



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

---

**INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS  
AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE EDAFOLOGIA**

## **RESPUESTA DE LA VERDOLAGA (*Portulaca oleracea* L.) A LA FERTILIZACION DE NPK: RENDIMIENTO Y CONTENIDO NUTRACÉUTICO**

**CÉSAR OMAR MONTOYA GARCÍA**

Tesis

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

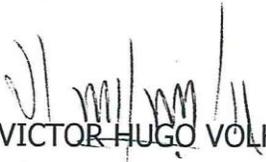
**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO  
2016**

La presente tesis titulada: “Respuesta de la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) a la fertilización de NPK: rendimiento y contenido nutracéutico” realizada por el alumno: César Omar Montoya García bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS  
EDAFOLOGIA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO

  
Dr. VICTOR HUGO VOLKE HALLER

ASESOR

  
Dr. ANTONIO TRINIDAD SANTOS

ASESOR

  
Dr. CLEMENTE VILLANUEVA VERDUZCO

ASESOR

  
Dr. JULIO SANCHEZ ESCUDERO

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Febrero de 2016

# RESPUESTA DE LA VERDOLAGA (*Portulaca oleracea* L.) A LA FERTILIZACION DE NPK: RENDIMIENTO Y CONTENIDO NUTRACÉUTICO

César Omar Montoya García, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2016

## RESUMEN

En México la verdolaga se cultiva a cielo abierto, en los estados de Morelos, Baja California y Distrito Federal, en una superficie de 244, 49 y 161 ha, respectivamente. Los objetivos de la presente investigación fueron: (i) evaluar el efecto a la fertilización de NPK sobre el rendimiento de la verdolaga para determinar la dosis de fertilización, (ii) evaluar el efecto de la fertilización de NPK sobre la concentración nutrimental de N, P, K, Ca, Mg, Na, S, Mn, Fe, Cu, Zn y B, del follaje de la verdolaga, y (iii) evaluar el efecto de la fertilización de NPK sobre el contenido nutraceutico. El experimento se realizó en condiciones de campo durante los meses de julio y agosto del 2014, con la variedad Mixquic; se probaron cuatro niveles de N, P y K, en un diseño de bloques completamente al azar, con cuatro repeticiones. Se cuantificó el rendimiento en fresco, y concentración nutrimental de N, P, K, Ca, Mg, Na, S, Mn, Fe, Cu, Zn y B, del follaje de la verdolaga, en tres fechas de cosecha (27, 34 y 42, días después de la emergencia (dde)) y el contenido nutraceutico (concentración de fenoles y flavonoides totales, vitamina C,  $\beta$ -caroteno, clorofilas *a* y *b*, y ácidos grasos) en dos fechas de cosecha (27 y 42 dde). El modelo de regresión para rendimiento del follaje indica efecto positivo del N aplicado, densidad de plantas y fecha de cosecha, con un mayor incremento del N aplicado hasta 100 kg N ha<sup>-1</sup> y 2500 plantas m<sup>-2</sup>, y el P y K aplicados no causaron efecto sobre el rendimiento. La dosis óptima económica se estimó en 65 kg N ha<sup>-1</sup> y 2500 plantas m<sup>-2</sup>, con rendimientos del follaje fue de 58, 95 y 130 t ha<sup>-1</sup>, e ingresos netos de 30338, 67828 y 102440 \$ ha<sup>-1</sup>, para las tres cosechas. En follaje se observó: 1) efecto positivo por el N aplicado, sobre la concentración de N (2.5 a 4.0 %), P (0.27 a 0.35 %), Ca (0.88 a 0.98 %), Mg (1.54 a 1.61 %), S (0.26 a 0.63 %), Mn (55 a 70 mg kg<sup>-1</sup>), Cu (11 a 16 mg kg<sup>-1</sup>), Zn (34 a 206 mg kg<sup>-1</sup>) y B (30 a 36 mg kg<sup>-1</sup>), y efecto negativo sobre la concentración de Na (0.38 a 0.31 mg kg<sup>-1</sup>); 2) efecto positivo del P aplicado sobre la concentración de P (0.34 a 0.48 %), y

efecto negativo sobre la concentración de Na (0.38 a 0.35 %); 3) efecto positivo del K aplicado sobre la concentración de K (1.06 a 2.06 %), Na (0.38 a 0.57 %) y S (0.23 a 0.26), y efecto negativo sobre la concentración de Ca (0.98 a 0.92 %) y Mg (1.54 a 1.34 %); 4) efecto negativo de la fecha de cosecha sobre la concentración de K (1.16 a 1.06 %), y efecto positivo sobre la concentración de Mg (1.54 a 2.03 %), Fe (760 a 1360 mg kg<sup>-1</sup>) y Cu (11 a 12 mg kg<sup>-1</sup>). Los modelos de regresión para el contenido nutraceutico indican: 1) efecto inicial negativo de N aplicado y posteriormente positivo sobre la concentración de fenoles y flavonoides totales, clorofila *a* y *b*, efecto positivo sobre la concentración de ácido linoléico y  $\alpha$ -linolénico, y efecto negativo sobre la concentración de vitamina C, ácido palmítico y esteárico, e inhibición del DPPH; 2) efecto negativo del P aplicado sobre la concentración de flavonoides totales y vitamina C; 3) efecto negativo del K aplicado sobre la concentración de fenoles y flavonoides totales y vitamina C, y efecto positivo sobre la concentración de  $\beta$ -caroteno; 4) efecto positivo de la fecha de cosecha sobre la concentración de flavonoides totales, ácido linoléico y  $\alpha$ -linolénico, e inhibición del DPPH, efecto positivo en interacción con N aplicado sobre la concentración de  $\beta$ -caroteno, y efecto negativo sobre la concentración de ácido palmítico y esteárico. Esta investigación muestra el potencial productivo y económico del cultivo de la verdolaga, así como su contenido nutricional y nutraceutico del follaje, para fines de producción, alimenticio y medicinal.

**Palabras clave:** *Portulaca oleracea L.*, dosis óptima económica, concentración de nitratos, concentración de proteína, fertilización nitrogenada, concentración de nutrientes, micronutrientes, ácidos grasos poliinsaturados, fenoles, flavonoides, actividad antioxidante.

# RESPONSE OF PURSLANE (*Portulaca oleracea* L.) TO NPK FERTILIZATION: YIELD AND CONTENT NUTRACEUTICAL

César Omar Montoya García, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2016

## ABSTRACT

In Mexico the purslane is cultivated open sky, in the States of Morelos, Baja California and Mexico City, in an area of 244, 49 and 161 ha, respectively. The objectives of this research were: (i) evaluate the effect of NPK fertilization on the yield of purslane to determine the dose of fertilization, (ii) evaluate the effect of NPK fertilization on the nutrient concentration of N, P, K, Ca, Mg, Na, S, Mn, Fe, Cu, Zn and B, the foliage of purslane, and (iii) evaluate the effect of NPK fertilization in the nutraceutical content. The experiment was conducted under field conditions during the months of July and August of 2014, with the seed variety Mixquic; four levels of N, P and K, in a design of blocks totally at random, with four replications were tested. Was quantified in yield in fresh, and nutrient concentration of N, P, K, Ca, Mg, Na, S, Mn, Fe, Cu, Zn and B, the foliage of purslane, in three harvest dates (27, 34 and 42, days after the emergency (dae)) and the nutraceutical content (concentration of phenolic and flavonoid total, vitamin C,  $\beta$ -carotenoid, chlorophyll *a* and *b*, and fatty acids) in two harvest dates (27 and 42 dae). The regression model for yield of foliage indicates positive effect of the N applied, density of plants and harvest date, with a further increase of the N applied to 100 kg N ha<sup>-1</sup> and 2500 plants m<sup>-2</sup>, and the P and K applied they caused no effect on yield. The economic optimum dose was estimated in 65 kg N ha<sup>-1</sup> and 2500 plants m<sup>-2</sup>, with yields of the foliage of 58, 95 and 130 t ha<sup>-1</sup>, and net income of 30338, 67828 y 102440 \$ ha<sup>-1</sup>, for the three harvests. In foliage were observed: 1) positive effect by the N applied on the concentration of N (2.5 to 4.0 %), P (0.27 to 0.35 %), Ca (0.88 to 0.98 %), Mg (1.54 to 1.61 %), S (0.26 to 0.63 %), Mn (55 to 70 mg kg<sup>-1</sup>), Cu (11 to 16 mg kg<sup>-1</sup>), Zn (34 to 206 mg kg<sup>-1</sup>) and B (30 to 36 mg kg<sup>-1</sup>), and negative effect on the concentration of Na (0.38 to 0.31 mg kg<sup>-1</sup>); 2) positive effect of P on the concentration of P (0.34 to 0.48 %), and negative effect on the concentration of Na (0.38 to 0.35 %); 3) positive effect of K applied on the concentration of K (1.06 to

2.06 %), Na (0.38 to 0.57 %) and S (0.23 to 0.26), and negative effect on the concentration of Ca (0.98 to 0.92 %) y Mg (1.54 to 1.34 %); 4) negative effect harvest date on concentration of K (1.16 to 1.06 %), and positive effect on the concentration of Mg (1.54 to 2.03 %), Fe (760 to 1360 mg kg<sup>-1</sup>) and Cu (11 to 12 mg kg<sup>-1</sup>). The regression models for the nutraceutical content indicate: 1) effect initial negative by the N applied and later positive on the concentration phenolic and flavonoid total, chlorophyll *a* and *b*, effect positive on the concentration acid linoleic and  $\alpha$ -linolenic, and effect negative on the concentration vitamin C, acid palmitic and stearic and inhibition the DPPH; 2) effect negative by the P applied on the concentration flavonoid total and vitamin C; 3) effect negative by the K applied on the concentration phenolic and flavonoid total and vitamin C, and effect positive on the concentration  $\beta$ -carotenoid; 4) effect positive harvest date on the concentration flavonoid total, acid linoleic and  $\alpha$ -linolenic and inhibition the DPPH, effect positive on interaction whit N applied on the concentration  $\beta$ -carotenoid, and effect negative on the concentration acid palmitic and stearic. This research shows the productive and economic potential of the cultivation of purslane, as well as its nutritional content and nutraceutical in foliage, for purposes of production, food and medicine.

**Key words:** *Portulaca oleracea L.*, economic optimal dose, nitrate concentration, concentration of protein, nitrogen fertilization, concentration of nutrients, micronutrients, polyunsaturated fatty acids, phenolic, flavonoids and antioxidant activity.

## AGRADECIMIENTOS

A todos los campesinos de México por proveer alimentos, en especial a los productores de la zona de Mixquic, por su dedicación y esfuerzo diario por conservar su agricultura ancestral.

A todos los mexicanos (as) que a través de sus impuestos, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), y el Colegio de Postgraduados, han financiado parte de mi formación.

A los integrantes de mi consejo particular, al Dr. Victor Volke Haller, Dr. Antonio Trinidad Santos, Dr. Clemente Villanueva Verduzco y Dr. Julio Sánchez Escudero.

En especial al Dr. Victor H. Volke Haller, mi más profunda gratitud y reconocimiento, por su apoyo, dedicación, entrega, tiempo, guía, y que gracias a su visión, talento y genialidad, hizo aportes substanciales a esta investigación permitiéndome abordar el estudio de la fertilización de los cultivos de una forma más clara. Por mostrarme nuevos enfoques de análisis estadístico durante mi proyecto de investigación. Además, de enseñarme a comprender la agronomía y la ciencia de una manera excepcional.

Al Dr. Antonio Trinidad Santos, por su dirección, colaboración, comentarios, enseñanzas, por brindarme su apoyo cuando más lo requería, por confiar en mí y en esta investigación,.

Al Dr. Clemente Villanueva Verduzco, pionero en la investigación de verdolaga en México, por su experiencia y conocimientos esenciales brindados para esta investigación, por apoyarme en todo momento, y por su gran amistad.

A la Maestra en Ciencias Mera Ovando y al técnico Max Ramírez, por sus aportes esenciales y dedicación en la investigación de verdolaga.

A Don Jorge, por su trabajo diario en la producción de verdolaga en Mixquic, usted es el *experto en verdolaga*.

Al Dr. Ramón Marcos Soto Hernández, M. en C. Rubén San Miguel, Sr. Domingo González, M. en C. Luz Riviello, Dr. Israel Castillo y Dr. Emmanuel Ibarra por su ayuda en los análisis nutracéuticos y facilidades en el laboratorio de Fitoquímica.

A la Dra. Libia Trejo y la M. en C. Juliana Padilla por su apoyo en los análisis nutrimentales y de suelo.

A Rosy Cuevas y Rosalba García, su apoyo fue fundamental, gracias por su amistad.

A mis amigos, Julio García, Fabián Guzmán, Juan González, Esmeralda Hernández, Abel Santillán, Luz Riviello, Blanca Minerva, Eliacer Méndez, Aurora Pérez, Diana Trujano, Sonia Herrera, Julia Martínez, Abraham Villasana, Daniel Loaeza y David Arroyo por sus apoyos en campo y la gran amistad.

A mis padres, Casimiro Montoya Ruíz y Guadalupe García Solano, por su dedicación, enseñanzas, consejos, orientación, sabiduría, su infinito amor, por enseñarme que todo se puede lograr y que todo es posible, a ustedes muchas gracias.

A mis hermanos, Karina, Jessica, Alejandro y Emiliano, y mis sobrinos Yael, Ángel e Iker, por sus infinitas preguntas, por los momentos divertidos e inolvidables, su apoyo fue incondicional y esencial, gracias.

A Paulina Terreros, por enseñarme mil y un cosas, por siempre estar presente, por tu dedicación, consejos, comprensión, entrega, tiempo, por apoyarme día a día, por guiarme, por pintar de colores el entorno grisáceo, por tu gran cariño e infinito amor.

## DEDICATORIAS

*Para ti, mi hermano Alex.*

*Un día, cuando mi cuerpo descanse en algún lugar y mi energía se libere al entorno, en ese momento, espero que estés ahí, para que me enseñes el infinito universo.*

*Anhelo tanto verte.*

*Te extraño.*

*Con amor a:*

*Mis padres Casimiro Montoya y Guadalupe García, por su amor, enseñanzas, apoyo incondicional, los admiro muchísimo.*

*A mis hermanos: Karina, Jessica, Alejandro y Emiliano, y mis sobrinos Yael, Ángel e Iker, ustedes son geniales.*

*A Paulina Terreros eres una persona maravillosa.*

## CONTENIDO

RESUMEN .....	i
ABSTRACT .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	v
DEDICATORIAS .....	vii
CONTENIDO.....	viii
LISTA DE CUADROS .....	xi
LISTA DE FIGURAS .....	xiii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
2.1 Origen y distribución de verdolaga. ....	4
2.2 Producción de verdolaga .....	6
2.3 Importancia nacional .....	14
2.4 La verdolaga como producto nutracéutico .....	17
2.4.1 Compuestos antioxidantes en verdolaga .....	18
2.4.2 Contenido de ácidos grasos en verdolaga. ....	25
2.5 Literatura citada.....	30
III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	35
Objetivos.....	35
Hipótesis .....	35
VI. RESPUESTA DE LA VERDOLAGA A LA FERTILIZACION DE NPK: RENDIMIENTO, PROTEINA Y NITRATOS.....	36
RESUMEN .....	36
INTRODUCCIÓN .....	37
MATERIALES Y MÉTODOS .....	39
Diseño y manejo del experimento .....	39
Muestreo y análisis de suelos .....	41
Muestreo y mediciones en planta.....	42
Análisis estadístico de la información .....	43
Recomendaciones de fertilización N-P-K.....	44
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	46
Precipitación y temperatura durante el ciclo de cultivo.....	46
Altura de planta .....	47
Rendimiento del follaje .....	49

Concentración de N y proteína en follaje .....	53
Concentración de nitratos en follaje .....	56
Dosis optima económica .....	58
CONCLUSIONES.....	61
LITERATURA CITADA .....	62
<b>V. RESPUESTA DE LA VERDOLAGA A LA FERTILIZACION DE NPK: CONCENTRACIÓN NUTRIMENTAL .....</b>	<b>66</b>
RESUMEN .....	66
INTRODUCCIÓN .....	67
MATERIALES Y MÉTODOS .....	68
Diseño y manejo del experimento .....	68
Muestreo y análisis de suelos .....	70
Muestreo y análisis en planta .....	71
Análisis estadístico de la información .....	72
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	74
Concentración de N en follaje .....	74
Concentración de P en follaje .....	75
Concentración de K en follaje .....	76
Concentración de Ca, Mg, Na y S en follaje.....	78
Concentración de micronutrientes en follaje.....	83
CONCLUSIONES.....	88
LITERATURA CITADA .....	89
<b>VI. RESPUESTA DE LA VERDOLAGA A LA FERTILIZACION DE NPK: CONTENIDO NUTRACEUTICO.....</b>	<b>91</b>
RESUMEN .....	91
INTRODUCCIÓN .....	92
MATERIALES Y MÉTODOS .....	94
Diseño y manejo del experimento .....	94
Muestreo y análisis de suelos .....	96
Muestreo y análisis en planta .....	97
Actividad antioxidante .....	100
Análisis estadístico de la información .....	101
RESULTADOS.....	103
Concentración de fenoles totales.....	103
Concentración de flavonoides totales.....	105
Concentración de vitamina C .....	107

Concentración de $\beta$ -caroteno .....	109
Concentración de Clorofila a y b .....	110
Concentración de ácidos grasos .....	112
Actividad antioxidante .....	116
CONCLUSIONES.....	119
LITERATURA CITADA .....	120

## LISTA DE CUADROS

### REVISIÓN DE LITERATURA

Cuadro 1. Concentración nutrimental de soluciones nutritivas empleadas en la producción de verdolaga. ....	7
Cuadro 2. Características distintivas entre las plantas de verdolaga que crecen como maleza en los cultivares y la forma cultivada. ....	10
Cuadro 3. Características de tallos y hojas, y días a la cosecha, de variedades de verdolaga.....	12
Cuadro 4. Contenido de flavonoides y ácidos fenólicos en verdolaga silvestre proveniente de Mahasarakham, Tailandia. ....	21
Cuadro 5. Contenido de ácido $\alpha$ -linolénico en verdolaga silvestre en diversas condiciones experimentales.....	27
Cuadro 6. Contenido de ácido linoléico y $\alpha$ -linolénico en distintas variedades de verdolaga.....	28
Cuadro 7. Concentración de omega 3 en diversos alimentos de origen vegetal.....	29

### RESPUESTA DE LA VERDOLAGA A LA FERTILIZACION DE NPK: RENDIMIENTO PROTEINA Y NITRATOS.

Cuadro 1. Tratamientos de N, P y K estudiados .....	40
Cuadro 2. Propiedades del suelo del sitio experimental.....	42
Cuadro 3. Rendimiento del follaje de la verdolaga ( <i>Portulaca oleracea</i> L.) en función del N aplicado, densidad de plantas y fecha de cosecha.....	50
Cuadro 4. Concentración de N y proteína cruda en follaje de verdolaga ( <i>Portulaca oleracea</i> L.) en función del N y P aplicados.....	54
Cuadro 5. Análisis económico de rendimiento de la verdolaga ( <i>Portulaca oleracea</i> L.) en tres fechas de cosecha.....	59

## RESPUESTA DE LA VERDOLAGA A LA FERTILIZACION DE NPK: CONCENTRACIÓN NUTRIMENTAL

Cuadro 1. Tratamientos de N, P y K estudiados .....	69
Cuadro 2. Propiedades del suelo del sitio experimental.....	71
Cuadro 3. Modelos de regresión para las concentraciones de Ca, Mg, Na y S, en follaje de verdolaga ( <i>Portulaca oleracea</i> L.) en función de los factores estudiados.....	78
Cuadro 4. Modelos de regresión para las concentraciones de Mn, Fe, Cu, Zn y B (mg kg <sup>-1</sup> ) de verdolaga ( <i>Portulaca oleracea</i> L.) en función de los factores estudiados.....	83

## RESPUESTA DE LA VERDOLAGA A LA FERTILIZACION DE NPK: CONTENIDO NUTRACEUTICO.

Cuadro 1. Tratamientos de N, P y K estudiados .....	95
Cuadro 2. Propiedades del suelo del sitio experimental.....	97

## LISTA DE FIGURAS

### REVISIÓN DE LITERATURA

Figura 1. Diferentes formas de hojas y tallos de verdolaga cultivada en México (Mera-Ovando et al., 2014). .....	11
Figura 2. Superficie cosechada de verdolaga en Baja California (BC.), Distrito Federal (D.F.) y Morelos, durante el período 1999-2012 (SIAP, 2014). .....	14
Figura 3. Rendimiento de verdolaga en Baja California (BC.), Distrito Federal (D.F.) y Morelos, durante el período 1999-2012 (SIAP, 2014). .....	15
Figura 4. Costo de producción de verdolaga en Baja California (BC.), Distrito Federal (D.F.) y Morelos, durante el período 1999-2012. Elaboración propia con datos del SIAP (2014). .....	16

### RESPUESTA DE LA VERDOLAGA A LA FERTILIZACION DE NPK: RENDIMIENTO, PROTEINA Y NITRATOS

Figura 1. Temperaturas máximas (Tmax) y temperaturas mínimas (Tmin) durante el desarrollo del cultivo de la verdolaga ( <i>Portulaca oleracea</i> L.). C <sub>1</sub> = cosecha 1 (27 dde), C <sub>2</sub> = cosecha 2 (34 dde), C <sub>3</sub> = cosecha 3 (42 dde). .....	46
Figura 2. Altura de la verdolaga ( <i>Portulaca oleracea</i> L.) en función del N aplicado y fecha de cosecha: C <sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde, C <sub>2</sub> = cosecha 2 a 34 dde y C <sub>3</sub> = cosecha 3 a 42 dde .....	48
Figura 3. Rendimiento del follaje de la verdolaga ( <i>Portulaca oleracea</i> L.) en tres fechas de cosecha: C <sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde, C <sub>2</sub> = cosecha 2 a 34 dde y C <sub>3</sub> = cosecha 3 a 42 dde. a) Efecto del rendimiento por el N aplicado con 1750 plantas m <sup>-2</sup> . b) Efecto del rendimiento por la densidad de plantas m <sup>-2</sup> con 100 kg N ha <sup>-1</sup> . .....	51
Figura 4. Concentraciones de nitrógeno en follaje de verdolaga ( <i>Portulaca oleracea</i> L.) en función del N y P aplicados. ....	55
Figura 5. Concentración de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> en el follaje de verdolaga ( <i>Portulaca oleracea</i> L.) en función del N y P aplicados, y de la cosecha: C <sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde, C <sub>2</sub> = cosecha 2 a 34 dde y C <sub>3</sub> = cosecha 3 a 42 dde. ....	57

## RESPUESTA DE LA VERDOLAGA A LA FERTILIZACION DE NPK: CONCENTRACIÓN NUTRIMENTAL

- Figura 1. Concentración de N en follaje de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N y P aplicados.....75
- Figura 2. Concentración de P en follaje de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N y P aplicados.....76
- Figura 3. Concentraciones de K en follaje de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del K aplicado y fecha de cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde, C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 34 dde y C<sub>3</sub> = cosecha 3 a 42 dde.....77
- Figura 4. Concentraciones de Ca en follaje de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N y K aplicados, y fecha de cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde, C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 34 dde y C<sub>3</sub> = cosecha 3 a 42 dde.....79
- Figura 5. Concentraciones de Mg en follaje de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N y K aplicados, y fecha de cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde, C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 34 dde y C<sub>3</sub> = cosecha 3 a 42 dde.....80
- Figura 6. Concentraciones de Na en follaje de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N, P y K aplicados, y fecha de cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde, C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 34 dde y C<sub>3</sub> = cosecha 3 a 42 dde.....81
- Figura 7. Concentraciones de S en follaje de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N y K aplicados, y fecha de cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde, C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 34 dde y C<sub>3</sub> = cosecha 3 a 42 dde.....82
- Figura 8. Concentraciones de Mn en follaje de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N aplicado y fecha de cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde, C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 34 dde y C<sub>3</sub> = cosecha 3 a 42 dde.....84
- Figura 9. Concentraciones de Fe en follaje de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función de la fecha de cosecha.....85
- Figura 10. Concentraciones de Cu en follaje de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N aplicado y fecha de cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde, C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 34 dde y C<sub>3</sub> = cosecha 3 a 42 dde.....86
- Figura 11. Concentraciones de Zn en follaje de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N y K aplicados, y fecha de cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde, C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 34 dde y C<sub>3</sub> = cosecha 3 a 42 dde.....87
- Figura 12. Concentraciones de B en follaje de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N aplicado, y fecha de cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde, C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 34 dde y C<sub>3</sub> = cosecha 3 a 42 dde.....87

## RESPUESTA DE LA VERDOLAGA A LA FERTILIZACION DE NPK: CONTENIDO NUTRACEUTICO

- Figura 1. Concentración de fenoles totales (CFT) en el follaje de la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N y K aplicados.....104
- Figura 2. Concentración de flavonoides (CFIT) en el follaje de la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N, P y K aplicados y fecha de cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde y C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 42 dde. ....106
- Figura 3. Concentración de vitamina C en el follaje de la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N, P y K aplicados.....108
- Figura 4. Concentración de  $\beta$ -caroteno en el follaje de la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N y K aplicados y fecha de cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde y C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 42 dde.....110
- Figura 5. Concentración de clorofila (Chl) *a* y *b* en el follaje de la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N aplicado y cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde y C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 42 dde. ....111
- Figura 6. Concentración de ácido palmítico (C16:0), esteárico (C18:0), linoleico (18:2 $\omega$ 6) y  $\alpha$ -linolénico (18:3 $\omega$ 3) del total de ácidos grasos en el follaje de la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N aplicado y fecha de cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde y C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 42 dde.....114
- Figura 7. Relación omega-6/ omega-3 en el follaje de la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N aplicado y fecha de cosecha: C<sub>1</sub> = primera cosecha a 27 dde y C<sub>2</sub> = segunda cosecha a 42 dde... ....115
- Figura 8. Porcentaje de inhibición del 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) en función de la concentración de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en 1 mL de extracto acuoso (CVEA), N aplicado y fecha de cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde y C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 42 dde.....117
- Figura 9. Concentración de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en 1 mL de extracto acuoso (CVEA) para disminuir al 50 % el radical libre 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (IC<sub>50</sub>) en función del N aplicado y fecha de cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde y C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 42 dde.....118

## I. INTRODUCCIÓN

La verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) es una planta que presenta una distribución cosmopolita con presencia en ochenta países, además de considerarse como una de las ocho plantas más distribuidas en el mundo. Actualmente en México se produce en Baja California, Morelos y en la zona chinampera del Distrito Federal, y se consumen hojas y tallos en diversos platillos típicos.

La verdolaga es un cultivo de ciclo corto, de alta propagación, con latencia de semillas, resistencia a la salinidad y a la sequía, y su crecimiento no se limita por la cantidad de luz.

La verdolaga ofrece una alternativa como cultivo hortícola, por ser una fuente rica de ácido linoléico (18:2 $\omega$ 6) y  $\alpha$ -linolénico (18:3 $\omega$ 3), compuestos antioxidantes como el  $\beta$ -caroteno,  $\alpha$ -tocoferol, glutatión, vitamina C, polifenoles y flavonoides como el kaempferol, apigenina, miricetina y quercetina, y los alimentos que contienen estos compuestos se les considera como nutraceuticos, por proveer beneficios a la salud.

Se ha comprobado que la verdolaga tiene una amplia gama de efectos nutraceuticos, incluidos, cicatrización (Rashed *et al.*, 2003), antiinflamatorios y analgésicos (Chan *et al.*, 2000), broncodilatador (Malek *et al.*, 2004), neuroprotectores (Hongxing *et al.*, 2007; Chang-Quan *et al.*, 2010; Ahmed *et al.*, 2013), antihipóxico (Cheng-Jie *et al.*, 2009; Wanyin *et al.*, 2012), actividad antidiabética (Li *et al.*, 2009; Mohamed-I, 2011; Sharma *et al.*, 2010), antiviral (Cai-Xia *et al.*, 2010), control prenatal (Ramesh *et al.*, 2013), antitumoral (Shen *et al.*, 2013; Zhao *et al.*, 2013), actividad antioxidante in vivo (Yunqiao *et al.*, 2014), además de reducir los niveles de triglicéridos y colesterol (Zidan *et al.*, 2014).

Sin embargo, los materiales que se han caracterizado para ácidos grasos y antioxidantes, son típicos de la zona donde se realizó el estudio, o son silvestres, o en otros casos es verdolaga ornamental, por lo tanto, la información es limitada.

Autores como Palaniswamy (*et al.*, 2000, 2001a, 2004), Villanueva y Ramírez (2003), Fontana (*et al.*, 2006), Cros (*et al.*, 2007ab), Kaşkar (*et al.*, 2009), Egea-Gilabert (*et al.*, 2014), Kamal *et al.* (2012) y Kaymak (2013) se han enfocado en el manejo hortícola de la verdolaga; cada autor ha utilizado distintas soluciones nutritivas, donde el uso de nitrógeno varía de 110 hasta 504 mg L<sup>-1</sup>, mientras que las dosis de fertilización de N utilizadas en campo son de 50 y 150 kg N ha<sup>-1</sup>.

También hay diferencias en días a la cosecha con diferentes climas y variedades, uso de contenedores, método de siembra y trasplante, uso de sustratos, número de semillas por superficie, sistemas de fertirriego o hidropónicos, y lo más importante, los rendimientos con los que cada autor concluye son muy variados, para los cuales Villanueva y Ramírez (2003) determinaron que se pueden obtener hasta 20 kg m<sup>-2</sup> de verdolaga en fresco, usando una variedad denominada Chapingo, y este valor sobrepasa los obtenidos por otros autores.

Por otra parte, el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) son elementos minerales requeridos por las plantas en altas cantidades, y juegan un papel importante en asegurar el crecimiento y desarrollo adecuado de los cultivos (Epstein y Bloom, 2005; Hawkesford *et al.*, 2012); sin embargo, en condiciones de deficiencia de N, P y K la planta incrementa la biosíntesis de metabolitos secundarios en los tejidos (Stewart *et al.*, 2001; Smolen' y Sady 2009; Naguib *et al.*, 2012; Verardo *et al.*, 2013; Galieni *et al.*, 2015; Salama *et al.*, 2015); en contraste, al aumentar la aplicación de N, P y K se incrementa la producción de ácidos grasos (Dag *et al.*, 2009; Fernández-Escobar *et al.*, 2006; Zheljzakov, *et al.*, 2012; Verardo *et al.*, 2013).

Los estudios de concentración de nutrimentos permite establecer las bases de la fertilización de los cultivos, de esta manera la fertilización puede ser ajustada al ciclo del cultivo y por consecuencia, optimizar la cantidad de fertilizante a utilizar. Greenwood (1983) menciona que la demanda de un nutrimento por un cultivo está dada por su producción de biomasa y la concentración del nutrimento en la planta o requerimiento interno.

Los estudios sobre la concentración nutrimental de la verdolaga se han realizado en individuos silvestres, ornamentales o típicos de las zonas de estudio, y las concentraciones de N, P, K, Ca y Mg, varían dependiendo del cultivar, la fase de maduración, condiciones climáticas, solución nutritiva y fecha de cosecha (Alam *et al.*, 2014; Petropoulos *et al.*, 2015; Kaymak, 2013; Teixeira y Carvalho, 2009), mientras que los estudios sobre verdolaga en México son recientes, y se han enfocado a la descripción etnobotánica, por lo tanto la información relacionada a la concentración nutrimental o requerimiento interno es escasa, lo cual limita maximizar el aprovechamiento de este cultivo hortícola en México.

En cuanto a fertilización, aunado que permitirá al cultivo expresar su máxima capacidad de rendimiento y contenido nutrimental, cabe señalar que aplicaciones excesivas de fertilizante nitrogenado, además de causar pérdidas de N por volatilización, desnitrificación y lixiviación (Luce *et al.*, 2011), originan acumulación de altos niveles de nitratos por el cultivo, causando riesgos para la salud (Santamaria, 2006).

Los objetivos de la presente investigación en verdolaga fueron: (i) evaluar el efecto de la fertilización de NPK sobre el rendimiento de follaje para determinar la dosis de fertilización, (ii) evaluar el efecto de la fertilización de NPK sobre la concentración nutrimental de N, P, K, Ca, Mg, Na, S, Mn, Fe, Cu, Zn y B, en el follaje; y, (iii) evaluar el efecto de la fertilización de NPK en el contenido nutrimental del follaje (ácidos grasos, fenoles y flavonoides totales, vitamina C,  $\beta$ -caroteno, clorofilas *a* y *b*) y la actividad antioxidante con el radical libre 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH).

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Origen y distribución de verdolaga.

México es un país con alta diversidad vegetal, y centros de origen y domesticación de numerosas plantas. En la antigüedad y actualmente en algunas regiones del país se utiliza el sistema de policultivos llamado milpa, palabra que deriva del Náhuatl *milli*: cultivo y *pa*: pan locativo. La milpa es un campo sembrado con maíz, acompañado por diversas plantas que trabajan en simbiosis, en este espacio se obtienen diversos recursos de recolección como el chile, epazote, hongos y hierbas comestibles como los quelites (Buenrostro, 2009).

El término quelite deriva del náhuatl *quilitl* que se usa para designar a las hierbas comestibles. Los quelites son definidos como “plantas cuyas hojas, tallo tiernos, inflorescencias inmaduras y brotes de algunas especies perenes, son consumidas como verduras” (Castro *et al.*, 2011; Mera *et al.*, 2005; Vázquez *et al.*, 2004).

Existe una gran variedad de quelites; entre los más importantes por su valor económico está el papaloquelite (*Porophyllum ruderale*), el quintonil (varias especies de *Amaranthus*), el romerito (*Suaeda mexicana*), los alaches (*Anoda cristata*), el chepil (varias especies de *Crotolaria*), quelite cenizo (*Chenopodium berlandieri*), las malvas (*Malva parviflora*), la pipicha (*Porophyllum tagetoides*), los berros (*Roripa nasturium-acuaticum*) y la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) (Castro *et al.*, 2011; Vázquez *et al.*, 2004).

La verdolaga ha sido clasificada como una de las ocho plantas más comunes en el mundo, además de estar presente en 80 países como maleza, debido a su rápido crecimiento y gran producción de semillas con latencia prolongada (Liu *et al.*, 2000). La verdolaga es una planta C4, de hojas simples o suculentas, tallos carnosos que acumulan grandes cantidades de agua.

Aunque la fotosíntesis C4 apareció inicialmente en las monocotiledóneas hace 24 millones de años, las primeras dicotiledóneas con metabolismo C4 (pertenecientes a la familia Chenopodiaceae) surgieron hace 15 a 21 millones de años (Pagano *et al.*, S/A), y se encuentran distribuidas en los cinco continentes.

Se cree que la verdolaga se introdujo al continente Europeo desde América del Norte. Gray y Trumbull (1883) sugieren que la especie puede tener orígenes precolombinos, debido a un escrito en el diario de Cristóbal Colón, donde informa la presencia de verdolaga en Cuba. También se informó la presencia de vestigios de verdolaga en Missouri y Colorado, los cuales datan antes de la colonización, lo que sugiere que pudieron haber sido transportadas semillas desde esta zona al oriente del continente, por lo que la propagación de la verdolaga se atribuye a los nativos americanos (Proctor, 2013).

En la narrativa de Champlains durante sus primeros viajes (1604 a 1611) menciona: “*De algún modo los indios trajeron “Little citrouilles<sup>1</sup>”, el cual nosotros comimos en una ensalada, parecido a los cucumbers y encontramos excelente; y purslane<sup>2</sup> (pourpier)<sup>2</sup> también, la cual crece completamente entre el maíz de los indios...*” (Trumbull, 1876 citado por Mera *et al.*, 2010).

En el Códice Florentino, la verdolaga se describe como una planta de tallo grueso, hojas pequeñas y redondas, y de hábito rastrero (Dibble y Anderson 1963). Su presencia como planta comestible por los aztecas data del período Preclásico al sur de la cuenca de México (Niederberger, 1987; McClung de Tapia *et al.*, 2013), y en el período Postclásico temprano al norte, centro y sur de la cuenca de México en la zona de Teotihuacán, Xaltocan e Iztapalapa (Brumfiel, 2009; McClung de Tapia *et al.*, 2013; Sanders *et al.*, 1979; Vázquez-Alonso *et al.*, 2014), donde los vestigios sugieren que se consumía cocida.

---

<sup>1</sup> Pequeñas hierbas.

<sup>2</sup> Verdolaga.

En diferentes culturas nativas de México se le conoce a la verdolaga como “xukul” (maya), “itzmiquitl”, “itzmiquilitl” y “mixquili” (náhuatl), “x’pul cac” (totonaco), “matacáni” (otomí) y “sa’luchi chamo” (raramurí) (Mares, 1999; Martínez *et al.*, 2001; McClung *et al.*, 2013).

## 2.2 Producción de verdolaga

En los Países Bajos y Holanda se cultiva la variedad denominada “Golden Gerber”, mientras que en Inglaterra existe la variedad llamada “Golden”; en Francia, Egipto, Grecia, Italia, Turquía y Malasia se utiliza la verdolaga silvestre de la región. El interés por el cultivo de verdolaga en los Estados Unidos de América (EUA) se ha incrementado desde su identificación como una fuente rica de antioxidantes, ácidos grasos omega-3 y omega-6; y se comercializan por internet las variedades “Gruner Red Purslane” y “Goldberg Golden Purslane”; sin embargo, aún en la actualidad la verdolaga es un cultivo menor en EUA. (Ezekwe *et al.*, 1999; Mitich, 1997; Salah y Chemli, 2004; Cros *et al.*, 2007; Egea-Gilabert *et al.*, 2014; Kamal *et al.*, 2012; Kaymak, 2013; Lim y Quah, 2007; Alam *et al.*, 2014, 2015).

Los experimentos que se han realizado con verdolaga se han enfocado en identificar el contenido de antioxidantes, ácidos grasos, y la concentración de oxalatos, sin tener en cuenta el manejo agronómico como la fertilización, y el rendimiento.

En este contexto, Palaniswamy *et al.* (2000) establecieron dos variedades de verdolaga: la variedad comercial “Goldberg” (Johnny Selected Seeds) y verdolaga silvestre proveniente del Servicio “Seed Valley”, Fresno, CA. A los 25 días después de la siembra, realizaron el trasplante de seis plántulas a un sistema hidropónico en contenedores de 8 L, a los cuales se les suministró una solución nutritiva (Cuadro 1), y la cosecha se realizó 18 días después del trasplante. El peso de tallos de la verdolaga silvestre fluctuó entre 38.9–42.4 g planta<sup>-1</sup>, mientras que el peso de “Goldberg” varió entre 30.6 y 33.6 g planta<sup>-1</sup>, la altura en promedio fue de 38.7 cm y 25.12 cm de la verdolaga silvestre y Goldberg, respectivamente.

**Cuadro 1 Concentración nutrimental de soluciones nutritivas empleadas en la producción de verdolaga.**

Autor	Nutriente					DP <sup>z</sup>	Ciclo de cultivo (dds)	Y <sup>a</sup> (kg m <sup>-2</sup> )
	N	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>			
------(mg L <sup>-1</sup> )-----								
Palaniswamy <i>et al.</i> (2000 y 2004) <sup>†</sup>	200	31	207	100	24.3	—	—	—
Villanueva y Ramírez (2003) <sup>z</sup>	168	31	273	90	24.3	500	<b>55</b>	<b>20.000</b>
Graifenberg <i>et al.</i> (2003)	200	87	167	—	—	—	<b>124</b>	<b>17.700</b>
Fontana <i>et al.</i> (2006) <sup>†</sup>	168	62	234	50	24.3	3105	<b>20</b>	<b>2.366</b>
Cros (2006a) <sup>†</sup>	111.2	62	234	10	12	2200	<b>18</b>	<b>1.818</b>
<i>et al.</i> (2007b) <sup>†</sup>	21	62	146	35	8.74	—	<b>50</b>	<b>3.800</b>
Cenk <i>et al.</i> (2008) <sup>z</sup>	105	15.5	117.5	40	25.5	—	<b>38</b>	<b>8.710</b>
Kaşkar <i>et al.</i> (2009)	112	62	234	—	18.22	3200	<b>16</b>	<b>1.680</b>
Egea-Gilabert <i>et al.</i> (2014) <sup>†</sup>	140	62	181.35	52	13.4	2050	<b>18</b>	<b>4.000</b>

— No reportado. <sup>†</sup> Bandejas flotantes. <sup>z</sup>Sistema hidropónico. <sup>z</sup>Densidad de plantas m<sup>-2</sup>. <sup>a</sup>Rendimiento. dds = días después de la siembra. Elaboración con los datos convertidos de mmol L<sup>-1</sup> o μmol L<sup>-1</sup> o meq L<sup>-1</sup> o μg L<sup>-1</sup> a mg L<sup>-1</sup> de Palaniswamy *et al.* (2000 y 2004), Villanueva y Ramírez (2003), Graifenberg *et al.* (2003), Fontana *et al.* (2006), Cros *et al.* (2007a b), Cenk *et al.* (2008), Kaşkar *et al.* (2009) y Egea-Gilabert *et al.* (2013).

Palaniswamy *et al.* (2001a) determinaron la fecha de cosecha de la verdolaga silvestre del Servicio “Seed Valley”, Fresno, CA. Las plántulas (21 días de edad) fueron trasplantadas en macetas cuadradas (500 cm<sup>3</sup>), se fertilizaron tres veces por semana con un fertilizante soluble en agua (20.0 %, 4.4 % y 16.6 % de N, P y K) con una concentración de 100 mg N L<sup>-1</sup> en la solución nutritiva. La cosecha se realizó cuando las plantas presentaban 6, 10, 14 hojas en los tres nudos terminales, que corresponden a 35, 49 y 60 días después de la siembra. El rendimiento de hoja por planta fue mayor en la etapa de 14 hojas, con 197.3 cm de área foliar, peso del follaje de 20.2 g y peso seco de tallos

de 0.9 g, por lo tanto se recomienda realizar la cosecha a los 60 días después del trasplante.

Villanueva y Ramírez (2003) establecieron una variedad de verdolaga denominada “Chapingo”; la siembra se realizó en camas hidropónicas (1.2 x 45.0 x 0.3 m) con tezontle, goteros cada 30 cm y tres cintas por cama, se les suministró una solución nutritiva (Cuadro 1) mediante fertirriego durante 20 min día<sup>-1</sup>, y se mantuvo una densidad de población de 500 plantas m<sup>-2</sup>. Se encontró que el cultivo de verdolaga puede producir hasta 20 kg.m<sup>-2</sup> (200 t ha<sup>-1</sup>) de producto fresco en 55 días.

Graifenberg *et al.* (2003) establecieron el cultivo de jitomate en interacción con verdolaga; en condiciones de estrés el jitomate incrementó sus rendimientos al estar asociado con la verdolaga (10 g de semillas m<sup>-2</sup>), debido a que la verdolaga extrae mayor cantidad de NaCl. El rendimiento de la verdolaga sola fue de 15.6 y 17.7 kg m<sup>-2</sup> con 0 y 3 g L<sup>-1</sup> de NaCl, respectivamente, a los 124 días después de la siembra (dds). El rendimiento de la verdolaga en interacción con jitomate fue de 13.2 y 13.7 kg m<sup>-2</sup> con 0 y 3 g L<sup>-1</sup> de NaCl, respectivamente, a los 124 dds.

Palaniswamy *et al.* (2004) cultivaron verdolaga silvestre proveniente de “Seed Valley, Fresno, CA” en un sistema hidropónico (la solución nutritiva se muestra en el Cuadro 1) con distintas concentraciones de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Existió una reducción en el peso fresco de brotes (≈30%), peso seco (≈7%) y área foliar (≈4%) cuando se cultiva con amonio al 75% en comparación con las plantas cultivadas con amonio al 25%. El mayor peso fresco de brotes fue de 93.1 g con la relación 75:25 de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

Fontana *et al.* (2006) usaron el sistema de bandejas flotantes “floating system” con semillas de verdolaga provenientes del banco de semillas de Cartagena, Murcia, España, en semilleros de 160 cavidades con tres plántulas por cavidad, para así obtener 3105 plantas m<sup>-2</sup>, que se sumergieron en solución nutritiva (Cuadro 1) con distintos niveles de nitrógeno (112, 168, 224, 336 y 504 mg L<sup>-1</sup>) y diferentes proporciones de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; la cosecha se realizó a las seis hojas después del tercer nudo (20 dds). Los mejores

rendimientos, de 2.366 kg m<sup>-2</sup> en promedio, obtenidos con de 168 mg N L<sup>-1</sup> con una relación porcentual de 40:60 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

Cros *et al.* (2007a) utilizaron el sistema “system float” para la producción de verdolaga, que consistió en semilleros con tres plántulas de verdolaga por cavidad, con el material vegetal del banco de germoplasma de Cartagena, Murcia, España; la emergencia se presentó a los cuatro días, y para el séptimo se empleó solución nutritiva (Cuadro 1). En este estudio se evaluó el tipo de sustrato en los semilleros a una densidad de población de 2200 plantas m<sup>-2</sup>. La cosecha se realizó a los 18 dds, y el mejor tratamiento fue con el uso de “peat moss”, con una longitud del tallo de 8.32 y 14.7cm<sup>-1</sup>, con rendimientos máximos de 1.818 kg m<sup>-2</sup>.

Cros *et al.* (2007b) reportan que la salinidad afecta el crecimiento y desarrollo de verdolaga; los autores obtuvieron 3.8 kg m<sup>-2</sup> con el tratamiento sin salinidad mientras el rendimiento disminuye a 2.9 kg m<sup>-2</sup> con salinidad de 15 dS m<sup>-1</sup>.

Cenk *et al.* (2008) evaluaron distintas conductividades eléctricas (0.65, 3.5, 5.0 y 6.5 dS m<sup>-1</sup>) en la producción de verdolaga, en macetas de 25 L (75 cm x 23 cm x 16 cm), regadas con agua de mar diluida (Na<sup>+</sup>, 14,880 meq L<sup>-1</sup>; K<sup>+</sup>, 5.12 meq L<sup>-1</sup>; (Ca + Mg)<sup>2+</sup>, 2450 meq L<sup>-1</sup>; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 0.7500 meq L<sup>-1</sup>; Cl<sup>-</sup>, 14,880 meq L<sup>-1</sup>; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, 496 meq L<sup>-1</sup>) y solución nutritiva (Cuadro 1), y la cosecha se realizó a los 38 dds; el tratamiento control, al cual no se le elevó la conductividad eléctrica presentó un rendimiento de 8.71 kg m<sup>-2</sup>, mientras que el tratamiento con 3.5 dS m<sup>-1</sup> alcanzó un rendimiento de 9.25 kg m<sup>-2</sup>.

En México, al sur del Distrito Federal se ubica la Delegación Xochimilco; en esta zona existe un poblado llamado San Gregorio Atlapulco, lugar de trascendencia especial por el proceso de domesticación de la verdolaga. En 1950, don Julián Romualdo, un campesino de la zona, comenzó a explotar este cultivo, usando la técnica de enchapinado y trasplante a melgas, para reducir la competencia intraespecífica por nutrientes, de esta manera la planta crecía de forma erecta y frondosa (Granados y López, 1990).

El cultivo se extendió a Cholula, Puebla y Cuautla, Morelos con la venta de semilla, por la creciente demanda de mercado. El cultivo de esta planta en San Gregorio Atlapulco conserva primacía, debido a las características físicas (Cuadro 2) y las técnicas empleadas para el manejo de germoplasma, que es la más aceptada comercialmente (López-Ríos, 1996; Granados y López, 1996).

**Cuadro 2. Características distintivas entre las plantas de verdolaga que crecen como maleza en los cultivares y la forma cultivada.**

Característica	Verdolaga	
	Maleza	San Gregorio Atlapulco
Hábito principal	Extendido-amacollado	Recto y macollo
Longitud de tallo (cm)	15	26
Color de tallo y hojas	Bordes rojizo	Bordes verde
Sabor de tallo y hojas	De no amargo a amargo	No amargo
Diámetro del tallo (cm)	<0.30	>0.50
Filotaxia	Alterna helicoidal	Opuesta decusada
Consistencia del tallo	Fibroso o suculenta	Suculenta
Hojas mayores (cm)	1.39	3.2
Largo de hojas (cm)	1.24	2.1
Ancho de hojas (cm)	0.5	2.0
Cosecha dds	—	30

(—) No reportado. Adaptado de Granados y López (1990).

En la actualidad se siembra verdolaga en los estados de Morelos, Baja California y el Distrito Federal. Existen cinco cultivares morfológicamente diferentes (Mera-Ovando *et al.*, 2014), denominados de acuerdo a la zona productora: Queretana, Mixquic, Tláhuac, San Gregorio Atlapulco y la variedad denominada “Americana”, esta última es una variedad propia de la zona de San Gregorio Atlapulco (Villanueva-Verduzco, comunicación personal); cabe aclarar que dichas variedades son producto del mejoramiento *in-situ* y la selección masal del campesino, las formas de las hojas y tallos se observan en la Figura 1.



**Figura 1. Diferentes formas de hojas y tallos de verdolaga cultivada en México (Mera-Ovando et al., 2014).**

En Morelos, los cultivares que se siembran son de San Gregorio Atlapulco, Queretana, arvense de la región y Americana. La siembra es directa bajo cielo abierto (exceptuando los meses de invierno donde se utilizan cubiertas plásticas) usando melgas o camellones de 40m<sup>2</sup>, la semilla (12 kg ha<sup>-1</sup>) se esparce al voleo, se aplica un riego al inicio y a los 20 dds, y la cosecha se realiza a los 25-30 dds, cuando la planta ha alcanzado 20 cm de altura.

En Mixquic, Distrito Federal, los cultivares que se siembran son de San Gregorio Atlapulco, Mixquic, Tláhuac y Americana. La siembra se hace en melgas de 8 m de largo por 5 m de ancho, se aplica gallinaza a razón de 3.5 t ha<sup>-1</sup>, posteriormente las semillas (10 kg ha<sup>-1</sup>) son esparcidas al voleo, la cosecha se realiza a los 28-30 dds.

Lagunes (2005) caracterizó la variedad denominada Chapingo proveniente de Chapingo, Texcoco, Estado de México; esta variedad tiene cotiledones verdes, hojas redondas, tallos verdes, número total de ramas de 14 y más de 200 hojas en total por planta; el período de mayor crecimiento ocurre de los 22 a 34 dds, y el máximo número de ramas y diámetro del tallo después de los 34 dds; por lo cual esta es la fecha de corte ideal; la forma de las hojas y tallos se observan en la Figura 1.

Salgado (2011), caracterizó la variedad Tláhuac y la Queretana, cuyas características se presentan en el Cuadro 3. El desarrollo de la variedad Tláhuac es erecto y poco ramificado, el número total de ramas es de 10, y 120 hojas por planta, de las cuales 10 son consideradas como hojas grandes; la cosecha se puede realizar desde los 20 dds; la forma de las hojas y tallos se observan en la Figura 1.

**Cuadro 3. Características de tallos y hojas, y días a la cosecha, de variedades de verdolaga.**

Características	Tláhuac	Queretana	Chapingo
Longitud tallo (cm)	28.8	33.2	40.0
Color de tallo y hojas	Borde verde	Borde verde	Borde rosado
Diámetro del tallo (cm)	0.62	0.59	1.5
Hojas mayores (cm <sup>2</sup> )	7.84	7.39	—
Largo de hojas (cm)	3	3	3
Ancho de hojas (cm)	1.5	1.5	1.5
Cosecha (dds) <sup>2</sup>	20	25	34

(—) No reportado. <sup>2</sup>Días después de la siembra. Elaboración propia con los datos de Salgado (2011) y Lagunes (2005).

Por otra parte, la variedad Queretana tiene un hábito de crecimiento erecto y poco ramificado; el número total de ramas promedio es de 8.73 y el de hojas por planta de 130, de las cuales 13 son hojas grandes, que miden 7.84 cm<sup>2</sup> en promedio; en condiciones de cultivo se puede cosechar desde los 25 dds (Salgado, 2011); la forma de las hojas y tallos se observan en la Figura 1.

En el estado de Morelos la verdolaga también se cultiva como planta de ornato, donde se le llama “amor sencillo” o “amor de un rato” o “amor doble” (*Portulaca oleracea sunda*) (Martínez, 2002).

La verdolaga ha demostrado tener buena respuesta a altas densidades de siembra, por lo tanto el cultivo es ideal para formar “paisajes comestibles” en áreas con condiciones secas y suelos salinos (Yazici *et al.*, 2007).

Ferrari y Leguizamón (2006) sometieron a la verdolaga biotipo Zavalla, a un bajo potencial hídrico y a distintos niveles de radiación, para su control como maleza; el desarrollo de la verdolaga se favoreció cuando las semillas se sometieron a altos niveles de temperatura (25 a 42 °C), y el umbral mínimo de potencial hídrico requerido por la planta es de -1.13 MPa; lo que sugiere que deben ser sembradas de manera superficial para maximizar su eficiencia de germinación.

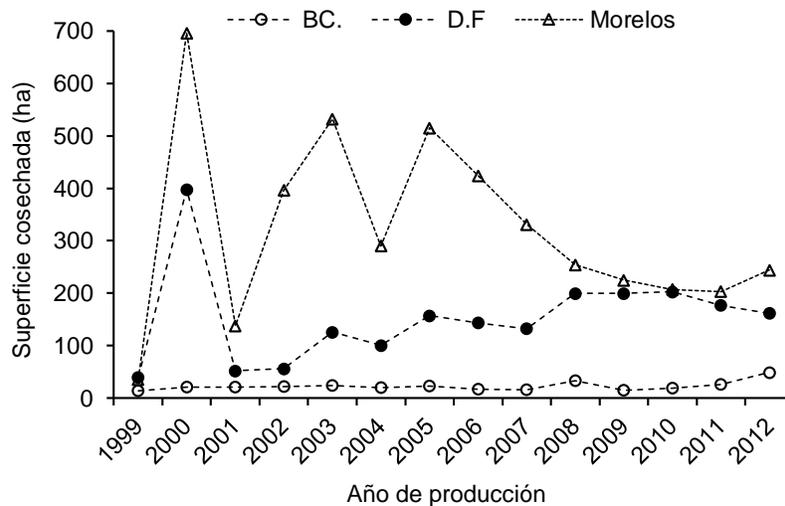
Por otra parte, Proctor *et al.* (2011) realizaron ensayos experimentales simulando un método mecánico para el control de verdolaga donde es considerada como una maleza; la verdolaga presentó una supervivencia favorable al ser cortada, lo que quiere decir que tiene un efecto reproductivo por esquejes de tallos con hojas, otorgando mayor supervivencia y proliferación del “arvense”.

La verdolaga es considerada como un posible fitorremediador debido a su tolerancia a Na y Cl, por lo que es una opción para la recuperación de suelos salino-sódicos, Cenk *et al.* (2008) proponen a la verdolaga como un cultivo intercalado con árboles frutales para la extracción de sales en el huerto, debido a que en suelos con contenidos de 210 kg Cl<sup>-</sup> ha<sup>-1</sup> y 65 kg Na<sup>+</sup> ha<sup>-1</sup>, la planta extrae 5 % y 15 %, respectivamente. Los autores concluyen que se puede establecer el cultivo de verdolaga a un nivel de salinidad 6.5 dS m<sup>-1</sup> con una reducción del rendimiento del 18.37 %.

### 2.3 Importancia nacional

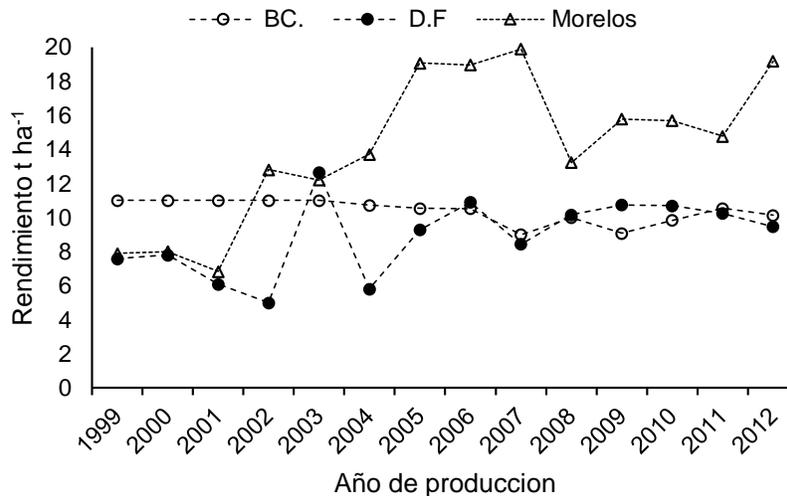
El consumo actual de la verdolaga ocurre en la zona centro del país; sin embargo, su adaptación a diversos climas puede estar presente en el mercado durante todo el año. En el año 2012, en toda la república mexicana se sembraron 454.5 ha de verdolaga, con una producción de 6706 t, con un rendimiento de 14.76 t ha<sup>-1</sup> y un valor de la producción de \$3,533.4 por tonelada (SIAP, 2014).

Durante el período comprendido entre el 1999 y 2012, la superficie cosechada de verdolaga en el estado de Morelos tiene descensos y ascensos bien marcados (Figura 2), los ascensos probablemente por los precios de venta de 1395 a 1500 \$ t<sup>-1</sup> del año 1999 al 2000, y de 2780 a 3368 \$ t<sup>-1</sup> del año 2001 al 2003, y el descenso por la inexperiencia en la producción del cultivo en comparación con del Distrito Federal. La superficie cosechada en el 2012 en Baja California fue de 49 ha, en Morelos de 244 ha y en el Distrito Federal de 161 ha.



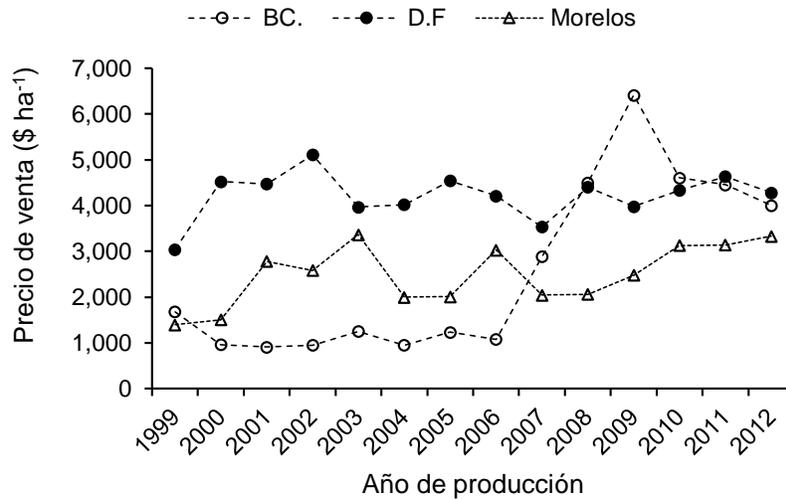
**Figura 2. Superficie cosechada de verdolaga en Baja California (BC.), Distrito Federal (D.F.) y Morelos, durante el período 1999-2012 (SIAP, 2014).**

Morelos tiene mayor rendimiento que en Baja California y el Distrito Federal, el rendimiento en 1999 fue de 8 t ha<sup>-1</sup>, y en 2012 fue de 19 t ha<sup>-1</sup> (Figura 3), lo que puede atribuirse al uso de riego presurizado y al mejor clima; el rendimiento del Distrito Federal fue de 7.89 t ha<sup>-1</sup> en 1999, y de 9.47 t ha<sup>-1</sup> en 2012; y, en Baja California fue de 11.00 t ha<sup>-1</sup> en 1999, y de 10.13 t ha<sup>-1</sup> en 2012.



**Figura 3. Rendimiento de verdolaga en Baja California (BC.), Distrito Federal (D.F.) y Morelos, durante el período 1999-2012 (SIAP, 2014).**

En el Distrito Federal se reportan los mayores precios de venta de la verdolaga por tonelada, de 4279 \$ ha<sup>-1</sup>, seguido de Baja California con 4000 \$ ha<sup>-1</sup> y Morelos con 3329 \$ ha<sup>-1</sup> para el 2012, en Baja California se observa un aumento en el precio de venta de la verdolaga a partir del año 2009, probablemente por las exportaciones al extranjero; este aumento muestra la creciente importancia y demanda de este cultivo (Figura 4)



**Figura 4. Precio de venta de verdolaga en Baja California (BC.), Distrito Federal (D.F.) y Morelos, durante el período 1999-2012. Elaboración propia con datos del SIAP (2014).**

Por otra parte, en Mixquic la verdolaga es empacada en bolsas grandes de plástico transparente a las cuales se les denomina “maletas”, con 12 manojos de verdolaga y un peso de 60 kg por maleta, llegando a producir 1000 maletas por hectárea. En Cuautla, Morelos obtienen 1000 maletas por hectárea con un peso de 36 kg por maleta. Los agricultores de San Gregorio Atlapulco forman rollos amarrados con “tule” (*Typha* sp.) de aproximadamente 25 kg, con una producción de 1000 rollos por hectárea. Esto demuestra la alta productividad de verdolaga en México, superior a los datos reportados por autores antes mencionados y por los datos del SIAP.

## 2.4 La verdolaga como producto nutracéutico

Todos los alimentos que presentan una o más sustancias con funciones fisiológicas y bioquímicas, que benefician a la salud humana, son considerados como alimentos funcionales. De esta manera, la Asociación Dietética Americana ha producido un glosario con las principales definiciones básicas de los alimentos funcionales. Ellos son:

*Agente quimio-preventivo*: nutriente compuesto de alimentos o de lo contrario que se ha investigado científicamente como un inhibidor potencial de carcinogénesis.

*Designer food*: alimentos procesados que se complementan con los ingredientes alimentarios, naturalmente ricos en sustancias que previenen enfermedades; esto implica la ingeniería genética de los alimentos.

*Alimentos funcionales*: cualquier alimento o ingrediente modificado que puede tener un efecto benéfico más que los nutrientes comunes.

*Pharma-alimentos*: los alimentos o nutrientes con potencial para la salud o de uso médico, incluyendo la prevención y tratamiento de enfermedades.

*Fitoquímicos*: sustancias que se encuentran en las frutas y verduras que pueden ser ingeridos diariamente y los que muestran un potencial para modular el metabolismo humano, favoreciendo la prevención del cáncer y otras enfermedades;

*Nutracéuticos*: sustancia considerada como alimento humano o una parte de ella que ofrece salud o beneficios médicos, incluyendo la prevención y tratamiento de enfermedades.

Los alimentos que tienen una función de nutrir y además proporcionan beneficios médicos o de salud, incluyendo la prevención o el tratamiento de enfermedades, se consideran como nutracéuticos. También se define como un producto alimenticio consumido o administrado por vía enteral, bajo supervisión médica basada en la evaluación médica del tratamiento dietético específico de una enfermedad. Estos alimentos contienen sustancias químicas o biológicas activas, que tienen un efecto favorable sobre la salud.

Además de tener la capacidad de fortalecer las condiciones saludables, sirviendo como auxiliar en el cuidado y mantenimiento de la salud; los alimentos nutracéuticos previenen las enfermedades crónicas degenerativas como infartos, embolias, hipertensión, diabetes, y diferentes tipos de cancer.

Estos alimentos se dividen en tres grupos:

- ~ Nutrientes: azúcares y grasas
- ~ Compuestos químicos: fibras, antioxidantes, carotenos, ácidos grasos omega 3 y 6.
- ~ Probióticos: microorganismos benéficos (lácteos).

#### **2.4.1 Compuestos antioxidantes en verdolaga**

En la actualidad se buscan alimentos con altos contenidos de antioxidantes, que son sustancias que ayudan contra enfermedades degenerativas (enfermedades del hígado, alzheimer, artritis, parkinson y aterosclerosis), cardiovasculares y diversos tipos de cáncer (Gutiérrez *et al.*, 2007; Moon y Shibamoto, 2009).

Estas sustancias interactúan con el organismo para contrarrestar el proceso de envejecimiento y de otras enfermedades causado por radicales libres (Gutiérrez *et al.*, 2007). Los radicales libres son sustancias reactivas del oxígeno (SRO) que surgen en las células vivas como subproductos del proceso de la respiración aeróbica y el metabolismo, tales como los aniones superóxido (OOH), peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y radicales de hidroxilo (OH). La generación de O<sub>2</sub><sup>-</sup> por una sola donación de electrones al oxígeno molecular (O<sub>2</sub>), como resultado se obtiene un electrón desapareado muy reactivo, este es el paso inicial en la formación y propagación de SRO dentro y fuera de la célula (Al-Gubory *et al.*, 2010).

En efecto, el O<sub>2</sub><sup>-</sup> radical es el precursor de la mayoría de SRO, y podría ser un mediador en reacciones en cadena oxidativa. Estos compuestos reaccionan con los componentes de las células vivas, modificando y causando daños al ADN (Biesiada y Tomczak, 2012).

Recientemente, muchos estudios epidemiológicos sugieren que el consumo de antioxidantes naturales tales como alimentos, frutas frescas, verduras o té tiene efectos protectores contra las enfermedades antes mencionadas y su protección en parte se ha atribuido debido a la presencia de varios componentes como vitaminas, flavonoides, antocianinas y otros compuestos fenólicos.

La vitamina E es un antioxidante soluble en grasa, de la familia de  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -, y  $\delta$ -tocoferoles. La forma más activa de los homólogos de la vitamina E es  $\alpha$ -tocoferol que protege las membranas celulares de la oxidación por reaccionar con SRO y radicales de lípidos producidos en la reacción en cadena de la peroxidación lipídica (Traber y Atkinson, 2007).

Los carotenoides son antioxidantes solubles en grasa, siendo los principales el  $\beta$ -caroteno, luteína,  $\alpha$ -caroteno, zeaxantina, criptoxantina y licopeno. El carotenoide más ampliamente distribuido en las especies de plantas es  $\beta$ -caroteno, que es la principal fuente de provitamina A. El  $\beta$ -caroteno y licopeno son compuestos biológicos importantes que pueden inactivar las moléculas excitadas electrónicamente, un proceso denominado de enfriamiento, y también pueden participar en reacciones de reducción de radicales libres (Al-Gubory *et al.*, 2010).

La vitamina C (ácido ascórbico) es un antioxidante soluble en agua, que puede compactar las SRO y proteger el ADN contra el daño oxidativo. El ácido ascórbico interactúa con el radical tocoferoxilo y regenera el tocoferol reducido. Además, las vitaminas C y E son capaces de interactuar en asociación con enzimas relacionadas con el glutatión (GSH) para controlar la producción de productos de peroxidación de lípidos (Al-Gubory *et al.*, 2010).

Los polifenoles son un grupo de metabolitos secundarios, que presentan una alta variedad de moléculas que incluyen al menos un anillo aromático sustituido por uno o más grupos hidroxilo. Estos compuestos naturales son estructuralmente diversos y varían de moléculas individuales tales como ácidos fenólicos a estructuras altamente polimerizados como taninos (Balasundram *et al.*, 2006).

Los compuestos polifenólicos muestran notables propiedades medicinales que incluyen un efecto antioxidante, capaces de secuestrar e interceptar los radicales libres, previniendo el daño a las células; sin embargo, no se limita a SRO, e incluye la regulación al alza de las enzimas antioxidantes y desintoxicación, la modulación de la señalización celular y la expresión génica, y otros efectos celulares (de Mello y Fasolo, 2014).

Las cantidades y distribución de los fenoles difieren dependiendo de la variedad, la fase de maduración, y las condiciones de cosecha y post-cosecha; de estos se pueden destacar los flavonoides, como agentes antioxidantes (de Mello y Fasolo, 2014).

Comúnmente, los flavonoides que se producen son las catequinas, resveratrol, quercetina, antocianinas y derivados hesperitina y ácidos fenólicos como fítico, ácido cafeico y el ácido clorogénico. El ácido fítico, en presencia de quelantes de hierro libre, es un potente inhibidor de la formación de radicales OH por reacción fenton, disminuye y suprime los procesos oxidativos mediado por hierro y la peroxidación de lípidos (Al-Gubory *et al.*, 2010).

Yazici *et al.* (2007) determinaron que la verdolaga responde de manera positiva en la protección de SRO bajo estrés salino con NaCl en la solución nutritiva, debido a que la planta aumenta la actividad antioxidante y la acumulación de osmoprotectores como la prolina, y la supresión de la lipoperoxidación.

Los flavonoides de la verdolaga son componentes biológicamente activos, que tienen funciones antioxidativas, antibacterianas, antivirales y antiinflamatorias. Xu *et al.* (2006) mencionan que son cinco los flavonoides importantes de la verdolaga: el kaempferol,

apigenina, miricetina y quercetina, y juegan un papel importante en aplicaciones clínicas; sin embargo sólo identificaron dos compuestos en verdolaga: apigenina (50.1  $\mu\text{g g}^{-1}$  en hojas y 16.6  $\mu\text{g g}^{-1}$  en tallos), y kaempferol (29.2  $\mu\text{g g}^{-1}$  en la biomasa aérea).

En este contexto, Cai *et al.* (2004) reportan que los principales componentes antioxidantes de la verdolaga son los flavonoides (kaempferol, quercetina) y flavones (apigenina, luteolina), mientras que Siriamornpun y Suttajit (2010) determinaron más compuestos antioxidantes en hojas, tallos y flores de la verdolaga (Cuadro 4).

**Cuadro 4. Contenido de flavonoides y ácidos fenólicos en verdolaga silvestre proveniente de Mahasarakham, Tailandia.**

Componente	Concentración		
	Hojas	Tallos	Flores
<b>Fenoles (<math>\text{mg L}^{-1}</math>)</b>			
Gallic acid	2.78	4.15	3.11
Protocatechuic acid	1.93	2.40	3.78
<i>p</i> -Hydroxybenzoic acid	2.45	2.08	2.84
Chlorogenic acid	15.30	14.95	18.20
Vanillic acid	1.28	0.84	1.20
Caffeic acid	2.47	2.97	3.68
Syringic acid	2.38	2.09	2.49
<i>p</i> -Coumaric acid	1.82	1.91	2.23
<b>Flavonoides (<math>\mu\text{g g}^{-1}</math>)</b>			
Rutin	47.386	2.88	5.82
Miricetina	10.46	10.40	13.19
Quercetina	5.53	6.34	6.63
Apigenina	6.04	5.78	4.96
Kaempferol	4.92	2.76	3.40

Fuente: Siriamornpun y Suttajit (2010).

Para compuestos como la vitamina C (ácido ascórbico) y el  $\beta$ -caroteno se ha encontrado que poseen actividad antioxidante, debido a su capacidad para neutralizar los radicales libres y tienen el potencial para prevenir las enfermedades cardiovasculares y el cáncer. En este contexto Liu *et al.* (2000) reportaron un contenido de  $\beta$ -caroteno en verdolaga, entre 21 a 30  $\mu\text{g g}^{-1}$  en hojas en peso fresco y 3.6–6.5  $\mu\text{g g}^{-1}$  en tallos en peso fresco, para las colectas de América de Norte y variedades nativas de Australia.

Mera-Ovando *et al.* (2014) reporta distintos valores de vitamina C para los cultivares de verdolaga en México; por ejemplo, para la variedad de San Gregorio Atlapulco reportan de 15.5 mg 100  $\text{g}^{-1}$  de peso fresco, Queretana del 9.13 mg 100  $\text{g}^{-1}$ , y Americana de 5.65 mg 100  $\text{g}^{-1}$ . En contraste, Lim y Quah (2007) obtuvieron 66.4 a 73 mg 100  $\text{g}^{-1}$  de ácido ascórbico en verdolaga de jardín, proveniente de Malasia.

Por otra parte, Siriamornpun y Suttajit (2010) encontraron que la verdolaga silvestre tailandesa contenía casi 10 veces más  $\beta$ -caroteno que las variedades reportadas por Liu *et al.* (2000), con valores de 0.58 mg  $\text{g}^{-1}$  en hojas y 0.29 mg  $\text{g}^{-1}$  en tallos, y ácido ascórbico de 3.99 mg  $\text{g}^{-1}$  en hojas y 2.27 mg  $\text{g}^{-1}$  en tallos.

La actividad antioxidante se estima con el  $\text{IC}_{50}$ , que representa la concentración del extracto con el cual se obtiene 50 % de la reducción del radical libre 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) presente en la reacción. Mientras menor sea el valor del  $\text{IC}_{50}$  mayor será la actividad antioxidante.

Lim y Quah (2007) reportan mayores contenidos de fenoles totales en verdolaga ornamental y menores en verdolaga comestible, con valores de 478 y 127 mg 100  $\text{g}^{-1}$ , respectivamente, e  $\text{IC}_{50}$  de 0,89 a 3,41 mg  $\text{mL}^{-1}$ , respectivamente. Mientras que Abas *et al.* (2006) reportan para verdolaga provenientes de Malasia  $\text{IC}_{50}$  entre 44 y 70.4  $\mu\text{g mL}^{-1}$  en hojas.

Empero, Siriamornpun y Suttajit (2010) mencionan que las diferentes variedades, tiempos de cosecha y las condiciones ambientales, podrían contribuir a la composición de verdolaga, especialmente porque la planta en Tailandia no es cultivada.

Gutiérrez *et al.* (2007) evaluaron la actividad antioxidante de frutas y vegetales comerciales y nativos de Chiapas, recolectados en el mercado “Rafael Pascacio Gamboa” de Tuxtla Gutiérrez; los valores más altos fueron de guayaba con 28.5 mmol de equivalentes de Trolox (Tx) g<sup>-1</sup>, y calabacita cocida con 30.07 mmol Tx g<sup>-1</sup>, y la verdolaga cocida con 28.21 mmol Tx g<sup>-1</sup>.

Cai *et al.* (2004) cuantificaron la actividad antioxidante de 112 plantas usadas en la medicina tradicional China, y reportan una actividad antioxidante en equivalentes de Trolox de 141 μmol Tx 100 g<sup>-1</sup> de materia seca, en extractos acuosos de verdolaga.

Hongxing *et al.* (2007) evaluaron los extractos de verdolaga, con la finalidad de analizar el efecto neuroprotector, ya que el extracto ha mostrado un efecto anti-oxidativo en los tejidos del corazón en ratones, mediante el aumento de la actividad de superóxido dismutasa (SOD). El deterioro neurológico de los ratones fue inducido con inyecciones subcutáneas de D-galactosa; los ratones fueron alimentados con una molienda de verdolaga, que fue hervida y secada para extraerle la humedad. Los ratones que recibieron este extracto en distintas dosis (5 y 10 mg kg<sup>-1</sup> día) mejoraron sus actividades de crianza, memoria, aseo, aumentó significativo de superóxido dismutasa y disminuyó el nivel de malondialdehído, además de reducir el p21<sup>WAF1</sup>, proteína causante de la supresión de la difusión telomérica y puede dar como resultado el envejecimiento celular (Hongxing *et al.*, 2007).

El consumo de verdolaga puede ayudar a reducir la incidencia de cáncer y enfermedades del corazón, lo que puede explicar el hecho de que se le conoce como “*vegetable for long life*” o “*vegetal para una larga vida*” en el folklore chino. La verdolaga contiene abundantes catecolaminas como la noradrenalina, con valores de 0.074, 0.029 y 0.054% en hojas, tallos y semillas, respectivamente, y dopamina, de 0.69, 0.18 y 0.59% en hojas, tallos y

semillas, respectivamente (Chen *et al.*, 2003); mientras que Zhang (*et al.*, 2002) reporta un contenido de noradrenalina y dopamina de 0.15 y 0.25%, respectivamente. Las catecolaminas (noradrenalina y dopamina) se consideran generalmente el componente efectivo para el tratamiento del shock cardiaco. Algunos estudios también muestran que la noradrenalina es un modulador del sistema inmune por tener propiedades anti-cancerígenas (Chen *et al.*, 2003).

En países árabes, la verdolaga se ha utilizado como anti-escorbuto, antiséptico, antiespasmódico, diurético, vermífugo, refrigerante, y como una hierba vulneraria contra irritaciones, úlceras de la boca y trastornos urinarios. En medio oriente los extractos de la planta, se utilizan para reducir la inflamación, como vermífugo, también como bactericida en la disentería bacilar. Una cataplasma hecha de las hojas se aplica para extraer el pus de las llagas infectadas, y las semillas se toman como sedante para saciar la sed (Chan *et al.*, 2000).

En India, la verdolaga tiene fama de reducir las úlceras, tumores e inflamaciones; en Pakistán, se considera útil como un componente de la dieta en el escorbuto, útil en hemoptisis, obstrucción del hígado y debilidad, lo que reduce los tumores pequeños y las inflamaciones, buena para las úlceras, el asma, las descargas urinarias, diarrea, disentería y pilas (Chan *et al.*, 2000).

Chan *et al.* (2000) evaluaron el efecto del extracto de verdolaga con 10 % de etanol en roedores con quemaduras y laceraciones, realizando aplicaciones tópicas e inyecciones (intraperitoneal) del extracto, y observaron que el efecto analgésico e antiinflamatorio de la extracto de la planta (400 mg) es comparable con el diclofenaco de sodio (4 mg).

Malek *et al.* (2004) investigaron el efecto terapéutico de *P. oleracea*, los resultados confirman el efecto broncodilatador del extracto hervido de verdolaga, el cual es similar al jarabe de teofilina e incluso comparable con el inhalador de salbutamol, sin embargo el efecto es transitorio.

Rashed *et al.* (2003) observaron el efecto de los extractos crudos de la verdolaga (parte aérea) sobre la cicatrización en roedores, y los extractos tuvieron efecto con la dosis de 50 mg de verdolaga y una segunda dosis de 25 mg, estas dosis aceleran el proceso de cicatrización.

#### **2.4.2 Contenido de ácidos grasos en verdolaga.**

Los ácidos grasos omega 3 y 6, son un grupo de grasas polinsaturadas esenciales para el ser humano, ayudan a la prevención de enfermedades cardiovasculares y al mantenimiento del sistema inmunológico. Los ácidos grasos omega 6 derivan del ácido linoleico, con dos dobles enlaces, y se caracterizan por tener su primer doble enlace en carbono número 6 de la cadena, contado desde el metilo del extremo de la misma. Los ácidos grasos omega 3 deriva del ácido  $\alpha$ -linolénico, con tres dobles enlaces, cuyos ácidos grasos tienen su primer doble enlace en carbono número 3 de la cadena. Estos ácidos grasos no pueden ser sintetizados por el ser humano, por lo cual es recomendable incluirlos en la alimentación (Guinjun *et al.*, 2009).

En la actualidad, la principal fuente de ácidos grasos polinsaturados la constituyen los aceites de pescado y algunas plantas como la soya. Sin embargo, el aceite de pescado es costoso y constituye un producto difícil de adquirir, sobre todo en los medios de escasos recursos (Páez *et al.*, 2013).

Se ha documentado que la verdolaga, ofrece una alternativa como cultivo hortícola, por ser una fuente rica de ácido linoleico (18:3 $\omega$ 6) y  $\alpha$ -linolénico (18:3 $\omega$ 3), ácido eicosapentanoico., compuestos antioxidantes como el  $\beta$ -caroteno o el alfa-tocoferol y glutatión, además de contener 303,9 kcal 100 g<sup>-1</sup> de peso seco (Guinjun *et al.*, 2009; Páez *et al.*, 2007; Proctor, 2013).

La verdolaga en distintas ubicaciones geográficas, tiende a tener la capacidad constante de acumular ácidos grasos esenciales. Ezekwe *et al.* (1999) mencionan que estos ácidos

grasos pueden aumentar o disminuir por el día de plantación, mostrando diferencias de proteína cruda, lípidos, carbohidratos y contenido de ácido grasos esenciales.

Liu *et al.* (2000) determinaron la cantidad de ácidos grasos en hojas de verdolaga, en variedades de América del Norte y nativas de Australia; las plantas se cosecharon a los 60 dds, la concentración de ácidos grasos en hojas, oscilaron entre 2.5 y 1.62 mg, y los principales ácidos grasos en hojas fueron el ácido  $\alpha$ -linolénico (18:3 $\omega$ 3), en verdolaga de América del Norte 1.34 mg g<sup>-1</sup> y en variedades de Australia 1.24 mg g<sup>-1</sup> en peso fresco.

Sin embargo los valores de ácido  $\alpha$ -linolénico son cambiantes dependiendo del manejo, pues, Liu *et al.* (2002) reportan 1.34 a 2.33 mg g<sup>-1</sup> de 18:3 $\omega$ 3 para seis colectas australianas de verdolaga, constituyendo el ácido  $\alpha$ -linolénico el 63% hasta el 68%.del total de ácidos grasos.

En este contexto, Páez *et al.* (2007) determinaron el efecto de luz, sobre la concentración de ácidos grasos en hojas de la verdolaga a tres semanas después de la emergencia; en condiciones de baja incidencia de luz el ácido linolénico aumentó hasta 89.74 nmol mg<sup>-1</sup> en materia seca (MS)) con respecto a la radiación total del 100% (26.32 nmol mg<sup>-1</sup> MS), mientras que el ácido  $\alpha$ -linolénico fue mayor en radiación del 30% y 10% con respecto al 100% de luz, obteniendo valores de 619, 599 y 356 nmol mg<sup>-1</sup> de MS respectivamente.

Páez *et al.* (2013) analizaron la ingesta de verdolaga, con la finalidad de disminuir el contenido elevado de colesterol sérico en conejos, que fueron alimentados antes del experimento con aceite de coco el cual eleva el colesterol. La dieta de verdolaga y “conejaría” mantuvo un nivel de colesterol bueno (HDL) y redujo el colesterol total en 46%.

Cros *et al.* (2007) sugieren que los mejores valores de  $\alpha$ -linolénico (48.116 mg en 100 g de verdolaga fresca) y ácido linolénico (6.525 mg en 100 g de verdolaga fresca) se pueden obtener bajo invernadero, usando el sustrato de “peat moss” en comparación con vermiculita, fibra de coco y perlita. El autor indica, que los contenidos de 18:3 $\omega$ 3 se deben a la fecha de cosecha, variedades vegetales y factores ambientales.

Palaniswamy *et al.* (2000, 2001a) evaluaron la concentración de ácidos grasos, conforme al día de cosecha, número de hojas, cantidad de flujo de fotones fotosintéticos (FFF) ( $\text{mol} \cdot \text{d}^{-2} \cdot \text{s}$ ) con relación al tiempo de radiación y la concentración  $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$  en un sistema hidropónico. En estas investigaciones reportan diversos contenidos de ácido  $\alpha$ -linolénico para verdolaga silvestre, proveniente de California (Cuadro 5), lo que quiere decir que esta planta, al no ser cultivo domesticado, es susceptible a cambios físicos y nutrimentales.

**Cuadro 5. Contenido de ácido  $\alpha$ -linolénico en verdolaga silvestre en diversas condiciones experimentales.**

Palaniswamy <i>et al.</i> , 2000		Palaniswamy <i>et al.</i> 2001a		Palaniswamy <i>et al.</i> , 2001b		
$^2\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$	ALN ( $\text{mg g}^{-1}$ ) <sup>x</sup>	DDS	ALN ( $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ ) <sup>x</sup>	Horas luz	FFF ( $\text{mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ )	ALN ( $\text{mg g}^{-1}$ ) <sup>x</sup>
1:0	<b>8.4</b>	35	<b>132.8</b>	8	8.6	<b>15.1</b>
					13.1	<b>21.7</b>
75:25	<b>12.4</b>	49	<b>69.7</b>	12	12.9	<b>19.2</b>
					19.7	<b>23.9</b>
50:50	<b>25.5</b>	60	<b>124.7</b>	16	17.2	<b>32.3</b>
					26.2	<b>13.7</b>
25:75	<b>18.6</b>			20	21.5	<b>15.2</b>
					32.5	<b>10.6</b>

ALN: ácido  $\alpha$ -linolénico, dds= días después de la siembra, FFF: flujo de fotones fotosintéticos. <sup>2</sup>Relación porcentual nitrato: amonio presente en la solución nutritiva. <sup>x</sup>Datos expresados en base húmeda. En el 2000 manejaron una solución nutritiva de 200-37-207  $\text{mg N-P-K L}^{-1}$  y con FFF de  $9.3 \text{ mol m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ . En 2001a y 2001b utilizaron un fertilizante 20N- 4.36P- 16.6K hasta obtener  $100 \text{ mg N L}^{-1}$ . En 2000 y 2001b cosecharon a los 60 dds. Elaboración con los datos de Palaniswamy *et al.* (2001ab; 2000).

Fontana *et al.* (2006) mencionan que las cantidades de ácidos grasos pueden ser modificados por el suministro de nutrimentos, al usar diversas relaciones de  $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$ , en niveles de 8, 12, 16, 24, 36  $\text{mmol N L}^{-1}$ , el  $\alpha$ -linolénico (18:3 $\omega$ 3) se estabiliza en 12  $\text{mmol L}^{-1} \text{ N}$ , en una relación 40:60 de nitrato: amonio, obteniendo entre 55.95 y 61.60  $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$  de materia seca.

Mera-Ovando *et al*, (2014) han realizado colectas de verdolaga cultivada en México, las cuales fueron caracterizadas químicamente para obtener las primeras determinaciones de ácidos grasos (Cuadro 6).

**Cuadro 6. Contenido de ácido linoléico y  $\alpha$ -linolénico en distintas variedades de verdolaga.**

Variedad	Ácidos grasos <sup>z</sup>		
	Ácido Linoléico	Ácido $\alpha$ -linolénico	Araquidico
San Gregorio Atlapulco	76.97	51.07	10.10
Queretana	59.40	51.04	8.45
Morelos	74.70	91.39	21.29
Americana	60.20	54.95	10.50

<sup>z</sup>Contenido de ácidos grasos en mg 100 g<sup>-1</sup> en base húmeda. Fuente: Mera-Ovando *et al*. (2014)

Por otra parte, sí se causa un ambiente salino por efecto de NaCl en un sistema hidropónico, provoca una disminución significativa en los ácidos grasos. Al respecto, Carvalho *et al*. (2009), emplearon dosis de NaCl de 0, 20, 40 y 60 mmol, el ácido  $\alpha$ -linolénico se mantuvo entre 16.13 y 16.93 mg g<sup>-1</sup>, pero al usar 90 y 120 mmol de NaCl se redujo el  $\alpha$ -linoléico entre 14.54 y 13.06 mg g<sup>-1</sup> para las variedades “Golden Leave” y “Green Leave”, valores que son similares a los obtenidos por Anastácio y Carvalho (2013).

Esto ha demostrado que la verdolaga es una excelente fuente de ácido  $\alpha$ -linoléico, por lo cual, la concentración de omega 3 de la verdolaga se le considera como media para alimentos de origen vegetal; en el Cuadro 7 se observan las concentración de omega 3 de diferentes alimentos.

**Cuadro 7. Concentración de omega 3 en diversos alimentos de origen vegetal.**

Categoría	Alimento	Concentración (mg 100 g <sup>-1</sup> ) <sup>2</sup>
Baja	Aguacate, brócoli, fresa, coliflor y espinaca	0.1
	Col risada y guisantes	0.2
	Arvejas y maíz	0.3
Media	Frijol común	0.6
	Puerros y trigo	0.7
	Espirulina	0.8
	Verdolaga	1.1
	Avena	1.4
	Soya (asada)	1.5
	Soya (fresco)	3.2
Alta	Nuez, Aceite de soya y germen de trigo	6.8
	Aceite de nuez	10.4
	Aceite de colza	11.1

<sup>2</sup>Datos reportados en base húmeda. Fuente: Bulletin, US Department of Agriculture Provisional table on the content of omega-3 fatty acids and other fat components in selected foods (HNIS/PT-103).

## 2.5 Literatura citada

- Abas, F., H. Lajis N., A. Israf D., Khozirah S., and U. Kalsom Y. 2006. Antioxidant and nitric oxide inhibition activities of selected Malay traditional vegetables. *Food Chemistry*. 95 (4): 566-573.
- Ahmed, A.K. and A. Johnson K. 2000. The effect of the ammonium: nitrogen ratio, total nitrogen, salinity (NaCl) and calcium on the oxalate levels of *Tetragonia tetragonioides* Pallas. *Kunz. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 75: 533–538.
- Al-Gubory, K., A. Fowler P. and Carrel C. 2010. The roles of cellular reactive oxygen species, oxidative stress and antioxidants in pregnancy outcomes. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*. 42: 1634–1650.
- Anastácio, A. and S. Carvalho I. 2013. Accumulation of fatty acids in purslane grown in hydroponic salt stress conditions. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 64 (2): 235-242.
- Balasundram, N., K. Sundram and S. Samman. 2006. Phenolic compounds in plant and agro industrial by products: antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*. 99: 191-203.
- Biesiada, A. and A. Tomczak. 2012. Biotic and Abiotic factors affecting the content of the chose antioxidant compounds in vegetables. *Vegetables crops research. Bolletin* 76.
- Buenrostro, M. 2009. Las bondades de la milpa. *Del ambiente. Ciencias*. 92-93.
- Cai, Y., L. Qiong, S. Mei and H. Corke. 2007. Antioxidant activity and phenolic compounds of 112 traditional Chinese medicinal plants associated with anticancer. *Life Sciences*. 74: 2157–2184.
- Carvalho, I. S., M. Teixeira and M. Brodelius. 2009. Effect of salt stress on purslane and potential health benefits: oxalic acid and fatty acids profile. In *The proceedings of the International Plant Nutrition Colloquium XVI, UC Davis*. Obtenido de: <http://escholarship.org/uc/item/4cc78714>.
- Castro, L., Basurto P., Mera O. y Bye B. 2011. Los quelites, tradición milenaria. *Universidad Autónoma de Chapingo, Texcoco, Estado de México*. 36 p.
- Cenk, C. K., K. Yasemin S. and N. A. C. Dilek A. 2008. Performance of purslane (*Portulaca oleracea* L.) as a salt-removing crop. *Agricultural water management*. 95: 854-858.
- Chan, K., M. W. Islam, M. Kamil, R. Radhakrishnan, M. N. M. Zakaria, M. Habibullah and A. Attas. 2000. The analgesic and anti-inflammatory effects of *Portulaca oleracea* L. subsp. *sativa* (Haw.) Celak. *Journal of Ethnopharmacology*. 73: 445–451.

- Chen, J., S. Yan-Ping and L. Jing-Yan. 2003. Determination of noradrenaline and dopamine in Chinese herbal extracts from *Portulaca oleracea* L. by high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*. 1003: 127-132.
- Cros, V, J. Martinez-Sanchez and Franco J. 2007. Good yields of common purslane with a high fatty acid content can be obtained in a peat-based floating system. *Horttechnology*. 17: 14–20.
- de Mello, A. J. M. and Fasolo D. 2014. Polyphenol Antioxidants from Natural Sources and Contribution to Health Promotion. *Polyphenols in Human Health and Disease*. Chapter 20: 253-265
- Ezekwe, M. O., T. R. Omara-Alwala and Membrahtu T. 1999. Nutritive characterization of purslane accessions as influenced by planting date. *Plant Foods Human Nutrition*. 54: 183–191.
- Egea-Gilabert, C., V. Ruiz-Hernández and P. Angeles 2014. Characterization of purslane (*Portulaca oleracea* L.) accessions: Suitability as ready-to-eat product. *Scientia Horticulturae*. 172: 73-81.
- Fontana, E, J. Hoeberechts, S. Nicola, V. Cros, G. Palmegiano and Peiretti P. 2006. Nitrogen concentration and nitrate/ammonium ratio affect yield and change the oxalic acid concentration and fatty acid profile of purslane (*Portulaca oleracea* L.) grown in a soilless culture system. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 86: 2417–2424.
- Ferrari, G. y S. Leguizamón E. 2006. Requerimientos germinativos y modelización de la emergencia de plántulas de *Portulaca oleracea* L. (verdolaga).
- Granados, S. y López R. 1990. Chinampas: Historia y Etnobotánica de la “alegría” (*Amaranthus hupochondriacus* L.), Domesticación de la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) y el romerito (*Suaeda difusa* wats). En: Trinidad S., Gómez L. y Suárez R. 1990. El amaranto *Amaranthus* spp. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Gutiérrez, Z., Ledesma R., García G. and Grajales C. 2007. Total antioxidant capability of conventional and regional foods in Chiapas, Mexico. *Revisita Cubana de Salud Pública*. 33 (1): 1-7.
- Guinjun, Y., N. Aryamanesh and S. Wang. 2009. Purslane – A potential vegetable crop. Rural industries research and Development Corporation. Australian Government. Rural Industries Research and Development Corporation. 14p.
- Hongxing, Z., Y. Nancai, H. Guofu, S. Jianbo, W. Wu Yanxia, H. Hanju, L. Qian, M. Wei, Y. Yandong and H. Hao. 2007. Neuroprotective effects of purslanes herb aqueous extracts against D-galactose induced neurotoxicity. *Chemico- Biological Interction*. 170: 145-152.

- Kaskar, C., A. Fernandez J., Ochoa J. and Tûzel, Y. 2009. Agronomic behaviour and oxalate and nitrate content of different purslane cultivars (*Portulaca oleracea*) grown in a hydroponic floating system. *Acta Horticulturae*. 807: 521-526.
- Kaymak, H. C. 2013. Effect of nitrogen forms on growth, yield and nitrate accumulation of cultivated purslane (*Portulaca oleracea* L.). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 19 (3): 444–449.
- Lagunes, F. E. 2005. Descripción de la variedad “Chapingo” de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.). Tesis Profesional. Ingeniero agrónomo especialista en fitotecnia. Universidad Autónoma de Chapingo. Estado de México. 82p.
- Lim, Y. Y. and E. P. L. Quah 2007. Antioxidant properties of different cultivars of *Portulaca oleracea*. *Food Chemistry*. 103: 734–740.
- Lin, L., W. Yeong, S. Shyang, L. Nie and C. Clarke. 2012. Biotransformation of rice husk into organic fertilizer through vermicomposting. *Ecological Engineering*. 41: 60– 64.
- Liu, L., P. Howe, Z. Ye-Fang, X. Zhi-Qiang, C. Hocart and R. Zhang. 2000. Fatty acids and  $\beta$ -carotene in Australian purslane (*Portulaca oleracea*) varieties. *Journal of Chromatography A*. 893: 207–213.
- Liu, L., P. Howe, Z. Ye-Fang, C. Hocart and R. Zhang. 2002. Fatty acid profiles of leaves of nine edible wild plants: an Australian study. *Journal of Food Lipids*. 9: 65-71.
- López-Ríos, G. 1996. Domesticación de la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) y semidomesticación del romerillo (*Suaeda difusa* Wats.) en el sistema agrícola de chinampas de San Gregorio Atlapulco, Xochimilco, D.F. *Revista de geografía agrícola*. 22-23: 103-112.
- Luce, M. St., J. K. Whalen, N. Ziadi and B. J. Zebarth. 2011. Nitrogen dynamics and indices to predict soil nitrogen supply in humid temperate soils. *Advances in Agronomy*. 12: 55-102.
- Martínez, G. F., 2002. Proceso y manejo de producción de plantas ornamentales en maceta (*Portulaca* mundial, verdolaga, amor de un rato, helechos, teléfono y nochebuena) manejadas en vivero “Mundo Kajegi” en Jiutepec, Morelos. Reporte final de estancia profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma de Chapingo. 154p.
- Malek, F., M. H. Boskabady, M. T. Borushaki and M. Tohidi. 2004. Bronchodilatory effect of *Portulaca oleracea* in airways of asthmatic patients. *Journal of Ethnopharmacology*. 93: 57–62.
- Mera, O. L., Alvarado F., Basurto P., Bye B., Castro L., Evangelista V., Mapes S., Martínez A., Molina N. y Saldívar J. 2005. De quelites me como un taco. *Del herbario Ciencias*. 77: 36-38.

- Mera, O. L., D. Castro L., R. Bye B. y C. Villanueva V. 2010. Importancia de la verdolaga en México. Folleto. Universidad Autónoma de Chapingo. Estado de México. 23p.
- Mera-Ovando, L.M., R. Bye B. y M. Solano L. 2014. La verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) fuente vegetal de omega 3 y omega 6. Agro-productividad. 7:1, 3-7.
- Mitich, L.W. 1997. Common purslane (*Portulaca oleracea*). Weed Technology. 11: 394–397.
- Moon, J. K. and T. Shibamoto. 2009. Antioxidant Assays for Plant and Food Components. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 57: 1655–1666.
- Páez, A., M. Páez P., E. Gonzalez M., Vera A., Ringelberg D. y Tschaplinski. 2007. Crecimiento, carbohidratos solubles y ácidos grasos de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) sometida a tres niveles de radiación. Rev. Fac. Agron. 24: 642-660.
- Páez, A., M. Páez P., E. González M., Urdaneta J., Ringelberg D. y Tschaplinski. 2013. Efecto de la luz en la concentración de ácidos grasos de la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.): planta prometedora para disminuir el colesterol sérico. Rev. Fac. Agron. 30: 441-453.
- Pagano, E., R. Wolosiuk and A. Chueca. S/A. Evolución del metabolismo fotosintético C4 y los estados de transición C3-C4. Disponible en <http://digital.csic.es/bitstream/10261/29768/8/pagano.pdf> (acceso: 04/10/2013).
- Palaniswamy, U., R. Mcavoy and B. Bible. 2000. Omega-3-fatty acid concentration in *Portulaca oleracea* is altered by nitrogen source in hydroponic solution. Journal of the American Society for Horticultural Science. 125: 190–194.
- Palaniswamy, U., R. Mcavoy and B. Bible. 2001a. Stage of harvest and polyunsaturated essential fatty acid concentrations in purslane (*Portulaca oleraceae*) leaves. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 49: 3490–3493.
- Palaniswamy, U., R. Mcavoy and B. Bible. 2001b. Omega-3 fatty acid concentration in purslane (*Portulaca oleraceae*) is altered by photosynthetic photon flux. Journal of the American Society for Horticultural Science. 126: 537–543.
- Palaniswamy, U.R., B.B. Bible and R.J. McAvoy. 2004. Oxalic acid concentrations in Purslane (*Portulaca oleraceae* L.) is altered by the stage of harvest and the nitrate to ammonium ratios in hydroponics. Scientia Horticulturae. 102: 267–275.
- Proctor, C. 2013. Biology and Control of Common Purslane (*Portulaca oleracea* L.). Theses, Dissertations, and Student. Research in Agronomy and Horticulture. 68p.
- Proctor, C., Guassoim R. and Zachary J. 2011. Vegetative production potential of common purslane (*Portulaca oleracea* L.). Weed technology. 25 (4): 694-697.

- Siriamornpun, S. and M. Suttajit 2010. Microchemical Components and Antioxidant Activity of Different Morphological Parts of Thai Wild Purslane (*Portulaca oleracea*). Weed Science Society of America. 58 (3): 182-188.
- Traber, M. G. and J. Atkinson. 2007 Vitamin E, antioxidant and nothing more. Free Radic Biol Med. 43: 4-15.
- Vázquez, G., Godínez G., M. Montes E., M. Montes E. y Ortiz G. 2004. Los quelites de Ixhuapan, Veracruz: Disponibilidad, abastecimiento y consumo. Agrobiencia. 38 (4): 445-446.
- Villanueva, V. C. y M. Ramírez A. 2003. Verdolaga hidropónica y tecnología de producción súperintensiva de germinados en invernadero. In memorias de XIX presentación de trabajos de investigación, producción y servicio. Departamento de fitotecnia. Chapingo México. 68-72p.
- Xu, X., L. Yu and G. Chen. 2006. Determination of flavonoids in *Portulaca oleracea* L. by capillary electrophoresis with electrochemical detection. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis. 41: 493–499.
- Yazici, I., I. Tûrkan, S. Hediye and T. Demiral. 2007. Salinity tolerance of purslane (*Portulaca oleracea* L.) is achieved by enhanced antioxidative system, lower level of lipid peroxidation and proline accumulation. Environmental and experimental botany. 61: 49-57.

### III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

#### Objetivos

Evaluar el efecto a la fertilización de NPK sobre el rendimiento y la concentración nutrimental de verdolaga, y determinar las dosis óptimas de fertilización.

Evaluar el efecto a la fertilización de NPK sobre el contenido nutraceutico (ácidos grasos y metabolitos secundarios como: fenoles, flavonoides, vitamina C,  $\beta$ -caroteno, clorofilas *a* y *b*) de verdolaga.

#### Hipótesis

La fertilización NPK incrementara el rendimiento y modificara la concentración nutrimental del follaje de verdolaga.

El contenido nutraceutico (ácidos grasos y metabolitos secundarios como: fenoles, flavonoides, vitamina C,  $\beta$ -caroteno, clorofilas *a* y *b*) de verdolaga variará en función de la fertilización.

## VI. RESPUESTA DE LA VERDOLAGA A LA FERTILIZACION DE NPK: RENDIMIENTO, PROTEINA Y NITRATOS

**César Omar Montoya-García<sup>1\*</sup>; Víctor Volke-Haller<sup>1</sup>; Antonio Trinidad-Santos<sup>1</sup>;  
Clemente Villanueva-Verduzco<sup>2</sup>; Julio Sanchez-Escudero<sup>1</sup>.**

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km. 36.5, Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco. 56230, Estado de México.

<sup>2</sup>Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México-Texcoco. 56230. Chapingo, Estado de México.

\*Email: [ing.montoya.cesar@gmail.com](mailto:ing.montoya.cesar@gmail.com) [montoya.cesar@colpos.mx](mailto:montoya.cesar@colpos.mx);

### RESUMEN

La producción de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en México se lleva a cabo en condiciones de campo, sin embargo actualmente no existen dosis de fertilización de NPK que maximice los rendimientos de follaje. En este estudio se procedió a determinar el efecto de la fertilización sobre el rendimiento de la verdolaga y la acumulación de nitratos por la planta en tres fechas de cosecha comercial (27, 34 y 42, días después de la emergencia). Se realizó un experimento en condiciones de campo durante los meses de julio y agosto de 2014, en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, en cual se probaron cuatro dosis de N (0, 100, 200 y 300 kg N ha<sup>-1</sup>), P (0, 30, 60 y 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) y de K (0, 40, 80 y 120 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>), en un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones, con semilla proveniente del pueblo de Mixquic. La información se analizó mediante regresión. Se observó efecto positivo del N aplicado, densidad de plantas y cosecha sobre el rendimiento, y el máximo rendimiento fue obtenido con 300 kg N ha<sup>-1</sup> y 2500 plantas m<sup>-2</sup>, con 67, 104 y 138 t ha<sup>-1</sup>, en las tres cosechas, respectivamente, con un mayor incremento hasta 100 kg N ha<sup>-1</sup>; el P y K aplicados no presentaron efecto sobre el rendimiento. La altura de la planta fue afectada positivamente por el N y la cosecha. Se observó efecto positivo del N y P aplicados sobre la concentración de nitratos, y la acumulación de nitratos en el follaje no rebasa los límites permitidos para su consumo en fresco (2500 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kg<sup>-1</sup> peso fresco). La dosis óptima

económica de N se calculó en 65 kg N ha<sup>-1</sup> y 2500 plantas m<sup>-2</sup>, y no se observó efecto del P y K aplicados, con rendimientos del follaje de 58, 95 y 130 t ha<sup>-1</sup>, e ingresos netos de 30338, 67828 y 102440 \$ ha<sup>-1</sup>, para las tres cosechas, respectivamente.

**Palabras claves:** *Portulaca oleracea* L., dosis óptima económica, concentración de nitratos, fertilización nitrogenada.

## INTRODUCCIÓN

La verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) es una de las ocho plantas más comunes en el mundo (Liu *et al.*, 2000), y a pesar de que su origen está en discusión, ya existía en “el nuevo mundo” antes de la llegada de Cristóbal Colón (Palaniswamy, 1998; Chapman *et al.*, 1973; Byrne y McAndrews, 1975).

En el Códice Florentino se describe a la verdolaga como una planta de tallo grueso, hojas pequeñas y redondas, de hábito rastrero (Dibble y Anderson 1963). Los estudios arqueobotánicos realizados en la cuenca de México, revelan la presencia de la verdolaga como planta comestible desde el período Preclásico, al sur de la cuenca de México (Niederberger, 1976, 1979; McClung de Tapia *et al.*, 2013), y en el período Postclásico Temprano en la zona de Teotihuacán, Xaltocan e Iztapalapa (Brumfiel, 2009; McClung de Tapia *et al.*, 2013; Vázquez-Alonso *et al.*, 2014).

La verdolaga ofrece una alternativa como cultivo hortícola por su contenido de ácidos grasos (18:3 $\omega$ 3 y 18:3 $\omega$ 6), proteínas, aminoácidos y antioxidantes como  $\alpha$ -tocofenol, vitamina C,  $\beta$ - caroteno, polifenoles y flavonoides (Liu *et al.*, 2000; Palaniswamy *et al.*, 2000, 2001; Siriamornpun and Suttajit, 2010).

El cultivo comercial de la verdolaga en México se inició hace más de 50 años en la zona chinampera del Distrito Federal (López-Ríos, 1996); actualmente se utilizan variedades propias de la región domesticadas por los productores, y se siembra una superficie de 454 ha bajo condiciones de riego y temporal. En los estados de Morelos, Baja California

y el Distrito Federal, se obtienen rendimientos medios de 19.18 t ha<sup>-1</sup>, 10.13 t.ha<sup>-1</sup> y 9.47 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente; sin embargo, los rendimientos máximos que pueden obtener los productores del Distrito Federal alcanzan los 30 a 40 t ha<sup>-1</sup> (comunicación personal con productores de la zona).

La cantidad de abono orgánico (14 toneladas de estiércol de vaca y/o 3 toneladas de gallinaza) que se aplica al cultivo de la verdolaga en Mixquic y la zona chinampera, se determina por la experiencia del campesino, sin embargo, sí la dosis aplicada no cubre adecuadamente la demanda nutrimental del cultivo el rendimiento puede ser menor al esperado, de tal modo que la nutrición del cultivo se presenta como un posible factor limitante del rendimiento.

Entre los principales nutrimentos para los cultivos se encuentran el N, P y K, y en este sentido, resultará importante estudiar la respuesta de la verdolaga a estos nutrimentos, y las correspondientes recomendaciones que optimicen el rendimiento, y que incrementen los contenidos de proteína.

Sin embargo, aplicaciones excesivas de fertilizante nitrogenado tienen correlación con pérdidas de N por volatilización, desnitrificación y lixiviación (Luce *et al.*, 2011), además de contribuir a la acumulación de altos niveles de nitratos por el cultivo, causando riesgos para la salud (Santamaria, 2006).

Los objetivos de la presente investigación fueron: (i) cuantificar el efecto de la fertilización de NPK en el rendimiento de verdolaga en tres fechas de cosecha comercial, (ii) determinar las dosis óptimas de N, P y K para la producción de verdolaga, (iii) determinar el contenido de nitratos en la verdolaga, en función del N, P y K aplicados.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El estudio fue llevado a cabo en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo (19° 28' 2.07" N y 98° 54' 1.71" O, 2215 m.), en condiciones de campo en los meses de julio y agosto de 2014. De acuerdo con García (1973), el clima de la zona es clasificado como semiseco o templado *Bs1 kwe (w)(i)g*, con una precipitación anual media de 625 mm y un régimen de lluvias de verano en los meses de julio–septiembre, una temperatura media anual de 16 °C, una evaporación media anual ligeramente superior a 1400 mm y una humedad relativa media anual que oscila alrededor del 60 %. El suelo es clasificado como Mollic Ustifluent (Soil Survey Division Staff, 2007), con una profundidad de 150 cm y textura franco arcillo limosa en el horizonte Ap.

### **Diseño y manejo del experimento**

Se estudió la respuesta de la verdolaga a N, P y K en condiciones de campo, a cuatro niveles para cada uno de ellos a valores constantes de los otros dos nutrientes, de tal modo que los tratamientos fueron según se indica en el Cuadro 1.

Se emplearon semillas de verdolaga provenientes del pueblo de Mixquic, delegación Tláhuac, Distrito Federal, México; este cultivar se caracteriza por tener un hábito de crecimiento erecto y poco ramificado, hojas grandes y tallos de color verde.

Como fuentes de fertilizantes se usaron sulfato de amonio  $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4, 21 \% \text{ N}]$ , fosfato mono-amónico  $[\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4, 12 \% \text{ N y } 61 \% \text{ P}_2\text{O}_5]$  y sulfato de potasio  $[\text{K}_2\text{SO}_4, 51 \% \text{ K}_2\text{O}]$ . Los fertilizantes se aplicaron a los 25 días después de la siembra (dds) la mitad del N y todo el P y K, y a los 32 dds el resto del N, todo al voleo.

**Cuadro 1. Tratamientos de N, P y K estudiados**

Tratamiento	N	P (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	K (K <sub>2</sub> O)
	-----kg ha <sup>-1</sup> -----		
1	0	60	80
2	100	60	80
3	200	60	80
4	300	60	80
5	200	0	80
6	200	30	80
7	200	60	80
8	200	90	80
9	200	60	0
10	200	60	40
11	200	60	80
12	200	60	120

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. El experimento se realizó en condiciones de temporal, y la preparación del suelo se realizó de manera tradicional, siguiendo los procedimientos de los campesinos de pueblo de Mixquic, que consiste en dar un barbecho y rastreo, la formación de canales o “regaderas” y rectángulos denominados “melgas”. Las unidades experimentales consistieron en rectángulos o melgas de 3 m de largo por 1.5 m de ancho, formados manualmente, considerando como parcela útil 4.5 m<sup>2</sup>, y posteriormente se le dio al contorno de cada melga la forma de “camellón” o bordos de 0.30 m de ancho al contorno de cada melga, actividad que se conoce como acamellonar o encuadrar en la zona productora del Distrito Federal.

La siembra se realizó el 3 de julio del 2014, aplicando al voleo 1.86 g m<sup>-2</sup> de semilla (4 726 semillas g<sup>-1</sup>), y posteriormente se aplicó al voleo 3.5 t ha<sup>-1</sup> de gallinaza con la finalidad de estimular la germinación. La emergencia se presentó 7 dds (60 % de emergencia). El control de malezas se realizó de manera manual. No fue necesaria la aplicación de insecticidas ni fungicidas.

Se realizaron tres cosechas de la verdolaga: a madurez vegetativa, 27 días después de la emergencia (C<sub>1</sub>); a primera floración, 34 días después de la emergencia (C<sub>2</sub>); y a la segunda floración, 42 días después de la emergencia (C<sub>3</sub>).

### **Muestreo y análisis de suelos**

El muestreo de suelo se realizó tres meses después de la cosecha, considerando que los procesos de difusión del P de la solución del suelo a la fase coloidal y del K de la solución del suelo a la fracción mineral, se estabilizan después de cinco meses de la aplicación del fertilizante (Rodríguez, 1993; Rodríguez y Álvarez, 2010). En cada unidad experimental se tomó una muestra de 10 submuestras, de 0-20 cm de profundidad. Las muestras se secaron al horno a 40-50 °C durante 2 días y se tamizaron a 2 mm. Las determinaciones realizadas fueron:

Para los tratamientos de N: se determinó la materia orgánica del suelo por el método Walkley y Black, con una digestión húmeda con dicromato de potasio y ácido sulfúrico, y titulación con sulfato ferroso (Jackson, 1976); para los tratamientos de P: se determinó el contenido de P-Olsen del suelo por espectrofotometría (extracción con bicarbonato de sodio 0.5 M a pH 8.5, y determinación colorimétrica con molibdato de amonio) (Olsen y Dean, 1965); y, para los tratamientos de K: se determinó el K intercambiable (extracción con acetato de amonio 1 N pH 7, y determinación por fotometría de llama) (Chapman, 1965).

Por otra parte, cada bloque del diseño experimental se obtuvo una muestra de suelo, compuesta de 24 submuestras, en las cuales se determinó: pH, con potenciómetro, en relación suelo:agua 1:2 (Jackson, 1976); conductividad eléctrica mediante el puente de conductividad, en relación suelo:agua 1:5 (Richards, 1990); K, Ca, Mg y Na intercambiables, con acetato de amonio 1N pH 7, el Ca y Mg por espectrometría de absorción atómica, y la extracción de K y Na por espectrofotometría de emisión (Chapman,1965); Fe, Cu, Zn, Mn, con una solución DTPA 0.005 M a pH 7.3, y determinación por espectrometría de absorción atómica (Aguilar *et al.*, 1987); y, textura

por el método del hidrómetro de Bouyoucos, con hexametáfosfato de sodio y carbonato de sodio como dispersantes (Bouyoucos, 1936). En el Cuadro 2 se presentan los valores medios de las propiedades del suelo observadas en el sitio experimental.

**Cuadro 2. Propiedades del suelo del sitio experimental**

Propiedad	Valor	Propiedad	Valor
MO (%)	2.29 – 3.03	Bases intercambiables:	
P Olsen (mg kg <sup>-1</sup> )	12 – 35	K (mg kg <sup>-1</sup> )	546 – 819
Arena (%)	8.5	Ca (mg kg <sup>-1</sup> )	560 – 780
Arcilla (%)	38.3	Mg (mg kg <sup>-1</sup> )	125 – 192
Limo (%)	53.2	Na (mg kg <sup>-1</sup> )	6.9
Textura	Franco arcillo limoso	Hierro (mg kg <sup>-1</sup> )	9
pH	8.2	Manganeso (mg kg <sup>-1</sup> )	1.5
CE (dS m <sup>-1</sup> )	0.36	Cobre (mg kg <sup>-1</sup> )	1.3
		Zinc (mg kg <sup>-1</sup> )	24 – 29

### Muestreo y mediciones en planta

En las tres fechas de cosechas se midió el rendimiento de follaje y la altura de planta para cada tratamiento, por repetición; el muestreo del follaje se realizó con un marco de 0.0625 m<sup>2</sup> de madera, el cual se colocó sobre el suelo de cada melga, se cortó la planta al nivel del suelo dentro del marco, y se recogió todo el material vegetal. La biomasa fresca total se pesó para obtener el rendimiento por metro cuadrado, posteriormente se colocaron en estufa a 70 °C durante 72 h, se pesó y se obtuvo el peso de la biomasa aérea seca.

La concentración de N y nitratos se determinó por el método Kjeldahl (Alcántar y Sandoval, 1999), la concentración de proteína se calculó multiplicando el nitrógeno total por 6.25.

## **Análisis estadístico de la información**

La información colectada correspondió a las variables: peso del follaje en fresco, altura de la planta, y la concentración de N y nitratos.

Para cada variable se determinó un modelo de regresión en función del N, P y K aplicados, la densidad de plantas por superficie y la fecha de cosecha, incluyendo los factores del suelo: materia orgánica, P Olsen y K intercambiable.

Para estimar el modelo de regresión se utilizó el método descrito por Volke (2008) que consiste en:

1) Graficar la relación entre la variable de respuesta y los factores en estudio, que en este caso fueron: la fertilización de N, P y K, densidad de plantas, fecha de cosecha y los factores del suelo MO, P Olsen y K intercambiable, con el objetivo de observar la forma de la relación entre ellos y visualizar observaciones atípicas, que podrían estar asociadas con valores no explicados por los factores en estudio o tener su origen de error de la información usada; las fechas de cosecha se consideraron como variables auxiliares, donde  $C_2$  y  $C_3$  corresponden a la respuesta de la cosecha 2 y 3, respectivamente, en relación con la cosecha 1 ( $C_1 = 0$ ,  $C_2 = 1$ ,  $C_3 = 1$ ).

2) Determinar la matriz de correlaciones entre los factores, con la finalidad de observar pares de factores altamente correlacionados, con un valor de  $r > 0.80$ , lo que estará indicando que dos factores tienen el mismo efecto sobre la variable respuesta, de tal modo que ambos no podrán estar presentes en un mismo modelo.

3) A partir de las relaciones entre las variables de respuesta y los factores, se considera él o los factores que muestran mayor efecto sobre la variable respuesta y la forma de la relación grafica entre ellos, para especificar un modelo inicial de regresión que incluya él o los factores y sus respectivas variables según la forma de dicha relación; con este modelo se piden los valores predichos y residuos, y se grafican los residuos contra los

factores tanto los incluidos como los no incluidos; en estas graficas se observa la distribución de los puntos, y si ellos muestran alguna tendencia querrá decir que: para los factores incluidos se requiere modificar el modelo de un factor en sus variables; y, para los factores no incluidos en el modelo, se requerirá incluir el factor en el modelo en sus correspondientes variables; de este modo se continua con modelos sucesivos hasta que ya no se observe más factores que puedan entrar en el modelo.

4) En las gráficas de residuos contra los valores predichos, se puede observar la presencia de posibles puntos aberrantes, que salen notoriamente de la zona de distribución de puntos, por lo tanto, se determina si se procede a eliminarlos con base al estadístico R–Student, con una prueba de t al nivel de probabilidad de 0.01 (Myers, 1990).

5) En esta forma se va construyendo un modelo que incluye variables significativas que disminuyan el cuadrado medio del error, en el cual a continuación se prueban las diversas interacciones posibles, hasta llegar al modelo final con el menor cuadrado medio de error.

### **Recomendaciones de fertilización N-P-K**

Para la determinación de la dosis óptima económica de N, P y K por cosecha, se partió de la siguiente función de ingreso neto:

$$IN = IT - (CF + CV)$$

Dónde: IN = ingreso neto (\$ ha<sup>-1</sup>), IT = ingreso total (\$ ha<sup>-1</sup>), CF = costo fijo (\$ ha<sup>-1</sup>), y CV = costo variable de N, P y K (\$ ha<sup>-1</sup>). Continuando con el desarrollo de esta expresión se llega a la siguiente función:

$$IN = Y * P_Y - (CF + \sum X_i P_{X_i})$$

Dónde: Y = rendimiento (t ha<sup>-1</sup>), expresado en una función de producción; P<sub>Y</sub> = precio de venta neto de una unidad de producto; X = es la cantidad del insumo, con que se alcanza un rendimiento (Y), y óptimo económico a determinar; P<sub>X</sub> = es el precio total de una unidad de insumo (precio de mercado, costo de transporte, costo de aplicación, costo del capital).

Esta relación implica estimar la función de producción del producto, lo que se hizo según se indicó previamente. Para la determinación de las dosis óptimas económicas se consideró: costo variable de densidad de plantas de 0.000318 pesos por 1 planta, considerando que en un gramo existen 4726 semillas con 20 % de germinación y un costo de 300 pesos  $\text{kg}^{-1}$  de semilla; costo variable de N, 29.28 \$  $\text{kg}^{-1}$ ; costo fijo, 17,330 \$  $\text{ha}^{-1}$ ; tasa de retorno para los insumos de 100 %; y, precio de venta de la verdolaga de 1010 \$  $\text{t}^{-1}$ .

Con base en la maximación del ingreso neto por superficie, una vez obtenida la función de producción, la cantidad óptima económica del insumo se obtiene derivando la función de ingreso neto con respecto a X, se iguala la primera derivada a la relación de precio insumo/producto, y resolviendo para el incremento X. Adicionalmente se calculó la relación beneficio costo, la cual corresponde a la relación del ingreso neto entre el costo total (Volke, 1982).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las variables consideradas, altura de planta, rendimiento del follaje, y concentración de N, proteína y nitratos, se presentan por fecha de cosecha, realizadas a los 27, 34 y 42 días después de la emergencia.

### Precipitación y temperatura durante el ciclo de cultivo

En la Figura 1 se presentan los datos de las temperaturas máximas y mínimas diarias durante el desarrollo del cultivo de la verdolaga en los meses de julio y agosto, obtenidos de la Estación Agroclimática de Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México.

Las precipitaciones ocurridas en los meses de junio, julio y agosto fueron de 135.2, 142.5 y 134.1 mm, respectivamente.

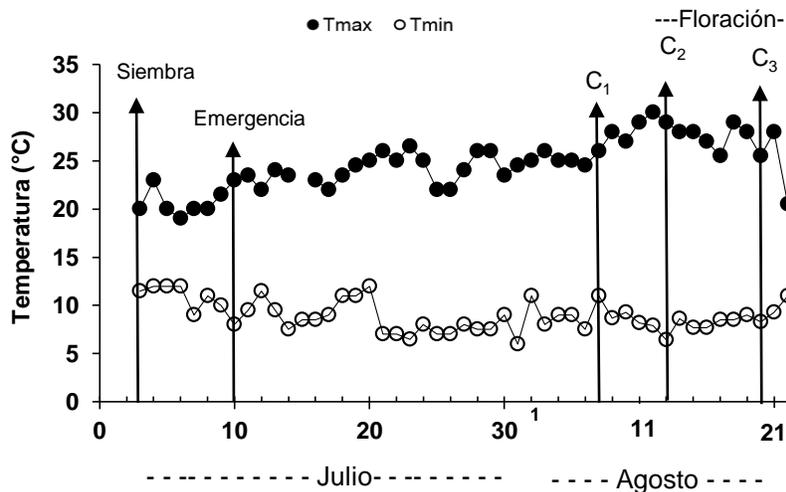


Figura 1. Temperaturas máximas (Tmax) y temperaturas mínimas (Tmin) durante el desarrollo del cultivo de la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.). C<sub>1</sub> = cosecha 1 (27 dde), C<sub>2</sub> = cosecha 2 (34 dde), C<sub>3</sub> = cosecha 3 (42 dde).

Las temperaturas máximas medias diarias variaron entre 19 y 30 °C en los meses de julio y agosto, a la vez que las temperaturas mínimas medias diarias disminuyeron de 11 a 6 °C, durante el desarrollo del cultivo.

### **Altura de planta**

El modelo de regresión para altura de planta en función de los factores en estudio, fue el siguiente:

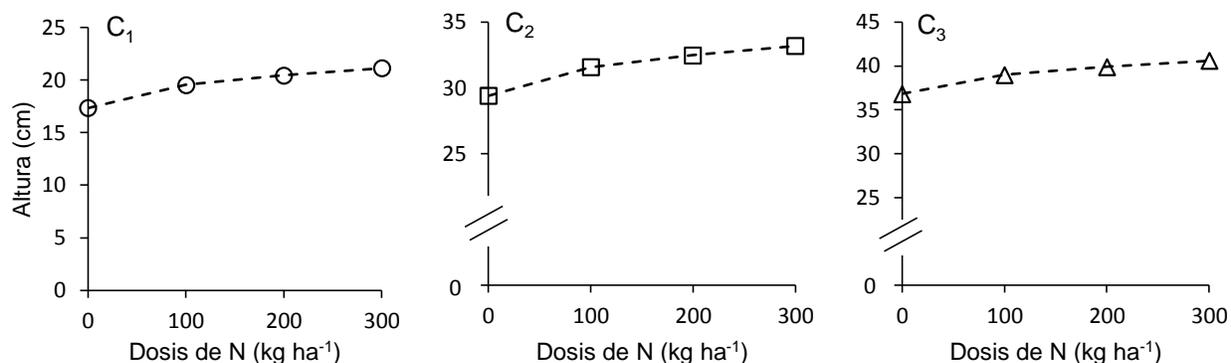
$$AT = 17.353 + 12.0550 C_2 + 19.4604 C_3 + 0.2183 N^{0.50}$$

$$(Pr. F = 0.0001, CME = 3.134, CV = 5.79 \%, R^2 = 0.955)$$

Dónde: AT= altura de planta (cm), N = dosis de N (kg N ha<sup>-1</sup>), C<sub>2</sub> = es una variable auxiliar para la cosecha 2 con respecto a la cosecha 1, C<sub>3</sub> = es una variable auxiliar para la cosecha 3 con respecto a la cosecha 1.

Pr. F = probabilidad de F, CME = cuadrado medio del error, CV = coeficiente de variación, R<sup>2</sup> = coeficiente de determinación múltiple.

El modelo de regresión indica que la altura de planta fue afectada positivamente por la cosecha y por el N aplicado. Para la cosecha, con 12.05 cm en la cosecha 2 sobre la cosecha 1, a partir de 17.353 cm de la cosecha 1 con 0 kg N ha<sup>-1</sup>, 19.46 cm de la cosecha 3 sobre la cosecha 1 y 7.41 cm de la cosecha 3 sobre la cosecha 2. Para el N aplicado, se observó respuesta hasta 300 kg N ha<sup>-1</sup> dosis máxima probada, con un mayor incremento hasta 100 kg N ha<sup>-1</sup>. Por otra parte, los factores P y K aplicados no afectaron la altura de la planta, así como tampoco la densidad de plantas y la materia orgánica (MO), P y K del suelo. En la Figura 2 se presenta las alturas estimadas mediante el modelo de regresión en función del N aplicado y la fecha de cosecha.



**Figura 2. Altura de la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N aplicado y fecha de cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde, C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 34 dde y C<sub>3</sub> = cosecha 3 a 42 dde.**

Estos resultados son similares a los reportados por Palaniswamy *et al.* (2000), quienes observaron alturas de verdolaga en un sistema hidropónico entre 27.4 y 30.7 cm al primer corte (8 hojas verdaderas o 18 dds); sin embargo, la altura tuvo un incremento al segundo corte (16 hojas verdaderas o 36 DDS), de 44.1–44.3 cm, lo que corresponde a un incremento medio de 30.7 %. Por su parte, Kaymak (2013) reporta alturas medias de 24 cm y 22 cm a la primera floración (35 dds), y Cross *et al.* (2007) reportan alturas máximas de 12.24 cm a los 50 dds.

## Rendimiento del follaje

El modelo de regresión para rendimiento de follaje en función de los factores en estudio, fue el siguiente:

$$Y = - 29.271 + 37.119 C_2 + 71.388 C_3 + 1.613 DP^{0.50} + 0.925 N^{0.50}$$

(Pr. F = 0.0001, CME = 156.927, CV = 15.163, R<sup>2</sup> = 0.844)

Dónde: Y = rendimiento de verdolaga en fresco (t ha<sup>-1</sup>), DP = densidad de plantas (plantas m<sup>-2</sup>), N = dosis de N (kg N ha<sup>-1</sup>), C<sub>2</sub> = es una variable auxiliar para la cosecha 2 con respecto a la cosecha 1, C<sub>3</sub> = es una variable auxiliar para la cosecha 3 con respecto a la cosecha 1.

Pr. F = probabilidad de F, CME = cuadrado medio del error, CV = coeficiente de variación, R<sup>2</sup> = coeficiente de determinación múltiple.

El modelo de regresión indica que el rendimiento de follaje fue afectado de manera positiva por la cosecha, el N aplicado y la densidad de plantas. En el cuadro 3 se presenta el rendimiento de follaje para el N aplicado y las densidades de plantas de 1100, 1750 y 2500 plantas m<sup>-2</sup>, en las tres fechas de cosecha. Para la cosecha, hubo un incremento de 37.119 t ha<sup>-1</sup> de la cosecha 2 sobre la cosecha 1, de 71.388 t ha<sup>-1</sup> de la cosecha 3 sobre la cosecha 1, y de 34.269 t ha<sup>-1</sup> de la cosecha 3 sobre la cosecha 2. Para el N aplicado, se observó respuesta hasta 300 kg N ha<sup>-1</sup> dosis máxima probada, con un mayor incremento hasta 100 kg N ha<sup>-1</sup>. Para la densidad de plantas se presentó un efecto importante sobre el rendimiento de follaje a partir de 1100 plantas m<sup>-2</sup> hasta 2500 plantas m<sup>-2</sup>, valor máximo observado, sin que se alcance el rendimiento máximo. Por otra parte, el P y K aplicados no causaron efecto sobre el rendimiento de follaje, así como tampoco la MO, P, K, Ca, Mg pH y conductividad eléctrica del suelo.

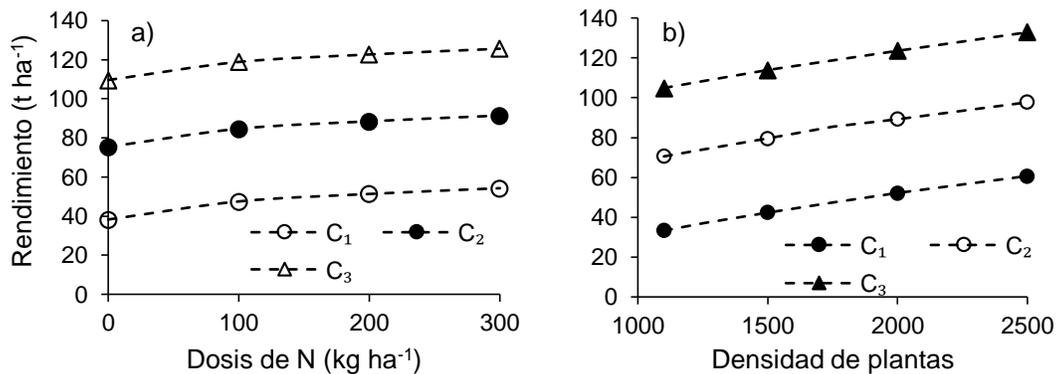
**Cuadro 3. Rendimiento del follaje de la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N aplicado, densidad de plantas y fecha de cosecha.**

Dosis N (kg ha <sup>-1</sup> )	DP <sup>Y</sup> (plantas m <sup>-2</sup> )	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )		
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
0	1100	24.226	61.345	95.614
	1750	38.205	75.324	109.594
	2500	51.379	88.498	122.767
100	1100	33.476	70.595	104.864
	1750	47.455	84.574	118.844
	2500	60.629	97.748	132.017
200	1100	37.308	74.427	108.696
	1750	51.287	88.406	122.675
	2500	64.460	101.579	135.848
300	1100	40.248	77.367	111.636
	1750	54.227	91.346	125.615
	2500	67.400	104.519	138.788

<sup>Y</sup>DP = densidad de plantas, C<sub>1</sub> = cosecha 1 (27 dde), C<sub>2</sub> = cosecha 2 (34 dde) y C<sub>3</sub> = cosecha 3 (42 dde). <sup>Z</sup>Valores estimados con el modelo de regresión.

El mayor rendimiento del follaje debido a la fecha de cosecha indica de que las plantas continuaron su crecimiento en el tiempo, y el efecto positivo del N se deriva generalmente en su importancia que tiene en el desarrollo de las plantas y que usualmente el suelo no tiene la capacidad suficiente para aportarlo; por otra parte, la no respuesta del cultivo al P y K aplicado tendría que ver por el contenido relativamente alto de ellos en el suelo, de 15 a 26 mg P kg<sup>-1</sup> y 624 a 629 mg K kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

La alta respuesta de la verdolaga a la densidad de plantas, por sobre 2500 plantas m<sup>2</sup>, sería indicativo que no se alcanzó la densidad máxima. Al respecto, la cantidad de semilla aplicada fue del orden de 1.86 g m<sup>-2</sup>, que corresponde a 4726 semillas m<sup>-2</sup>, lo que quiere decir que para poblaciones de 1100, 1750 y 2500 plantas m<sup>2</sup>, la germinación de las semillas fue de 12.50, 19.90 y 28.44 %, respectivamente, valores que resultan ser muy bajos. En la Figura 3 se presenta la respuesta estimada del rendimiento de verdolaga en función del N aplicado y densidad de plantas.



**Figura 3. Rendimiento del follaje de la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en tres fechas de cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde, C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 34 dde y C<sub>3</sub> = cosecha 3 a 42 dde. a) Efecto del rendimiento por el N aplicado con 1750 plantas m<sup>-2</sup>. b) Efecto del rendimiento por la densidad de plantas m<sup>-2</sup> con 100 kg N ha<sup>-1</sup>.**

A pesar de las bajas densidades de plantas, los rendimientos obtenidos resultaron relativamente altos, en comparación con aquellos obtenidos en otros trabajos. Cenk *et al.* (2008), obtuvieron rendimientos de 9.25 y 8.7 kg m<sup>-2</sup> de verdolaga con una solución salina de 0 y 3.5 dSm<sup>-1</sup>, respectivamente, a los 38 dds en hidroponía; Fontana *et al.* (2006) obtuvieron 2.366 kg m<sup>-2</sup> de verdolaga en un sistema flotante a los 20 dds; Cros *et al.* (2007ab) reportan rendimientos de 1.818 y 3.8 kg m<sup>-2</sup> a los 18 y 50 dds, respectivamente; Kaşkar *et al.* (2009) reportan rendimientos de 1.38 y 1.68 kg m<sup>-2</sup> a los 16 dds en dos cultivares de verdolaga; Egea-Gilabert *et al.* (2014) obtuvieron rendimientos de verdolaga proveniente de Turquía de 4 kg m<sup>-2</sup> a los 16 dds en bandejas flotantes; Charfeddine (2004), reportan rendimientos de 15.1 y 9.2 kg m<sup>-2</sup> de verdolaga a los 69 y 89 dds.

El rendimiento del follaje presentó una correlación positiva con la altura de la planta ( $r=0.87$ ,  $p=0.05$ ), lo que indica, que a mayor altura se obtendrá mayor desarrollo de follaje (hojas y tallos) de la verdolaga.

Adicionalmente, se calculó un modelo de regresión para el contenido de agua del follaje de la verdolaga, para observar posibles efectos de los factores en estudio, y el modelo de regresión fue el siguiente:

$$H = 94.244 - 1.542 C_3 + 0.0604 N^{0.50} + 0.0017 C_2 N + 0.00402 C_3 N$$

$$(Pr. F = 0.0001, CME = 0.167, CV = 0.431 \%, R^2 = 0.710).$$

Dónde: H = contenido de agua en el follaje de la verdolaga (%), N = dosis de N ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ),  $C_2$  = es una variable auxiliar para la cosecha 2 con respecto a la cosecha 1,  $C_3$  = es una variable auxiliar para la cosecha 3 con respecto a la cosecha 1.

Pr. F = probabilidad de F, CME = cuadrado medio del error, CV = coeficiente de variación,  $R^2$  = coeficiente de determinación múltiple.

El modelo de regresión indica igual contenido de humedad de follaje en la cosecha 1 y 2, de 94.244 %, y menor contenido en la cosecha 3, de 92.702 %, concentraciones obtenidas con  $0 \text{ kg N ha}^{-1}$ ; a la vez que también existe un efecto positivo del N aplicado en las tres cosechas, con un incremento de 0.0017 % por kilogramo de N en la cosecha 2 y de 0.00402 % en la cosecha 3 en relación con la cosecha 1. El efecto del N corresponde a incrementos para las dosis de 100, 200 y  $300 \text{ kg N ha}^{-1}$ , de: la cosecha 1 con 1.14, 0.738 y 0.336 % sobre la cosecha 3, y para la cosecha 2 con 0.17, 0.34 y 0.51 % sobre la cosecha 1, respectivamente. Por otra parte, el P y K aplicados no causaron efecto sobre el contenido de agua en el follaje, así como tampoco la MO, P, K, Ca, Mg pH y conductividad eléctrica del suelo.

## Concentración de N y proteína en follaje

El modelo de regresión para la concentración de N en el follaje en peso seco en función de los factores de estudio, fue el siguiente:

$$cN = 2.523 + 0.00520 N + 0.0003256 N P^{0.50}$$

$$(Pr. F = 0.0001, CME = 0.1698, CV = 10.59 \%, R^2 = 0.642)$$

Dónde: cN = concentración de N (%) en peso seco, N = dosis de N ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ), P = dosis de P ( $\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ ).

Pr. F = probabilidad de F, CME = cuadrado medio del error, CV = coeficiente de variación,  $R^2$  = coeficiente de determinación múltiple.

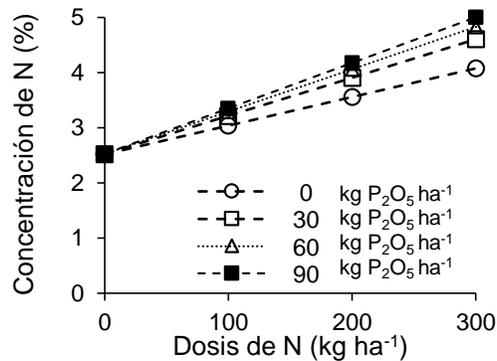
El modelo de regresión indica que la concentración de N (cN) fue afectada positivamente por el N y P aplicado, y por una interacción positiva entre el N y P aplicado. Para el N se observó un incremento desde 2.52 % de N en materia seca (MS), concentración obtenida con  $0 \text{ kg N ha}^{-1}$ , hasta 4.08 % de N en MS obtenido con  $300 \text{ kg N ha}^{-1}$  sin aplicación de P y 5.08 % de N en MS con una aplicación de  $90 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$  (Figura 4). Por otra parte, el K aplicado no causo efecto en la concentración de N en el follaje, así como tampoco la fecha de cosecha y la MO, P y K del suelo. En el cuadro 4 se presenta la concentración de N en el follaje, a la vez que la concentración de proteína en función del N y P aplicados.

**Cuadro 4. Concentración de N y proteína cruda en follaje de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N y P aplicados.**

kg N ha <sup>-1</sup>	Dosis		Concentración de N <sup>Z</sup>	Proteína Cruda <sup>Z</sup>
	kg P ha <sup>-1</sup>		%	
0	0		2.523	15.768
	30		2.523	15.768
	60		2.523	15.768
	90		2.523	15.768
100	0		3.043	19.018
	30		3.221	20.131
	60		3.295	20.593
	90		3.351	20.943
200	0		3.563	22.268
	30		3.919	24.493
	60		4.067	25.418
	90		4.180	26.125
300	0		4.083	25.518
	30		4.618	28.862
	60		4.839	30.243
	90		5.009	31.306

<sup>Z</sup>Datos obtenidos en peso seco, contenido de proteína = concentración de N x 6.25.

Estos valores concuerdan con los obtenidos por Graifenberg *et al.* (2003) a los 124 dds en hidroponía, de 2.8 y 3.2 % N con 0 y 3 g L<sup>-1</sup> de NaCl en la solución nutritiva, respectivamente, y los obtenidos por Kaymak (2013), de 2.4 % de N al aplicar 150 kg N ha<sup>-1</sup>; Fontana *et al.* (2006) de 6.3 % de N en MS, en bandejas flotantes.



**Figura 4. Concentraciones de nitrógeno en follaje de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N y P aplicados.**

Ezekewe *et al.* (1999) reportan contenidos de proteína en materia seca (MS) de verdolaga (silvestres y comerciales) a la floración, de 22 y 24 % de proteína en MS, con 274 kg N ha<sup>-1</sup> aplicados; Fontana *et al.* (2006), reportan contenidos de 39.3 % proteína en MS a los 20 dds en un sistema de bandejas flotantes, con 12 mmol N L<sup>-1</sup>; Teixeira y Carvallho (2009), mencionan que la concentración de proteína está en función de la estación de siembra (primavera y verano), de la fecha de cosecha (7 y 15 dds) de 10–19 % proteína en MS.

## Concentración de nitratos en follaje

El modelo de regresión para la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en follaje de verdolaga en función de los factores de estudio es el siguiente:

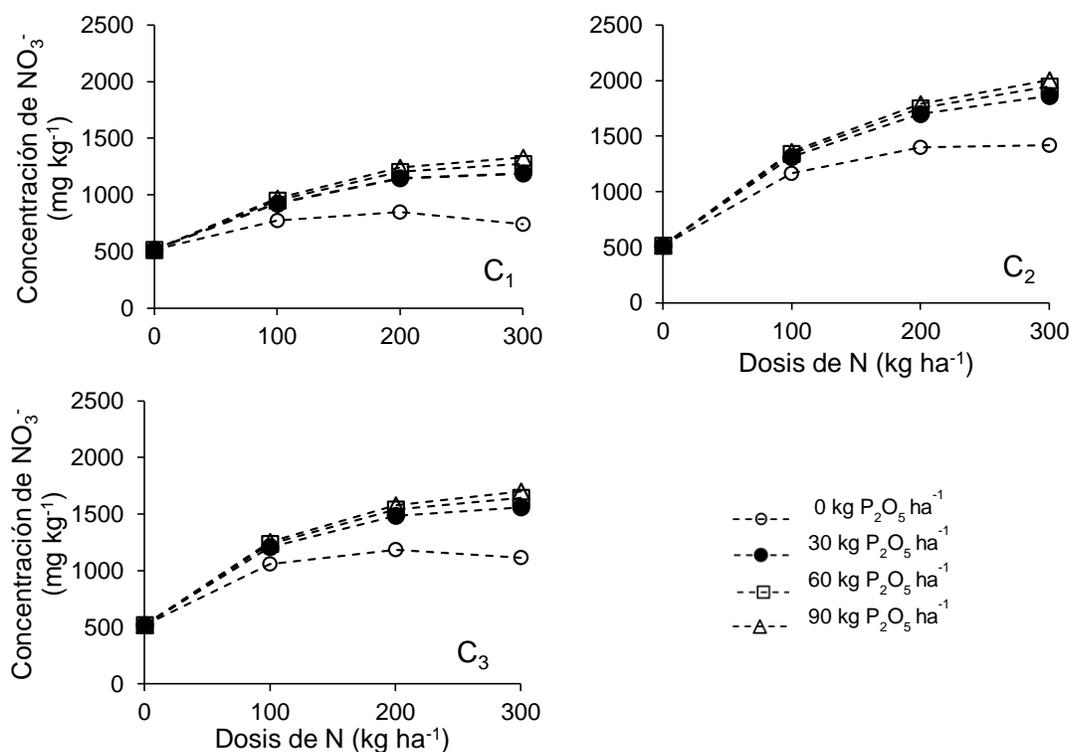
$$c\text{NO}_3^- = 516.50 + 3.494 N - 0.00915 N^2 + 0.637 N P^{0.25} + 38.992 C_2 N^{0.50} + 89.00947 C_3 N^{0.25}$$

$$(\text{Pr. F} = 0.0001, \text{CME} = 41414, \text{CV} = 14.708 \%, \text{R}^2 = 0.741)$$

Dónde:  $c\text{NO}_3^-$  = concentración de  $\text{NO}_3^-$  en follaje de verdolaga ( $\text{mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$  de materia fresca), N = dosis de N ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ), P = dosis de P ( $\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ ),  $C_2$  = es una variable auxiliar para la cosecha 2 con respecto a la cosecha 1,  $C_3$  = es una variable auxiliar para la cosecha 3 con respecto a la cosecha 1.

Pr. F = probabilidad de F, CME = cuadrado medio del error, CV = coeficiente de variación,  $\text{R}^2$  = coeficiente de determinación múltiple.

El modelo de regresión para la concentración de  $\text{NO}_3^-$  ( $c\text{NO}_3^-$ ) en el follaje de la verdolaga indica un efecto positivo del N aplicado, y P aplicado y fecha de cosecha en interacción con el N aplicado. Para el N aplicado se observó un incremento desde 516.50  $\text{mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$  en materia fresca (MF), concentración obtenida sin aplicación de N y P para las tres cosechas, hasta 741.20, 1416.57 y 1111.64  $\text{mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$  MF obtenidas con 300  $\text{kg N ha}^{-1}$  sin aplicación de P, para las tres cosechas, respectivamente, y 1329.81, 2005.17 y 1700.25  $\text{mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$  MF obtenidas con 300  $\text{kg N ha}^{-1}$  y 90  $\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$  dosis máximas probadas, para dichas cosechas, respectivamente. Por otra parte, el K aplicado no causó efecto en la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en el follaje, así como tampoco por la densidad de plantas y MO, P y K del suelo.



**Figura 5. Concentración de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en el follaje de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N y P aplicados, y de la cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde, C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 34 dde y C<sub>3</sub> = cosecha 3 a 42 dde.**

Estos valores son similares a los obtenidos por Kaymak (2013), quien obtuvo niveles de 1247–1435 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kg<sup>-1</sup> MF en verdolaga cultivada en suelo a los 35 dds, y encontró que con sulfato de amonio se obtiene la menor acumulación de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en comparación con nitrato de amonio-cálcico; Kaşkar *et al.* (2009), reportan valores máximos entre 2034.89 y 2520.84 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kg<sup>-1</sup> MF en verdolaga cultivada en sistema flotante; y, Egea-Gilabert *et al.* (2014), reportan concentraciones máximas de 3949.8 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kg<sup>-1</sup> MF en verdolaga proveniente de Turquía.

Siguiendo la clasificación de Santamaría (2006) para la concentración de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en peso fresco, el consumo aceptable diario es de 2500 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kg<sup>-1</sup>, para una persona que pesa 60 kg. En este caso, sin la aplicación de N se considera baja la concentración de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en el follaje de la verdolaga (200 – 500 mg kg<sup>-1</sup> MF), mientras que con 100 kg N ha<sup>-1</sup> la concentración de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> es considerada como media (500 – 1000 mg kg<sup>-1</sup> MF), y al aplicar

P en interacción con N, la concentración de  $\text{NO}_3^-$  se consideran como altas (1000– 2500  $\text{mg kg}^{-1}$  MF). El efecto de P puede ser debido a que la mayor presencia de este elemento en el suelo favorece la mineralización de la materia orgánica y la nitrificación del amonio, lo cual se asocia a una mayor absorción de  $\text{NO}_3^-$  por la planta (Havlin et al., 2005).

### **Dosis optima económica**

El modelo de regresión de rendimiento de follaje indico efecto positivo de la cosecha, la densidad de plantas y el N aplicado, a la vez que no se observó efecto del P y K. Por otro lado, al no observar alguna interacción entre las cosechas y el N aplicado, la dosis optima económica de N será la misma para las tres fechas de cosecha; en cambio, el hecho de que hubo efecto positivo de la fecha de cosecha, será indicativo de que el rendimiento óptimo económico será mayor para las fechas de cosechas más tardías (ver apartado *Rendimiento del follaje*).

Con respecto a la densidad de plantas, debido a un efecto importante sobre el rendimiento de follaje y a que con 2500 plantas  $\text{m}^{-2}$  no se alcanzó el rendimiento máximo, los rendimientos óptimos económicos se obtuvieron a esta densidad de plantas.

En el Cuadro 5 se presenta el análisis económico para el rendimiento de verdolaga en las tres fechas de cosecha comerciales, que comprende las dosis óptimas económicas de N para dichas cosechas, a la vez que también se indica el rendimiento óptimo económico, los costos variables para el N y densidad de plantas, el costo fijo, el ingreso neto y la relación beneficio costo.

**Cuadro 5. Análisis económico de rendimiento de la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en tres fechas de cosecha.**

Cosecha	DOE		Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	IT	CVN	CVDP	CT	IN	RBC
	(kg N ha <sup>-1</sup> )	DP							
				----- (\$ ha <sup>-1</sup> ) -----					
Primera cosecha (C <sub>1</sub> )	0	2500	51.38	51 892	0	7 950	25 280	26 612	1.05
	<b>65</b>	<b>2500</b>	<b>58.83</b>	<b>59 424</b>	<b>1 904</b>	<b>7 950</b>	<b>29 086</b>	<b>30 338</b>	<b>1.04</b>
Segunda cosecha (C <sub>2</sub> )	0	2500	88.49	89 382	0	7 950	25 280	64 102	2.53
	<b>65</b>	<b>2500</b>	<b>95.95</b>	<b>96 915</b>	<b>1 904</b>	<b>7 950</b>	<b>29 086</b>	<b>67 828</b>	<b>2.33</b>
Tercera cosecha (C <sub>3</sub> )	0	2500	122.77	123 994	0	7 950	25 280	98 714	3.90
	<b>65</b>	<b>2500</b>	<b>130.22</b>	<b>131 526</b>	<b>1 904</b>	<b>7 950</b>	<b>29 086</b>	<b>102 440</b>	<b>3.52</b>

DOE = Dosis optima económica, DP = densidad de plantas m<sup>2</sup>, IT = ingreso total (\$ ha<sup>-1</sup>), CVN = costo variable de nitrógeno (\$ ha<sup>-1</sup>), CVDP = costo variable de densidad de plantas (\$ ha<sup>-1</sup>), CT = Costo total (\$ ha<sup>-1</sup>), IN = ingreso neto (\$ ha<sup>-1</sup>), y RBC = Relación beneficio costo.

Los rendimientos de verdolaga obtenidos en las tres cosechas sin aplicación de N son relativamente altos en comparación con la aplicación de 65 kg N ha<sup>-1</sup>, correspondiente a la dosis óptima económica. Esto, en parte puede deberse a que en la siembra se aplicaron 3.5 t ha<sup>-1</sup> de gallinaza, las que aportaron 75 kg N ha<sup>-1</sup>, aunque no todo ello necesariamente fue aprovechado por la planta. Por otra lado el suelo tenía en promedio 2.7 % de materia orgánica, lo que en alguna medida pudo aportar N al cultivo.

Cabe señalar que el mayor costo de producción de la verdolaga se deriva de la semilla, estimado en 7500 \$ ha<sup>-1</sup>, lo cual corresponde a 25 kg de semilla ha<sup>-1</sup>, debido a la baja germinación de la semilla que se obtuvo de 12.50 a 28.44 %, cuya causa habrá que investigar.

La dosis óptima económica (DOE) se estimó en 65 kg N ha<sup>-1</sup> con 2500 plantas m<sup>-2</sup>, con rendimientos de follaje óptimos económicos de 58.83, 95.95 y 130.22 t ha<sup>-1</sup>, e ingresos netos de 30 338, 67 828 y 102 440 \$ ha<sup>-1</sup>, la relación beneficio costo es mayor para las fechas de cosecha más tardías, de 1.04, 2.33 y 3.52, respectivamente.

La DOE de N obtenida es menor que la dosis recomendada por Vural *et al.* (2000) y Günay (2005) establecida en 150 kg N ha<sup>-1</sup> en Turquía y Malasia, para un rendimiento de follaje de 30 y 50 t ha<sup>-1</sup> a la primera floración, respectivamente; y, Elmi *et al.* (1997) y Ezekewe *et al.* (1998) con 272 kg N ha<sup>-1</sup> para América del Norte, con rendimientos de 70 y 37 t ha<sup>-1</sup> a la primera floración, respectivamente.

## CONCLUSIONES

El rendimiento de follaje de la verdolaga fue incrementando por el N aplicado, la fecha de cosecha y la densidad de plantas  $m^{-2}$ . Los máximos rendimientos de follaje se obtienen con la dosis más alta de N en las tres cosechas, sin embargo se observó un mayor incremento hasta  $100 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Por otra parte, el P y K aplicados no causaron efecto sobre el rendimiento. La altura fue afectada de manera positiva por el N aplicado y la fecha de cosecha. La concentración de N y proteína en el follaje de la verdolaga se incrementó por el N y P aplicados. Los contenidos de nitratos en el follaje, son inferiores a los límites permitidos para su consumo en fresco. La dosis óptima económica de N y densidad de plantas, se estimó en  $65 \text{ kg N ha}^{-1}$  y  $2500 \text{ plantas m}^{-2}$ , para las tres fechas de cosecha, y con esta dosis se obtiene el mayor rendimiento óptimo económico y el mayor ingreso neto.

## LITERATURA CITADA

- Alcántar, G. G. y M. Sandoval V. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A. C. Publicación Especial No. 10. Chapingo, México. 156 p.
- Brumfiel, E. M. 2009. El estudio de la clase común: el asentamiento de Xaltocan durante el Posclásico en la cuenca de México. *Cuiculco*. 47: 59-86.
- Byrne R., and J. H. McAndrews. 1975. Pre-Columbian purslane (*Portulaca oleracea* L) in the NewWorld. *Nature*. 253: 726–727.
- Cenk, C. K., S. K. Yasemin and A. N. A. C. Dilek 2008. Performance of purslane (*Portulaca oleracea* L.) as a salt-removing crop. *Agricultural water management*. 95:854-858.
- Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. pp. 891-901. In: C.A. Black (ed.). *Methods of analysis*. Part 2. Agronomy 9. American Society of Agronomy. Madison, WI.
- Chapman, J., R. B. Stewart and R. A. Yarnell. 1973. Archaeological evidence for precolumbian introduction of *Portulaca oleracea* and *Mollugo verticillata* into Eastern North America. *Econ Bot*. 28(4): 411–412.
- Charfeddine, M. 2004. Miglioramento del valore nutrizionale di ortaggi da foglia del Bacino del Mediterraneo. PhD thesis, University of Barri, Italy, 210 p.
- Cros, V., J. Martinez-Sanchez and J. Franco. 2007. Good yields of common purslane with a high fatty acid content can be obtained in a peat-based floating system. *Horttechnology*. 17:14–20.
- Dibble, C. E. and A. J. O. Anderson. 1963. Florentine Codex. General History of the Things of New Spain. Book 11 – Earthly things, C. E. Dibble y A. J. O. Anderson (eds.), School of American Research Museum of New Mexico, Santa Fe.
- Elmi, A. A., Mebrahtu T., T. R. Omara-Alwala and M. Ezekwe. 1997. Environmental effects on yield and agronomic traits of purslane (*Portulaca* spp.). *Virginia Journal of Science*. 48: 203-209.
- Ezekwe, M. O., T. R. Omara-Alwala and T. Membrahtu. 1999. Nutritive characterization of purslane accessions as influenced by planting date. *Plant Foods Human Nutrition*. 54: 183–191.
- Fontana, E., J. Hoeberechts, S. Nicola, V. Cros, G. Palmegiano and P. Peiretti. 2006. Nitrogen concentration and nitrate/ammonium ratio affect yield and change the oxalic acid concentration and fatty acid profile of purslane (*Portulaca oleracea* L.) grown in a soilless culture system. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 86: 2417–2424.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

- Graifenberg, A., L. Botrini, L. Giustiniani, F. Filippi and M. Curadi. 2003. Tomato Growing in Saline Conditions with Biodesalinating Plants: *Salsola soda* L., and *Portulaca oleracea* L. *Acta Horticulturae*. 609: 301-305.
- Günay, A., 2005. Sebze Yetiştiriciliği. İzmir, Turkey, 531 p.
- Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., y Nelson, W. L. 2005. Soil fertility and fertilizers, an introduction to nutrient management. (7<sup>th</sup> ed.). Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. 515p.
- Hawkesford, M., W. Horst, T. Kichey, H. Lambers, J. Schjoerring, M. I. Skrumsager and P. White. 2012. Function of macronutrients. p. 135-178. In Marschner, P. (ed.) Marschner's mineral nutrition. 3rd ed. Elsevier Ltd., Oxford, UK.
- Jackson, M.L. 1976. Análisis químico de suelos. Trad. al español por M.J. Beltran. 3a ed. Omega. Barcelona, España.
- Kamal, U. Md., S. A. Juraimi, F. Anwar, Md. A. Hossain and Md. A. Alam. Effect of salinity on proximate mineral composition of purslane (*Portulca oleracea* L.). *Australian journal of crop science*. 6 (12): 1732-1736.
- Kaşkar, C., J. A. Fernandez, J. Ochoa and Y. Tüzel. 2009. Agronomic behaviour and oxalate and nitrate content of different purslane cultivars (*Portulaca oleracea*) grown in a hydroponic floating system. *Acta Horticulturae*. 807: 521-526.
- Kaymak H. C. 2013. Effect of nitrogen forms on growth, yield and nitrate accumulation of cultivated purslane (*Portulaca oleracea* L.). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 19 (3):444-449.
- Egea-Gilabert, C., V. Ruiz-Hernández and P. Angeles 2014. Characterization of purslane (*Portulaca oleracea* L.) accessions: Suitability as ready-to-eat product. *Scientia Horticulturae*. 172: 73-81.
- Liu, L., P. Howe, Z. Ye-Fang, X. Zhi-Qiang, C. Hocart and R. Zhang. 2000. Fatty acids and  $\beta$ -carotene in Australian purslane (*Portulaca oleracea*) varieties. *Journal of Chromatography A*. 893: 207–213.
- López-Ríos, G. 1996. Domesticación de la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) y semidomesticación del romerillo (*Suaeda diffusa* Wats.) en el sistema agrícola de chinampas de San Gregorio Atlapulco, Xochimilco, D.F. *Revista de geografía agrícola*. 22-23: 103-112.
- McClung, de Tapia E., D. Martínez Y., E. Ibarra M. y C. C. Adriano M. 2013. Los orígenes prehispánicos de una tradición alimentaria en la Cuenca de México. *Anales de antropología*. 48: 97-121.
- Myers, R. H. 1990. Classical and modern regression with applications. (Second ed.). PWS-KENT Publishing Company. Boston, MA, USA. 246p.

- Niederberger, Christine. 1976. Zohapilco. Cinco milenios de ocupación humana en el sitio lacustre de la cuenca de México, Instituto Nacional de Antropología e Historia (Colección Científica, 30), México.
- Niederberger, Christine. 1979 Early Sedentary Economy in Basin of Mexico. *Science*. 203: 131-142.
- Olsen, S.R. y L.A. Dean. 1965. Phosphorus. pp. 1035-1049. In: C.A. Black (ed.). *Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy 9*. American Society of Agronomy. Madison, WI.
- Palaniswamy, U. 1998. Production of purslane for optimal omega-3 fatty acid content. *Hort Impact*. 98:1–2.
- Palaniswamy, U, Mcavoy R. and Bible B. 2000. Omega-3-fatty acid concentration in *Portulaca oleracea* is altered by nitrogen source in hydroponic solution. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 125:190–194.
- Palaniswamy U, Mcavoy R. and Bible B. 2001. Stage of harvest and polyunsaturated essential fatty acid concentrations in purslane (*Portulaca oleraceae*) leaves. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49: 3490–3493.
- Richards, L. A. 1990. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. 6a ed. Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América. Limusa. México, D.F.
- Rodríguez, S. J. 1993. La fertilización de los cultivos: un método racional. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica, Santiago, Chile. 291 p.
- Santamaria, P., 2006. Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 86, 10–17.
- Siriamornpun, S. and M. Suttajit. 2010. Microchemical Components and Antioxidant Activity of Different Morphological Parts of Thai Wild Purslane (*Portulaca oleracea*). *Weed Science Society of America*. 58 (3):182-188.
- Soil Survey Staff, 2010. Claves para la Taxonomía de Suelos, Ortiz-Solorio, C.A, Gutiérrez-Castorena, Ma del C., (Trads.). Undécima Edición. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, D.C.
- Teixeira, M. and S. Carvalho I. 2009. Effects of salt stress on purslane (*Portulaca oleracea*) nutrition. *Annals of Applied Biology*. 154: 77–86.
- Vázquez-Alonso, M. T., R. Bye, L. Lopez-Mata, Ma. T. P. Pulido-Salas., E. McGlung de Tapia y S. D. Koch. 2014. Etnobotánica de la cultura teotihuacana. *Botanical Science*. 92: 563-574.
- Volke, H. V. 1982. Optimización de insumos de la producción en la agricultura. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 61 p.

Volke, H. V. 2008. Estimación de funciones de respuesta para información de tipo no experimental, mediante regresión. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México, México. 113 p.

Vural, H., Eşiyok D. and Duman I., 2000. Kültür Sebzeleri (Sebze Yetiştirme). İzmir, Turkey, 440 p.

## V. RESPUESTA DE LA VERDOLAGA A LA FERTILIZACION DE NPK: CONCENTRACIÓN NUTRIMENTAL

**César Omar Montoya-García<sup>1\*</sup>; Víctor Volke-Haller<sup>1</sup>; Antonio Trinidad-Santos<sup>1</sup>;  
Clemente Villanueva-Verduzco<sup>2</sup>; Julio Sanchez-Escudero<sup>1</sup>.**

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km. 36.5, Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco. 56230, Estado de México.

<sup>2</sup>Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México-Texcoco. 56230. Chapingo, Estado de México.

Email: [ing.montoya.cesar@gmail.com](mailto:ing.montoya.cesar@gmail.com) [montoya.cesar@colpos.mx](mailto:montoya.cesar@colpos.mx);

### RESUMEN

Se evaluó el efecto de la fertilización de NPK sobre la concentración nutrimental de N, P, K, Ca, Mg, Na, S, Mn, Fe, Cu, Zn y B, del follaje de la verdolaga (variedad Mixquic) en tres fechas de cosecha comercial (27, 34 y 42, días después de la emergencia), en la localidad de Montecillo, Edo. De México. Se realizó un experimento en condiciones de campo durante los meses de julio y agosto de 2014, en cual se probaron cuatro dosis de N (0, 100, 200 y 300 kg N ha<sup>-1</sup>), de P (0, 30, 60 y 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) y de K (0, 40, 80 y 120 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>), en un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. La información se analizó mediante regresión. Se observó: 1) efecto positivo por el N aplicado, sobre la concentración de N (2.5 a 4.0 %), P (0.27 a 0.35 %), Ca (0.88 a 0.98 %), Mg (1.54 a 1.61 %), S (0.26 a 0.63 %), Mn (55 a 70 mg kg<sup>-1</sup>), Cu (11 a 16 mg kg<sup>-1</sup>), Zn (34 a 206 mg kg<sup>-1</sup>) y B (30 a 36 mg kg<sup>-1</sup>), y efecto negativo del N sobre la concentración de Na (0.38 a 0.31 mg kg<sup>-1</sup>); 2) efecto positivo del P aplicado sobre la concentración de P (0.34 a 0.48 %), y efecto negativo sobre la concentración de Na (0.38 a 0.35 %); 3) efecto positivo del K aplicado sobre la concentración de K (1.06 a 2.06 %), Na (0.38 a 0.57 %), y S (0.23 a 0.26), y efecto negativo sobre la concentración de Ca (0.98 a 0.92 %), y Mg (1.54 a 1.34 %); 4) efecto positivo sobre la concentración de Mg (1.54 a 2.03 %), Fe (760 a 1360 mg kg<sup>-1</sup>), y Cu (11 a 12 mg kg<sup>-1</sup>), y efecto negativo de la fecha de cosecha sobre la concentración de K (1.16 a 1.06 %). Los resultados indican el efecto del N, P y K aplicados sobre las concentraciones nutrimentales del follaje de la verdolaga.

**Palabras claves:** *Portulaca oleracea* L., nutrición mineral, fertilización nitrogenada, micronutrientes.

## INTRODUCCIÓN

El cultivo comercial de la verdolaga en México se inició hace más de 50 años en Xochimilco, Distrito Federal, México, con el arvense de la zona (López-Ríos, 1996); actualmente se utilizan variedades propias de la región domesticadas por los productores.

En México se siembra una superficie de 454 ha, bajo condiciones de riego y temporal, en los estados de Morelos, Baja California y el Distrito Federal, se obtienen rendimientos medios de 19.18, 10.13 y 9.47 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente (SIAP, 2014); sin embargo, los rendimientos máximos que pueden obtener los productores del Distrito Federal son de 30 a 40 t ha<sup>-1</sup> (comunicación personal con productores de la zona).

Los estudios de concentración de nutrimentos permiten establecer las bases de la fertilización de los cultivos, de tal manera que la fertilización puede ser ajustada al ciclo del cultivo y por consecuencia, optimizar la cantidad de fertilizante a utilizar. Greenwood (1983) menciona que la demanda de un nutrimento por un cultivo está dada por su producción de biomasa y la concentración del nutrimento en la planta o requerimiento interno.

Los estudios sobre la concentración nutrimental de la verdolaga se han realizado en individuos silvestres, ornamentales o típicos de la zona, y las concentraciones de N, P, K, Ca, y Mg, varían dependiendo del cultivar, la fase de maduración, condiciones climáticas, fertilización y fecha de cosecha (Alam *et al.*, 2014; Petropoulos *et al.*, 2015; Kaymak, 2013; Teixeira y Carvallho, 2009), por lo cual la información es limitada. En México los estudios sobre verdolaga son recientes, y se han enfocado a la descripción etnobotánica, por lo tanto la información relacionada a la concentración nutrimental o requerimiento interno es escasa, lo cual limita maximizar el aprovechamiento de este cultivo hortícola en México.

El objetivo de la presente investigación fue determinar la concentración de N, P, K, Ca, Mg, Na, S, Mn, Fe, Cu, Zn y B en la verdolaga, en función del N, P y K aplicados, en tres fechas de cosecha comercial.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El estudio fue llevado a cabo en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo (19° 28' 2.07" N y 98° 54' 1.71" O, 2215 m.), en condiciones de campo en los meses de julio y agosto de 2014. De acuerdo con García (1973), el clima de la zona es clasificado como semiseco o templado *Bs1 kwe (w)(i)g*, con una precipitación anual media de 625 mm y un régimen de lluvias de verano en los meses de julio–septiembre, una temperatura media anual de 16 °C, una evaporación media anual ligeramente superior a 1400 mm y una humedad relativa media anual que oscila alrededor del 60 %. El suelo es clasificado como Mollic Ustifluent (Soil Survey Division Staff, 2007), con una profundidad de 150 cm y textura franco arcillo limosa en el horizonte Ap.

### **Diseño y manejo del experimento**

Se estudió la respuesta de la verdolaga a N, P y K en condiciones de campo, a cuatro niveles para cada uno de ellos a valores constantes de los otros dos nutrientes, de tal modo que los tratamientos fueron según se indica en el Cuadro 1.

Se emplearon semillas de verdolaga provenientes del pueblo de Mixquic, delegación Tláhuac, Distrito Federal, México; este cultivar se caracteriza por tener un hábito de crecimiento erecto y poco ramificado, hojas grandes y tallos de color verde.

Como fuentes de fertilizantes se usaron sulfato de amonio [(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 21 % N], fosfato mono-amónico [NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 12 % N y 61 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>] y sulfato de potasio [K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 51 % K<sub>2</sub>O]. Los fertilizantes se aplicaron a los 25 días después de la siembra (dds) la mitad del N y todo el P y K, y a los 32 dds el resto del N, todo al voleo.

**Cuadro 1. Tratamientos de N, P y K estudiados**

Tratamiento	N	P (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	K (K <sub>2</sub> O)
	-----kg ha <sup>-1</sup> -----		
1	0	60	80
2	100	60	80
3	200	60	80
4	300	60	80
5	200	0	80
6	200	30	80
7	200	60	80
8	200	90	80
9	200	60	0
10	200	60	40
11	200	60	80
12	200	60	120

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. El experimento se realizó en condiciones de temporal, y la preparación del suelo se realizó de manera tradicional, siguiendo los procedimientos de los campesinos de pueblo de Mixquic, que consiste en dar un barbecho y rastreo, la formación de canales o “regaderas” y rectángulos denominados “melgas”. Las unidades experimentales consistieron en rectángulos o melgas de 3 m de largo por 1.5 m de ancho, formados manualmente, considerando como parcela útil 4.5 m<sup>2</sup>, y posteriormente se le dio al contorno de cada melga la forma de “camellón” o bordos de 0.30 m de ancho al contorno de cada melga, actividad que se conoce como acamellonar o encuadrar en la zona productora del Distrito Federal.

La siembra se realizó el 3 de julio del 2014, aplicando al voleo 1.86 g m<sup>-2</sup> de semilla (4 726 semillas g<sup>-1</sup>), y posteriormente se aplicó al voleo 3.5 t ha<sup>-1</sup> de gallinaza con la finalidad de estimular la germinación. La emergencia se presentó 7 dds (60 % de emergencia). El control de malezas se realizó de manera manual. No fue necesaria la aplicación de insecticidas ni fungicidas.

Se realizaron tres cosechas de la verdolaga: a madurez vegetativa, 27 días después de la emergencia (C<sub>1</sub>); a primera floración, 34 días después de la emergencia (C<sub>2</sub>); y a la segunda floración, 42 días después de la emergencia (C<sub>3</sub>).

### **Muestreo y análisis de suelos**

El muestreo de suelo se realizó tres meses después de la cosecha, considerando que los procesos de difusión del P de la solución del suelo a la fase coloidal y del K de la solución del suelo a la fracción mineral, se estabilizan después de cinco meses de la aplicación del fertilizante (Rodríguez, 1993; Rodríguez y Álvarez, 2010). En cada unidad experimental se tomó una muestra de 10 submuestras, de 0-20 cm de profundidad. Las muestras se secaron al horno a 40-50 °C durante 2 días y se tamizaron a 2 mm. Las determinaciones realizadas fueron:

Para los tratamientos de N: se determinó la materia orgánica del suelo por el método Walkley y Black, con una digestión húmeda con dicromato de potasio y ácido sulfúrico, y titulación con sulfato ferroso (Jackson, 1976); para los tratamientos de P: se determinó el contenido de P-Olsen del suelo por espectrofotometría (extracción con bicarbonato de sodio 0.5 M a pH 8.5, y determinación colorimétrica con molibdato de amonio) (Olsen y Dean, 1965); y, para los tratamientos de K: se determinó el K intercambiable (extracción con acetato de amonio 1 N pH 7, y determinación por fotometría de llama) (Chapman, 1965).

Por otra parte, cada bloque del diseño experimental se obtuvo una muestra de suelo, compuesta de 24 submuestras, en las cuales se determinó: pH, con potenciómetro, en relación suelo:agua 1:2 (Jackson, 1976); conductividad eléctrica mediante el puente de conductividad, en relación suelo:agua 1:5 (Richards, 1990); K, Ca, Mg y Na intercambiables, con acetato de amonio 1N pH 7, el Ca y Mg por espectrometría de absorción atómica, y la extracción de K y Na por espectrofotometría de emisión (Chapman, 1965); Fe, Cu, Zn, Mn, con una solución DTPA 0.005 M a pH 7.3, y determinación por espectrometría de absorción atómica (Aguilar *et al.*, 1987); y, textura por el método del hidrómetro de Bouyoucos, con hexametáfosfato de sodio y carbonato de sodio como dispersantes (Bouyoucos, 1936). En el Cuadro 2 se

presentan los valores medios de las propiedades del suelo observadas en el sitio experimental.

**Cuadro 2. Propiedades del suelo del sitio experimental**

Propiedad	Valor	Propiedad	Valor
MO (%)	2.29 – 3.03	Bases intercambiables:	
P Olsen (mg kg <sup>-1</sup> )	12 – 35	K (mg kg <sup>-1</sup> )	546 – 819
Arena (%)	8.5	Ca (mg kg <sup>-1</sup> )	560 – 780
Arcilla (%)	38.3	Mg (mg kg <sup>-1</sup> )	125 – 192
Limo (%)	53.2	Na (mg kg <sup>-1</sup> )	6.9
Textura	Franco arcillo limoso	Hierro (mg kg <sup>-1</sup> )	9
pH	8.2	Manganeso (mg kg <sup>-1</sup> )	1.5
CE (dS m <sup>-1</sup> )	0.36	Cobre (mg kg <sup>-1</sup> )	1.3
		Zinc (mg kg <sup>-1</sup> )	24 – 29

### Muestreo y análisis en planta

El muestreo de follaje se realizó en tres cosechas con un marco de 0.0625 m<sup>2</sup> de madera, el cual se colocó sobre el suelo de cada melga, se cortó la planta al nivel del suelo dentro del marco, y se recogió todo el material vegetal; posteriormente se colocaron en estufa a 70 °C durante 72 h, se molieron y se pasaron por un tamiz de 1 mm.

Para las determinaciones de las concentraciones nutrimentales de P, K, Ca, Mg, Na, S, Mn, Fe, Cu, Zn y B, se procedió mediante una digestión húmeda con una mezcla de ácidos nítricos y perclórico en relación 2:1 (Alcántar y Sandoval, 1999), en los extractos obtenidos se cuantificaron las concentraciones P, Ca, Mg, S, Mn, Fe, Cu, Zn y B, con un equipo de espectrometría de emisión atómica de inducción por plasma acoplado (ICP-AES) marca VARIAN® modelo Liberty II (Mulgrave, Australia), la concentración de K y Na se midieron mediante flamometría con un equipo Coming 400-flame Photometer. La concentración de nitrógeno se determinó por el método Kjeldahl (Alcántar y Sandoval, 1999).

## **Análisis estadístico de la información**

La información colectada correspondió a las variables: de concentración nutrimental de N, P, K, Ca, Mg, Na, S, Mn, Fe, Cu, Zn y B por cosecha.

Para cada una de las variables se determinó un modelo de regresión en función del N, P y K aplicados, y la densidad de plantas por superficie, incluyendo los factores del suelo: materia orgánica, P Olsen y K intercambiable del suelo.

Para estimar el modelo de regresión se utilizó el método descrito por Volke (2008) que consiste en:

1) Graficar la relación entre la variable de respuesta y los factores en estudio, que en este caso fueron: la fertilización de N, P y K, densidad de plantas, fecha de cosecha y los factores del suelo MO, P Olsen y K intercambiable, con el objetivo de observar la forma de la relación entre ellos y visualizar observaciones atípicas, que podrían estar asociadas con valores no explicados por los factores en estudio o tener su origen de error de la información usada; las fechas de cosecha se consideraron como variables auxiliares, donde  $C_2$  y  $C_3$  corresponden a la respuesta de la cosecha 2 y 3, respectivamente, en relación con la cosecha 1 ( $C_1 = 0$ ,  $C_2 = 1$ ,  $C_3 = 1$ ).

2) Determinar la matriz de correlaciones entre los factores, con la finalidad de observar pares de factores altamente correlacionados, con un valor de  $r > 0.80$ , lo que estará indicando que dos factores tienen el mismo efecto sobre la variable respuesta, de tal modo que ambos no podrán estar presentes en un mismo modelo.

3) A partir de las relaciones entre las variables de respuesta y los factores, se considera él o los factores que muestran mayor efecto sobre la variable respuesta y la forma de la relación grafica entre ellos, para especificar un modelo inicial de regresión que incluya él o los factores y sus respectivas variables según la forma de dicha relación; con este modelo se piden los valores predichos y residuos, y se grafican los residuos contra los factores tanto los incluidos como los no incluidos; en estas graficas se observa la distribución de los puntos, y si ellos muestran alguna tendencia querrá decir que: para los factores incluidos se requiere modificar el

modelo de un factor en sus variables; y, para los factores no incluidos en el modelo, se requerirá incluir el factor en el modelo en sus correspondientes variables; de este modo se continua con modelos sucesivos hasta que ya no se observe más factores que puedan entrar en el modelo.

4) En las gráficas de residuos contra los valores predichos, se puede observar la presencia de posibles puntos aberrantes, que salen notoriamente de la zona de distribución de puntos, por lo tanto, se determina si se procede a eliminarlos con base al estadístico R-Student, con una prueba de t al nivel de probabilidad de 0.01 (Myers, 1990).

5) En esta forma se va construyendo un modelo que incluye variables significativas que disminuyan el cuadrado medio del error, en el cual a continuación se prueban las diversas interacciones posibles, hasta llegar al modelo final con el menor cuadrado medio de error.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las variables consideradas, de la concentración nutrimental de N, P, K, Ca, Mg, Na, S, Mn, Fe, Cu, Zn y B del follaje, se presentan por fecha de cosecha, realizadas a los 27, 34 y 42 días después de la emergencia.

### Concentración de N en follaje

El modelo de regresión para la concentración de N en función de los factores de estudio es el siguiente:

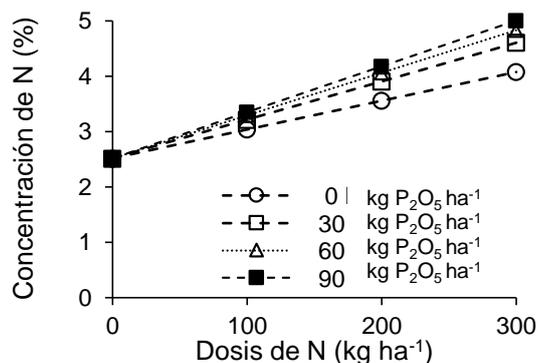
$$cN = 2.523 + 0.00520 N + 0.0003256 N P^{0.50}$$

$$(Pr. F = 0.0001, CME = 0.1698, CV = 10.59 \%, R^2 = 0.642)$$

Dónde: cN = concentración de N en materia seca (%), N = dosis de N ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ), P = dosis de P ( $\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ ).

Pr. F = probabilidad de F, CME = cuadrado medio del error, CV = coeficiente de variación,  $R^2$  = coeficiente de determinación múltiple.

El modelo de regresión indica que la concentración de N (cN) fue afectada positivamente por el N y P aplicado, y por una interacción positiva entre el N y P aplicado. Para el N se observó un incremento desde 2.52 % de N en materia seca (MS), concentración obtenida con  $0 \text{ kg N ha}^{-1}$ , hasta 4.08 % de N en MS obtenido con  $300 \text{ kg N ha}^{-1}$  sin aplicación de P y 5.08 % de N en MS con una aplicación de  $90 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$  (Figura 1). Por otra parte, el K aplicado y la fecha de cosecha no causaron efecto sobre la concentración de N en el follaje, así como tampoco la materia orgánica (MO), P y K del suelo.



**Figura 1. Concentración de N en follaje de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N y P aplicados.**

Estos valores concuerdan con los obtenidos por Graifenberg *et al.* (2003) a los 124 dds en hidroponía, de 2.8 y 3.2 % de N con 0 y 3 g L<sup>-1</sup> de NaCl en la solución nutritiva, respectivamente, y los obtenidos por Kaymak (2013), de 2.4 % de N al aplicar 150 kg N ha<sup>-1</sup>; sin embargo Fontana *et al.* (2006) reporta concentraciones de 0.63 % N en verdolaga comercial.

### Concentración de P en follaje

El modelo de regresión para la concentración de P en función de los factores de estudio es el siguiente:

$$cP = 0.276 + 0.01313 P^{0.50} + 0.01909 N^{0.25}$$

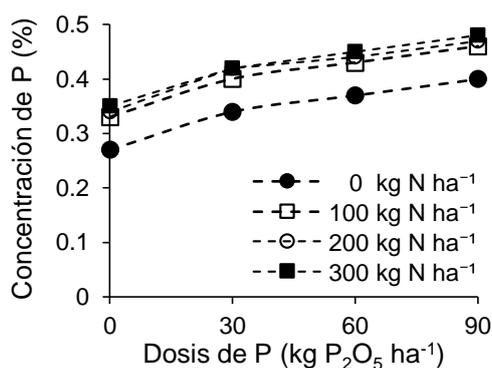
$$(Pr. F = 0.0001, CME = 0.00155, CV = 9.077 \%, R^2 = 0.452)$$

Dónde: cP = concentración de P en peso seco (%), N = dosis de N (kg N ha<sup>-1</sup>), P = dosis de P (kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>).

Pr. F = probabilidad de F, CME = cuadrado medio del error, CV = coeficiente de variación, R<sup>2</sup> = coeficiente de determinación múltiple.

El ajuste del modelo de regresión tienen un valor bajo de R<sup>2</sup> (0.452), sin embargo, presenta valores bajos del coeficiente de variación (9.077 %) y cuadrado medio del error (0.00155); por lo tanto, el valor del R<sup>2</sup> indican una ligera respuesta de la concentración de P a los factores de N y P aplicados.

El modelo de regresión indica que la concentración de P en el follaje fue afectada por el P y N aplicados de manera positiva. Para el P, se observó un incremento desde 0.27 % de P en MS, concentración obtenida con 0 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, hasta 0.40 % de P en MS obtenido con 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> sin aplicación de N y 0.48 % de P en MS con una aplicación de 300 kg N ha<sup>-1</sup> (Figura 2). Por otra parte, el K aplicado y la fecha de cosecha no causaron efecto sobre la concentración de P en el follaje, así como tampoco la MO, P y K del suelo.



**Figura 2. Concentración de P en follaje de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N y P aplicados.**

Graifenberg *et al.* (2003) reporta concentraciones de P en verdolaga, de 0.44 y 0.47 % de P con 0 y 3 g L<sup>-1</sup> de NaCl en la solución nutritiva, respectivamente; Kaymak (2013) reporta concentraciones de 0.277 % de P con la aplicación de urea y de 0.252 % de P con la aplicación de nitrato de amonio.

### Concentración de K en follaje

El modelo de regresión para la concentración de K en función de los factores estudiados es el siguiente:

$$cK = 1.1613 + 0.000000004361 K^4 - 0.0990 C_2$$

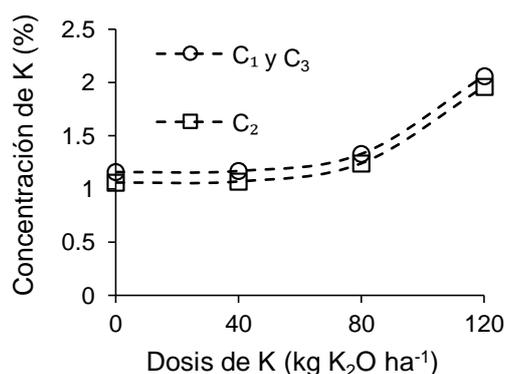
$$(Pr. F = 0.0001, CME = 0.177, CV = 31.50 \%, R^2 = 0.223)$$

Dónde: cK = concentración de K (%), K = dosis de K (kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>), C<sub>2</sub> = es una variable auxiliar para la cosecha 2 con respecto a la cosecha 1.

Pr. F = probabilidad de F, CME = cuadrado medio del error, CV = coeficiente de variación,  $R^2$  = coeficiente de determinación múltiple.

El ajuste del modelo de regresión tienen un valor bajo de  $R^2$  (0.223), sin embargo, presenta valores medios del coeficiente de variación (31.50 %) y relativamente bajos cuadrado medio del error (0.177); por lo tanto, el valor del  $R^2$  indican una ligera respuesta de la concentración de K a los factores del K aplicado y fecha de cosecha.

El modelo de regresión indica que la concentración de K fue afectada positivamente por el K aplicado, y menor concentración de potasio en la cosecha 2. Para el K se observó un incremento desde 1.16 % de K en MS, concentración obtenida con 0 kg  $K_2O$   $ha^{-1}$  en la cosecha 1 y 3, hasta 2.06 % de K en MS obtenido con 120 kg  $K_2O$   $ha^{-1}$ , mientras en la cosecha 2, se observó un incremento desde 1.06 % de K en MS, concentración obtenida con 0 kg  $K_2O$   $ha^{-1}$ , hasta 1.96 % de K en MS obtenido con 120 kg  $K_2O$   $ha^{-1}$  (Figura 1). Por otra parte, el N y P aplicados no causaron efecto sobre la concentración de K en el follaje, así como tampoco la MO, P y K del suelo.



**Figura 3. Concentraciones de K en follaje de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del K aplicado y fecha de cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde, C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 34 dde y C<sub>3</sub> = cosecha 3 a 42 dde.**

Estos resultados son similares a los obtenidos por Kaymak (2013) de 2.25 % de K; pero inferiores a los reportados por Graifenberg *et al.* (2003) de 6.4 % K, y Teixeira y Carvallho (2009) de 4.46 % de K; pero superiores a los reportados por Petropoulos *et al.* (2015) de 0.39 y 0.70 % de K en peso fresco, y Egea-Gilabert *et al.* (2014) de 0.29 a 0.46 % de K en peso fresco, en diferentes cultivares de verdolaga.

### Concentración de Ca, Mg, Na y S en follaje

En el Cuadro 3, se observan los modelos de regresión de las concentraciones de Ca, Mg, Na y S, en el follaje, en función del NPK aplicados y fecha de cosecha.

**Cuadro 3. Modelos de regresión para las concentraciones de Ca, Mg, Na y S, en follaje de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función de los factores estudiados.**

Modelo de regresión	Pr. F	CME	CV %	R <sup>2</sup>
Ca = 0.983 – 0.000481 K – 0.0112 C <sub>2</sub> – 0.128 C <sub>3</sub> + 0.000320 C <sub>3</sub> N	0.0001	0.0200	4.852	0.397
Mg = 1.542 + 0.000135 N – 0.00163 K + 0.0492 C <sub>2</sub> + 0.0366 C <sub>3</sub>	0.0001	0.00617	5.320	0.308
Na = 0.381 – 0.000226 N – 0.000333 P + 0.000929 K + 0.00000455 K <sup>2</sup> + 0.00000155 C <sub>2</sub> K <sup>2</sup> + 0.00000130 C <sub>3</sub> K <sup>2</sup>	0.0001	0.00124	12.294	0.238
S = 0.265 + 0.00000426 N <sup>2</sup> – 0.00000192 K <sup>2</sup> – 0.00101 C <sub>2</sub> N – 0.00107 C <sub>3</sub> N	0.0001	0.00338	20.34	0.771

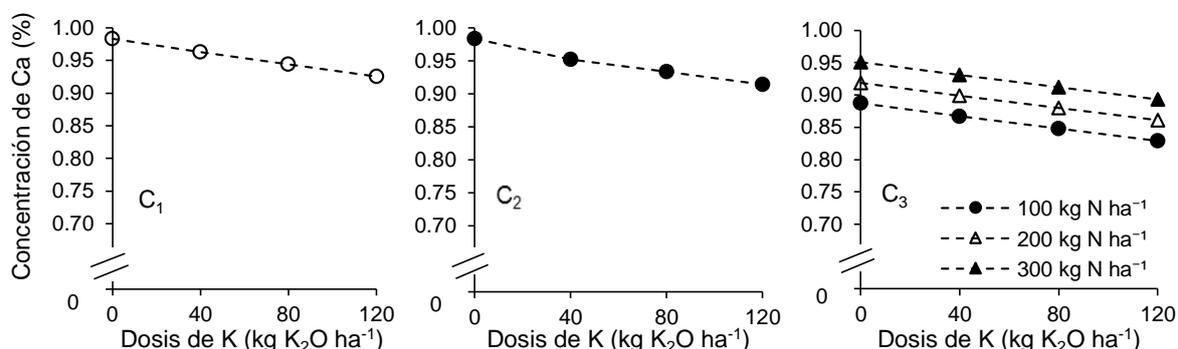
N = dosis de N (kg N ha<sup>-1</sup>), P = dosis de P (kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>), K = dosis de K (kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>), C<sub>2</sub> = es una variable auxiliar para la cosecha 2 con respecto a la cosecha 1, C<sub>3</sub> = es una variable auxiliar para la cosecha 3 con respecto a la cosecha 1.

Pr. F. = probabilidad de F, CME = cuadrado medio del error, CV = coeficiente de variación (%) y R<sup>2</sup> = coeficiente de determinación múltiple.

El ajuste de los modelos de regresión tienen valores medios a bajos de R<sup>2</sup> (< 0.50), sin embargo presentan CV relativamente bajos (< 20); por lo tanto, los valores del R<sup>2</sup> indican una ligera respuesta de las concentración de Ca, Mg, Na y S, a los factores de N, P y K aplicados y la fecha de cosecha.

El modelo de regresión para la concentración de Ca indica un efecto negativo del K aplicado y de la fecha de cosecha, así como un efecto positivo del N aplicado solo en la cosecha 3, con un incremento de 0.000320 % de Ca en MS por kilogramo de N aplicado. Para la cosecha, con una disminución de 0.0112 % de Ca en MS de la cosecha 2 sobre la cosecha 1, de 0.128 % de Ca en MS de la cosecha 1 sobre la cosecha 3, y de 0.117 % de Ca en MS de la cosecha 3 sobre la cosecha 2. Para el

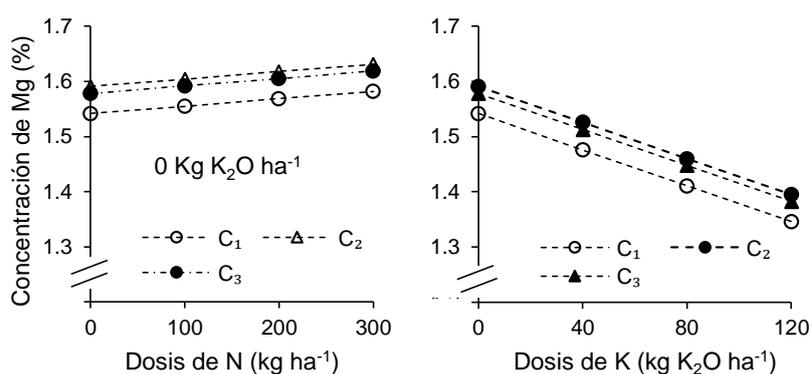
K aplicado, se observa respuesta negativa de 0.000481 % de Ca en MS por kilogramo de K aplicado, hasta 120 kg K ha<sup>-1</sup>, dosis máxima probada (Figura 4). Por otra parte, el P aplicado no causo efecto sobre la concentración de Ca en el follaje, así como tampoco la MO, P y K del suelo.



**Figura 4. Concentraciones de Ca en follaje de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N y K aplicados, y fecha de cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde, C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 34 dde y C<sub>3</sub> = cosecha 3 a 42 dde.**

Kaymak (2013) menciona que la concentración de Ca presenta relación con el tipo de fertilizante aplicado, con máximos de 1.58 % de Ca en MS en el follaje, con la adición de nitrato de amonio-cálcico, y 1.46 % de Ca en MS en el follaje con urea. Por su parte, Teixeira y Carvvalho (2009) y Kamal *et al.* (2012) mencionan que la concentración de Ca en hojas y tallos disminuye en función de la aplicación de NaCl a la solución nutritiva, de 6.6 a 3.75 % de Ca en MS, la temporada de siembra (primavera o verano) de 8.3 a 3.2 % de Ca en MS, y fecha de cosecha de 6.6 a 8.3 % de Ca en MS a los 7 y 15 días después de la siembra, respectivamente. Petropoulos *et al.* (2015), reporta concentraciones de Ca, de 1.54 a 2.33 % de Ca en peso fresco, en individuos silvestres y cultivares de verdolaga.

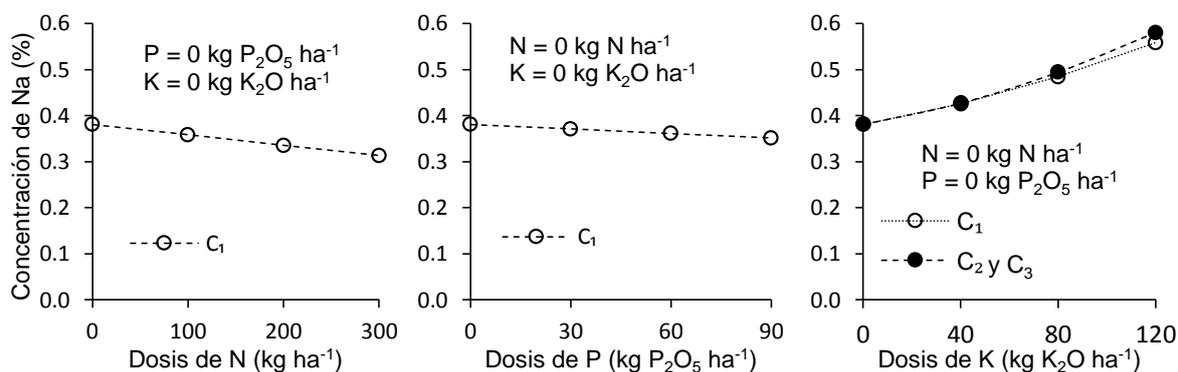
El modelo de regresión para la concentración de Mg indica, un efecto positivo del N aplicado y la fecha de cosecha, y un efecto negativo del K aplicado. El efecto de la cosecha, fue de 0.0492 % Mg de la cosecha 2 sobre la cosecha 1, de 0.0366 % Mg de la cosecha 3 sobre la cosecha 1, y 0.0126 % Mg de la cosecha 2 sobre la cosecha 3. Para el N aplicado, se observó un incremento desde 1.542 % de Mg en MS, concentración obtenida con 0 kg N ha<sup>-1</sup>, hasta 1.582 % de Mg en MS obtenido con 300 kg N ha<sup>-1</sup> sin aplicación de K y 1.423 % de Mg en MS con una aplicación de 120 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> (Figura 5) Por otra parte, el P aplicado no causo efecto sobre la concentración de Mg, así como tampoco la MO, P y K del suelo.



**Figura 5. Concentraciones de Mg en follaje de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N y K aplicados, y fecha de cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde, C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 34 dde y C<sub>3</sub> = cosecha 3 a 42 dde.**

Teixeira y Carvalho (2008) y Kamal *et al.* (2012) mencionan que la concentración de Mg en hojas y tallos de verdolaga aumenta por la fecha de cosecha de 4.82 a 4.92 % de Mg en MS, a los 7 y 15 días después de la siembra. Kaymak (2013) obtuvo concentraciones máximas de 0.158 % de Mg en MS y mínimas de 0.139 % de Mg en MS en el follaje en la primera floración, con la adición de nitrato de amonio y sulfato de amonio, respectivamente; Petropoulos *et al.* (2015) reporta concentraciones de Mg de 0.120 a 0.173 % de Mg en peso fresco, en la primera floración, en individuos silvestres y cultivares de verdolaga.

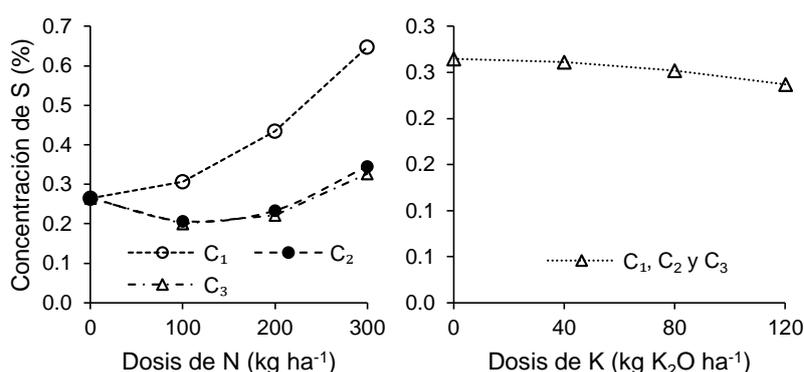
El modelo de regresión para la concentración de Na señala efecto positivo del K aplicado y de la fecha de cosecha en interacción con el K aplicado, y un efecto negativo del N y P aplicados. Para el N aplicado, con un decremento de 0.000226 % Na en MS por kilogramo de N aplicado, y para el P aplicado, un decremento de 0.000333 % de Na en MS por kilogramo de P aplicado. Por el K aplicado se observó un incremento desde 0.381 % de Na en MS, concentración obtenida sin aplicaciones de N y P, para las tres fechas de cosecha, hasta 0.558, 0.580 y 0.576 % de Na en MS obtenidas con 120 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> sin aplicaciones de N y P, para las tres fechas de cosecha, respectivamente (Figura 6). La MO, P y K del suelo no causaron efecto en la concentración de Na.



**Figura 6. Concentraciones de Na en follaje de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N, P y K aplicados, y fecha de cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde, C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 34 dde y C<sub>3</sub> = cosecha 3 a 42 dde.**

Teixeira y Carvallho (2009) reportan concentraciones de Na en hojas de verdolaga similares a la obtenidas en el presente estudio, de 0.86 a 1.62 % de Na en MS por la adición de NaCl en la solución nutritiva, y por la fecha de cosecha de 0.86 a 1.05 % de Na en MS. Sin embargo Kaymak (2013) obtuvo concentraciones, de 0.241 y 0.194 % de Na en MS en el follaje, con la adición de nitrato de amonio-cálcico y sulfato de amonio, respectivamente, y Egea-Gilabert *et al.* (2014) reportan concentraciones de Na, de 0.416 a 0.739 % de Na en peso fresco, en diferentes cultivares de verdolaga.

El modelo de regresión para la concentración de S señala efecto positivo del N aplicado, y un efecto negativo del K aplicado y de la fecha de cosecha en interacción con el N aplicado. Para el N aplicado se observó un incremento desde 0.265 % de S en MS concentración obtenida sin aplicaciones de K, para las tres fechas de cosecha, hasta 0.648, 0.345 y 0.327 % de S en MS obtenidas con 300 kg N ha<sup>-1</sup> sin aplicaciones de K, para las tres fechas de cosecha, respectivamente, y 0.620, 0.317 y 0.299 % de S en MS, con 120 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> sin aplicación de N, para las tres fechas de cosecha, respectivamente (Figura 7). Por otra parte, el P aplicado no causo efecto sobre la concentración de S, así como la MO, P y K del suelo.



**Figura 7. Concentraciones de S en follaje de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N y K aplicados, y fecha de cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde, C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 34 dde y C<sub>3</sub> = cosecha 3 a 42 dde.**

El S tiene relación estrecha con el N, debido a que interaccionan en la producción de aminoácidos, proteínas y ácidos grasos, y con deficiencias de S se incrementa la acumulación de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en el follaje (Havlin *et al.*, 2005).

## Concentración de micronutrientes en follaje

En el Cuadro 4, se presentan los modelos de regresión de las concentraciones de micronutrientes en función del NPK aplicados y fecha de cosecha.

**Cuadro 4. Modelos de regresión para las concentraciones de Mn, Fe, Cu, Zn y B (mg kg<sup>-1</sup>) de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función de los factores estudiados.**

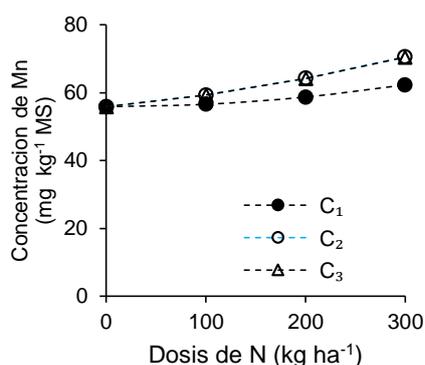
Modelo de regresión <sup>2</sup>	Pr. F	CME	CV %	R <sup>2</sup>
Mn = 55.83 + 0.0000715 N <sup>2</sup> + 0.0278 C <sub>2</sub> N + 0.0273 C <sub>3</sub> N	0.001	37.825	9.937	0.280
Fe = 760.39 + 600.18 C <sub>2</sub> + 532.30 C <sub>3</sub>	0.001	99213	27.836	0.428
Cu = 11.74 + 0.0149 N + 0.687 C <sub>3</sub>	0.001	1.585	8.546	0.430
Zn = 38.70 + 0.559 N – 0.0318 K – 5.544 C <sub>2</sub> – 9.502 C <sub>3</sub>	0.001	15.657	9.446	0.667
B = 31.84 + 0.0340 N – 0.000102 N <sup>2</sup> – 4.00958 C <sub>2</sub> + 1.496 C <sub>3</sub>	0.001	10.202	9.605	0.383

N = dosis de N (kg N ha<sup>-1</sup>), P = dosis de P (kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>), K = dosis de K (kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>), C<sub>2</sub> = es una variable auxiliar para la cosecha 2 con respecto a la cosecha 1, C<sub>3</sub> = es una variable auxiliar para la cosecha 3 con respecto a la cosecha 1.

Pr. F = probabilidad de F, CME = cuadrado medio del error, CV = coeficiente de variación (%), R<sup>2</sup> = coeficiente de determinación múltiple.

El ajuste de los modelos de regresión tienen valores medios a bajos de R<sup>2</sup> (< 0.50), empero, sin embargo, presentan CV relativamente bajos (< 20); por lo tanto, los valores del R<sup>2</sup> indican una ligera respuesta de las concentración de Mn, Fe, Cu, Zn y B, a los factores de N, P y K aplicados, y fecha de cosecha.

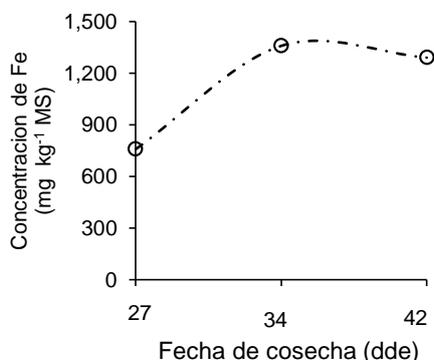
El modelo de regresión para la concentración de Mn indica un efecto positivo por del N aplicado y fecha de cosecha en interacción con el N aplicado. Para el N, se observó un incremento creciente a partir de 55.84 mg Mn kg<sup>-1</sup> de MS con 0 kg N ha<sup>-1</sup>, hasta 62.28 mg Mn kg<sup>-1</sup> de MS con una aplicación de 300 kg N ha<sup>-1</sup>; por otra parte, el incremento fue mayor en la cosecha 2 y 3 en comparación con la cosecha 1, hasta 70.53 mg Mn kg<sup>-1</sup> de MS, para la aplicación de 300 kg N ha<sup>-1</sup> (Figura 8). Por otra parte, el P aplicado no causó efecto en la concentración de Mn, así como tampoco la MO, P y K del suelo.



**Figura 8. Concentraciones de Mn en follaje de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N aplicado y fecha de cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde, C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 34 dde y C<sub>3</sub> = cosecha 3 a 42 dde.**

Kaymak, (2013) obtuvo concentraciones de 15.71 y 15.73 mg Mn kg<sup>-1</sup> de MS en follaje, con la adición de urea y nitrato de amonio, respectivamente. Petropoulos *et al.*, (2015), reporta concentraciones de 0.16 a 1.73 mg Mn kg<sup>-1</sup> de materia fresca, entre individuos silvestres y cultivares de verdolaga. La fertilización con amonio puede incrementar la absorción de Mn debido a la acidificación de la rizosfera, incrementando la disponibilidad de Mn (Mills y Beanton, 1996).

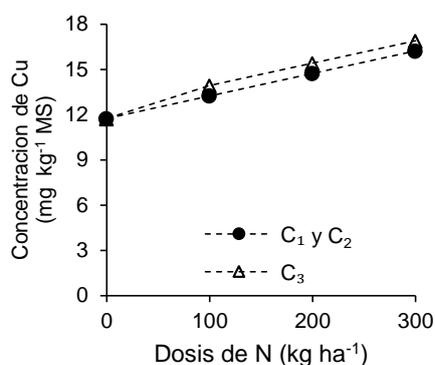
El modelo de regresión para la concentración de Fe indica, un efecto positivo por la cosecha. Se observó una mayor concentración de Fe para las cosechas 2 y 3, de 600.18 y 532.30 mg Fe kg<sup>-1</sup> de MS en comparación con la cosecha 1, respectivamente, que dio una concentración de 760.40 mg Fe kg<sup>-1</sup> de MS (Figura 9). Por otra parte, no se observó efecto del N, P y K aplicados sobre la concentración de Fe, así como tampoco la MO, P y K del suelo.



**Figura 9. Concentraciones de Fe en follaje de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función de la fecha de cosecha.**

Kaymak (2013) obtuvo concentraciones máximas de 255 mg Fe kg<sup>-1</sup> MS y mínimas de 210 mg Fe kg<sup>-1</sup> MS, con la adición de sulfato de amonio y urea, respectivamente.

El modelo de regresión para la concentración de Cu indica un efecto positivo del N aplicado y la fecha de cosecha. Para el N se observó un incremento de la concentración de Cu desde 11.75 mg Cu kg<sup>-1</sup> MS, concentración obtenida si aplicación de N, hasta 16.22 mg Cu kg<sup>-1</sup> MS, con una aplicación de 300 kg N ha<sup>-1</sup>. Para la fecha de cosecha, la cosecha 3 incrementó la concentración de Cu en 0.687 mg Cu kg<sup>-1</sup> MS en comparación con las cosechas 1 y 2 (Figura 10). Por otra parte el P y K aplicados, no causaron efecto en la concentración de Cu, así como tampoco la MO, P y K del suelo.

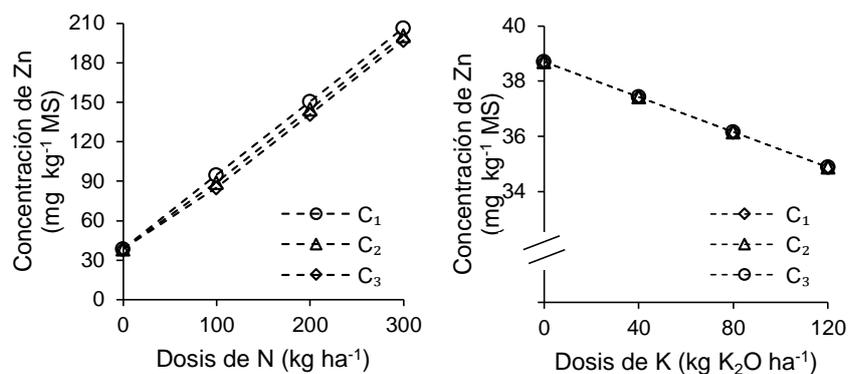


**Figura 10. Concentraciones de Cu en follaje de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N aplicado y fecha de cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde, C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 34 dde y C<sub>3</sub> = cosecha 3 a 42 dde.**

Kaymak (2013) obtuvo concentraciones máximas de 11.48 mg Cu kg<sup>-1</sup> MS y mínimas de 8.84 mg Cu kg<sup>-1</sup> MS, con la adición de urea y sulfato de amonio, respectivamente.

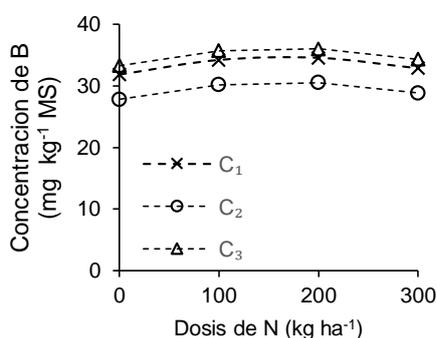
El modelo de regresión para la concentración de Zn indica un efecto positivo del N aplicado, y efecto negativo del K aplicado y fecha de cosecha. Para el N se observó un incremento desde 38.70 mg Zn kg<sup>-1</sup> MS, concentración obtenida sin aplicación de N y K en la cosecha 1, hasta 206.40 mg Zn kg<sup>-1</sup> MS, obtenida con 300 kg N ha<sup>-1</sup>. Para el K se observó una disminución de 0.318 mg Zn kg<sup>-1</sup> MS por kilogramo de K aplicado. Para la fecha de cosecha, la cosecha 2 y 3 presentaron menores concentraciones de 5.54 mg Zn kg<sup>-1</sup> MS y de 9.50 mg Zn kg<sup>-1</sup> MS que la cosecha 1, respectivamente (Figura 11). Por otra parte, el P aplicado no causó efecto sobre la concentración de Zn, así como tampoco la MO, P y K del suelo.

Kaymak, (2013) obtuvo concentraciones máximas de 20.26 mg Zn kg<sup>-1</sup> MS y mínimas de 17.10 mg Zn kg<sup>-1</sup> MS, con la adición de nitrato de amonio y nitrato de amonio cálcico, respectivamente.



**Figura 11. Concentraciones de Zn en follaje de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N y K aplicados, y fecha de cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde, C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 34 dde y C<sub>3</sub> = cosecha 3 a 42 dde.**

El modelo de regresión para la concentración de B indica efecto positivo decreciente del N aplicado y cosecha. Para el N, la concentración presentó un incremento desde 31.84 mg B kg<sup>-1</sup> MS obtenida con 0 kg N ha<sup>-1</sup>, hasta 34.65 mg B kg<sup>-1</sup> MS en la cosecha 1 obtenida con 166 kg N ha<sup>-1</sup>. Para las fechas de cosecha, se observó una disminución de la concentración de B en la cosecha 2 con respecto a la cosecha 1, de 4.01 mg B kg<sup>-1</sup> MS, y un incremento de la cosecha 3 con respecto a la cosecha 1, de 1.50 mg B kg<sup>-1</sup> MS (Figura 12). Por otra parte, el P y K aplicados no causaron efecto sobre la concentración de B, así como tampoco la MO, P y K del suelo.



**Figura 12. Concentraciones de B en follaje de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N aplicado, y fecha de cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde, C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 34 dde y C<sub>3</sub> = cosecha 3 a 42 dde.**

## CONCLUSIONES

Los resultados indican: 1) efecto positivo del N aplicado sobre la concentración de N, P, Ca, Mg, S, Mn, Cu, Zn y B, y un efecto negativo sobre la concentración de Na; 2) efecto de positivo del P aplicado sobre la concentración de P, y efecto negativo sobre la concentración de Na; 3) efecto de positivo del K aplicado sobre la concentración de K, Na, y S, y efecto negativo sobre la concentración de Ca, y Mg; 4) la segunda fecha de cosecha presentó efecto negativo sobre la concentración de K lo cual puede deberse al rápido crecimiento de esta fecha de cosecha, y efecto positivo sobre la concentración de Mg, Fe, y Cu. Los resultados indican el efecto del N, P y K aplicados, sobre las concentraciones nutrimentales en el follaje de la verdolaga.

## LITERATURA CITADA

- Alam, Md. A., A. S. Juraimi, M. Y. Rafii, A. A. Hamid, F. Aslani and G. M. Mohsin. 2014. A Comparison of Yield Potential and Cultivar Performance of 20 Collected Purslane (*Portulaca oleracea* L.) Accessions Employing Seeds vs. Stem Cuttings. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 16: 1633-1648.
- Alcántar, G. G. y M. Sandoval V. 1999. *Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A. C. Publicación Especial No. 10. Chapingo, México. 156 p.
- Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. pp. 891-901. In: C.A. Black (ed.). *Methods of analysis*. Part 2. Agronomy 9. American Society of Agronomy. Madison, WI.
- Fontana, E., J. Hoeberechts, S. Nicola, V. Cros, G. Palmegiano and P. Peiretti. 2006. Nitrogen concentration and nitrate/ammonium ratio affect yield and change the oxalic acid concentration and fatty acid profile of purslane (*Portulaca oleracea* L.) grown in a soilless culture system. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 86: 2417–2424.
- García, E. 1973. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Graifenberg, A., L. Botrini, L. Giustiniani, F. Filippi and M. Curadi. 2003. Tomato Growing in Saline Conditions with Biodesalinating Plants: *Salsola soda* L., and *Portulaca oleracea* L. *Acta Horticulturae*. 609: 301-305.
- Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., y Nelson, W. L. 2005. *Soil fertility and fertilizers, an introduction to nutrient management*. (7<sup>th</sup> ed.). Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. 515p
- Jackson, M.L. 1976. *Análisis químico de suelos*. Trad. al español por M.J. Beltran. 3a ed. Omega. Barcelona, España.
- Kamal, U. Md., S. A. Juraimi, F. Anwar, Md. A. Hossain and Md. A. Alam. Effect of salinity on proximate mineral composition of purslane (*Portulca oleracea* L.). *Australian journal of crop science*. 6 (12): 1732-1736.
- Kaymak, H. C. 2013. Effect of nitrogen forms on growth, yield and nitrate accumulation of cultivated purslane (*Portulaca oleracea* L.). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 19 (3): 444–449.
- Egea-Gilabert, C., V. Ruiz-Hernández and P. Angeles 2014. Characterization of purslane (*Portulaca oleracea* L.) accessions: Suitability as ready-to-eat product. *Scientia Horticulturae*. 172: 73-81.
- López-Ríos, G. 1996. Domesticación de la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) y semidomesticación del romerillo (*Suaeda difusa* Wats.) en el sistema agrícola de

- chinampas de San Gregorio Atlapulco, Xochimilco, D.F. Revista de geografía agrícola. 22-23: 103-112.
- Myers, R. H. 1990. Classical and modern regression with applications. (Second ed.). PWS-KENT Publishing Company. Boston, MA, USA. 246 p.
- Olsen, S.R. y L.A. Dean. 1965. Phosphorus. pp. 1035-1049. In: C.A. Black (ed.). Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy 9. American Society of Agronomy. Madison, WI.
- Richards, L. A. 1990. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. 6a ed. Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América. Limusa. México, D.F.
- Rodríguez, S. J. 1993. La fertilización de los cultivos: un método racional. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica, Santiago, Chile. 291 p.
- Soil Survey Staff, 2010. Claves para la Taxonomía de Suelos, Ortiz-Solorio, C.A, Gutiérrez-Castorena, Ma del C., (Trads.). Undécima Edición. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, D.C.
- Teixeira, M. and S. Carvalho I. 2009. Effects of salt stress on purslane (*Portulaca oleracea*) nutrition. Annals of Applied Biology, 154: 77–86.
- Volke, H. V. 2008. Estimación de funciones de respuesta para información de tipo no experimental, mediante regresión. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México, México. 113 p.

## VI. RESPUESTA DE LA VERDOLAGA A LA FERTILIZACION DE NPK: CONTENIDO NUTRACEUTICO.

**César Omar Montoya-García<sup>1\*</sup>; Víctor Volke-Haller<sup>1</sup>; Antonio Trinidad-Santos<sup>1</sup>;  
Clemente Villanueva-Verduzco<sup>2</sup>; Julio Sanchez-Escudero<sup>1</sup>.**

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km. 36.5, Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco. 56230, Estado de México.

<sup>2</sup>Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México- Texcoco. 56230. Chapingo, Estado de México.

\*Email: [ing.montoya.cesar@gmail.com](mailto:ing.montoya.cesar@gmail.com) [montoya.cesar@colpos.mx](mailto:montoya.cesar@colpos.mx);

### RESUMEN

Se evaluó el efecto de la fertilización NPK sobre el contenido nutracéutico de la verdolaga (variedad Mixquic) en dos fechas de cosecha comercial (27 y 42, días después de la emergencia), en la localidad de Montecillo, Edo. De México. Las dosis de N fueron: 0, 100, 200 y 300 kg N ha<sup>-1</sup>, de P: 0 y 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y de K: 0 y 80 kg K<sub>2</sub>O. La información se analizó mediante regresión. Los resultados indican: 1) efecto inicial negativo de N aplicado y posteriormente positivo sobre la concentración de fenoles y flavonoides totales, clorofila *a* y *b*, efecto positivo sobre la concentración de ácido linoléico y  $\alpha$ -linolénico, y efecto negativo sobre la concentración de vitamina C, ácido palmítico y esteárico, e inhibición del DPPH; 2) efecto negativo del P aplicado sobre la concentración de flavonoides totales y vitamina C; 3) efecto negativo del K aplicado sobre la concentración de fenoles y flavonoides totales y vitamina C, y efecto positivo sobre la concentración de  $\beta$ -caroteno; 4) efecto positivo de la fecha de cosecha sobre la concentración de flavonoides totales, ácido linoléico y  $\alpha$ -linolénico, e inhibición del DPPH, efecto positivo en interacción con N aplicado sobre la concentración de  $\beta$ -caroteno, y efecto negativo sobre la concentración de ácido palmítico y esteárico. Según los estándares internacionales, los resultados indican que la verdolaga por sus compuestos nutracéuticos, brinda un panorama alimenticio y medicinal, así como en la industria alimentaria para los productos de alta calidad con un mayor valor añadido.

**Palabras claves:** *Portulaca oleracea L.*, ácidos grasos poliinsaturados, ácido linoleico, ácido alfa linolénico, fenoles, flavonoides, actividad antioxidante.

## INTRODUCCIÓN

Un alimento nutracéutico es definido como una sustancia que puede ser considerado un alimento o parte de un alimento, y provee beneficios medicinales como la prevención y tratamiento de enfermedades. Algunos ejemplos de compuestos nutracéuticos son la fibra dietética, ácidos grasos poliinsaturados, como el ácido  $\alpha$ -linolénico y ácido linoleico, y antioxidantes, como fenoles, flavonoides, terpenoides y vitaminas (Barros *et al.*, 2008).

Los radicales libres son las sustancias reactivas del oxígeno (ERO) que surgen en las células vivas como un subproducto del proceso de la respiración aeróbica y el metabolismo (Al-Gubory *et al.*, 2010). La producción no controlada de ERO, implica la generación de enfermedades degenerativas asociado con el envejecimiento (enfermedades del hígado, Alzheimer, artritis, Parkinson y aterosclerosis), cardiovasculares y diversos tipos de cáncer (Ali *et al.*, 2008; Gutiérrez *et al.*, 2007; Moon y Shibamoto, 2009), por lo cual, actualmente se buscan alimentos con efectos antioxidantes, como alcaloides, aminos, betalínas, flavonoides, antocianinas, vitaminas, terpenoides (carotenoides) y otros compuestos fenólicos (Beserra *et al.*, 2011 Cai *et al.*, 2003; Ferrari y Torres 2003).

Por otra parte se ha demostrado que el consumo de alimentos ricos o que contienen ácidos grasos poliinsaturados del grupo omega 3 ( $\omega$ -3 ácido  $\alpha$ -linolénico) y omega 6 ( $\omega$ -6 ácido linoleico), precursores del ácido eicosapentaenoico y docosahexaenoico, respectivamente, representan una reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares y cerebrales (Carrero *et al.*, 2005). Los ácidos grasos  $\omega$ -3 inhibe la carcinogénesis través de la actividad anti-inflamatoria (Larsson *et al.*, 2007); los ácidos grasos  $\omega$ -6 reduce la carcinogénesis a través de mecanismos de daño oxidativo y pro-inflamatorias así como el estrés del retículo endoplásmico, y la apoptosis en células de hepatoma humano (Gerber, 2009).

Uno de los cultivos que ha tenido mayor atención desde el descubrimiento de su contenido de ácido linoleico (18:2 $\omega$ 6) y  $\alpha$ -linolénico (18:3 $\omega$ 3) y compuestos antioxidantes es la verdolaga. Se ha encontrado que la verdolaga tiene una amplia gama de efectos farmacológicos, incluidos, cicatrización (Rashed *et al.*, 2003), antiinflamatorios y analgésicos (Chan *et al.*, 2000), broncodilatador (Malek *et al.*, 2004), neuroprotectores (Hongxing *et al.*, 2007; Chang-Quan y Gui-Yang 2010; Abdel *et al.*, 2013), actividad antidiabética (Li *et al.*, 2009; El-Sayed, 2011; Sharma *et al.*, 2010), antiviral (Cai-Xia *et al.*, 2010), antitumoral (Shen *et al.*, 2013; Zhao *et al.*, 2013), actividad antioxidante *in vivo* (Li *et al.*, 2014), además de reducir los niveles de triglicéridos y colesterol en la sangre (Zidan *et al.*, 2014).

Sin embargo los estudios fitoquímicos de la verdolaga se han realizado en individuos silvestres, ornamentales o típicos de la zona (Alam *et al.*, 2014; Oliveira *et al.*, 2009; Lim y Quah, 2006), y la composición de ácidos grasos, fenoles y flavonoides varían dependiendo del cultivar, la fase de maduración, condiciones climáticas y fecha de cosecha (de Mello y Fasolo, 2014; Biesiada y Tomczak, 2012).

La verdolaga se ha consumido en México desde tiempos prehispánicos, especialmente en la cuenca de México (Brumfiel, 2009; McClung de Tapia *et al.*, 2013; Vázquez-Alonso *et al.*, 2014), y actualmente se produce en campo, en los estados de Baja California, Morelos y el Distrito Federal, en diferentes condiciones de clima y suelo. En México no se han realizado estudios sobre el contenido nutracéutico de la verdolaga y cómo influye la fertilización en ellos.

Si bien, el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) son aquellos elementos minerales que son requeridos por las plantas en altas cantidades, debido a que tienen un papel importante en asegurar el crecimiento y desarrollo adecuado de los cultivos (Epstein y Bloom, 2005; Hawkesford *et al.*, 2012), en condiciones de su deficiencia la planta incrementa la biosíntesis de metabolitos secundarios en los tejidos, en respuesta al estrés abiótico. En particular con deficiencia de nitrógeno se incrementa la acumulación de fenoles y flavonoides (Stewart *et al.*, 2001; Smolen' y Sady 2009; Naguib *et al.*, 2012; Verardo *et al.*, 2013; Galieni *et al.*, 2015; Salama *et al.*, 2015). En contraste, al incrementar la aplicación de nitrógeno se incrementa la producción

de ácidos grasos polinsaturados (Dag *et al.*, 2009; Fernández-Escobar *et al.*, 2006; Zheljzakov, *et al.*, 2012; Verardo *et al.*, 2013).

El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de la fertilización de NPK en verdolaga sobre su contenido nutracéutico, en términos de ácidos grasos, fenoles y flavonoides totales, vitamina C,  $\beta$ -caroteno, clorofilas *a* y *b*, y la actividad antioxidante con el radical libre 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El estudio fue llevado a cabo en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Estado de México (19° 28' 2.07'' N y 98° 54' 1.71'' O, 2215 m.s.n.m.), en condiciones de campo en los meses de julio y agosto de 2014. De acuerdo con García (1973), el clima de la zona es clasificado como semiseco o templado *Bs 1 kwe (w) (i') g*, con, con una precipitación anual media de 625 mm y un régimen de lluvias de verano en los meses de julio–septiembre, una temperatura media anual de 16 °C, una evaporación media anual ligeramente superior a 1400 mm y una humedad relativa media anual que oscila alrededor del 60 %. El suelo es clasificado como Mollic Ustifluent (Soil Survey Division Staff, 2007), con una profundidad de 150 cm, textura franco arcillo limosa en el horizonte Ap.

### **Diseño y manejo del experimento**

Se estudió la respuesta de la verdolaga al N, P y K en condiciones de campo, a cuatro niveles para N: 0, 100, 200 y 300 kg N ha<sup>-1</sup>, y dos niveles de P: 0 y 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, y dos niveles de K: 0 y 80 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, en los tratamientos según se indica en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Tratamientos de N, P y K estudiados**

Tratamiento	N	P (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	K (K <sub>2</sub> O)
	-----kg ha <sup>-1</sup> -----		
1	0	60	80
2	100	60	80
3	200	60	80
4	300	60	80
5	200	0	80
6	200	60	0

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. El experimento se realizó en condiciones de temporal, y la preparación del suelo se realizó de manera tradicional, siguiendo los procedimientos de los campesinos de pueblo de Mixquic, que consiste en dar un barbecho y rastreo, la formación de canales o “regaderas” y rectángulos denominados “melgas”. Las unidades experimentales consistieron en rectángulos o melgas de 3 m de largo por 1.5 m de ancho, formados manualmente, considerando como parcela útil 4.5 m<sup>2</sup>, y posteriormente se le dio al contorno de cada melga la forma de “camellón” o bordos de 0.30 m de ancho al contorno de cada melga, actividad que se conoce como acamellonar o encuadrar en la zona productora del Distrito Federal.

La siembra se realizó el 3 de julio del 2014, aplicando al voleo 1.86 g m<sup>-2</sup> de semilla (4 726 semillas g<sup>-1</sup>), y posteriormente se aplicó al voleo 3.5 t ha<sup>-1</sup> de gallinaza con la finalidad de estimular la germinación. La emergencia se presentó 7 dds (60 % de emergencia). El control de malezas se realizó de manera manual. No fue necesaria la aplicación de insecticidas ni fungicidas.

Se realizaron tres cosechas de la verdolaga: a madurez vegetativa, 27 días después de la emergencia (C<sub>1</sub>); y a la segunda floración, 42 días después de la emergencia (C<sub>2</sub>).

## Muestreo y análisis de suelos

El muestreo de suelo se realizó tres meses después de la cosecha, considerando que los procesos de difusión del P de la solución del suelo a la fase coloidal y del K de la solución del suelo a la fracción mineral, se estabilizan después de cinco meses de la aplicación del fertilizante (Rodríguez, 1993; Rodríguez y Álvarez, 2010). En cada unidad experimental se tomó una muestra de 10 submuestras, de 0-20 cm de profundidad. Las muestras se secaron al horno a 40-50 °C durante 2 días y se tamizaron a 2 mm. Las determinaciones realizadas fueron:

Para los tratamientos de N: se determinó la materia orgánica del suelo por el método Walkley y Black, con una digestión húmeda con dicromato de potasio y ácido sulfúrico, y titulación con sulfato ferroso (Jackson, 1976); para los tratamientos de P: se determinó el contenido de P-Olsen del suelo por espectrofotometría (extracción con bicarbonato de sodio 0.5 M a pH 8.5, y determinación colorimétrica con molibdato de amonio) (Olsen y Dean, 1965); y, para los tratamientos de K: se determinó el K intercambiable (extracción con acetato de amonio 1 N pH 7, y determinación por fotometría de llama) (Chapman, 1965).

Por otra parte, cada bloque del diseño experimental se obtuvo una muestra de suelo, compuesta de 24 submuestras, en las cuales se determinó: pH, con potenciómetro, en relación suelo:agua 1:2 (Jackson, 1976); conductividad eléctrica mediante el puente de conductividad, en relación suelo:agua 1:5 (Richards, 1990); K, Ca, Mg y Na intercambiables, con acetato de amonio 1N pH 7, el Ca y Mg por espectrometría de absorción atómica, y la extracción de K y Na por espectrofotometría de emisión (Chapman, 1965); Fe, Cu, Zn, Mn, con una solución DTPA 0.005 M a pH 7.3, y determinación por espectrometría de absorción atómica (Aguilar *et al.*, 1987); y, textura por el método del hidrómetro de Bouyoucos, con hexametáfosfato de sodio y carbonato de sodio como dispersantes (Bouyoucos, 1936). En el Cuadro 2 se presentan los valores medios de las propiedades del suelo observadas en el sitio experimental.

**Cuadro 2. Propiedades del suelo del sitio experimental**

Propiedad	Valor	Propiedad	Valor
MO (%)	2.29 – 3.03	Bases intercambiables	
P Olsen (mg kg <sup>-1</sup> )	12 – 35	K (mg kg <sup>-1</sup> )	546 – 819
Arena (%)	8.5	Ca (mg kg <sup>-1</sup> )	560 – 780
Arcilla (%)	38.3	Mg (mg kg <sup>-1</sup> )	125 – 192
Limo (%)	53.2	Na (mg kg <sup>-1</sup> )	6.9
Textura	Franco arcillo	Hierro (mg kg <sup>-1</sup> )	9
	limoso	Manganeso (mg kg <sup>-1</sup> )	1.5
pH	8.2	Cobre (mg kg <sup>-1</sup> )	1.3
CE (dS m <sup>-1</sup> )	0.36	Zinc (mg kg <sup>-1</sup> )	24 – 29

### **Muestreo y análisis en planta**

En las dos cosechas el muestreo del follaje se realizó con un marco de 0.0625 m<sup>2</sup> de madera, el cual se colocó sobre el suelo de cada melga, se cortó la planta al nivel del suelo dentro del marco, y se recogió todo el material vegetal. La biomasa fresca total se colocó en estufa a 70 °C durante 72 h, se molieron y se pasaron por un tamiz de 1 mm.

### ***Determinación de compuestos nutracéuticos***

Los compuestos nutracéuticos evaluados fueron: concentración de fenoles y flavonoides totales, vitamina C,  $\beta$ -caroteno, clorofilas *a* y *b*, composición de ácidos grasos y actividad antioxidante con el radical libre 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH).

Para la determinación de fenoles, flavonoides y actividad antioxidante se homogenizó el follaje seco y molido de la verdolaga con agua destilada, en una relación 1:25 (v/v); posteriormente se colocó 5 minutos en agua en ebullición, y se filtró a través de papel filtro No. 4.

*Fenoles totales.* Se cuantificó con el método de Folín-Ciocalteu (Waterman y Mole 1994). Se usaron 10 µL del extracto acuoso de verdolaga de cada tratamiento por repetición por fecha de cosecha (48 muestras), se adicionó 490 µL de agua destilada, 25 µl del reactivo de Folín-Ciocalteu: agua 1:1 (v/v), y 975 µl de la solución de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> al 2.5 %; se agitó 10 segundos en el vortex; se incubó a temperatura ambiente por 1 hora en oscuridad; se tomó lectura de absorbancia a 740 nm en un espectrofotómetro Spectronic 20®. La concentración se calculó a partir de una curva patrón elaborada con Folín-Ciocalteu (Absorbancia = 0.0614x; R<sup>2</sup> =0.998, x = concentración de Folín-Ciocalteu). El análisis se efectuó por cuadruplicado por muestra. La concentración total de fenoles en el extracto se expresó en miligramos equivalentes de ácido gálico en 100 g<sup>-1</sup> de MS (mg EAG g<sup>-1</sup> MS).

*Flavonoides totales.* Se utilizó 20 µl del extracto acuoso de verdolaga por tratamiento por repetición por fecha de cosecha (48 muestras), 980 µl MeOH (80 %), 2 ml de acetato de potasio (1 M) y 2 ml de AlCl<sub>3</sub> (10 %); se agitó 10 segundos en el vortex; la mezcla se incubó por 30 min en oscuridad. Se tomó la absorbancia en un espectrofotómetro Spectronic 20® a 415 nm. Para la cuantificación de la concentración se hizo una curva patrón preparada con quercetina (Absorbancia = 0.1067x; R<sup>2</sup> = 0.997, x = concentración de quercetina) (Chang *et al.*, 2002). El análisis se efectuó por cuadruplicado por muestra. Los resultados fueron expresados en miligramos equivalentes de quercetina g<sup>-1</sup> de MS (mg EQ g<sup>-1</sup> MS).

*Vitamina C.* Se homogenizó 1 g MS de verdolaga con 50 mL de una solución de ácido oxálico (0.5 %) de cada tratamiento por repetición por fecha de cosecha (48 muestras); se filtró a través de papel filtro Whatman No. 4; se tomó una alícuota de 5 mL y se tituló con solución de Tillman (0.01 %) hasta que una coloración rosa fue visible por 1 min. Para cuantificar la concentración de vitamina C se hizo una curva patrón preparada con ácido ascórbico (vitamina C = 0.606 + 0.0892x; R<sup>2</sup> = 0.995, x = gasto de la solución de Tillman) (AOAC, 1990). El análisis se efectuó por cuadruplicado por muestra. La cantidad de ácido ascórbico se expresó en mg 100 g<sup>-1</sup> MS.

*β*-caroteno, clorofilas a y b. Se determinaron de acuerdo con el método de Yamashita y Nagata (1992). Se homogenizó 100 mg MS de verdolaga de cada tratamiento por repetición por fecha de cosecha (48 muestras) con 10 ml de una solución de acetona-hexano (4:6); se agitó vigorosamente por 1 min y se filtró a través de papel filtro Whatman No. 4. La absorbancia del filtrado se midió a 453, 505, 645 y 663 nm. La concentración de *β*-caroteno y clorofilas a y b se calcularon de acuerdo con las siguientes ecuaciones: *β*-caroteno (mg 100 ml<sup>-1</sup>) = 0.216 A<sub>663</sub> – 1.22 A<sub>645</sub> – 0.304 A<sub>505</sub> + 0.452 A<sub>453</sub>; clorofila a (mg 100 mL<sup>-1</sup>) = 0.999 A<sub>663</sub> – 0.0989 A<sub>645</sub>; y clorofila b (mg 100 mL<sup>-1</sup>) = – 0.328 A<sub>663</sub> + 1.77 A<sub>645</sub>. El análisis se efectuó cuadruplicado para cada muestra. Los datos de *β*-caroteno se expresaron en µg g<sup>-1</sup>, y los datos de clorofila a y b se expresaron en mg g<sup>-1</sup>.

### **Determinación de ácidos grasos**

Se homogenizó 50 mg MS de verdolaga de cada tratamiento por repetición por cosecha (48 muestras) con 5 ml de hexano y 50 µl del estándar interno (ácido heptadecanoico 10 mg mL<sup>-1</sup>); se zonificó por 15 minutos y después se centrifugó a 3500 rpm durante 5 min; el extracto se evaporó bajo N<sub>2</sub> para la eliminar el disolvente y concentrar el aceite del follaje; los ácidos grasos se derivatizaron con trifluoruro de boro (BF<sub>3</sub>) con el fin de obtener la fracción volátil; se añadió un ml de 0.5 NaOH (1M) a 10 µl de aceite de la etapa anterior; el aceite se dejó reaccionar durante 30 min en un baño de agua a 75 °C; la mezcla se dejó enfriar a temperatura ambiente.

A continuación, se añadió 0.5 ml de BF<sub>3</sub> (al 14 % en metanol) y se dejó reaccionar durante 20 min en un baño de agua a 75 °C; el contenido se transfirió a un tubo de centrifuga, y se añadió 800 ml de agua destilada y 800 ml de hexano. La solución se agitó en un vortex durante 1 minuto y después se centrifugó a 3500 rpm durante 3 min; la fase orgánica (capa de hexano) se separó y se añadió sulfato de sodio anhidro para eliminar trazas de agua; el extracto se vertió en un vial de cromatografía de gases y se almaceno a -20 °C para su posterior análisis.

Las muestras derivatizadas se analizaron con el cromatógrafo de gases acoplado a masas (CG-SM) Agilent 5975TLM/MSD de acuerdo al método propuesto por Zhao (2012); se usó una columna HP-5MS (30 m \* 0.25 mm \* 0.25 µm), las condiciones del análisis fueron las siguientes: volumen de inyección 1 µL, temperatura de entrada 250 °C, sonda de separación térmica, modo de inyección splitless, gas acarreador helio, horno de baja masa térmica (70 °C 1 min a 10 °C min<sup>-1</sup> hasta 200 °C 1 min, 5 °C min<sup>-1</sup> hasta 280 °C), temperatura del cuadrupolo 150 °C, ionización por impacto electrónico (70 eV), modo de barrido completo, tiempo de corte del solvente 3 min. La identificación de ácidos grasos se hizo mediante la comparación de los tiempos de retención relativos de las muestras con picos FAME (estándares). Los resultados se registraron y procesaron utilizando software CSW 1,7 (DataApex 1,7) expresados en porcentaje relativo de cada ácido graso del total de ácidos grasos.

### **Actividad antioxidante**

Este análisis se hizo con el método del radical libre 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), descrito por Siriamornpun y Suttajit (2010). Se evaluaron seis extractos acuosos de verdolaga con una concentración de 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 y 1 mg MS mL<sup>-1</sup>, por tratamiento por repetición por fecha de cosecha (288 muestras). Se homogenizaron 20 µl de cada extracto acuoso con 3000 µl de una solución DPPH (0.004 %) con MeOH; se agito 10 segundos en el vortex; se incubó por 30 minutos en obscuridad a temperatura ambiente; la absorbancia se leyó en un espectrofotómetro Spectronic 20® a una longitud de onda 517 nm. El porcentaje de la actividad de inhibición se calculó con la siguiente formula:  $((A_0 - A_T) / A_0) * 100$ , dónde:  $A_0$  es la absorbancia del testigo (solo DPPH) y  $A_T$  es la absorbancia del extracto de cada tratamiento. Los datos por tratamiento se usaron para determinar el parámetro IC<sub>50</sub>, que representa la concentración del extracto acuoso de la verdolaga (mg MS mL<sup>-1</sup>) para reducir al 50 % el radical libre DPPH (Einbond *et al.*, 2004). El análisis se efectuó por cuadruplicado por muestra.

## **Análisis estadístico de la información**

La información colectada correspondió a las variables: concentración de fenoles y flavonoides totales, vitamina C,  $\beta$ -caroteno, clorofilas *a* y *b*, la composición de ácidos grasos y actividad antioxidante con el radical libre 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH).

Para cada una de estas variables se estimó un modelo de regresión en función del N, P y K, y la densidad de plantas por superficie y los factores que pudieran afectar como: materia orgánica, P Olsen y K intercambiable del suelo.

Para estimar el modelo de regresión se utilizó el método descrito por Volke (2008) que consiste en:

1) Graficar la relación entre la variable de respuesta y los factores en estudio, que en este caso fueron: la fertilización de N, P y K, densidad de plantas, fecha de cosecha y los factores del suelo MO, P Olsen y K intercambiable, con el objetivo de observar la forma de la relación entre ellos y visualizar observaciones atípicas, que podrían estar asociadas con valores no explicados por los factores en estudio o tener su origen de error de la información usada; las fechas de cosecha se consideraron como variables auxiliares, donde  $C_2$  corresponde a la respuesta de la segunda cosecha, en relación con la primera cosecha ( $C_1 = 0$  y  $C_2 = 1$ ).

2) Determinar la matriz de correlaciones entre los factores, con la finalidad de observar pares de factores altamente correlacionados, con un valor de  $r > 0.80$ , lo que estará indicando que dos factores tienen el mismo efecto sobre la variable respuesta, de tal modo que ambos no podrán estar presentes en un mismo modelo.

3) A partir de las relaciones entre las variables de respuesta y los factores, se considera él o los factores que muestran mayor efecto sobre la variable respuesta y la forma de la relación grafica entre ellos, para especificar un modelo inicial de regresión que incluya él o los factores y sus respectivas variables según la forma de dicha relación; con este modelo se piden los valores predichos y residuos, y se grafican los residuos contra los factores tanto los incluidos como los no incluidos; en

estas graficas se observa la distribución de los puntos, y si ellos muestran alguna tendencia querrá decir que: para los factores incluidos se requiere modificar el modelo de un factor en sus variables; y, para los factores no incluidos en el modelo, se requerirá incluir el factor en el modelo en sus correspondientes variables; de este modo se continua con modelos sucesivos hasta que ya no se observe más factores que puedan entrar en el modelo.

4) En las gráficas de residuos contra los valores predichos, se puede observar la presencia de posibles puntos aberrantes, que salen notoriamente de la zona de distribución de puntos, por lo tanto, se determina si se procede a eliminarlos con base al estadístico R-Student, con una prueba de t al nivel de probabilidad de 0.01 (Myers, 1990).

5) En esta forma se va construyendo un modelo que incluye variables significativas que disminuyan el cuadrado medio del error, en el cual a continuación se prueban las diversas interacciones posibles, hasta llegar al modelo final con el menor cuadrado medio de error.

## RESULTADOS

Los resultados del contenido nutracéutico en términos de: concentración de fenoles, flavonoides, vitamina C,  $\beta$ -caroteno, clorofilas *a* y *b*, ácidos grasos y actividad antioxidante del follaje se presentan por fecha de cosecha, las cuales se realizaron a los 27 y 42 días después de la emergencia (dde).

### Concentración de fenoles totales

El modelo de regresión para la concentración de fenoles totales en el follaje de la verdolaga en función de los factores de estudio fue el siguiente:

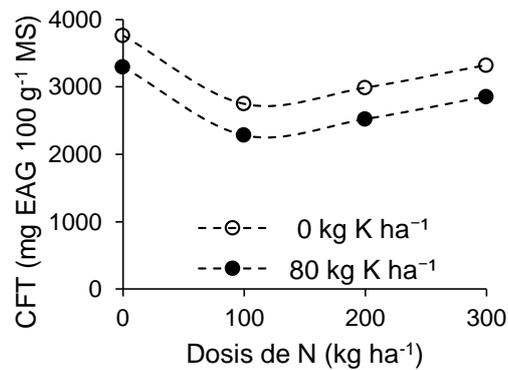
$$\text{CFT} = 3766.32 - 488.41 \text{ N}^{0.25} + 5.31 \text{ N} - 5.84 \text{ K}$$

$$(\text{Pr. F} = 0.0001, \text{CME} = 79067, \text{CV} = 10.143 \%, \text{R}^2 = 0.631)$$

Dónde: CFT = concentración de fenoles totales equivalente a ácido gálico en 100 g<sup>-1</sup> de materia seca (mg EAG 100 g<sup>-1</sup> MS), N = dosis de N (kg N ha<sup>-1</sup>), K = dosis de K (kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>).

Pr. F = probabilidad de F, CME = cuadrado medio del error, CV = coeficiente de variación, R<sup>2</sup> = coeficiente de determinación múltiple.

El modelo de regresión indica que la CFT del follaje fue afectado por el N aplicado, con un efecto inicial negativo hasta 100 kg N ha<sup>-1</sup>, a partir de 3766.32 mg EAG 100 g<sup>-1</sup> MS con 0 kg N ha<sup>-1</sup>, y posteriormente positivo hasta 3326.66 mg EAG g<sup>-1</sup> MS con 300 kg N ha<sup>-1</sup>, dosis máxima probada, a la vez que un efecto negativo del K, con un efecto de 5.84 mg EAG 100 g<sup>-1</sup> MS por kilogramo de K aplicado (Figura 1). Por otra parte, el P aplicado y fecha de cosecha no causaron efecto sobre la CFT en el follaje, así como tampoco por la materia orgánica (MO), P y K del suelo.



**Figura 1. Concentración de fenoles totales (CFT) en el follaje de la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N y K aplicados.**

La CFT no fue afectado por la fecha de cosecha; esto contrasta con lo reportado por Witzell *et al.* (2003), quienes mencionan que la CFT disminuye con la madurez de la planta, y la mayor cantidad de fenoles está asociada con hojas jóvenes en diferentes cultivos.

Los resultados de la CFT de verdolaga son superiores a los reportados por Cai *et al.* (2004) en verdolaga proveniente de China, con 400 y 600 mg EAG 100 g<sup>-1</sup> MS; Lim y Quah (2007) en verdolaga comestible nativa de Malasia e Indonesia, con 127 mg EAG 100 g<sup>-1</sup> en materia fresca; Siriamornpun y Suttajit (2010) obtuvieron 24 y 8 mg EAG 100 g<sup>-1</sup> MS de hojas y tallos, respectivamente; Alam *et al.* (2014) reporta CFT entre 0.96 y 9.12 mg EAG 100 g<sup>-1</sup> MS en 11 colectas de verdolaga ornamentales y en verdolaga hortícola de 2.22 y 6.98 mg EAG 100 g<sup>-1</sup> MS. Esto demuestra la concentración alta de fenoles totales en la verdolaga variedad Mixquic, y el efecto de la fertilización sobre la concentración de fenoles totales.

## Concentración de flavonoides totales

El modelo de regresión para la concentración de flavonoides totales en el follaje de la verdolaga en función de los factores de estudio fue el siguiente:

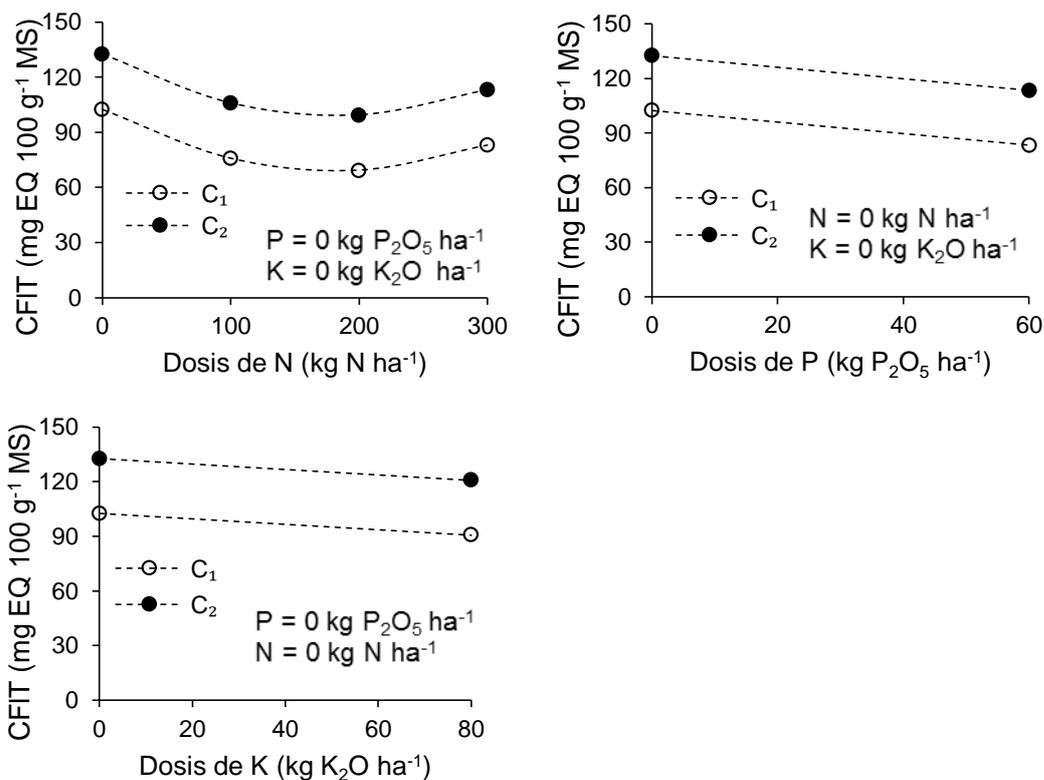
$$\text{CFIT} = 102.56 + 30.14 C_2 - 0.368 N + 0.00101 N^2 - 0.320 P - 0.149 K$$

(Pr. F = 0.0001, CME = 225.179, CV = 22.29 %,  $R^2 = 0.630$ )

Dónde: CFIT = concentración de flavonoides totales equivalentes a quercetina en 100 g<sup>-1</sup> de materia seca (mg EQ 100 g<sup>-1</sup> MS), N = dosis de N (kg N ha<sup>-1</sup>), P = dosis de P (kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>), K = dosis de K (kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>), C<sub>2</sub> = es una variable auxiliar para la cosecha 2 con respecto a la cosecha 1.

Pr. F = probabilidad de F, CME = cuadrado medio del error, CV = coeficiente de variación,  $R^2$  = coeficiente de determinación múltiple.

El modelo de regresión indica efecto inicial negativo del N y después positivo, negativo del P y K aplicados y positivo de la fecha de cosecha 2 sobre la CFIT, desde 102.56 mg EQ 100 g<sup>-1</sup> MS obtenidos en la cosecha 1 sin aplicación de N, P y K. Para el N, la disminución máxima ocurrió con 200 kg N ha<sup>-1</sup> y el incremento máximo con 300 kg N ha<sup>-1</sup>, la dosis máxima probada; por otro lado, este incremento fue menor en la cosecha 1 en comparación con la cosecha 2, con valores máximos de 83.06 y 113.20 mg EQ 100 g<sup>-1</sup> MS para dichas cosechas. Las disminuciones debidas al P fue de 0.320 mg EQ 100 g<sup>-1</sup> MS por kilogramo de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicado, y para el K fue de 0.149 mg EQ 100 g<sup>-1</sup> MS por kilogramo de K<sub>2</sub>O aplicado (Figura 2). Por otra parte, la MO, P y K del suelo no causaron efecto sobre la CFIT en el follaje.



**Figura 2. Concentración de flavonoides (CFIT) en el follaje de la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N, P y K aplicados y fecha de cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde y C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 42 dde.**

Siriamornpun y Suttajit (2010) reportan concentraciones totales de flavonoides de 310 y 150 mg equivalentes a Rutin en 100 g<sup>-1</sup> MS en hojas y tallos, respectivamente, para verdolaga de Mahasarakham, Tailandia, los principales flavonoides fueron: Rutin, Myricetin, Quercetin, Apigenin, Kemferol; por su parte Xu *et al.* (2006) y Sapina *et al.* (2008) encontraron dos flavonoides, Apigenin y Kaemferol, en verdolaga silvestre; Erkan (2012) reporta dos flavonoides, Quercetin y Kaempferol, en verdolaga silvestre de Turquía. Alam *et al.* (2014) reporta 54 y 94 mg equivalentes a Rutin en 100 g<sup>-1</sup> MS en verdolaga comestible de Malasia. Esto demuestra que diferentes variedades, tiempos de cosecha y condiciones ambientales, contribuyen a la composición de verdolaga, especialmente porque la planta es silvestre; sin embargo, en el presente estudio se demuestra que la fertilización puede influir en la CFIT.

## Concentración de vitamina C

El modelo de regresión para vitamina C en el follaje de la verdolaga en función de los factores de estudio fue el siguiente:

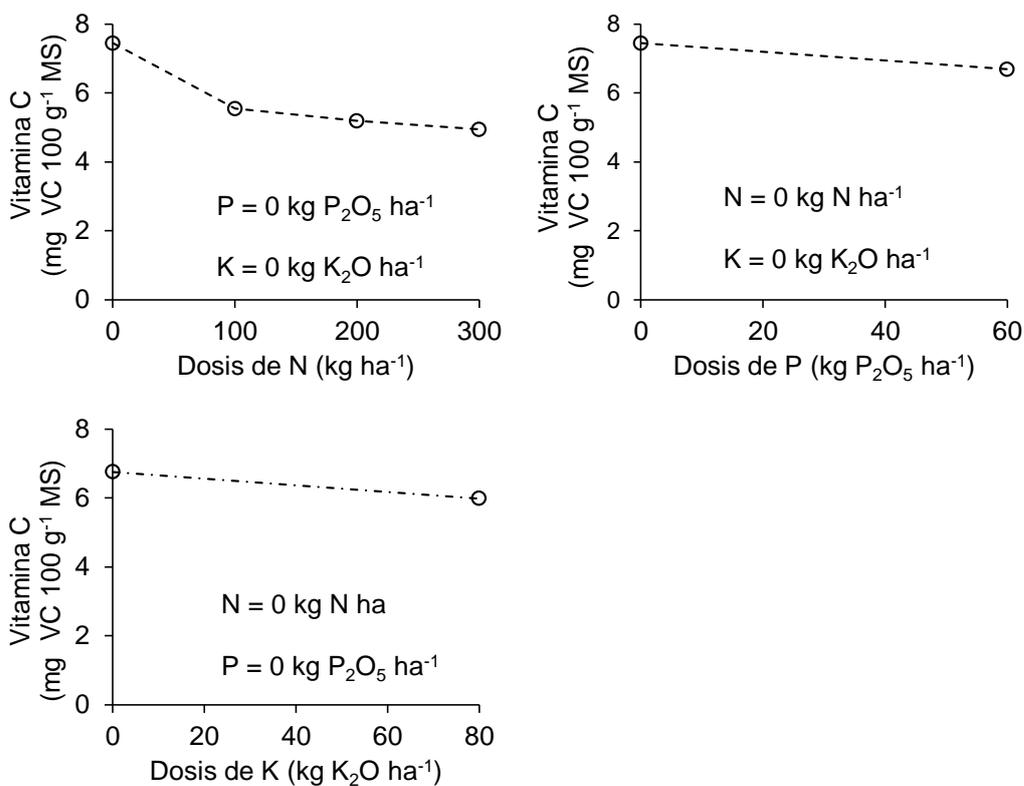
$$VC = 7.453 - 0.601 N^{0.25} - 0.0128 P - 0.00881 K$$

(Pr. F = 0.0001, CME = 0.596, CV = 17.96 %, R<sup>2</sup> = 0.516)

Dónde: VC = concentración de vitamina C en 100 g<sup>-1</sup> de materia seca (mg VC 100 g<sup>-1</sup> MS), N = dosis de N (kg N ha<sup>-1</sup>), P = dosis de P (kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>), K = dosis de K (kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>).

Pr. F = probabilidad de F, CME = cuadrado medio del error, CV = coeficiente de variación, R<sup>2</sup> = coeficiente de determinación múltiple.

El modelo de regresión indica un efecto negativo por el N, P y K aplicados sobre la concentración de vitamina C en el follaje, desde 7.453 mg VC 100 g<sup>-1</sup> MS, valor obtenido sin aplicación de N, P y K. la disminución debido al N aplicado llega a ser de 4.951 mg VC 100 g<sup>-1</sup> MS con 300 kg N ha<sup>-1</sup>, y las disminuciones debidas al P y K, de 0.0128 mg VC 100 g<sup>-1</sup> MS por kilogramo de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicado y de 0.00881 mg VC 100 g<sup>-1</sup> MS por kilogramo de K<sub>2</sub>O aplicado (Figura 3). Por otra parte, la fecha de cosecha no causo efecto sobre la concentración de vitamina C en el follaje de la verdolaga, así como tampoco la MO, P y K del suelo.



**Figura 3. Concentración de vitamina C en el follaje de la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N, P y K aplicados.**

Siriamornpun y Suttajit (2010) observó concentraciones de 3.99, 2.27 y 2.32 mg VC 100 g<sup>-1</sup> MS en hojas, tallos y flores de verdolaga silvestre, respectivamente; mientras Lim y Quah (2006) reportan concentraciones de 38–73 mg VC 100 g<sup>-1</sup> en materia fresca (MF) en verdolaga ornamental proveniente de Malasia e Indonesia, y de 66 mg VC 100 g<sup>-1</sup> MF en verdolaga silvestre. Mera-Ovando *et al.* (2014) reportan concentraciones de 9.13–15.5 mg VC 100 g<sup>-1</sup> MF en cultivares del Distrito Federal y Morelos. En muestras secas la concentración de vitamina C, disminuye debido a la oxidación de la molécula del ácido ascórbico, sin embargo, es evidente que a menor aplicación de N, P y K, la planta generara mayor concentración de vitamina C.

## Concentración de $\beta$ -caroteno

El modelo de regresión para  $\beta$ -caroteno en el follaje de la verdolaga en función de los factores de estudio fue el siguiente:

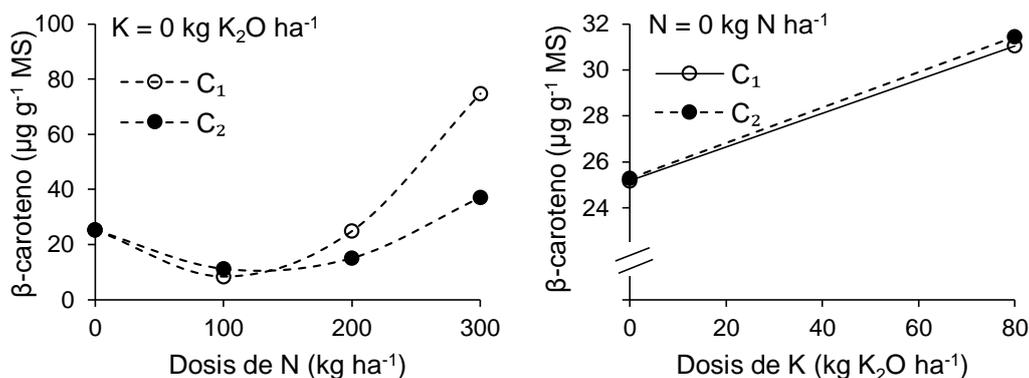
$$\beta C = 25.28 - 0.336 N + 0.00167 N^2 + 0.104 C_2 N - 0.000765 C_2 N^2 + 0.0771 K$$

(Pr. F = 0.0001, CME = 103.123, CV = 33.11 %,  $R^2 = 0.782$ )

Dónde:  $\beta C$  = concentración de  $\beta$ -caroteno ( $\mu\text{g g}^{-1}$  MS),  $N$  = dosis de N ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ),  $K$  = dosis de K ( $\text{kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ ),  $C_2$  = es una variable auxiliar para la cosecha 2 con respecto a la cosecha 1.

Pr. F = probabilidad de F, CME = cuadrado medio del error, CV = coeficiente de variación,  $R^2$  = coeficiente de determinación múltiple.

El modelo de regresión indica efecto inicial negativo del N y después positivo, positivo del K y positivo de la fecha de cosecha 2 en interacción con el N, sobre la concentración de  $\beta$ -caroteno, desde  $25.28 \mu\text{g g}^{-1}$  MS obtenida en la cosecha 1 sin aplicación de N y K. Para el N, la disminución máxima ocurrió con  $100 \text{ kg N ha}^{-1}$  y el incremento máximo con  $300 \text{ kg N ha}^{-1}$ , la dosis máxima probada; por otro lado, este incremento fue menor en la cosecha 2 en comparación con la cosecha 1, con valores máximos de  $37.13$  y  $74.78 \mu\text{g g}^{-1}$  MS para dichas cosechas. Para el K el incremento fue de  $0.0771 \mu\text{g g}^{-1}$  MS por kilogramo de  $\text{K}_2\text{O}$  aplicado (Figura 4). Por otra parte, el P aplicado no causó efecto sobre la concentración de  $\beta$ -caroteno en el follaje de la verdolaga, así como tampoco la MO, P y K del suelo.



**Figura 4. Concentración de  $\beta$ -caroteno en el follaje de la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N y K aplicados y fecha de cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde y C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 42 dde.**

Liu *et al.* (200) reporta concentraciones similares de  $\beta$ -caroteno en verdolaga silvestre australiana, entre 21–30  $\mu\text{g g}^{-1}$  en materia fresca (MF) en hojas y 3.6–6.5  $\mu\text{g g}^{-1}$  MF en tallos. Siriamornpun y Suttajit (2010), observaron concentraciones de  $\beta$ -caroteno de 580, 290 y 550  $\text{mg g}^{-1}$  MS, en hojas, tallos y flores, respectivamente.

### Concentración de Clorofila a y b

El modelo de regresión para las concentraciones de clorofilas *a* y *b* en el follaje de la verdolaga en función de los factores de estudio fueron los siguientes:

$$\text{Chl } a = 5.789 - 0.0520 N + 0.000223 N^2 + 0.0210 C_2 N - 0.000119 C_2 N^2$$

(Pr. F = 0.0001, CME = 1.662, CV = 26.047 %, R<sup>2</sup> = 0.724)

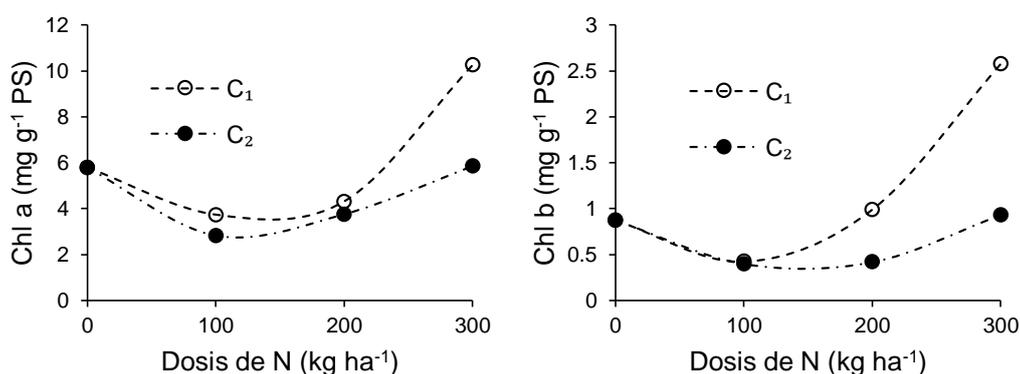
$$\text{Chl } b = 0.874 - 0.00960 N + 0.0000509 N^2 + 0.00238 C_2 N - 0.0000262 C_2 N^2$$

(Pr. F = 0.0001, CME = 0.0935, CV = 35.032 %, R<sup>2</sup> = 0.809)

Dónde: Chl *a* = concentración de clorofila *a* (mg Chl *a* g<sup>-1</sup>), Chl *b* = concentración de clorofila *b* (mg Chl *b* g<sup>-1</sup>), N = dosis de N (kg N ha<sup>-1</sup>), C<sub>2</sub> = es una variable auxiliar para la cosecha 2 con respecto a la cosecha 1.

Pr. F = probabilidad de F, CME = cuadrado medio del error, CV = coeficiente de variación, R<sup>2</sup> = coeficiente de determinación múltiple.

Los modelos de regresión indican efecto inicial negativo del N y después positivo, y positivo de la cosecha 2 en interacción con el N aplicado, sobre la concentración de clorofila *a* y *b*, desde 5.789 mg Chl *a* g<sup>-1</sup> MS y 0.874 mg Chl *b* g<sup>-1</sup> MS. Para N aplicado, la disminución máxima ocurrió con 100 kg N ha<sup>-1</sup> y el incremento máximo con 300 kg N ha<sup>-1</sup>, la dosis máxima probada. Por otro lado, este incremento fue menor en la cosecha 2 en comparación con la cosecha 1, con valores máximos de clorofila *a*, de 10.259 y 5.849 mg Chl *a* g<sup>-1</sup> MS para dichas cosechas, y con valores máximos de clorofila *b*, de 2.575 y 0.931 mg Chl *b* g<sup>-1</sup> MS para dichas cosechas (Figura 5). Por otra parte, el P y K aplicados no causaron efecto sobre la concentración de clorofila *a* y *b* en el follaje de la verdolaga, así como tampoco la MO, P y K del suelo.



**Figura 5. Concentración de clorofila (Chl) *a* y *b* en el follaje de la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N aplicado y cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde y C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 42 dde.**

Palaniswamy *et al.* (2000; 2001), reportan concentraciones de clorofilas totales (ChIT), de 13.6–20.0 mg ChIT g<sup>-1</sup> en materia fresca (MF), con diferentes relaciones porcentuales de amonio/nitrato en la solución nutritiva, y de 12.5–21.9 mg ChIT g<sup>-1</sup> MF, con diferentes concentraciones de fotones de luz de 299 y 455 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

## Concentración de ácidos grasos

Se encontraron dos ácidos grasos saturados en la verdolaga: ácido palmítico (C16:0) y ácido esteárico (C18:0), y dos ácidos grasos polinsaturados: ácido linoleico (18:2 $\omega$ 6) y ácido  $\alpha$ -linolénico (18:3 $\omega$ 3), y los modelos de regresión correspondientes a cada ácido graso en función de los factores estudiados fueron los siguientes:

Ácidos grasos saturados (SFAs):

$$\text{Ácido palmítico} = 43.299 - 0.0160 N + 2.356 C_2$$

$$(\text{Pr. F} = 0.0001, \text{CME} = 13.445, \text{CV} = 8.78 \%, \text{R}^2 = 0.220)$$

$$\text{Ácido esteárico} = 11.581 - 0.00000389 N^2 + 2.335 C_2$$

$$(\text{Pr. F} = 0.0001, \text{CME} = 10.529, \text{CV} = 26.06 \%, \text{R}^2 = 0.273)$$

Ácidos grasos polinsaturados (PUFAs):

$$\text{Ácido linoleico} = 20.002 + 0.00867 N - 4.2594 C_2$$

$$(\text{Pr. F} = 0.0001, \text{CME} = 11.799, \text{CV} = 17.61 \%, \text{R}^2 = 0.429)$$

$$\text{Ácido } \alpha\text{-linolénico} = 26.419 + 0.00404 N - 3.359 C_2$$

$$(\text{Pr. F} = 0.035, \text{CME} = 19.001, \text{CV} = 17.11 \%, \text{R}^2 = 0.140)$$

Dónde: Los ácidos grasos fueron expresados en porcentaje (%) del total de ácidos grasos, N = dosis de N (kg N ha<sup>-1</sup>), C<sub>2</sub> = es una variable auxiliar para la cosecha 2 con respecto a la cosecha 1.

Pr. F = probabilidad de F, CME = cuadrado medio del error, CV = coeficiente de variación, R<sup>2</sup> = coeficiente de determinación múltiple.

El ajuste de los modelos de regresión tienen valores medios a bajos de R<sup>2</sup> (< 0.50), sin embargo, las ecuaciones presentan CV relativamente bajos (< 20); por lo tanto, los R<sup>2</sup> indican una ligera respuesta de los ácidos grasos a los factores de nitrógeno y fecha de cosecha.

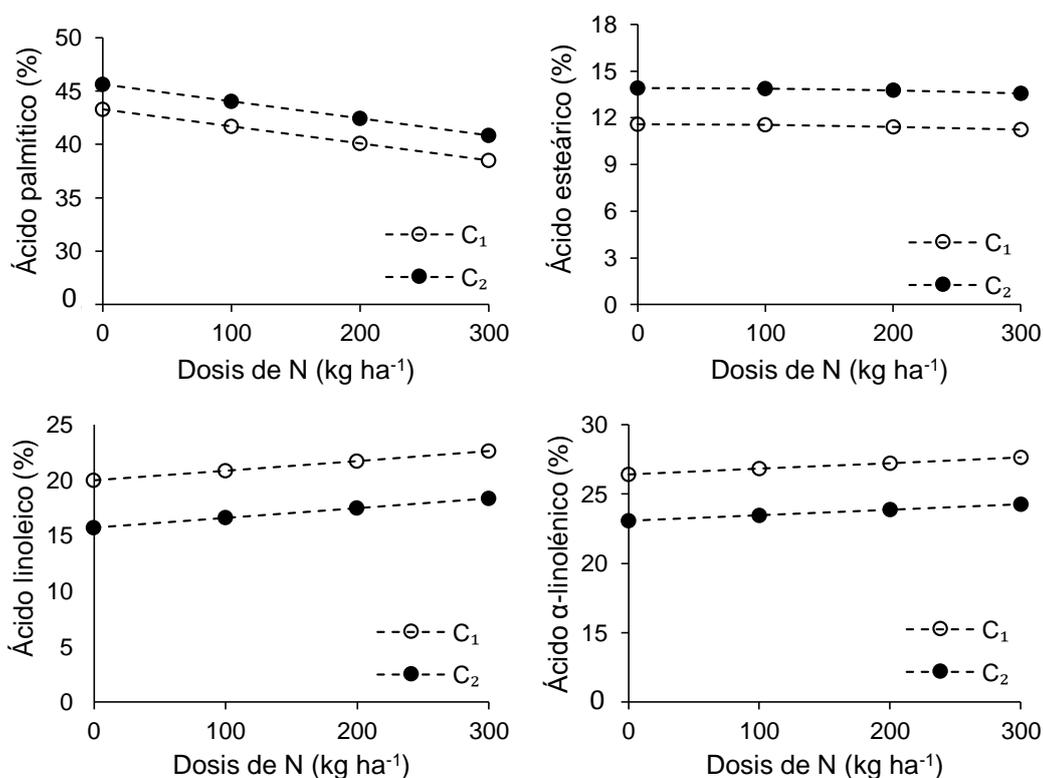
El modelo de regresión para la concentración de ácido palmítico indica un efecto negativo del N aplicado y un efecto positivo de la fecha de cosecha, desde 43.29 y 45.65 % para la cosecha 1 y 2. Para el N aplicado, con un decremento de 0.0160 % de ácido palmítico por kilogramo de N aplicado. Para la cosecha, con 2.356 % ácido palmítico de la cosecha 2 sobre la cosecha 1. Por otra parte no se observó respuesta por el P y K aplicados, así como tampoco por la materia orgánica, fósforo y potasio del suelo (Figura 6).

El modelo de regresión para la concentración de ácido esteárico indica un efecto negativo del N y un efecto positivo de la fecha de cosecha, desde 11.58 y 13.06 % para la cosecha 1 y 2. Para el N, con un decremento de 0.00000389 % de ácido esteárico por kilogramo de N al cuadrado. Para la cosecha, con 2.3354 % de ácido esteárico de la cosecha 2 sobre la cosecha 1. Por otra parte no se observó respuesta por el P y K aplicados, así como tampoco por la materia orgánica, fósforo y potasio del suelo (Figura 6).

El modelo de regresión para la concentración de ácido linoleico indica un efecto positivo del N aplicado y un efecto negativo de la fecha de cosecha, desde 20.00 y 15.74 % para la cosecha 1 y 2. Para el N aplicado, con 0.00867 % de ácido linoleico por kilogramo de N aplicado. Para la cosecha, con un decremento de 4.259 % de ácido linoleico, de la cosecha 2 con respecto a la cosecha 1. Por otra parte, no se observó respuesta por el P y K aplicados, así como tampoco por la materia orgánica, fósforo y potasio del suelo (Figura 6).

El modelo de regresión para la concentración de ácido  $\alpha$ -linolénico indica un efecto positivo del N aplicado y un efecto negativo de la fecha cosecha, desde 26.41 y 23.06 % para la cosecha 1 y 2. Por el N aplicado, con 0.00404 % ácido  $\alpha$ -linolénico por kilogramo de N aplicado. Para la cosecha, con un decremento de 3.359 % de ácido  $\alpha$ -linolénico en la cosecha 2 sobre la cosecha 1. Por otra parte no se observó respuesta por el P y K aplicados, así como tampoco por la materia orgánica, fósforo y potasio del suelo (Figura 6).

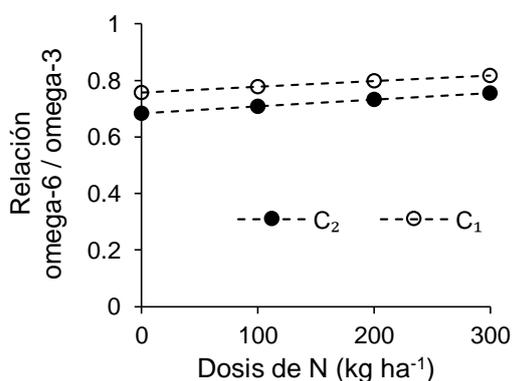
En general el ácido graso con mayor concentración en follaje de la verdolaga en relación con el total de ácidos grasos es el ácido palmítico, entre 38.49 y 45.65 %, seguido ácido  $\alpha$ -linolénico (18:3 $\omega$ 3), entre 23.0 y 27.6 % y ácido linoleico (18:2 $\omega$ 6), entre 15.7 y 22.6 %, y la menor concentración es del ácido esteárico (C18:0), entre 11.23 y 13.56 % (Figura 6). El efecto del N sobre el ácido  $\alpha$ -linolénico y ácido linoleico también ha sido reportado por Verardo *et al.* (2013) en nogal.



**Figura 6. Concentración de ácido palmítico (C16:0), esteárico (C18:0), linoleico (18:2 $\omega$ 6) y  $\alpha$ -linolénico (18:3 $\omega$ 3) del total de ácidos grasos en el follaje de la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N aplicado y fecha de cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde y C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 42 dde.**

Carvalho *et al.* (2009), y Anastácio y Carvalho (2013), reportan mayores concentraciones de ácido palmítico seguido de ácido  $\alpha$ -linolénico y ácido linoleico en verdolaga. Omara-Alwala (1991), Liu *et al.* (2000), Palaniswamy (2001), Fontana *et al.* (2006), Cros *et al.* (2007), Páez *et al.* (2007), Oliveira *et al.* (2009), y Siriamornpun y Suttajit (2010), reportan mayor concentración de ácido  $\alpha$ -linolénico seguido de palmítico y linoleico en verdolaga. Por su parte Mera *et al.* (2014) reporta tres ácidos grasos en el siguiente orden de concentración: linoleico >  $\alpha$ -linolénico > araquídico en verdolaga cultivada en el Distrito Federal, México.

Los ácidos grasos juegan un papel importante en la prevención de enfermedades cardiovasculares, y su consumo se limita a organismos marinos y semillas; resulta claro que la verdolaga ofrece una alternativa para proveer ácidos grasos esenciales para el consumo humano. Estudios epidemiológicos destacan la necesidad de establecer el equilibrio entre omega-6 / omega-3 ( $\omega_6 / \omega_3$ ) en una relación de 5/1; a mayor relación  $\omega_6 / \omega_3$  se presentan deficiencias de  $\alpha$ -linolénico en el organismo humano, por la competencia entre  $\alpha$ -linolénico y ácido linoleico (Renaud y Nordoy 1983). La relación  $\omega_6 / \omega_3$  del follaje de la verdolaga es mayor para la cosecha 1, con un incremento desde 0.75 y 0.68, para la cosecha 1 y 2, sin aplicación de N, hasta 0.81 y 0.75, para dichas cosechas, con 300 kg N ha<sup>-1</sup>, (Figura 7).



**Figura 7. Relación omega-6/ omega-3 en el follaje de la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en función del N aplicado y fecha de cosecha: C<sub>1</sub> = primera cosecha a 27 dde y C<sub>2</sub> = segunda cosecha a 42 dde.**

## Actividad antioxidante

La inhibición del DPPH describe la reducción de radicales libres por los compuestos antioxidantes (fenoles, flavonoides, carotenoides, clorofilas y vitaminas) contenidos en los alimentos, impidiendo el deterioro de las células, mientras menor sea la concentración del alimento para inhibir los radicales libres mayor será el poder antioxidante de este (Floegel *et al.*, 2011).

El modelo de regresión para la inhibición del radical libre 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) por el follaje de la verdolaga en función de los factores de estudio fue el siguiente:

$$\text{Inhibición del DPPH} = -5.727 + 149.913 C_n - 60.876 C_n^2 + 0.0116 N - 0.0000912 N^2 + 6.413 C_2 - 0.0216 C_2 N$$

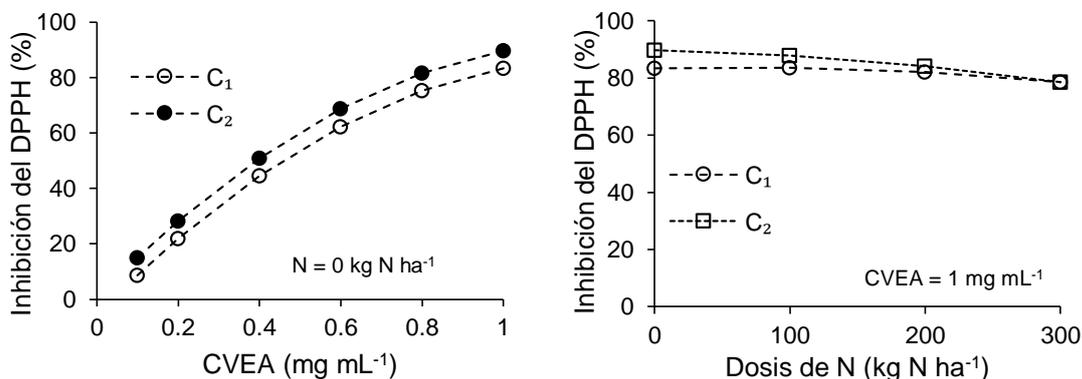
$$(\text{Pr. F} = 0.0001, \text{CME} = 31.704, \text{CV} = 12.96 \%, \text{R}^2 = 0.945)$$

Dónde: Inhibición del DPPH = porcentaje de inhibición del radical libre 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (%), N = dosis de N ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ),  $C_n$  = concentración de verdolaga en 1 mL de extracto acuoso ( $0.1 - 1 \text{ mg mL}^{-1}$ ),  $C_2$  = es una variable auxiliar para la cosecha 2 con respecto a la cosecha 1.

Pr. F = probabilidad de F, CME = cuadrado medio del error, CV = coeficiente de variación,  $R^2$  = coeficiente de determinación múltiple.

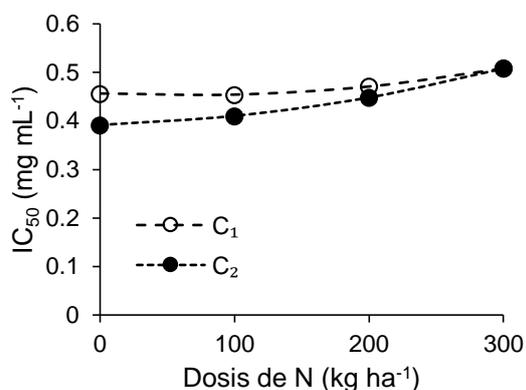
El modelo de regresión indica un efecto positivo de la concentración de verdolaga en 1 mL de extracto acuoso (CVEA), negativo del N y positivo de la fecha de cosecha, sobre la inhibición del DPPH. Para la CVEA, se observó inhibición del DPPH desde la concentración de  $0.1 \text{ mg mL}^{-1}$ , de 8.6 %, hasta la concentración de  $1 \text{ mg mL}^{-1}$ , de 83.31 %, sin la aplicación de N en la cosecha 1. Para el N aplicado, la menor inhibición del DPPH ocurrió con  $300 \text{ kg N ha}^{-1}$ , la dosis máxima probada, con 78.58 y 78.51 % en la cosecha 1 y 2, respectivamente, con la CVEA de  $1 \text{ mg mL}^{-1}$ . Por otro lado, la mayor inhibición del DPPH fue en la cosecha 2 en comparación con la cosecha 1, con valores máximos en ambos casos de 89.7 y 83.3 % para dichas cosechas, con la CVEA de  $1 \text{ mg mL}^{-1}$ , sin aplicación de N (Figura 8). Por otra parte,

el P y K aplicados no causaron efecto sobre la inhibición del DPPH causada por la verdolaga, así como tampoco la MO, P y K del suelo.



**Figura 8. Porcentaje de inhibición del 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) en función de la concentración de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en 1 mL de extracto acuoso (CVEA), N aplicado y fecha de cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde y C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 42 dde.**

Por otra parte, el IC<sub>50</sub> es un indicador estandarizado para medir la concentración de muestra requerida para disminuir al 50 % los radicales libres y prevenir la peroxidación de los lípidos al 50 %, los valores bajos de IC<sub>50</sub> se asocian con mayor poder antioxidante (Einbond *et al.*, 2004). Los IC<sub>50</sub> más bajos fueron obtenidos con la concentración de verdolaga de 0.456 mg mL<sup>-1</sup> y 0.391 mg mL<sup>-1</sup> para la cosecha 1 y 2, respectivamente, sin la aplicación de N, hasta 0.508 mg mL<sup>-1</sup>, para ambas cosechas, con 300 kg N ha<sup>-1</sup> (Figura 9).



**Figura 9. Concentración de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en 1 mL de extracto acuoso (CVEA) para disminuir al 50 % el radical libre 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (IC<sub>50</sub>) en función del N aplicado y fecha de cosecha: C<sub>1</sub> = cosecha 1 a 27 dde y C<sub>2</sub> = cosecha 2 a 42 dde.**

Alam *et al.* (2015), observaron en verdolaga ornamental IC<sub>50</sub> de 2.52 mg mL<sup>-1</sup> y en verdolaga hortícola de 2.56 mg mL<sup>-1</sup>. Lim *et al.* (2000) encontraron IC<sub>50</sub> de 3.41 mg mL<sup>-1</sup> en verdolaga comestible, y entre 0.89 y 3.04 mg mL<sup>-1</sup> en verdolaga ornamental. Oliveira *et al.* (2009) reportan IC<sub>25</sub> de 0.084–0.217 mg mL<sup>-1</sup> en hojas, y entre 0.205 y 1.039 mg mL<sup>-1</sup> en tallos en verdolaga de diferentes regiones de Portugal.

Lo anterior indica que la verdolaga variedad Mixquic presenta alta capacidad antioxidante con respecto a otras variedades de verdolaga, además de evitar la oxidación de macromoléculas biológicas en el cuerpo humano y contribuir al control de enfermedades crónicas, lo que tiene gran relevancia en medicina preventiva.

## CONCLUSIONES

Los resultados indican: 1) efecto inicial negativo de N aplicado y posteriormente positivo sobre la concentración de fenoles y flavonoides totales, clorofila *a* y *b*, efecto positivo sobre la concentración de ácido linoléico y  $\alpha$ -linolénico, y efecto negativo sobre la concentración de vitamina C, ácido palmítico y esteárico, e inhibición del DPPH; 2) efecto negativo del P aplicado sobre la concentración de flavonoides totales y vitamina C; 3) efecto negativo del K aplicado sobre la concentración de fenoles y flavonoides totales y vitamina C, y efecto positivo sobre la concentración de  $\beta$ -caroteno; 4) efecto positivo de la fecha de cosecha sobre la concentración de flavonoides totales, ácido linoléico y  $\alpha$ -linolénico, e inhibición del DPPH, efecto positivo en interacción con N aplicado sobre la concentración de  $\beta$ -caroteno, y efecto negativo sobre la concentración de ácido palmítico y esteárico. La relación omega 6/omega 3 del follaje de la verdolaga es baja, lo cual favorece la correcta asimilación de estos ácidos grasos en el cuerpo humano. El IC<sub>50</sub> se obtiene con concentraciones bajas de verdolaga, lo cual refleja una alta capacidad antioxidante. Este estudio confirma que la verdolaga (incluida la variedad cultivada en Mixquic) es una buena fuente de compuestos nutraceuticos, lo cual puede contribuir en el desarrollo de compuestos con aplicaciones alimenticias y medicinales.

## LITERATURA CITADA

- Abdel, M. A. E., M. A. Dkhil and Al-Quraishy. 2013. The potential role of *Portulaca oleracea* as a neuroprotective agent in rotenone-induced neurotoxicity and apoptosis in the brain of rats. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 105: 203-212.
- Alam, Md. A., A. S. Juraimi, M. Y. Rafii, A. A. Hamid, F. Aslani, M. M. Hasan, *et al.* 2014. Evaluation of Antioxidant Compounds, Antioxidant Activities, and Mineral Composition of 13 Collected Purslane (*Portulaca oleracea* L.) Accessions. *BioMed Research International*. ID 296063 1-10.
- Alam, Md. A., A. S. Juraimi, M. Y. Rafii and A. A. Hamid. 2015. Effect of Salinity on Biomass Yield and Physiological and Stem-Root Anatomical Characteristics of Purslane (*Portulaca oleracea* L.) Accessions. *BioMed Research International*. ID 105695 1-15.
- Al-Gubory, K., Fowler P. A. and C. Carrel. 2010. The roles of cellular reactive oxygen species, oxidative stress and antioxidants in pregnancy outcomes. *The International Journal of Biochemistry and Cell Biology*. 42: 1634–1650.
- Ali, S. S., N. Kasoju, A. Luthra, A. Singh, H. Sharanabasava, A. Sahu, *et al.* 2008. Indian medicinal herbs as sources of antioxidants. *Food Research International*. 41(1): 1–15.
- Anastácio, A. and I. Carvalho S. 2013. Accumulation of fatty acids in purslane grown in hydroponic salt stress conditions. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 64 (2): 235-242.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis of AOAC.1 15th ed. Vol. II. Association of Official Analytical Chemist. Washington, D.C. USA. pp: 829-830.
- Biesiada, A., and A. Tomczak 2012. Biotic and Abiotic factors affecting the content of the chose antioxidant compounds in vegetables. *Vegetables crops research. Bolletin* 76.
- Brumfiel, E. M. 2009. El estudio de la clase común: el asentamiento de Xaltocan durante el Posclásico en la cuenca de México. *Cuiculco*. 47: 59-86.
- Cai-Xia, D., H. Kyoko, L. Jung-Bum and H. Toshimitsu 2010. Characterization of structures and antiviral effects of polysaccharides from *Portulaca oleracea* L. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*. 58 (4): 507-510.
- Cai, Y., Q. Luo, M. Sun and H. Corke. 2004. Antioxidant activity and phenolic compounds of 112 traditional Chinese medicinal plants associated with anticancer. *Life Sciences*. 74: 2157–2184.
- Carvalho, I. S., M. Teixeira and M. Brodelius 2009. Effect of salt stress on purslane and potential health benefits: oxalic acid and fatty acids profile. In *The proceedings of the International Plant Nutrition Colloquium XVI*, UC Davis.

- Chang-Quan, W. and Y. Gui-Qin 2010. Betacyanins from *Portulaca oleracea* L. ameliorate cognition deficits and attenuate oxidative damage induced by D-galactose in the brains of senescent mice. *Phytomedicine*. 17: 527-532.
- Chang, C., M. Yang, H. Wen and J. Chern. 2002. Estimation of total flavonoids content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal food and drug analysis*. 10: 176-182.
- Chan, K., M. W. Islam, M. Kamil, R. Radhakrishnan, M. N. M. Zakaria, M. Habibullah and A. Attas. 2000. The analgesic and anti-inflammatory effects of *Portulaca oleracea* L. subsp. *sativa* (Haw.) Celak. *Journal of Ethnopharmacology*. 73: 445–451.
- Cros, V, J. Martinez-Sanchez and J. Franco 2007a. Good yields of common purslane with a high fatty acid content can be obtained in a peat-based floating system. *Horttechnology*. 17: 14–20.
- Cros, V, J. Martinez-Sanchez, J. A. Fernandez, E. Conesa, J. Vicente M., J. Franco and S. Carreño. 2007b. Salinity Effects on Germination and Yield of Purslane (*Portulaca oleracea* L.) in a Hydroponic Floating System. *Acta Horticulturae*. 747: 571-578.
- Dag, A., E. Ben-David, Z. Kerem, A. Ben-Gal, R. Erel, L. Basheer, *et al.* 2009. Olive oil composition as a function of nitrogen, phosphorus and potassium plant nutrition. *Journal of the Science and Food Agricultural*. 89: 1871-1878.
- de Mello, A. J. M. and D. Fasolo 2014. Polyphenol Antioxidants from Natural Sources and Contribution to Health Promotion. *Polyphenols in Human Health and Disease*. Chapter 20: 253-265.
- Epstein E. and A.J. Bloom. 2005. *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*, second ed. Sinauer, Sunderland, MA.
- Erkan, N. 2012. Antioxidant activity and phenolic compounds of fractions from *Portulaca oleracea* L. *Food Chemistry*. 133: 775–781.
- Einbond, S. L., A. K. Reynertson, L. Xiao-Dong, J. M. Basile, and J. E. Kennelly. 2004. Anthocyanin antioxidants from edible fruits. *Food Chemistry*. 84: 23-28.
- Fernández-Escobar R., G. Beltrán, M. A. Sánchez-Zamora, J. García-Novelo, P. Aguilera M. and M. Uceda. 2006. Olive oil quality decreases with nitrogen over-fertilization. *HortScience*. 41: 215-219.
- Ferrari, C. K. and A. Torres E. 2003. Biochemical pharmacology of functional foods and prevention of chronic diseases of aging. *Biomed Pharmacother*. 57(5-6):251-60.
- Fontana, E., J. Hoeberechts, S. Nicola, V. Cros, G. Palmegiano and P. Peiretti. 2006. Nitrogen concentration and nitrate/ammonium ratio affect yield and change the oxalic acid concentration and fatty acid profile of purslane (*Portulaca oleracea* L.) grown in a soilless culture system. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 86: 2417–2424.

- Galieni, A., Di Mattita C., M. De Gregorio, S. Specca, D. Mastrocola, M. Pisante and F. Stegnari. 2015. Effects of nutrient deficiency and abiotic environmental stresses on yield, phenolic compounds and antiradical activity in lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Scientia Horticulturae*. 187: 93–101.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Gerber, M. 2009. Background review paper on total fat, fatty acid intake and cancers. *Annals of Nutrition Metabolism*. 55: 140–161.
- Gutiérrez, Z., R. Ledesma, G. García and C. Grajales. 2007. Total antioxidant capability of conventional and regional foods in Chiapas, Mexico. *Revisita Cubana de Salud Pública*. 33 (1): 1-7.
- Hawkesford, M., W. Horst, T. Kichey, H. Lambers, J. Schjoerring, M. I. Skrumsager and P. White. 2012. Function of macronutrients. p. 135-178. In Marschner, P. (ed.) *Marschner's mineral nutrition*. 3rd ed. Elsevier Ltd., Oxford, UK.
- Hongxing, Z., Y. Nancai, H. Guofu, S. Jianbo, W. Wu Yanxia, H. Hanju, L. Qian, M. Wei, Y. Yandong and H. Hao. 2007. Neuroprotective effects of purslanes herb aqueous extracts against D-galactose induced neurotoxicity. *Chemico- Biological Interction*. 170: 145-152.
- Li, F., Q. Li, D. Gao, Y. Peng and C. Feng. 2009. Preparation and antidiabetic activity of polysaccharide from *Portulaca oleracea* L. *African Journal of Biotechnology*, 8 (4): 569-573.
- Malek, F., M. H. Boskabady, M.T. Borushaki and M. Tohidi. 2004. Bronchodilatory effect of *Portulaca oleracea* in airways of asthmatic patients. *Journal of Ethnopharmacology*. 93: 57–62.
- El-Sayed, M.-I. K. 2011. Effects of *Portulaca oleracea* L. seeds in treatment of type-2 diabetes mellitus patients as adjunctive and alternative therapy. *Journal of Ethnopharmacology*. 137: 643-651.
- Larsson, S.C., M. Kumlin, M. Ingelman-Sundberg, A. Wolk. 2004. Dietary long-chain n-3 fatty acids for the prevention of cancer: a review of potential mechanisms. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 79: 935–945.
- Li, Y., Y. Hu, S. Shi and L. Jiang. 2014. Evaluation of antioxidant and immuno-enhancing activities of Purslane polysaccharides in gastric cancer rats. *International Journal of Biological Macromolecules*. 68: 113–116.
- Lim, Y. Y. and E. P. L. Quah. 2007. Antioxidant properties of different cultivars of *Portulaca oleracea*. *Food Chemistry*. 103: 734–740.

- Liu, L., P. Howe, Z. Ye-Fang, X. Zhi-Qiang, C. Hocart and R. Zhang. 2000. Fatty acids and  $\beta$ -carotene in Australian purslane (*Portulaca oleracea*) varieties. *Journal of Chromatography A*. 893: 207–213.
- McClung, de Tapia E., D. Martinez Y., E. Ibarra M. y C. C. Adriano M. 2013. Los orígenes prehispánicos de una tradición alimentaria en la Cuenca de México. *Anales de Antropología*. 48: 97-121.
- Mera-Ovando, L. M., R. Bye B. y M. Solano L. 2014. La verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) fuente vegetal de omega 3 y omega 6. *Agro-productividad*. 7:1, 3-7.
- Moon, J. K. and T. Shibamoto. 2009. Antioxidant Assays for Plant and Food Components. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57: 1655–1666.
- Myers, R. H. 1990. Classical and modern regression with applications. (Second ed.). PWS-KENT Publishing Company. Boston, MA, USA. 246p.
- Nagata, M. and I. Yamashita. 1992. Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaish*, 39 (10): 925–928.
- Naguib, A. E.-M. M., F. K. El-Baz, Z. A. Salama, H. A. E. B. Hanna, H. F. Ali and A. A. Gaafar 2012. Enhancement of phenolics, flavonoids and glucosinolates of Broccoli (*Brassica oleracea*, var. Italica) as antioxidants in response to organic and bio-organic fertilizers. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 11: 135–142.
- Oliveira, I., P. Valentão, Lopes R., B. Andrade P., Bento A. and A. Pereira J. 2009. Phytochemical characterization and radical scavenging activity of *Portulaca oleraceae* L. leaves and stems. *Microchemical Journal*. 92: 129–134.
- Páez, A., M. Páez P., E. González M., Vera A., Ringelberg D. y Tschaplinski. 2007. Crecimiento, carbohidratos solubles y ácidos grasos de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) sometida a tres niveles de radiación. *Revista de la Facultad de Agronomía LUZ*. 24: 642-660.
- Palaniswamy, U., R. Mcavoy and B. Bible. 2000. Omega-3-fatty acid concentration in *Portulaca oleracea* is altered by nitrogen source in hydroponic solution. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 125:190–194.
- Palaniswamy, U., R. Mcavoy and B. Bible. 2001. Stage of harvest and polyunsaturated essential fatty acid concentrations in purslane (*Portulaca oleraceae*) leaves. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49: 3490–3493.
- Rashed, A. N., F. U. Afifi and A. M. Disi. 2003. Simple evaluation of the wound healing activity of a crude extract of *Portulaca oleracea* L. (growing in Jordan) in *Mus musculus* JVI-1. *Journal of Ethnopharmacology*. 88: 131–136.
- Renaud, S. and A. Nordoy. 1983. Small is beautiful: alpha-linolenic acid and eicosapentanoic acids in man. *Lancet* I: 1169.

- Salama, Z. A., F. El Baz, A. A. Gaafar and M. F. Zaki. 2015. Antioxidant activities of phenolics, flavonoids and vitamin C in two cultivars of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) in responses to organic and bio-organic fertilizers. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 14: 91–99.
- Sapina, M., M. Cuccioloni, L. Sparapani, S. Accirarri, A. M. Eleuteri, E. Fioretti and M. Angeletti. 2008. Comparative evaluation of flavonoid content in assessing quality of wild and cultivated vegetables for human consumption. *Journal Science Food Agriculture*. 88: 294–304.
- Sharma, A., G. Kaithwas, M. Vijayakumar, M. K. Unnikrishnan and Ch. V. Rao. 2010. Antihyperglycemic and antioxidant potential of polysaccharide fraction from *Portulaca oleracea* seeds against streptozotocin-induced diabetes in rats. *Journal of Food Biochemistry*. 36: 378-382.
- Shen, H., G. Tang, G. Zeng, Y. Yang, X. Cai, D. Li, H. Liu and N. Zhou. Purification and characterization of an antitumor polysaccharide from *Portulaca oleracea* L. *Carbohydrate Polymers*. 93: 395-400.
- Siriamornpun S. and M. Suttajit. 2010. Microchemical Components and Antioxidant Activity of Different Morphological Parts of Thai Wild Purslane (*Portulaca oleracea*). *Weed Science Society of America*. 58 (3):182-188.
- Smolen´, S. and W. Sady 2009. The effect of various nitrogen fertilization and foliar nutrition regimes on the concentrations of sugars, carotenoids and phenolic compounds in carrot (*Daucus carota* L.). *Scientia Horticulturae*. 120: 315–324.
- Soil Survey Staff, 2010. Claves para la Taxonomía de Suelos, Ortiz-Solorio, C.A, Gutiérrez-Castorena, Ma del C., (Trads.). Undécima Edición. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, D.C.
- Stewart, A. J., W. Chapman, G. I. Jenkins, I. Graham, T. Martin, and A. Crozier. 2001. The effect of nitrogen and phosphorous deficiency on flavonol accumulation in plant tissues. *Plant, Cell and Environment*. 24: 1189–1197.
- Vázquez-Alonso, M. T., R. Bye, L. Lopez-Mata, Ma. T. P. Pulido-Salas, E. McGlung de Tapia and S. D. Koch. 2014. Etnobotánica de la cultura teotihuacana. *Botanical Science*. 92: 563-574.
- Verardo, V., Y. Riciputi, G. Sorrenti, P. Ornaghi, B. Marangoni and M. F. Caboni. 2013. Effect of nitrogen fertilisation rates on the content of fatty acids, sterols, tocopherols and phenolic compounds, and on the oxidative stability of walnuts. *LWT - Food Science and Technology*. 50: 732-738
- Volke, H. V. 2008. Estimación de funciones de respuesta para información de tipo no experimental, mediante regresión. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México, México. 113 p.

- Waterman, P. G. and S. Mole. 1994. Analysis of Phenolic Plant Metabolites. Methods in Ecology. Blackwell Scientific Publications. Oxford, UK. 238 p.
- Witzell, J., R. Gref and T. Nasholm 2003. Plant – part specific and temporal variation in phenolic compounds of boreal bilberry (*Vaccinium myrtillus*) plants. Biochemical Systematics and Ecology. 31: 115–127.
- Xu, X., L. Yu, and G. Chen. 2006. Determination of flavonoids in *Portulaca oleracea* L. by capillary electrophoresis with electrochemical detection. Journal Pharmaceutical and Biomedical Analysis. 41:493–499.
- Zhao, R., X. Gao, Y. Cai, X. Shao, G. Jia, Y. Huang, X. Qin, J. Wang and X. Zheng. 2013. Antitumor activity of *Portulaca oleracea* L. polysaccharides against cervical carcinoma in vitro and in vivo. Carbohydrate Polymers. 96: 376-383.
- Zhao, S. 2012. Analysis of fatty acid methyl esters by Agilent 5975 LTM GCMS. Application note. Agilent technologies (Shangai) Co., Ltd. Disponible en: <http://hpst.cz/sites/default/files/attachments/5991-1437en-analysis-fatty-acid-methyl-esters-agilent-5975-ltm-gc-ms.pdf> (acceso: 18/06/15).
- Zheljazkov, V. D., B. Vick, M. Wayne-Ebelhar, N. Buehring and T. Astatkie. 2012. Nitrogen applications modify seed and oil yields and fatty acid composition of winter mustard. Industrial Crops and Products. 36: 28-32.
- Zidan, Y., S. Bouderbala, F. Djellouli, M. A. Lacaille-Dubois and M. Bouchenak. 2014. *Portulaca oleracea* reduces triglyceridemia, cholesterolemia, and improves lecithin: cholesterol acyltransferase activity in rats fed enriched-cholesterol diet. Phytomedicine. 21: 1504–1508.