TecNM/Roque, Celaya, Guanajuato, 12-14 mayo 2025 ISSN 2448-6620

MANEJO BIOLÓGICO DE MALEZAS Y SU EFECTO EN LA PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO DE NOPAL VERDURA

Cid Aguilar Carpio[1]; José Alberto Salvador Escalante Estrada[1]; Adriana Pérez Ramírez[2]; Isai Eliú Herrera Lara[3]; Yasmani Rafael Arenas Julio[4]

[1]Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. [2]IDAGRO S de RL de CV, Tlayacapan, Morelos, México. [3]Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero, Cocula, Guerrero, México. [4]Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Lerma, División de Ciencias Biológicas y de la Salud. * jasee@colpos.mx (Autor corresponsal).

RESUMEN

El nopal verdura se encuentra distribuido y se produce en muchas partes del país, siendo Morelos uno de los principales estados productores. En la agricultura, uno de los problemas más significativos son las malezas, ya que compiten con los cultivos por agua, luz y nutrientes, afectando su producción. Para controlarlas, se recurre al uso de herbicidas, sin embargo, estos pueden generar problemas como su residualita y toxicidad. Una alternativa es el uso de extractos vegetales con efectos alelopáticos. El objetivo del estudio fue determinar el efecto de extractos vegetales sobre la población de malezas en el cultivo de nopal verdura. El estudio se estableció en Tlayacapan, Morelos. En donde se aplicaron los siguientes tratamientos: 1. Diuron (2 kg ha^{-1}), 2. Extracto de *Parthenium hysterophorus* (0.38 %), 3. Extracto de *Helianthus annuus* (0.38 %), 4. Extracto de *Argemone munita* (0.38 %) y un testigo sin aplicación. Para la preparación de los extractos vegetales se utilizó la metodología de extractos alcohólicos. Las variables evaluadas fueron el porcentaje de control por especie de maleza, rendimiento y rentabilidad en el cultivo de nopal. En el estudio se identificaron cuatro especies de malezas que fueron: verdolaga, pata de león, pasto llorón y mostacilla común. El mayor control de malezas y rendimiento se logró con la aplicación de diuron, seguido de la aplicación de *Helianthus annuus*, *Parthenium hysterophorus* y *Argemone munita*, los cuales presentaron un control significativo respecto al testigo sin aplicación. En la rentabilidad del cultivo se encontró que la aplicación del herbicida logró un mayor ingreso neto y ganancia por peso invertido en comparación a los extractos vegetales donde también se registró una rentabilidad positiva.

Palabras clave: *Control biológico, cactáceas, especies.*

TecNM/Roque, Celaya, Guanajuato, 12-14 mayo 2025 ISSN 2448-6620

ABSTRACT

The nopal vegetable is distributed and produced in many parts of the country, with Morelos being one of the main producing states. In agriculture, one of the most significant problems is weeds, as they compete with crops for water, light, and nutrients, affecting production. Herbicides are used to control them; however, these can cause problems such as residual herbicides and toxicity. An alternative is the use of plant extracts with allelopathic effects. The objective of the study was to determine the effect of plant extracts on weed populations in the nopal vegetable crop. The study was conducted in Tlayacapan, Morelos, where the following treatments were applied: 1. Diuron (2 kg ha-1), 2. Parthenium hysterophorus extract (0.38%), 3. Helianthus annuus extract (0.38%), 4. Argemone munita extract (0.38%), and a control without application. The alcoholic extract methodology was used to prepare the plant extracts. The variables evaluated were the percentage of weed control per species, yield, and profitability in the prickly pear crop. Four weed species were identified in the study: purslane, datura, weeping grass, and common beetroot. The greatest weed control and yield were achieved with the application of diuron, followed by the application of Helianthus annuus, Parthenium hysterophorus, and Argemone munita, which showed significant control compared to the control without application. Regarding crop profitability, it was found that the application of herbicide achieved higher net income and profit per pound invested compared to the plant extracts, which also recorded positive profitability.

Keywords: *Biological control, cacti, species.*

INTRODUCCIÓN

México se considera el centro de mayor diversidad de nopales en el continente americano, de las aproximadamente 200 especies existentes en el mundo, 101 se encuentran en México, convirtiendo al nopal en un símbolo cactáceo representativo de nuestro país. El nopal (*Opuntia ficus-indica*) es un recurso genético endémico de México que se encuentra distribuido y se produce en muchas partes del país. Según información de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, en México se cultivan alrededor de 872,334 t de nopales en una superficie cosechada de 12,365.35 ha durante el año 2022. Los principales estados productores son Morelos con un volumen de 406,608 t, seguido de la Ciudad de México con 198,363 t, Estado de México con 87,767 t, Jalisco con 35,610 t y Puebla con 32,289 t (SIAP, 2023).

TecNM/Roque, Celaya, Guanajuato, 12-14 mayo 2025 ISSN 2448-6620

En los últimos años, el aumento en el consumo del nopal verdura se debe a su alto contenido de fibra, vitamina C y agua, lo cual contribuye a mejorar los procesos digestivos, además de sus propiedades medicinales (Moran, 2013). Este incremento en su consumo ha cobrado fuerza en países como Estados Unidos, Canadá, China, Japón, Francia y parte de Sudáfrica. Por lo que, para su comercialización en mercado nacional e internacional, es importante la calidad del producto; dentro de las características de calidad, la inocuidad resalta debido a que se garantiza que los alimentos están libres de contaminantes químicos, dañinos para la salud humana (Maki-Díaz *et al*., 2015).

Por otro lado, las plantaciones de nopal, al igual que en otros sistemas agrícolas, son atacadas por diferentes plagas. Dentro de ellas, está la competencia del cultivo con malezas, por agua, luz y nutrientes; éstas, generan reducción en la tasa de crecimiento, y pérdidas económicas durante la cosecha. Por lo que, el uso de herbicidas se ha convertido en el método principal para el control de malezas (Celis *et al*, 2009), indispensable en la agricultura convencional; sin embargo, se ha comprobado que, debido al uso excesivo y exclusivo de herbicidas, como glifosato, atrazina, paraquat entre otros, se han presentado efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud humana, además de provocar resistencia de algunas especies de malezas (Verdeguer *et al*., 2020). Debido a estas consecuencias negativas, se han buscado opciones más amigables con el ambiente y menos dañinos a la salud humana.

Existen diversos estudios relacionados con el uso de extractos vegetales, donde se han observado que algunas plantas (*Helianthus annuus, Parthenium hysterophorus, Argemone ochroleuca*) producen sustancias alelopáticas que afectan a diferentes cultivos y malezas (Patel, 2011). Estas sustancias proporcionan beneficios o daños a otras plantas y animales, se denominan aleloquímicos, cuyo efecto perjudicial o benéfico, directo o indirecto, de la acción de esos compuestos químicos liberados se le denomina alelopatía. En la actualidad se ha comprobado que los extractos vegetales contienen metabolitos secundarios generados por las plantas como resultado de la respuesta del proceso de adaptación de las plantas a su ambiente, la exposición a la luz solar u otros tipos de estrés abiótico (Sepúlveda *et al*., 2003). Lo que permite enfocar el uso de los extractos vegetales como alternativa para el control de malezas. Por lo anterior, el objetivo del estudio fue determinar el efecto de extractos vegetales sobre la población de malezas en el cultivo de nopal verdura.

TecNM/Roque, Celaya, Guanajuato, 12-14 mayo 2025 ISSN 2448-6620

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en campo bajo condiciones de lluvias en julio de 2024, en el municipio de Tlayacapan Morelos, que está ubicada a 18°55'8.47"N y 98°59'37.36", a una altitud de 1299 m. La temperatura media que se presentó desde el inicio hasta el final del estudio oscilo de 15.2 a 31.3 °C con una precipitación de 464 mm. El cultivo que se utilizó para evaluar el efecto de los extractos vegetales fue de nopal verdura [*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller] variedad Milpa Alta, con una edad de plantación de 5 años.

Para evaluar el efecto de los tratamientos en el cultivo de nopal se realizó un experimento en donde se aplicó un herbicida, tres extractos vegetales y un testigo sin aplicación en una parcela libre de malezas. La descripción de los tratamientos se muestra a continuación Cuadro 1.

Cuadro1. Tratamientos de extractos vegetales aplicados en el cultivo de nopal.

Tratamiento	Ingrediente activo	Dosis	
		L ha^{-1}	g i. a. L^{-1}
1	Diuron	2	800
2	Parthenium hysterophorus	11	0.38%
3	Helianthus annuus	11	0.38%
4	Argemone munita	11	0.38%
5	Testigo sin aplicación	-	-

La elaboración de los extractos vegetales se realizó bajo la metodología que utilizó Herrera (2025), haciendo modificaciones adaptadas a los equipos y material disponible. Cada especie se introdujo al horno para el secado a 70° C por 72 horas o hasta que las partes de las plantas estuvieron quebradizas. En un molino manual se colocó por separado los materiales vegetales ya secos, se molió hasta obtener partículas menores a 2 mm y así facilitar la elaboración de los extractos etanolicos y la obtención de los metabolitos secundarios.

El diseño experimental fue en bloques completos al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, la unidad experimental se conformó por 3 surcos de 1.35 m por 4 m de largo, lo que da una superficie de 16.2 m^2, el tamaño de la parcela en estudio fue de 324 m^2.

Las variables de respuesta evaluadas fueron: Porcentaje de control por especie de malezas predominantes: Se estimó el porcentaje de control de forma visual, con base a la densidad de población y ajustado por el grado de daño con respecto al testigo se les asignó un valor dentro de la escala de 0 a 100%, en donde 0 significó que la maleza no fue afectada y 100% que fue completamente inhibida o destruida (Champion, 2000).

Posterior a la aplicación de los herbicidas y extractos vegetales, se realizaron tres muestreos para determinar el porcentaje de control e identificar las especies de malezas predominantes en el cultivo, para lo cual se utilizó un

cuadrante de 0.25 m², que fue lanzado al azar dos veces en las parcelas tratadas. La evaluación del efecto de los tratamientos sobre las principales especies de malezas se realizó a los 7, 14 y 21 días después de la aplicación (dda) de los tratamientos. La identificación de las malezas se realizó de acuerdo con los criterios establecidos por Espinosa y Sarukhán (1997) y Rzedowski y Rzedowski (2010).

A madurez comercial se evaluó el rendimiento en fresco del cultivo de nopal verdura (kg ha^{-1}), el peso se obtuvo con ayuda de una balanza digital. Para lo anterior, se pasaron los cladodios presentes en 2 metros lineales por unidad experimental, para posteriormente extrapolarlos a kg ha^{-1}.

Los datos de las variables evaluadas se procesaron mediante un análisis de varianza y prueba de comparación de medias Tukey. El análisis estadístico se realizó con el software Statistical Analysis System (SAS, 2003).
Para determinar la rentabilidad de cada tratamiento se tomó en cuenta el costo total (CT) y el ingreso total (IT), que sirvió de base para determinar el ingreso neto (IN) y la ganancia por peso invertido (GPI); se utilizarán las siguientes ecuaciones (Bueno et al., 2005):
Costo Total (CT). Es la suma de los costos fijos (CF) y variables (CV).
CT= (CF + CV)
Ingresos totales (IT) se deriva de la venta total del producto y se calcula mediante la siguiente ecuación:
IT= Py Y
Dónde:
Py= Precio del producto
Y= Producción ha^{-1}.
Ingreso neto (IN) es el monto en efectivo (ganancias) obtenido; se determina de la diferencia entre el Costo total (CT) y el ingreso total (IT).
IN= (IT - CT)
Ganancia por peso invertido (GPI) permite determinar la rentabilidad de los tratamientos evaluados. Se obtuvo dividiendo el Ingreso neto (IN) entre el Costo total (CT).
GPI= (IN / CT

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la parcela de estudio se identificaron cuatro especies de malezas, que fueron: verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) de la familia Portulacaceae, pasto llorón (*Eragrostis* sp.) de la familia Gramineae, pata de león (*Erigeron sp.*)

de la familia Asteraceae y mostacilla común (*Sisymbrium irio* L.) de la familia Brassicaceae (Rzedowski y Rzedowski, 2010).

En la Figura 1, se observa en la evaluación a los 7 y hasta los 21 dda con diuron se eliminó al 100 % la maleza *P. oleracea*, que estadísticamente fue diferente al extracto de *H. annuus*, donde el control fue en promedio del 75%. Cabe señalar, que los extractos vegetales presentaron diferencias significativas en comparación al testigo sin aplicación, donde se observó un cero por ciento de control. Lo anterior indica, que *P. oleracea* presento susceptibilidad a los extractos vegetales. Efectos que también fueron registrados por Aguilar *et al*., 2024 con un control del 60% sobre *P. oleracea* con la aplicación de *P. hysterophorus* y *H. annuus*.

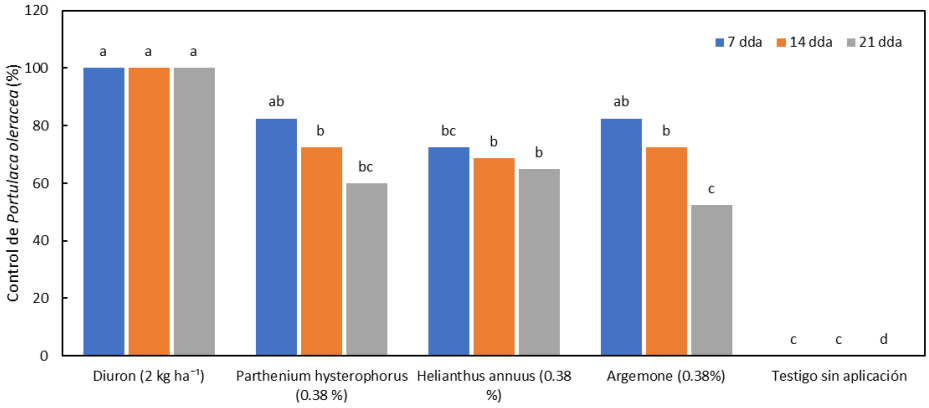

Figura 1. Efecto de diferentes extractos vegetales sobre el porcentaje de control de *Portulaca oleracea* en el cultivo de nopal.

En el muestreo sobre *Erigeron* sp. se observó que Diurón logró un control total en el número de malezas hasta los 21 dda (Figura 2). Es importante señalar, que el mayor rebrote de malezas se presentó en el testigo sin aplicación, el cual mostró diferencias estadísticas al herbicida y a los extractos vegetales. Para el caso de los *extractos vegetales con la aplicación de P. hysterophorus, H. annuus y A. munita se registró un control en* promedio de 58, 60 y 40%, respectivamente, los cuales fueron estadísticamente diferentes al herbicida donde el control fue del 100%.

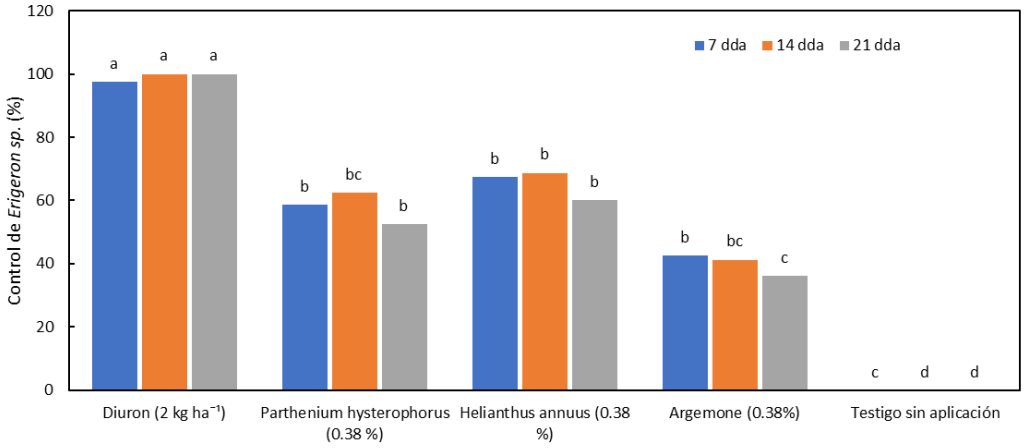

Figura 2. Efecto de diferentes extractos vegetales sobre el porcentaje de control de *Erigeron* sp. en el cultivo de nopal.

En S. irio, se observó que desde los 7 hasta 21 dda, el tratamiento de Diurón mostró un control del 100%, debido a que la población fue de cero (Figura 3). Por otro lado, se puede observar que después del herbicida, el extracto de *P. hysterophorus* fue el que mantuvo el mejor control en comparación a *H. annuus* y *A. munita*, posiblemente debido a la susceptibilidad al extracto, como lo observó Aguilar *et al*. (2024), con la aplicación de extractos vegetales. Cabe mencionar que, al realizar el análisis estadístico y la prueba de comparación de medias, el herbicida mostró diferencias a los extractos vegetales y estos a su vez al testigo sin aplicación.

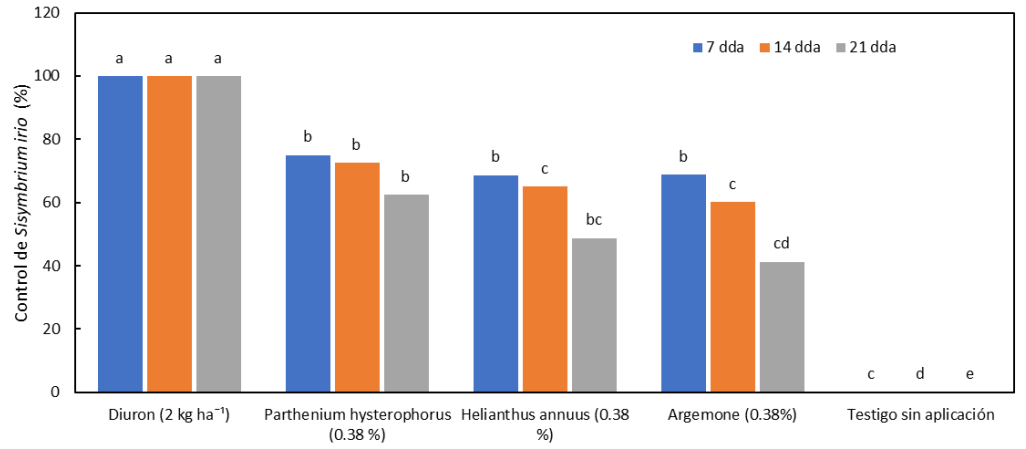

Figura 3. Efecto de diferentes extractos vegetales sobre el porcentaje de control de *Sisymbrium irio* en el cultivo de nopal.

TecNM/Roque, Celaya, Guanajuato, 12-14 mayo 2025 ISSN 2448-6620

En la evaluación a los 7 dda se encontró que la aplicación de Diurón ejerció un control total sobre *Eragrostis*, sp., lo cual se mantuvo hasta los 21 dda, contrario a lo registrado con los extractos vegetales, donde el control oscilo entre un 60 a 75%, valores que estadísticamente fueron diferentes al testigo sin aplicación, así como al herbicida. Esto indica que, *Eragrostis* sp. presentó susceptibilidad al herbicida y los extractos vegetales utilizado (Aguilar *et al*., 2024; Herrera, 2025). Cabe indicar, que la población más alta se observó en el testigo sin aplicación donde el control fue del cero por ciento (Figura 4).

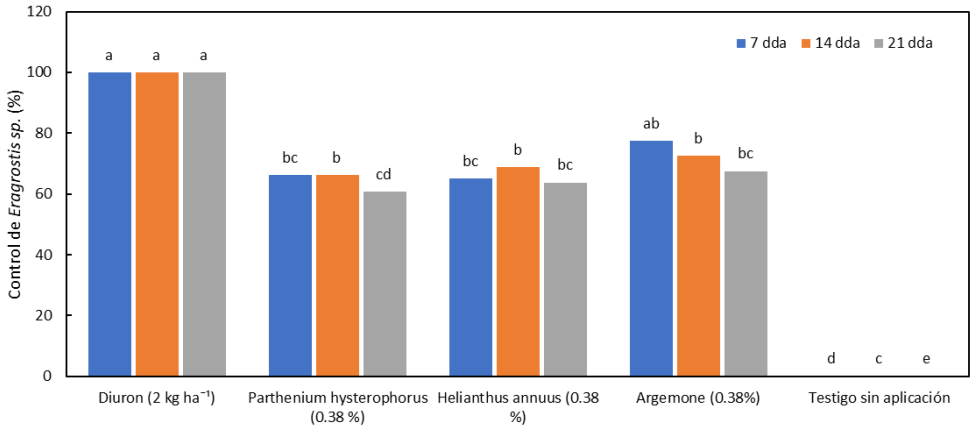

Figura 4. Efecto de diferentes extractos vegetales sobre el porcentaje de control de *Eragrostis sp.* en el cultivo de nopal.

En el rendimiento de nopal (Figura 5), se encontró que con el herbicida se presentaron diferencias significativas a los extractos vegetales y al testigo sin aplicar. El mayor rendimiento de nopal se presentó con diuron, seguido de la aplicación de *P. hysterophorus*, *H. annuus* y *A. munita*, estos no mostrar diferencias significativas entre sí. Es importante mencionar, que el rendimiento más bajo se observó en el testigo sin aplicación, la alta población de malezas afecto el rendimiento del cultivo. Por lo que el manejo de malezas es indispensable en la producción del cultivo (Aguilar *et al*., 2024).

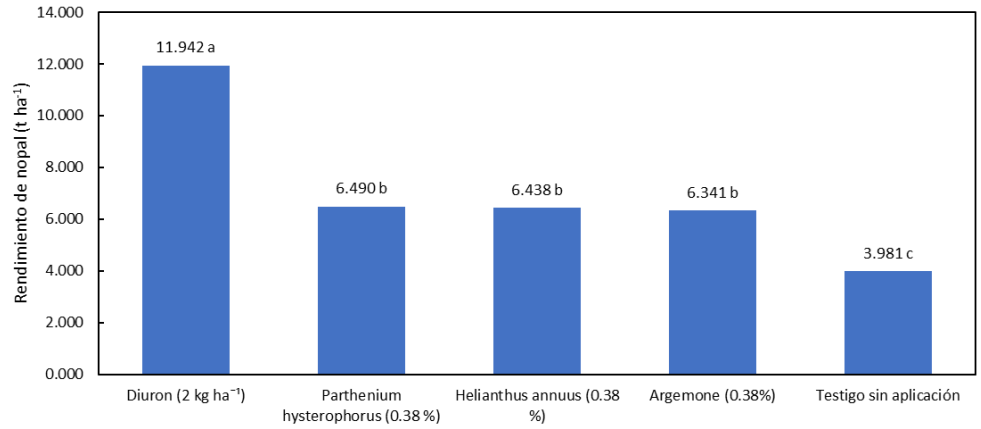

Figura 5. Efecto del control de malezas sobre el rendimiento en el cultivo de nopal.

En cuanto a la rentabilidad en la producción en el cultivo del nopal por efecto de los herbicidas y extractos vegetales, se encontró, que la aplicación de diuron generó el mayor IN ($ 78,311.00) e IT ($ 95,536.00), lo que generó una mayor GPI, ya que, por cada peso invertido se recuperó $ 4.55 (Cuadro 9). Con la aplicación de los extractos vegetales se aumentaron los costos de producción (CT), asimismo, también se observó una diminución en la producción del cultivo, lo que, ocasiono una reducción en el IN, no obstante, se logró observar una rentabilidad positiva ya que en promedio la GPI fue de $ 1.75. Es importante señalar, que el testigo sin aplicar presentó la menor ganancia por peso invertido ($ 1.09) respecto a la aplicación de los herbicidas y extractos vegetales. El uso de herbicidas genera una mayor productividad y rentabilidad con relación a los extractos vegetales en el cultivo de nopal, así mismo, cuando no se control la maleza se pueden llegar a presentar pérdidas económicas.

Cuadro 1. Efecto del control de malezas sobre la rentabilidad del cultivo de nopal

Tratamientos	CT ($)	IT	IN	GPI
1. Diuron (2 kg ha^{-1})	17,225.00	95,536.00	78,311.00	4.55
2. Parthenium hysterophorus (0.38%)	18,695.00	51,920.00	33,225.00	1.78
3. Helianthus annuus (0.38%)	18,695.00	51,504.00	32,809.00	1.75
4. *Argemone* (0.38%)	18,695.00	50,728.00	32,033.00	1.71
5. Testigo sin aplicación	16,145.00	32,768.00	17,123.00	1.09

Ingresos totales (IT), costos totales (CT), ingresos netos (IN) y ganancia por peso invertido (GPI)

CONCLUSIONES

TecNM/Roque, Celaya, Guanajuato, 12-14 mayo 2025 ISSN 2448-6620

En el estudio se identificaron cuatro especies de malezas que fueron: verdolaga (*Portulaca oleracea* L.), pata de león (*Erigeron* sp.), pasto llorón (*Eragrostis* sp.) y mostacilla común (*Sisymbrium irio* L.). El mayor control de malezas se logró con la aplicación de diuron, seguido de la aplicación de *Helianthus annuus, Parthenium hysterophorus* y *Argemone munita*, los cuales presentaron un control significativo respecto al testigo sin aplicación. El mayor rendimiento del nopal se logró con el uso del herbicida (diuron), seguido de los extractos vegetales, los cuales mostraron una producción significativa respecto al testigo sin aplicación. En la rentabilidad del cultivo se encontró que la aplicación del herbicida logró un mayor ingreso neto y ganancia por peso invertido en comparación a los extractos vegetales donde también se registró una rentabilidad positiva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar CC; Escalante EJAS; Pérez RA; Herrera LIE (2024). Evaluación de extractos vegetales como herbicidas para el control de maleza en el cultivo de nopal verdura. Soluciones Integrales para Desafíos Complejos- Ciencias Administrativas Huatulco 2024. 1-5.

Bueno JJE; Alonso LA; Volke HV; Gallardo LF; Ojeda RMM; Mosqueda VR (2005). Respuesta del papayo a la fertilización con nitrógeno, fosforo y potasio en un luvisol. Terra Latinoamericana. 23(3):409-415.

Champion GT (2000). Bright and the field scale evaluations herbicides tolerant. G M Trials. AICC Newslwtter.

Celis MA; González MA; Gama L (2009). Composición química y propiedades funcionales de la fibra de nopal (Opuntia ficus-indica) y su potencial como ingrediente alimentario. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 59(3), 271-278.

Espinosa-García FJ; Sarukhán J (1997). Manual de malezas del Valle de México. Ediciones Científicas Universitarias UNAM-Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 407 pp.

Herrera LIE (2025). Estimación de herbicidas en la población de malezas y su productividad en nopal para verdura. Tesis de licenciatura. Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. 68 p.

Maki-Díaz G; Peña C; García-Nava R; Anaya-Rosales S (2015). Características físicas y químicas de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) para exportación y consumo nacional. Agrociencia, 49(1): 31-42.

Moran LJ; Teede HJ; Joham AE (2013). Dietary composition in the treatment of polycystic ovary syndrome: A systematic review to inform evidence-based guidelines. Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics, 113(4): 520-545.

Patel S (2011). Aspectos nocivos y beneficiosos de *Parthenium hysterophorus*: Una actualización. 3 Biotech, 1, 1–9. https://doi.org/10.1007/s13205-011-0007-7

Rzedowski GC; Rzedowski J (2010). Flora fanerogámica del Valle de México. 1er Edición digital. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México.

SAS (2003) Institute SAS/STAT user´s guide Release 9.1. SAS Institute. Cary, NC, USA.

Sepúlveda J; González M; Gama L (2003). Composición química y propiedades funcionales de la fibra de nopal (*Opuntia ficus-indica*). Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 53(3): 271-278.

SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera) (2023). SADER (Secretarìa de Agricultura y Desarrollo Rural). México. Disponible en: http://www.siap.gob.mx/agricultura-produccion-anual/ (consultado en septiembre de 2023).

Verdeguer M; García JM; García M (2020). La cosecha de agua de lluvia en la agricultura: una revisión de técnicas y aplicaciones. Revista de Ingeniería Agrícola y Biosistemas, 12(1): 1-15. https://doi.org/10.1016/j.ria.2020.01.001