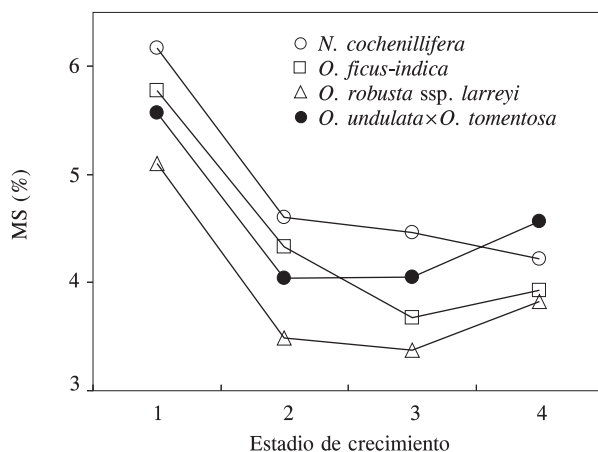


Figura 1. Efecto de la madurez en el porcentaje de MS de cladodios de nopal desarrollado en hidroponía.

Figure 1. Effect of maturity on the DM percentage in cactus cladodes developed under hydroponics.

puede deberse a la relación estrecha entre los nutrientes disponibles en la solución nutritiva y el N en los tejidos (Nobel, 1983).

Las cuatro especies evaluadas presentaron un contenido de PC estadísticamente similar, que disminuyó significativamente de EC1 y EC2 a EC3 y EC4 (Cuadro 3). En estudios con *Opuntia* y *Nopalea* (Gregory and Felker, 1992) y otros forrajes (Collins y Fritz, 2003), también disminuyó la PC con el crecimiento. El porcentaje alto de proteína en cladodios jóvenes se relaciona con su actividad metabólica alta (Nobel, 1983), y su disminución con la madurez puede explicarse por el transporte del N de los tejidos maduros a los jóvenes (Thomas y Stoddart, 1980).

Fibra insoluble en detergente neutro y en detergente ácido

Los porcentajes de FDN y FDA fueron 29.5 ± 8.5 y 16.3 ± 2.7 . Estas cantidades son mayores que las encontradas en nopal desarrollado en suelo (Pinos *et al.*, 2003). Es posible que lo anterior se deba a la necesidad de estructuras fuertes para soportar el mayor peso de los cladodios producidos en hidroponía, aunque también es probable que se deba al incremento de la actividad o tasa metabólica en ausencia de restricciones de agua y nutrientes (Nobel, 1983).

Los contenidos de FDN y FDA de los cladodios producidos en hidroponía fueron distintos entre especies (Cuadro 3). Tal variación debida a especies fue señalada por Batista *et al.* (2003) en *Opuntia* y por Collins y Fritz (2003) en otros forrajes. *O. ficus-indica* cv. Tlaconopal presentó las cantidades más altas de FDN y FDA, y *N. cochenillifera* las más bajas (Cuadro 3). Lo anterior coincide con lo señalado por Cordeiro

among species (Figure 1). The increase ($p \leq 0.05$) of the DM percentage after GS3 may be a result of the development of the medular parenchyma (Rodríguez and Cantwell, 1988) and to the accumulation of hemicelluloses and lignin associated with tissue maturation.

Crude protein

The cactus cladodes under study presented a mean CP content of $19.2 \pm 5.2\%$, a value higher than that registered for cladodes of *Opuntia* and *Nopalea* developed in soil (Gregory and Felker, 1992) and than that of alfalfa (De Alba, 1971). The high CP content may be due to a close relationship between the available nutrients in the nutritive solution and the N in the tissues (Nobel, 1983).

The four species evaluated presented a CP content that was statistically similar, which decreased significantly from GS1 and GS2 to GS3 and GS4 (Table 3). In studies carried out with *Opuntia* and *Nopalea* (Gregory and Felker, 1992) and other fodders (Collins and Fritz, 2003) there was also a reduction of the CP with growth. The high percentage of protein in young cladodes is related to their high metabolic activity (Nobel, 1983), and its reduction with maturity can be explained by the transport of the N from the mature tissues to the young ones (Thomas and Stoddart, 1980).

Insoluble fiber in neutral and acid detergent

The percentages of NDF and ADF were 29.5 ± 8.5 and 16.3 ± 2.7 . These amounts are higher than those found in cactus developed in soil (Pinos *et al.*, 2003). It is possible that the above is due to the necessity of strong structures to support the greater weight of the cladodes produced under hydroponics, although it is also likely that it is due to the increase in the activity or metabolic rate in absence of restrictions of water and nutrients (Nobel, 1983).

The NDF and ADF contents of the cladodes produced under hydroponics were different among species (Table 3). This variation due to species was pointed out by Batista *et al.* (2003) in *Opuntia* and by Collins and Fritz (2003) in other forages. *O. ficus-indica* cv. Tlaconopal presented the highest amounts of NDF and ADF, and *N. cochenillifera* had the lowest (Table 3). The above coincides with what was pointed out by Cordeiro and Gonzaga (2001), who found a higher amount of fibers in *O. ficus-indica* than in *Nopalea*. The resistance to low temperatures is related to a higher proportion of fibers (Uphoff, 1916, cited by Mondragón and Pérez, 2001). Besides, one

y Gonzaga (2001), quienes encontraron mayor cantidad de fibras en *O. ficus-indica* que en *Nopalea*. La resistencia a temperaturas bajas se relaciona con una mayor proporción de fibras (Uphoff, 1916, citado por Mondragón y Pérez, 2001). Además, una de las funciones de la pared celular es el soporte mecánico (García y Peña, 1995). Así, la mayor cantidad de fibra de *O. ficus-indica* puede relacionarse con su capacidad para tolerar las condiciones templadas a las que está adaptada y con la capacidad para soportar el peso de sus cladodios, mucho mayores que los de *N. cochenillifera* (Cuadro 2). Las diferencias estructurales entre especies se han encontrado incluso en el nivel anatómico, en el grosor del colénquima (López *et al.*, 1997).

Los porcentajes de FDN y FDA variaron diferentemente con el estadio de crecimiento, aunque la tendencia general fue de incremento. Así, el EC4 presentó las cantidades más altas de FDN y FDA (Cuadro 3). El aumento de FDN y de FDA con la maduración es común en los vegetales (de Alba, 1971) y se debe a los procesos normales de lignificación (Collins y Fritz, 2003).

En todas las especies hubo un contenido elevado de FDN en el EC1 (Cuadro 3). Rodríguez y Cantwell (1988) evaluaron cladodios de nopal producidos en suelo y encontraron tendencias similares en el contenido de MS y fibra cruda. Estos autores mencionan que el decremento de fibra durante el crecimiento inicial del cladodio puede deberse al aumento de la proporción parénquima/clorénquima y a la disminución del contenido de mucílago.

Cenizas

El contenido medio de cenizas fue $29.4 \pm 3.5\%$, valor mayor que el encontrado en nopal producido en suelo (Rodríguez y Cantwell, 1988). La riqueza mineral del suelo generalmente aumenta el contenido de cenizas en las plantas (Revuelta, 1963). Así, la mayor disponibilidad de minerales en la solución hidropónica con respecto al suelo, explicaría el elevado contenido de cenizas en los cladodios producidos en hidroponía.

Sólo el efecto del EC fue significativo sobre el contenido de cenizas, así como su interacción con la especie (Cuadro 3). Las cenizas aumentaron significativamente con el crecimiento del cladodio (Cuadro 3), pero con patrones distintos entre especies (Figura 2). El contenido de minerales en las plantas depende de factores como la especie vegetal, la disponibilidad de nutrientes en el suelo y la edad fisiológica (Gárate y Bonilla, 2000). Así, cuando la disponibilidad de nutrientes es uniforme y elevada, la madurez parece ser el factor principal que afecta el contenido de cenizas de los cladodios de nopal.

of the functions of the cell wall is mechanical support (García and Peña, 1995). Thus, the greater amount of fiber of *O. ficus-indica* could be related to its capacity to tolerate the temperate conditions to which it is adapted and to its capacity to support the weight of its cladodes, much higher than those of *N. cochenillifera* (Table 2). The structural differences among species have been found even at the anatomical level, in the thickness of the colenchyma (López *et al.*, 1997).

The NDF and ADF percentages varied differently among the growth stages, although the general tendency was of increase. Thus, GS4 presented the highest amounts of NDF and ADF (Table 3). The increase of both NDF and ADF with maturation is common in vegetables (de Alba, 1971) and is a result of the normal lignifications processes (Collins and Fritz, 2003).

There was a high content of NDF in GS1 in all of the species (Table 3). Rodríguez and Cantwell (1988) evaluated cladodes of cactus produced in soil and found similar tendencies in the content of DM and crude fiber. These authors mention that the decrease in fiber during the initial growth of the cladode may be due to the increase of the parenchyma/chlorenchyma ratio and to the reduction of the mucilage content.

Ash

The mean ash content was $29.4 \pm 3.5\%$, a value higher than that found in cactus cladodes produced in soil (Rodríguez and Cantwell, 1988). The richness of minerals in the soil generally increases the ash content in plants (Revuelta, 1963). Thus, the greater availability of minerals in the hydroponic solution with respect to the soil would explain the high ash content in the cladodes produced under hydroponics.

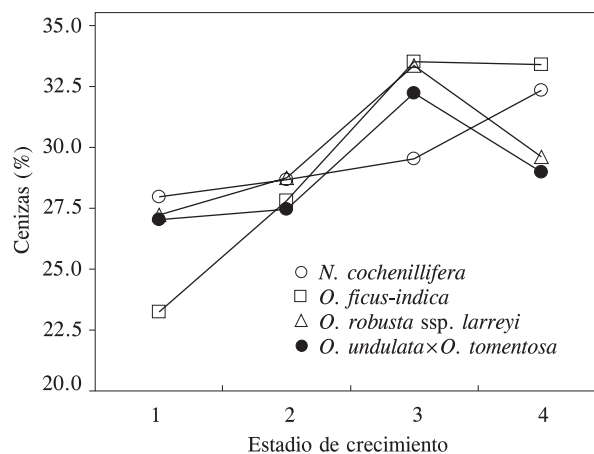


Figura 2. Efecto de la madurez en el contenido de cenizas de cladodios de nopal desarrollado en hidroponía.

Figure 2. Effect of maturity on the ash content of cactus cladodes developed under hydroponics.

En el nopal producido en suelo (Bravo, 1978) y en hidroponía (Mondragón *et al.*, 2001), el K junto con el Ca son los minerales más abundantes. El K se moviliza con facilidad de los órganos y tejidos maduros a los jóvenes (Gárate y Bonilla, 2000); en cambio, el Ca se acumula en los tejidos maduros (Nobel, 1983). Lo anterior puede explicar el incremento de cenizas relacionado con el crecimiento de los cladodios.

En concordancia con la hipótesis planteada y con base en los contenidos de nutrientes encontrados, se infiere que la calidad nutrimental del nopal depende parcialmente de la especie; pero definitivamente, disminuye con el crecimiento del cladodio.

CONCLUSIONES

El contenido nutrimental del nopal desarrollado en hidroponía dependió más de la madurez que de la especie. Las mejores características nutrimentales las presentaron *N. cochenillifera*, independientemente del estadio de crecimiento, y los cladodios más jóvenes, independientemente de la especie.

El porcentaje de materia seca de los cladodios de nopal varió en relación con la especie y el estadio de crecimiento, pero de manera distinta para cada especie. El mayor porcentaje de materia seca lo presentó *N. cochenillifera* y el menor *O. robusta* spp. *larreyi*.

El porcentaje de proteína de las cuatro especies de nopal fue similar. El mayor contenido de proteína cruda se encontró en los estadios más jóvenes, y disminuyó con el crecimiento.

La mayor cantidad de fibra insoluble en detergente neutro y ácido la presentó *O. ficus-indica*. En general, los contenidos de FDN y FDA se incrementaron con el crecimiento.

El contenido de cenizas fue similar entre especies y aumentó con el crecimiento de los cladodios. Tal incremento fue distinto entre especies.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero otorgado por el Fondo de Apoyo a la Investigación de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, la Comisión Nacional de las Zonas Áridas y la Fundación Produce San Luis Potosí, A.C. Se agradece a los "Luchadores de San José de la Peña" su participación. El primer autor agradece al CONACYT la beca Núm. 181453 otorgada para realizar sus estudios de maestría en el Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales de la UASLP.

LITERATURA CITADA

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C. USA. 1298 p.

Only the effect of the GS was significant in the ash content, as well as its interaction with species (Table 3). Ash increased significantly with the growth of the cladode (Table 3), but with different patterns among species (Figure 2). The mineral content in plants depends on factors such as plant species, availability of nutrients in the soil and the physiological age (Gárate and Bonilla, 2000). Thus, when the availability of nutrients is uniform and high, maturity appears to be the main factor that affects the ash content of the cactus cladodes.

In the cactus produced in soil (Bravo, 1978) and under hydroponics (Mondragón *et al.*, 2001), the K together with the Ca are the most abundant minerals. The K is easily mobilized from the mature organs and tissues to the young ones (Gárate and Bonilla, 2000); however, the Ca accumulates in the mature tissues (Nobel, 1983). The above can explain the increase of ash related to the growth of the cladodes.

In concordance with the hypothesis and based on the nutrient contents that were found, it is inferred that the nutrimental quality of cactus cladodes depends partially on the species; but definitely, it decreases with the growth of the cladode.

CONCLUSIONS

The nutrimental content of cactus cladodes developed under hydroponics depended more on maturity than on species. The best nutrimental characteristics were presented by *N. cochenillifera*, independently of the growth stage, and the youngest cladodes, independently of the species.

The dry matter percentage of the cactus cladodes varied in relation to the species and the growth stage, but differently for each species. The highest dry matter percentage was presented by *N. cochenillifera* and the lowest by *O. robusta* spp. *larreyi*.

The percentage of protein of the four cactus species was similar. The highest crude protein content was found in the youngest stages, and it decreased with growth.

The highest content of insoluble fiber in neutral and acid detergent was presented by *O. ficus-indica*. In general, the NDF and ADF contents increased with growth.

The ash content was similar among species and increased with the growth of the cladodes. This increase was different among species.

—End of the English version—



- Batista A., M. V., A. F. Mustafa G., R. A. Santos F., F. R. Carvalho J., C. B. Dubeux Jr. M., A. Lira S., and B. P. Barbosa. 2003. Chemical composition and ruminal dry matter and crude protein degradability of spineless cactus. *J. Agr. Crop Sci.* 189: 123-126.
- Bravo H., H. 1978. Las Cactáceas de México. 2ª ed. Vol. 1. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 735 p.
- Calderón P., N., A. A. Estrada L., y J. L. Martínez A. 1997. Efecto de la salinidad en el crecimiento y absorción nutrimental de plantas micropropagadas de nopal (*Opuntia* spp.). *In: Memoria del VII Congreso Nacional y V Internacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal.* Vázquez A., R. E., C. Gallegos V., N. E. Treviño H. y Y. Díaz T. (eds). Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, N.L. México. pp: 165-166.
- Collins, M., and J. O. Fritz. 2003. Forage quality. *In: Forages.* Barnes R. F., C. J. Nelson, M. Collins and K. J. Moore (eds.). 6th ed. Iowa State Press. Ames, Iowa. USA. pp: 363-390.
- Cordeiro dos S., D., and S. Gonzaga de A. 2001. *Opuntia* as fodder in the semi-arid northeast of Brazil. *In: Cactus (Opuntia spp.) as Forage.* Mondragón J., C. and S. Pérez G. (eds.). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. pp: 37-50.
- De Alba, J. 1971. Alimentación del Ganado en América Latina. 2ª ed. La Prensa Médica Mexicana. México, D.F. 475 p.
- Flores V., C. A., y J. R. Aguirre R. 1979. El Nopal como Forraje. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. México. 80 p.
- Gárate, A., e I. Bonilla. 2000. Nutrición mineral y producción vegetal. *In: Fundamentos de Fisiología Vegetal.* Azcón B., J. y M. Talón (eds). Mc Graw Hill. Madrid, España. pp: 113-130.
- García H., E. R. y C. B. Peña V. 1995. La pared celular. Componente fundamental de las células vegetales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. México. 96 p.
- Gibson, A. C., and P. S. Nobel. 1986. The Cactus Primer. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts. USA. 286 p.
- Granados S. D., y A. D. Castañeda R. 1991. El Nopal. Historia, Fisiología, Genética e Importancia Frutícola. Ed. Trillas. México, D.F. 227 p.
- Gregory, R. A., and P. Felker. 1992. Crude protein and phosphorus contents of eight contrasting *Opuntia* forage clones. *J. Arid Environ.* 22: 323-331.
- López G., J. J., E. Pimienta B., A. Muñoz A., M. Rivera R., y J. M. Fuentes. 1997. Evaluación anatómica del nopal (*Opuntia* spp.) en Saltillo, Coahuila, México. *In: Memoria del VII Congreso Nacional y V Congreso Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal.* Vázquez A., R. E., C. Gallegos V., N. E. Treviño H. y Y. Díaz T. (eds). Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, N.L. México. pp: 121-122.
- Mondragón J., C., S. de J. Méndez G., and G. Olmos O. 2001. Cultivation of *Opuntia* for fodder production: from revegetation to hydroponics. *In: Cactus (Opuntia spp.) as Forage.* Mondragón J., C. and S. Pérez G. (eds). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. pp: 107-122.
- Mondragón J., C., and S. Pérez G. 2001. Germplasm resources and breeding *Opuntia* for fodder production. *In: Cactus (Opuntia spp.) as Forage.* Mondragón J., C. and S. Pérez G. (eds). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. pp: 21-28.
- Nobel, P. S. 1983. Nutrient levels in cacti—relation to nocturnal acid accumulation and growth. *Am. J. Bot.* 70: 1244-1253.
- Olmos O., G., S. de J. Méndez G., y J. Martínez H. 1999. Evaluación de 29 cultivares de nopal para producción de forraje en hidroponía. *In: Memoria del VIII Congreso Nacional y VI Congreso Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal.* Aguirre R., J. R. y J. A. Reyes A. (eds). Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, S.L.P. México. pp: 105-106.
- Pinos R., J. M., R. Duque B., J. A. Reyes A., J. R. Aguirre R., y S. S. González M. 2003. Contenido de nutrientes en tres especies de nopal forrajero. *In: Memoria del IX Congreso Nacional y VII Congreso Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal.* Esparza F., G., M. A. Salas L., J. Mena C. y R. D. Valdez C. (eds). Universidad Autónoma Chapingo, Universidad Autónoma de Zacatecas e Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Zacatecas, Zac. México. pp: 60-63.
- Revuelta G., L. 1963. Bromatología Zootécnica y Alimentación Animal. 2ª ed. Salvat. Madrid, España. 1044 p.
- Rodríguez F., A., and M. Cantwell. 1988. Developmental changes in composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos). *Plant Foods for Human Nut.* 38: 83-93.
- Sánchez del C., F., y E. R. Escalante R. 1988. Hidroponía. 3ª. Ed. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. México. 194 p.
- SAS. 1990. User's Guide: Statistics. SAS Inst. Inc. Cary, North Caroline. USA. 1028 p.
- Schulze, E. D., E. Beck, and K. Müller-Hohenstein. 2002. *Plant Ecology.* Springer. Berlin. Germany. 702 p.
- Smith, R. L., y T. M. Smith. 2001. *Ecología.* 4a ed. Pearson Educación. Madrid, España. 664 p.
- Thomas, H., and J. L. Stoddart. 1980. Leaf senescence. *Ann. rev. plant physiol.* 34: 81-111.
- Van Soest, P., J. Robertson, and B. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583-3597.