Peso fresco y calidad de nopalito (*Opuntia ficus-indica* L.) fertilizado con composta de estiércol de vaca

Fresh weight and quality of nopalito (*Opuntia ficus-indica* L.) fertilized with cow manure compost

Horacio E. Alvarado-Raya[1,4], Edmar Salinas-Callejas[2] y Guadalupe Ortiz-Huerta[3]

Recibido: Diciembre 22, 2015 *Aceptado: Febrero 29, 2016*

Resumen

La producción de nopal verdura en Milpa Alta, D.F., México, se ha basado por más de 40 años en la utilización de altas dosis de estiércol fresco de vaca (hasta 600 $t.ha^{-1}$) y podría ser fuente de gases de efecto invernadero como metano y óxido nitroso; se necesitan alternativas de nutrición amigables con el ambiente. Para comparar diferentes fuentes de fertilización en el rendimiento de planta y en la calidad y vida de anaquel de cladodios, plantas de tres años de edad fueron tratadas con composta, lixiviado de composta aplicado al suelo o asperjado al tallo, estiércol fresco de vaca y fertilizante sintético; plantas tratadas con agua aplicada al suelo o asperjada al tallo fueron tratamientos testigo. Respecto al rendimiento, no hubo diferencias significativas entre tratamientos. Los cladodios de plantas tratadas con composta y estiércol fresco mostraron un pH menor (4.7) que aquellos de plantas tratadas con agua aplicada al suelo (5.1; $p \leq 0.007$). Cladodios de plantas tratadas con fertilizantes sintéticos mostraron mayor resistencia al corte (6.9 Nw) que aquellos de plantas tratadas con estiércol (5.2 Nw), lixiviado de composta foliar (5.1 Nw) y agua aplicada al suelo (5.1 Nw; $p \leq 0.002$). Cladodios de plantas tratadas con fertilizante sintético y lixiviado de composta foliar tardaron más días en mostrar oscurecimiento en anaquel (4.6 y 4.4 días, respectivamente) que aquellos producidos con agua aplicada al suelo (1.2 días; $p \leq 0.001$). Se concluye que la composta de estiércol podría ser un sustituto apropiado del estiércol fresco de vaca para fertilizar el cultivo de nopal verdura.

Palabras clave: lixiviado de composta, producción orgánica, oscurecimiento enzimático, calidad de vida de anaquel.

Abstract

Cactus crop as a tender leaf at Milpa Alta, D.F., Mexico, has depended for more than 40 years in the use of high doses of fresh cow manure (600 $t.ha^{-1}$) and this could be a source for greenhouse gases such as methane and nitrous oxide; friendly nutrition alternatives are needed to the environment. To compare different sources of fertilizing on cactus plant yield, cladode quality and cladode shelf-life, three-year-old cactus plants were treated with compost, compost lixiviate applied to the soil or as a foliar spray, fresh cow manure and synthetic fertilizer; plants treated with water applied to the soil or as a foliar spray served as checks. Regarding to the plant yield, there was no statistical difference among treatments. Cladodes of plants treated with compost and fresh manure showed a lower pH (4.7) than those of plants treated with water applied to the soil (5.1; $p \leq 0.007$). Cladodes from plants treated with synthetic fertilizer showed higher resistance to cutting (6.9 Nw) than those from plants treated with manure (5.2 Nw), foliar sprayed with compost lixiviate (5.1 Nw) and water applied to the soil (5.1 Nw; $p \leq 0.002$). Cladodes of plants treated with synthetic fertilizer and foliar sprayed with compost lixiviate took more days to show darkening on shelf (4.6 and 4.4 days, respectively) than cladodes from plants treated with water applied to the soil (1.2 days; $p \leq 0.001$). It is concluded that compost manure could be a suitable substitute for fresh cow manure in fertilizing cactus tender leaf crops.

Keywords: compost lixiviate, organic production, enzymatic browning, shelf-life quality.

[1] Universidad Autónoma Chapingo. Área de Biología, Preparatoria Agrícola. Km. 38.5 Carretera México-Texcoco. 56230. Texcoco, Estado de México. Tel. (595) 952-1500 Ext. 5289.

[2] Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. Departamento de Economía. Avenida San Pablo 180, Reynosa Tamaulipas. 02200. Azcapotzalco, Ciudad de México.

[3] Instituto Politécnico Nacional. SEPI. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería, Ciencias Sociales y Administración (UPIICSA), Avenida Té 950. Colonia Granjas México, Iztacalco. 08400. Ciudad de México.

[4] Dirección electrónica del autor de correspondencia: horacio_alvarado@hotmail.com.

Introducción

La producción de nopal verdura (nopalito) en la Delegación Milpa del Distrito Federal, México, históricamente se ha basado en altas dosis de estiércol fresco, con ventajas para la nutrición de la planta, las características físico-químicas del suelo, la retención de humedad y la reducción de malezas (Rivera *et al*., 2006); sin embargo, es necesario también considerar las desventajas que esta práctica podría tener y ofrecer alternativas de fertilización.

En 2014, la superficie plantada de nopalito en esta delegación fue de 2,850 hectáreas, representando un 23.7% del total de la superficie nacional plantada con este cultivo en ese año; solamente seguida por Tlalnepantla, Morelos, municipio colindante con Milpa Alta que registró en ese año 2,458 hectáreas de nopalito (SIAP, 2014). Si se considera que la producción de nopal verdura en Milpa Alta depende de la aplicación de hasta 600 $t.ha^{-1}$ de estiércol fresco de vaca (Rivera *et al*., 2006; Vázquez-Alvarado, *et al*., 2006), la cantidad potencial de este insumo utilizada en la producción anual de nopalito en esa delegación ascendería a 1.71 millones de toneladas cada año. Esta gran cantidad de estiércol fresco en una región agrícola hace obligado considerar los efectos ambientales y de inocuidad que se podrían generar.

La aplicación de estiércoles en la agricultura tiene ventajas ya conocidas, pero es también necesario considerar sus posibles desventajas ambientales. En comparación con la aplicación de fertilizantes sintéticos, la aplicación de estiércoles a los suelos agrícolas incrementa el carbono orgánico y minerales como el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K); mejora el pH, aumenta la masa microbiana e incrementa la actividad enzimática haciendo disponible para la planta al N y el P; también incrementa la formación y estabilidad de agregados. Con lo anterior, no sólo se aumenta el rendimiento de los cultivos sino también la capacidad del suelo para secuestrar carbono de la atmósfera (Zhong *et al*., 2010; Acosta-Martínez *et al*., 2011; Karami *et al*., 2012; Liang *et al*., 2012); sin embargo, la aplicación de altas dosis de estiércoles en Milpa Alta también puede generar problemas de altas concentraciones de materia orgánica, N y P en las escorrentías, y participar en los problemas de eutrofización en las aguas de los lagos del Valle de México, *e.g.* el Lago de Chalco (Chanduví, 1993; Withers *et al*., 2014). Lo anterior, aunado a la alta probabilidad de emisión de gases efecto invernadero (GEI) como el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O), y también a que podría ser el origen de lixiviados de nitratos (NO_3) al manto freático (Martínez *et al*., 2003; Massé *et al*., 2003; Sistani *et al*., 2011; Kariyapperuma *et al*., 2012) hace obligada la reconsideración de este tipo de fertilización en la producción de nopal verdura en Milpa Alta y la generación de alternativas.

La utilización de composta podría considerarse como una alternativa ambientalmente amigable en la producción de nopal verdura en esta zona. El compostaje de estiércoles puede resultar en menor emisión de GEI en comparación con su almacenamiento (Chen *et al*., 2014), mientras que la aplicación de compostas al suelo podría reducir el contenido de NO_3 y PO_4 en las escorrentías y reducir las emisiones de GEI en comparación con el estiércol, sin perder las ventajas para el suelo y el cultivo que anteriormente se han mencionado para el caso de la aplicación de estiércoles (Martínez *et al*., 2003; Lynch *et al*., 2005; Kariyapperuma *et al*., 2012). Por el lado del cultivo, se han encontrado incrementos del rendimiento de nopalito (número de cladodios, longitud y grosor, peso seco y peso fresco de cladodio) al utilizar composta o estiércol en comparación del cultivo sin composta ni estiércol (Murillo-Amador *et al*., 2005).

Para considerar la utilización de composta de estiércol de vaca como una opción viable para sustituir el estiércol fresco en la producción de nopalito en Milpa Alta, se requiere de información surgida de la comparación objetiva entre este tipo de fertilización y otras fuentes minerales. La presente es una investigación exploratoria, cuyo objetivo es comparar diferentes fuentes de fertilización y su efecto en el rendimiento, calidad y vida de anaquel de nopal verdura en condiciones de campo en la zona rural de Milpa Alta, DF., haciendo énfasis en la comparación entre el estiércol en fresco y el estiércol en composta.

Materiales y métodos

Elaboración de la composta. Para este experimento se utilizó composta elaborada previamente durante el periodo del 13 de marzo al 16 de junio de 2010. La composta se hizo a base de estiércol fresco de vaca, residuos de poda de nopal y residuos de jardinería (pasto y madera de eucalipto) en una proporción 2:2:1 basada en peso. El proceso de compostaje se realizó en una cama de concreto con una inclinación de cinco grados y se encuentra explicado en Tavera-Cortes *et al*. (2014). La pila de compostaje tuvo las dimensiones de 1.2 x 1.0 x 12 m (alto, ancho y largo) y se aireó por medio de volteo manual una vez a la semana. La temperatura registrada en la cama de compostaje varió entre los 37 y los 58 °C durante los tres meses del proceso (12 de marzo a 18 de junio de 2010). Se recolectó el lixiviado y al final del proceso se analizaron tanto la composta como el lixiviado (Cuadros 1 y 2), se envasaron y se almacenaron para su uso posterior.

Cuadro 1. Características de la composta aplicada al suelo en la huerta experimental de nopalito en 2012.

Materia orgánica (%)	Nitrógeno (%)	Carbono orgánico (%)	Relación C:N
49.2	1.12	28.54	25.5

Cuadro 2. Características del lixiviado de composta aplicado mensualmente a la huerta experimental de nopalito durante 2012 y 2013.

Minerales ($mg.L^{-1}$)					pH	Conductividad ($mS.cm^{-1}$)
Nitratos	Fósforo	Potasio	Magnesio	Calcio		
221.5	1995.5	64.80	5.0	50.0	8.5	5.83

Establecimiento del experimento. El experimento se inició en 2012 y se estableció en una huerta comercial de nopal verdura de tres años de edad en el ejido San Lorenzo Tlacoyucan de la delegación Milpa Alta, D.F. (LN 19º, 09', 53''; LW 99º, 02', 44''). La huerta estuvo diseñada en hileras con distancias de 1.0 m entre hileras y 50 cm entre plantas; las plantas estuvieron conformadas por tres a cuatro pencas estructurales.

Se consideraron siete tratamientos: fertilización sintética (250-50-200), estiércol fresco de vaca (600 $t.ha^{-1}$), composta de estiércol de vaca (555 $t.ha^{-1}$), lixiviado de composta aplicado en forma foliar, lixiviado de composta aplicado al suelo y como testigos se aplicó agua en forma foliar y agua al suelo. La composta y el estiércol fresco se aplicaron por única vez el 28 de abril de 2012, distribuyéndose en la calle (entre dos hileras de nopal); el fertilizante sintético se aplicó en 2012 y 2013, dividiéndose en dos aplicaciones anuales, una en abril (125-50-100) y otra en agosto (125-00-100); el lixiviado obtenido durante el compostaje se diluyó con agua en una proporción de 20:1 y su aplicación fue mensual, asperjada a la planta hasta formación de gota y en el suelo a una dosis de 2.0 litros de diluido por metro lineal en la hilera de plantas. La aplicación de agua foliar y al suelo se hizo de manera similar a la aplicación de lixiviado. La composta y su lixiviado utilizados en este experimento fueron producidos durante el compostaje de 2010 explicado en el párrafo anterior. El formula química utilizada para el tratamiento sintético se conformó a base de Urea (46-00-00), Triple-17 (17-17-17) y Nitrato de Potasio (13-00-46).

Registro de variables de crecimiento en campo. Después del establecimiento del experimento, se cosecharon los nopales aunque no se registraron datos. El registro de variables respuesta para crecimiento se realizó en el año siguiente al del establecimiento del experimento, de manera mensual y durante toda la temporada de producción 2013 (marzo a octubre). Se determinaron el número de cladodios cosechados por planta, así como el peso fresco y peso seco por cladodio. El peso seco se obtuvo por deshidratación a una temperatura de 70 ºC y hasta peso constante.

Análisis de calidad. El 5 de julio de 2013 se realizó un análisis de calidad, para lo cual los cladodios se cosecharon al amanecer (7:00 a 9:00 am; 12:00 a 14:00 UTC); se les eliminaron las espinas en campo inmediatamente después de cosecharlos y se transportaron en una hielera (± 4 ºC; 90 min) al laboratorio donde se seleccionaron cinco cladodios con 10 a 20 cm de longitud para cada repetición, a los cuales se les determinó el índice de color, la resistencia al corte, la acidez titulable y el pH. Las variable de color se determinaron para cada cladodio con un Hunter Lab marca Reston, modelo D25-PC2, considerándose los valores L, a y b. La luminosidad se tomó directamente del aparato (L) y se determinó el ángulo de tono (Ecuación 1) y la pureza de color (Ecuación 2) con las variables a y b. Los valores de los cinco cladodios en una repetición se promediaron para contar con un valor por repetición.

Ecuación 1. Ángulo de tono (^{o}Hue) = $Tan^{-1}(b/a)$

Ecuación 2. Pureza (Chroma) = $(a^2 + b^2)^{1/2}$

Para determinar la resistencia al corte (firmeza), se obtuvo una tira longitudinal del centro del cladodio, y se midió la resistencia al corte (Newtons) en tres puntos (extremos y centro) de la tira con un texturómetro Force Five, modelo FDV con punta de cincel de 3.0 cm hasta cortarlo. Los tres valores de la tira se promediaron para generar un valor por cladodio y los valores de los cinco cladodios se promediaron para generar un valor por repetición. Para determinar el pH y la acidez titulable, se tomaron 10.0 g de muestra por repetición. La muestra se conformó de las partes centrales de la tira derecha de cada cladodio de una repetición. La muestra mezclada para cada repetición se molió con 50 mL de agua destilada y se tamizó. Se tomaron 5.0 mL del tamizado y se determinó el pH con un potenciómetro marca Beckman, modelo 40 pH Meter. La acidez titulable se determinó por el método de la fenolftaleína y con base en el ácido málico. Se tomaron 5.0 mL del licuado y se le agregaron 3 gotas de fenolftaleína en solución alcohólica al 1%, después se agregó NaOH 0.1M hasta detectar cambio de color. Se registró la cantidad gastada de NaOH y la acidez se determinó mediante la Ecuación 3.

Ecuación 3.

Ac. Málico (%)= [(a x b x c x V)/P x A] x 100

Donde:

a = mL NaOH (0.1N) gastados

b = 0.1 (normalidad de NaOH)

c = 0.067 (miliequialentes de ácido málico)

V = Volumen total del licuado (mL agua destilada + pulpa de cladodio)

P = 10.0g (peso de la muestra)

A = 5.0 (cantidad en mL de la alícuota)

Vida de anaquel. El primero de noviembre de 2013 se seleccionaron cinco cladodios por tratamiento (cosechado, desespinados y transportados al igual que aquellos utilizados para análisis de calidad). En el laboratorio se determinó el peso fresco, longitud y ancho de cladodio y se colocaron a temperatura ambiente (±18 ºC) en contenedores de plástico transparentes cerrados, pero con ventilación. Se determinó la pérdida de peso y el avance del oscurecimiento en cada cladodio durante siete días. Para determinar el oscurecimiento se definió una escala subjetiva (1 = poco o nada de oxidación; 2 = oxidación ligera; 3 = oxidación regular; 4 = oxidación severa; 5 = oxidación muy severa), la cual se utilizó durante los siete días de evaluación.

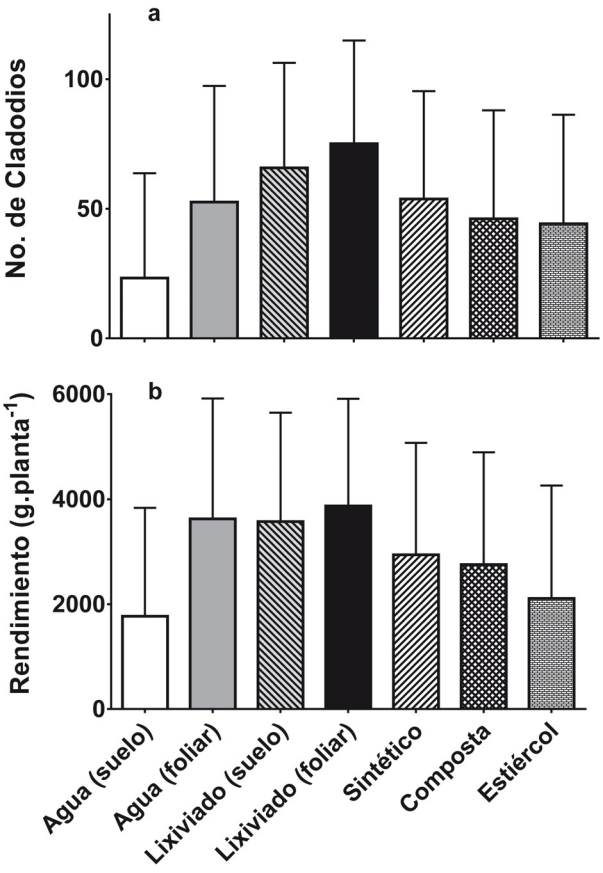
Diseño experimental y análisis de datos. Se consideró un diseño completamente al azar para la distribución de los tratamientos en campo. Una planta se consideró como unidad experimental y se tuvieron seis repeticiones por tratamiento para determinar el efecto de tratamientos en las variables de crecimiento y calidad de cladodio, pero sólo cinco repeticiones en el análisis de vida de anaquel. Los datos se analizaron con el paquete estadístico SAS (SAS 2002, Institute Inc, Cary, NC, USA) por medio del modelo GLM. Las medias se separaron mediante la prueba de Tukey (α=0.05) en caso de significancia estadística.

Resultados y discusión

Crecimiento y rendimiento de planta. Aunque los tratamientos no mostraron efecto significativo sobre el número de cladodios ni sobre la acumulación de peso (fresco y seco) tanto de cladodio como de la planta, se observó una tendencia a un mayor número de cladodios en las plantas fertilizadas con lixiviado de composta, tanto al suelo como foliar (68.5 y 71.5 cladodios por planta, respectivamente; Figura 1a). Debido a la correlación negativa que el número de cladodios mostró con el peso freso y seco de cladodio (Cuadro 3), los pesos fresco y seco tendieron a disminuir en aquellos cladodios producidos por plantas fertilizadas con lixiviado de composta y, por el contrario, el mayor peso fresco y seco de cladodio tendió a presentarse en aquellas plantas tratadas solamente con agua al suelo (70.8 y 3.5 g) y agua foliar (75.8 y 3.2 g). De la misma manera, la alta correlación positiva entre el número de cladodios y el peso fresco total acumulado por planta, permitió observar una tendencia a un mayor rendimiento (peso fresco de planta) acumulado en las plantas tratadas de manera foliar, tanto con agua como con lixiviado, así como en las plantas tratadas con lixiviado al suelo (Figura 1b).

Diferentes investigaciones han reportado el tiempo necesario para observar el efecto de la aplicación de materia orgánica al suelo. Rivera *et al*. (2006) mencionan que es necesario poco menos de una año para que la materia orgánica aplicada a los suelos agrícolas de Milpa Alta se descomponga; Acosta-Martínez *et al*. (2011) encontraron que se requieren dos años para considerar beneficios potenciales de los fertilizantes orgánicos en los ciclos biogeoquímicos del suelo y su actividad enzimática. En el presente experimento, se permitió un año para que después de la aplicación de estiércol y composta se iniciara el registro de variables, pero aun así, no se encontraron diferencias significativas; una explicación podría ser la riqueza en materia orgánica y minerales que tienen los suelos agrícolas de Milpa Alta por la recurrente aplicación de altas dosis de estiércol desde hace más de 40 años (Rivera *et al*., 2006).

Figura 1. Efecto de diferentes tipos de fertilización en el número total de cladodios (a) y el rendimiento acumulado (b) en nopal verdura en Milpa Alta, D.F. Méx. Las columnas son la media ajustada por cuadrados mínimos de seis valores. Las barras representan la desviación estándar.



Cuadro 3. Matriz de correlaciones entre las principales variables de crecimiento en nopal verdura en Milpa Alta, DF, Méx.

	NC[z]	FrPnc	SecPnc	SecPnc%	FrPlt	SecPlt	SecPlt%	Índice
NC	1.00	-0.31[*y]	-0.362[*]	-0.261[NS]	0.912[***]	0.886[***]	-0.322[*]	0.753[***]
FrPnc		1.00	0.872[***]	0.123[NS]	-0.042[NS]	-0.032[NS]	0.102[NS]	0.069[NS]
SecPnc			1.00	0.583[***]	-0.158[NS]	-0.078[NS]	0.547[**]	-0.012[NS]
SecPnc%				1.00	-0.266[NS]	-0.118[NS]	0.961[***]	-0.156[NS]
FrPlt					1.00	0.973[***]	-0.354[*]	0.862[***]
SecPlt						1.00	-0.189[NS]	0.826[***]
SecPlt%							1.00	-0.266[NS]
Índice								1.00

[z] NC=Número de cladodios por planta; FrPnc = Peso fresco del cladodio (g); SecPnc = Peso seco del cladodio (g); SecPnc% = Peso seco de cladodio (%); FrPlt = Peso fresco acumulado por planta (g); SecPlt = Peso seco acumulado por planta (g); SecPlt% = Peso seco acumulado por planta (%); Índice = Peso fresco total acumulado por la planta dividido entre el número de pencas estructurales de la misma.

[y] Correlación significativa con p<0.05 (*), p<0.01(**), p<0.001(**) y no significativa ([NS]).

Son pocos los estudios que versen sobre las correlaciones entre las variables de crecimiento en el cultivo de nopal verdura. Murillo-Amador *et al*. (2005) encontraron una correlación positiva entre el número de cladodios y su peso fresco y seco. En nuestro estudio, la correlación entre estas variables fue negativa, probablemente explicado porque la huerta de nopalito en Milpa Alta se manejó bajo condiciones de temporal, incrementando el efecto de competencia por humedad entre cladodios.

Calidad de nopalito. Los tratamientos no tuvieron efecto significativo sobre la acidez titulable ni sobre los parámetros de color (Cuadro 4); estos valores se encontraron cercanos a los encontrados en otras investigaciones (Aguilar-Sánchez *et al*., 2007). Para el caso del pH de cladodios, los valores se encontraron dentro de los rangos reportados por otros autores para nopal verdura (Rodríguez-Felix y Cantwell, 1988; Betancourt-Domínguez *et al*., 2006; Aguilar-Sánchez *et al*., 2007). Los tratamientos con composta y estiércol redujeron significativamente el pH de los cladodios en comparación con el tratamiento testigo (agua aplicada al suelo). Aunque no hay estudios del efecto de fertilización orgánica en el pH de nopal verdura, se ha reportado un pH de fruto menor en tomate producido por plantas fertilizadas con composta que en el producido por plantas fertilizadas con fertilizantes sintéticos (Riahi *et al*., 2009). En nuestro experimento, los tratamientos en los que se observaron los menores valores para pH de cladodio fueron en los que también se registraron los mayores valores de peso fresco y seco por cladodio (sin diferencias estadísticas; datos no mostrados), lo que podría indicar una mayor actividad fotosintética en el cladodio, explicando el incremento en el pH por la mayor concentración de ácido málico, al ser el nopal una planta de metabolismo MAC; sin embargo, esta hipótesis queda pendiente para futuras investigaciones.

Respecto a la textura del cladodio, los valores encontrados en esta investigación se encuentran por debajo de los reportados por Aguilar-Sánchez *et al*. (2007) y Flores-Barrera (2013). El tratamiento con fertilizante sintético resultó en una mayor resistencia al corte que los tratamientos a base de estiércol, lixiviado aplicado de manera foliar y agua al suelo (Cuadro 4). Se ha mencionado que el grosor de la cutícula en nopalito influye en la resistencia al corte, existiendo una mayor resistencia en cladodios con una cutícula más gruesa (Flores-Barrera, 2013). En nuestro experimento, las plantas fertilizadas con fertilizante sintético pudieron también resultar en un menor contenido de humedad del suelo que en los otros tratamientos, resultando en una cutícula más gruesa en el cladodio. Al respecto, se conoce que algunas plantas suculentas y con metabolismo MAC como *Aloe vera*, incrementan el grosor de ambas cutículas -adaxial y abaxial- al reducir el contenido de humedad del suelo (Silva *et al*., 2014).

Vida de anaquel. Aunque se encontraron diferencias estadísticas (p<0.05) en la pérdida de peso registrada en gramos en los cladodios después de siete días de almacenamiento a temperatura ambiente, esta pérdida de peso registrada en base a porciento de peso inicial no mostró diferencias estadísticas (Cuadro 5).

Los cladodios de las plantas tratadas con lixiviado de composta asperjado a la penca y las tratadas con fertilizante sintético duraron más días en anaquel sin mostrar oscurecimiento, aunque este efecto duró más con la fertilización sintética. Aguilar-Sánchez *et al.* (2007) mencionan que la oxidación en nopal verdura se debe a la actividad de la enzima polifenoxidasa (PPO) y a la presencia de compuestos fenólicos, existiendo una variación en la intensidad de oscurecimiento que depende de la variedad y el estado de desarrollo del cladodio. Estos autores también encontraron que la variedad 'Milpa Alta' presenta alta actividad de PPO y potencial de oscurecimiento, en comparación con otras variedades con potencial para venta con procesamiento mínimo (pelado, cortado y rebanado). En nuestro experimento se encontró que el tipo de fertilización también puede afectar la velocidad de oscurecimiento; queda para futuras investigaciones el encontrar como es que el tipo de fertilización afecta la actividad de la PPO y la presencia de compuestos fenólicos en cladodios de nopal.

Cuadro 4. Análisis de calidad a cladodios producidos con diferentes fuentes de fertilización en Milpa Alta, D.F., Méx. Los valores son la media de seis repeticiones.

Tratamiento	pH	AT (% Ac. málico)	Textura (Nw)	Color		
				L	Chroma	°Hue
Agua al suelo	5.1a[z]	0.92a	5.1c	33.2a	17.1a	54.6a
Agua foliar	4.9ab	0.67a	6.8ab	32.4a	17.6a	54.7a
Lixiviado al suelo	4.9ab	0.67a	5.8abc	33.8a	16.6a	58.4a
Lixiviado foliar	4.9ab	0.70a	5.1c	33.1a	17.6a	53.0a
Sintético (químico)	4.8ab	0.67a	6.9a	33.8a	17.3a	54.6a
Composta	4.7b	0.72a	5.3abc	32.0a	17.1a	54.4a
Estiércol	4.7b	0.97a	5.21bc	33.0a	17.8a	55.2a

[z] Valores con la misma letra dentro de la columna (tratamientos) no son diferentes estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey (α = 0.05).

Importancia para el consumidor. Aunque el valor nutrimental es importante para nopalito, su apariencia y sabor pudieran ser de mayor relevancia para el consumidor. El nopalito, como otros vegetales, es bajo en grasas y proteínas, pero su alto contenido de cenizas, fibras y agua lo ubican como un alimento dietético con posibilidades para el control de sobrepeso, el colesterol y la diabetes (Rodríguez-Felix y Cantwell, 1988; Saenz, 2000; Saenz-Hernández *et al*., 2002; Stintzing y Carle, 2005); sin embargo, de acuerdo con Bruhn (2002), al momento de comprar los consumidores le darían más importancia a la apariencia y la frescura de un producto hortofrutícola que a otros atributos que hacen la calidad de consumo, incluyendo el sabor. En este sentido, se considera como nopalitos de buena calidad a aquellos «delgados, de apariencia fresca, turgentes y de un color verde brillante» (Saenz, 2000); además, el número de espinas junto con el color son factores de calidad evaluados por el consumidor al momento de la compra (Saenz-Hernández *et al*., 2002). Por lo anterior, es importante también analizar el efecto que los tratamientos utilizados en este experimento podrían tener en la aceptación del producto en el mercado.

Cuadro 5. Pérdida de peso y velocidad de oxidación en cladodios producidos con diferentes fuentes de fertilización en Milpa Alta, D.F., Méx. Los valores son la media ajustada por cuadrados mínimos de cinco repeticiones.

Tratamiento	Pérdida de peso		Días a oscurecimiento	
	(g)	(%)	Regular	Muy Severa
Agua al suelo	13.3az	15.25a	1.2c	4.4b
Agua foliar	8.2ab	13.6a	2.3bc	6.0ab
Lixiviado al suelo	7.6b	13.8a	2.5bc	5.9ab
Lixiviado foliar	9.1ab	10.2a	4.4ab	6.4ab
Sintético (químico)	8.0ab	13.0a	4.6[a]	6.6[a]
Composta	11.2ab	7.4a	1.8bc	5.6ab
Estiércol	10.6ab	6.7a	2.1bc	5.8ab

[z] Valores con la misma letra dentro de la columna (tratamientos) no son diferentes estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey (α=0.05).

El nopalito se clasifica como una hortaliza de tallo de consumo en fresco o cocinado, por lo que la textura tiene un efecto definitivo en la aceptación o rechazo por el consumidor. Considerando lo anterior, aunque los valores de textura (resistencia la corte) encontrados en

esta investigación fueron menores que los de otras investigaciones, es importante señalar que los nopalitos provenientes de plantas tratadas con fertilizante sintético podrían resultar en mayor rechazo por el consumidor al apreciarse más duros al corte que los nopalitos producidos en plantas tratadas con otras fuentes de nutrición (Cuadro 4). No obstante, sería necesario realizar pruebas de degustación para probar esta hipótesis.

Con respecto a la vida de anaquel, los nopalitos se consideran productos hortofrutícolas ácidos, con alto contenido de humedad y carbohidratos, por lo que son altamente susceptibles al ataque microbiano durante su almacenamiento, limitando su comercialización en fresco (Stintzing y Carle, 2005). En este sentido, el almacenamiento en condiciones controladas podría conservar las características visuales de los nopalitos por más tiempo; sin embargo, estos productos, al igual que otros productos hortofrutícolas tropicales, son muy sensibles a daño por frío, por lo que las temperaturas de almacenamiento que se les recomienda se encuentran entre los 7.5 y los 10 °C. Adicionalmente, se recomiendan atmósferas modificadas con las cuales se reduce la disponibilidad de O_2 para la oxidación y oscurecimiento (Cantwell y Kasmire, 2002; Saenz-Hernández *et al*., 2002). Con las condiciones controladas antes mencionadas y los cuidados adecuados para evitar daños mecánicos durante la cosecha, la vida de anaquel esperada de nopalitos puede ser entre los 10 y los 21 días.

En esta investigación, los nopalitos obtenidos de plantas sujetas a los tratamientos experimentales fueron además sujetos a un análisis en su vida de anaquel. Aunque este análisis se hizo en condiciones no controladas (temperatura y concentración de O_2 ambientales), condiciones muy comunes en mercados regionales, es importante señalar el retraso en el oscurecimiento observado en los cladodios provenientes de plantas tratadas con fertilizante sintético y lixiviado foliar, así como el rápido oscurecimiento en cladodios producidos por plantas tratadas con composta y estiércol (Cuadro 5). Whitaker (1994), citado por Aguilar-Sánchez *et al*. (2007), indica que el pH óptimo para la actividad de la polifenoloxidasa se encuentra en el rango de 6.0 a 6.5 y que hay muy poca actividad de esta enzima a un pH de 4.5. Contrariamente, en nuestra investigación los tratamientos que tuvieron el menor pH (4.7; composta y estiércol) también mostraron los menores días a oscurecimiento. Es recomendable, sin embrago, realizar un análisis de vida de anaquel en nopalitos almacenados en ambiente controlados para reafirmar estas observaciones.

Conclusiones

Las diferentes fuentes de nutrición no afectaron el rendimiento de nopal verdura; tampoco tuvieron un efecto significativo en la mayoría de las características químicas y físicas evaluadas como parámetros de calidad en esta investigación, excepto en la firmeza y el pH de los nopalitos. La fertilización sintética resulta en nopalitos más resistentes al corte que podrían ser rechazados por los consumidores; sin embargo, también incrementa la vida de anaquel en condiciones de almacenamiento no controladas. La utilización de compostas y estiércol, por su parte, podrían resultar en nopalitos menos firmes y con mayor posibilidad de aceptación por el consumidor, pero con menos vida en anaquel en condiciones de almacenamiento no controladas.

Considerando las ventajas ambientales que la composta podría tener en comparación con el estiércol fresco de vaca y la poca diferencia estadística que en general hubo entre estas dos fuentes de fertilización con respecto al rendimiento, calidad y vida de anaquel de nopalito, la fertilización con composta se muestra como una alternativa adecuada en la producción de nopal verdura en Milpa Alta, D.F.; sin embargo, es recomendable explorar realmente el efecto que tienen ambos tipos de fertilización en el ambiente, así como su efecto en parámetros de vida de anaquel de los nopalitos almacenados en ambientes controlados.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo financiero del ICyTDF para realizar esta investigación. Se agradece también el apoyo del Laboratorio de Poscosecha del Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo, al Dr. Crescenciano Saucedo Veloz y al M.C. Reyes López García por su apoyo en el estudio de calidad realizado. De la misma manera se agradece el apoyo de la Dra. María Elena Tavera Cortés y la M.C. Nalleli Valtierra García por su apoyo durante la fase de campo del experimento.

Literatura citada

Acosta-Martínez, V, M.M. Mikha, K.R. Sistani, P.W. Stahlman, J.G. Benjamin, M.F. Vigil, and R. Erickson. 2011. Multi-location study of soil enzyme activities as affected by types and rates of manure application and tillage practices. *Agriculture 1*:4-21.

Aguilar-Sánchez, L.; M.T. Martínez-Damián, A.F. Barrientos-Priego, N. Aguilar-Gallegos y C. Gallegos-Vásquez. 2007. Potencial de oscurecimiento enzimático de variedades de nopalitos. *Journal of the Professional Association for Cactus Development 9*:165-184.

Betancourt-Domínguez, M.A., T. Hernández-Pérez, P. García-Saucedo, A. Cruz-Hernández, and O. Paredes-López. 2006. Physico-chemical changes in cladodes (nopalitos) from cultivated and wild cacti (*Opuntia* spp.). *Plant Foods for Human Nutrition 61*:115-119.

Bruhn, C.M. 2002. Consumer issues in quality and safety. *In*: A.A. Kader (ed). Postharvest Technology of Horticultural Crops. 3rd edition. ANR-University of California. Oakland, CA. Pp: 31-37.

Cantwell, M.I. and R.F. Kasmire. 2002. Postharvest handling systems: flower, leafy, and stem vegetables. *In*: A.A. Kader (ed). Postharvest Technology of Horticultural Crops. 3rd edition. ANR-University of California. Oakland, CA. Pp: 423-433.

Chanduví, F. 1993. Riego con aguas servidas en Xochimilco, México DF, México. *In*: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Prevención de la Contaminación del Agua por la Agricultura y Actividades Afines. Anales de la Consulta de Expertos Organizada por la FAO. Santiago, Chile 20-23 de octubre de 1992. Pp. 139-150.

Chen, R., Y. Wang, S. Wei, W. Wang, and X. Lin. 2014. Windrow composting mitigated CH4 emissions: characterization of methanogenic and methanotrophic communities in manure management. FEMS *Microbiology Ecology 90*:575-586.

Flores-Barrera, S. 2013. Fertilización y frecuencia de riego en la producción de nopal verdura (*Opuntia ficus indica* L.) en túnel de plástico. Tesis de Maestría en Ciencias. Posgrado de Recursos Genéticos y Productividad, Fruticultura. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Estado de México. 66 pp.

Karami, A., M. Homaee, S. Afzalinia, H. Ruhipour and S. Basirat. 2012. Organic resource management: impacts on soil aggregate stability and other soil physico-chemical properties. *Agriculture, Ecosystems and Environment 148*:22-28.

Kariyapperuma, K.A., A. Furon, and C. Wagner-Riddle. 2012. Non-growing season nitrous oxide fluxes from an agricultural soil affected by application of liquid and composted swine manure. *Canadian Journal of Soil Science 92*:315-327.

Liang, Q., H. Chen, Y. Gong, M. Fan, H. Yang, R. Lal and Y. Kuzyakov. 2012. Effects of 15 years of manure and inorganic fertilizers on soil organic carbon fractions in a wheat-maize system in the north China plains. *Nutrient Cycling in Agroecosystems 92*:21-33.

Lynch, D.H., R.P. Voroney, and P.R. Warman. 2005. Soil Physical properties and organic matter fractions under forages receiving compost, manure or fertilizer. *Compost Science & Utilization 13*:252-261.

Martínez, F., M.A. Casermeiro, D. Morales, G. Cuevas, and I. Walter. 2003. Effects on run-off water quantity and quality of urban organic waste applied in a degraded semi-arid ecosystem. *The Science of the Total Environment 305*:13-21.

Massé, D.I., F. Croteau, N.K. Patni, and L. Masse. 2003. Methane emissions from dairy cow and swine manure slurries stored at 10°C and 15°C. *Canadian Biosystems Engineering 45*:6.1-6.6.

Murillo-Amador, B., A. Flores-Hernández, J.L. García-Hernández, R.D. Valdez-Cepeda, N.Y. Ávila-Serrano, E. Troyo-Diéguez, and F.H. Ruiz-Espinoza. 2005. Soil amendment with organic products increases the production of prickly pear cactus as a green vegetable (nopalitos). *Journal of the Professional Association for Cactus Development 7*:97-109.

Riahi, A., C. Hdider, M. Sanaa, N. Tarchoun, M. B. Kheder, and I. Guezal. 2009. Effect of conventional and organic production systems on the yield and quality of field tomato cultivars grown in Tunisia. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 89*:2275-2282.

Rivera, G., J. Cortés, R. Soriano, H. Losada, J. Morales, and E. Arias. 2006. Edaphical characteristics of three vegetable cactus pear orchards (*Opuntia ficus-indica*) fertilized with high amounts of dairy manure at Milpa Alta, Mexico. *Acta Horticulturae 728*:159-163.

Rodríguez-Felix, A. and M. Cantwell. 1988. Developmental changes in composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos). *Plant Foods for Human Nutrition 38*:83-93.

Saenz, C. 2000.Processing technologies: an alternative for cactus pear (*Opuntia* spp.) fruits and cladodes. *Journal of Arid Environments 46*:209-225.

Saenz-Hernández, C., J. Corrales-García, and G. Aquino-Pérez. 2002. Nopalitos, mucilage, fiber, and cochineal. *In*: P.S. Nobel (ed.). Cacti. Biology and Uses. University of California Press. Berkeley, CA. Pp. 211-234.

SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2014. Producción Anual. Cierre de la Producción Agrícola por Estado. www.siap.gob.mx (último acceso: agosto de 2015).

Silva, H., S. Sagardia, M. Ortiz, N. Franck, M. Opazo, M. Quiroz, C. Baginsky, and C. Tapia. 2014. Relationships between leaf anatomy, morphology, and water use efficiency in *Aloe vera* (L.) Burm f. as a function of water availability. *Revista Chilena de Historia Natural 87*:13.

Sistani, K.R., M. Jn-Baptiste, N. Lovanh, and K.L. Cook. 2011. Atmospheric emissions from of nitrous oxide, methane and carbon dioxide from different nitrogen fertilizers. *Journal of Environmetal Quality 40*:1797-1805.

Stintzing, F.C. and R. Carle. 2005. Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemestry, technology, and uses. Molecular *Nutrition & Food Research 49*:175-194

Tavera-Cortes, M.E., P.E. Escamilla, H. Alvarado, E. Salinas y S. Galicia. 2014. Regional development model based on organic production of nopal. *Modern Economy 5*: 239-249.

Vázquez-Alvarado, R.E., E. Olivarez, F. Zavala, and R.D. Valdez. 2006. Utilization of manure and fertilizers to improve the production of cactus pear (*Opuntia* spp.) a Review. *Acta Horticulturae 728*:151-158.

Withers, P.J.A., C. Neal, H.P. Jarvie, and D.G. Doody. 2014. Agriculture and eutrophication: where do we go from here? *Sustainability 6*:5853-5875.

Zhong, W., T. Gu, W. Wang, B. Zhang, X. Lin, Q. Huang, and W. Shen. 2010. The effects of mineral fertilizer and organic manure on soil microbial community and diversity. *Plant Soil 326*:511-522.

Este artículo es citado así:

Alvarado-Raya, H. E., E. Salinas-Callejas y G. Ortiz-Huerta. 2016. Peso fresco y calidad de nopalito (*Opuntia ficus-indica* L.) fertilizado con composta de estiércol de vaca. *Tecnociencia Chihuahua 10(1)*: 13-22.

Resumen curricular del autor y coautores

Horacio E. Alvarado Raya. Realizó sus estudios de licenciatura en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo (México), graduándose como Ingeniero Agrónomo en 1989. Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias por el Departamento de Fruticultura del Colegio de Posgraduados (México) en 1997, donde realizó estudios sobre el efecto de promotores de floración en la salida de letargo y dimensiones del ovario en ciruelo japonés. Estudió la relación fuente-demanda en la floración y fructificación de frambuesa roja durante sus estudios de doctorado en el Departamento de Ciencias Hortícolas de la Universidad de Florida (EEUU) y obtuvo el grado de Doctor por ese departamento en 2006. Realizó una estancia de investigación en el Departamento de Biosistemas e Ingeniería Agrícola de la Universidad de Kentucky (EEUU) en 2014, en la cual investigó factores para la emisión de Gases con Efecto Invernadero (GEI) a partir de compostas. Ha sido integrante del Sistema Nacional de Investigadores (Candidato) de 2008 a 2012. Actualmente es profesor de Biología y Fruticultura en el Departamento de Preparatoria Agrícola y en la Carrera de Agrónomo en Horticultura Protegida de la Universidad Autónoma Chapingo. Realiza investigación en fisiología de frutales, producción orgánica, compostaje y emisiones de GEI. Es autor y coautor de 17 artículos científicos y dos capítulos de libro.

Edmar Salinas Callejas. Realizó sus estudios de licenciatura en la Facultad de Economía de la UNAM, orientándose al análisis de los problemas del desarrollo económico (1968-1972); hizo estudios de maestría en el Centro de Estudios Rurales de El Colegio de Michoacán, A.C. (1987-1991) especializándose en desarrollo agroindustrial; los estudios de doctorado los cursó en El Colegio de Posgraduados Campus Montecillo (1997-2001) en la especialidad de Economía Agrícola. Ha dirigido alrededor de 50 tesis de licenciatura y ha sido lector de 10 tesis de licenciatura, 30 de maestría, y 3 de doctorado. Es miembro del SNI desde 2006 a la fecha, y del PRODEP desde 2008. Ha publicado más de 50 artículos periodísticos, 10 artículos de divulgación, ha colaborado en 24 libros colectivos y ha publicado alrededor de 20 artículos especializados en diversas revistas nacionales e internacionales. Fue jefe de área de investigación en dos ocasiones en el Departamento de Economía de la Unidad Azcapotzalco de la UAM, coordinador de licenciatura (1985-1987), coordinador de maestría (1992-1997), miembro de la comisión dictaminadora de recursos (2007-2008). También ha sido miembro de los cuerpos colegiados de la UAM, Consejo Divisional y Consejo Académico en varias ocasiones. Ha impartido los cursos de Historia Económica de México, Historia Económica de América Latina, Economía Política, Macroeconomía, Política Económica, Microeconomía, Teorías del Desarrollo Económico, Economía Internacional, Metodología de las Ciencias Sociales. Es miembro del Área de Relaciones Productivas en el Dpto de Economía de la UAM Azcapotzalco y colabora en un proyecto de investigación multidisciplinario de investigación aplicada con UPIICSA, ESCA Tepepan y Chapingo.

Guadalupe Ortiz Huerta. Es Maestra en Ciencias en Proyectos Interdisciplinarios para Pymes y Licenciada en Administración Industrial por la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Ciencias Sociales y Administrativas del Instituto Politécnico Nacional. Desde 2011 ha participado en 5 proyectos de investigación incorporados a la Secretaria de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional. Además de participar en 2 proyectos de investigación vinculados al CONACYT. En Julio de 2014 toma el cargo de la Jefatura del Departamento de Diagnóstico y Soluciones Empresariales de la Unidad Politécnica para el Desarrollo y la Competitividad Empresarial, del Instituto Politécnico Nacional. Ha participado en diversas publicaciones de artículos de revistas así como en coautoría en capítulos de libros. En 2011 participó en la evaluación de proyectos obteniendo el nombramiento de "Técnico en Campo y diseñador de Información". Fue Acreedora al Premio BLIS (Buscando Lideres en Sustentabilidad) organizado por la Universidad Nacional Autónoma de México en marzo de 2013. La publicación más destacada es "El Comportamiento del Mexicano en las Empresas". Su principal área de especialización en el análisis de ciclo de vida de productos industriales así como el desarrollo sustentable en las PYMES.