



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS PUEBLA

POSTGRADO EN ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

COMPUESTOS FENÓLICOS, MINERALES Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN TRES ESPECIES DE AMARANTO (*Amaranthus* sp.) PARA VERDURA

KARINA CANTÚ LÓPEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS

PUEBLA, PUEBLA

2020

La presente tesis, titulada: **Compuestos fenólicos, minerales y actividad antioxidante en tres especies de amaranto (*Amaranthus* sp.) para verdura**, realizada por la alumna: **Karina Cantú López**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 

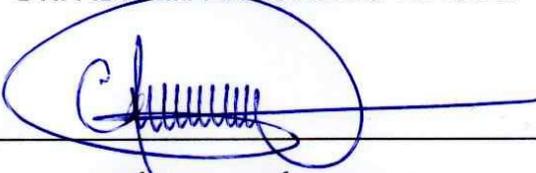
DR. ENRIQUE ORTIZ TORRES

ASESOR: 

DR. PEDRO ANTONIO LÓPEZ

ASESOR: 

DR. ADRIÁN ARGUMEDO MACÍAS

ASESOR: 

DR. JOSÉ LUIS CHÁVEZ SERVIA

Puebla, Puebla, México, junio del 2020

COMPUESTOS FENÓLICOS, MINERALES Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN TRES ESPECIES DE AMARANTO (*Amaranthus* sp.) PARA VERDURA

Karina Cantú López, MC.

Colegio de Postgraduados, 2020.

En México existe la cultura de consumo de amaranto como verdura. Sin embargo, las modificaciones en los hábitos de consumo y el abandono de la dieta tradicional, han ocasionado una baja en la ingesta de estas plantas. En un intento de revalorizar y exponer las propiedades nutricionales del amaranto, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el contenido de compuestos fenólicos, antioxidantes, micro y macronutrientes en 16 genotipos y tres especies de amaranto, a través de dos localidades y dos condiciones de fertilización. Para ello durante el ciclo primavera-verano 2018, se establecieron dos ensayos, uno en la localidad de Huaquechula, Puebla (el 8 de septiembre de 2018) y otro en Tepetitla, Tlaxcala (el 24 de agosto 2018). Se evaluaron 16 genotipos: 12 colectas y cuatro variedades mejoradas, de las especies *A. hybridus* L., *A. hypochondriacus* L. y *A. cruentus* L. Con y sin fertilización. En las parcelas evaluadas con fertilización se aplicó la fórmula 18-07-09 al momento de la siembra. Se registró la precipitación pluvial y las temperaturas máximas y mínimas durante el desarrollo del cultivo. Las plantas se cosecharon a los 40 días después de la siembra, se separaron las hojas y los tallos, para después ser secados y almacenados hasta el momento de su análisis. La cuantificación de minerales se realizó mediante espectrometría de emisión óptica. Para determinar el contenido de flavonoides y fenoles se siguió la metodología descrita por Lin y Tang (2007) y Singleton y Rossi (1965), respectivamente. La actividad antioxidante se determinó mediante los métodos DPPH (Brand-Williams *et al.*, 1995) y FRAP (Benzie y Strain, 1996). Los resultados mostraron que el ambiente donde se desarrolló el cultivo fue determinante en las concentraciones de minerales y compuestos bioactivos. Se observó que los elementos Ca, Ba, Cu, Mn, Sr, Al, Fe y Ti fueron influenciados positivamente por la fertilización, al igual que el contenido de flavonoides, fenoles y la actividad antioxidante. Los genotipos AV17 (*A. hybridus*) y CP39 (*A. cruentus*), mostraron altos contenidos de minerales y mayor capacidad antioxidante, características que son deseables en los alimentos y que los colocan como una buena opción para la alimentación humana.

Palabras claves: *A. hybridus* L, *A. hypochondriacus* L, *A. cruentus* L, flavonoides, fenoles.

**PHENOLIC COMPOSITES, MINERALS AND ANTIOXIDANT ACTIVITY IN
THREE SPECIES OF AMARANTH (*Amaranthus sp.*) FOR VEGETABLE**

Karina Cantú López, MC.

Colegio de Postgraduados, 2020.

In México there is a culture of consumption of amaranth as a vegetable. However, changes in consumption habits and the abandonment of the traditional diet, have caused a decline in the intake of these plants. In an attempt to revalue and expose the nutritional properties of amaranth, this research aimed to evaluate the content of phenolic compounds, antioxidants, micro and macronutrients in 16 genotypes and three species of amaranth, through two locations and two fertilization conditions. For this purpose, during the spring-summer 2018 cycle, two trials were established, one in the town of Huaquechula, Puebla (September 8, 2018) and another in Tepetitla, Tlaxcala (August 24, 2018). Sixteen genotypes were evaluated: 12 collections and four improved varieties of the species *A. hybridus* L., *A. hypochondriacus* L. and *A. cruentus* L. The formula 18-07-09 was applied at the time of sowing in the evaluated plots with fertilization. Rainfall and maximum and minimum temperatures were recorded throughout the development of the crop. The plants were harvested 40 days after sowing, the leaves and stems were separated, and then dried and stored until the time of analysis. The quantification of minerals was done by optical emission spectrometry. To determine the content of flavonoids and phenols, the methodology described by Ling and Tang (2007) and Singleton and Rossi (1965), respectively, was followed. Antioxidant activity was determined by DPPH (Brand-Williams et al., 1995) and FRAP (Benzie and Strain, 1996) methods. The results showed that the environment where the crop was developed was determinant in the concentrations of minerals and bioactive compounds. It was observed that the elements Ca, Ba, Cu, Mn, Sr, Al, Fe and Ti were positively influenced by fertilization, as well as the content of flavonoids, phenols and antioxidant activity. The genotypes, AV17 (*A. hybridus*) and CP39 (*A. cruentus*), showed high contents of minerals and higher antioxidant capacity, characteristics that are desirable in foods and that place them as a good option for human nutrition.

Key words: *A. hybridus* L., *A. hypochondriacus* L., *A. cruentus* L., flavonoids, phenols.

AGRADECIMIENTOS

Al **Colegio de Postgraduados** Campus **Puebla**, por la oportunidad brindada para continuar mi formación académica.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**, por el apoyo económico otorgado para la realización de mis estudios.

A los doctores **Enrique Ortiz Torres** y **José Luis Chávez Servia**, por su dirección y asesoramiento durante todo el desarrollo de esta investigación, por el apoyo en campo, laboratorio y en la obtención de recursos, así como por sus valiosas aportaciones. MUCHAS GRACIAS.

A los doctores **Pedro Antonio López**, **Higinio López Sánchez** y **Abel Gil Muñoz**, por el conocimiento y las experiencias compartidas, cursar un posgrado es complicado, pero tener docentes como ustedes fue un honor. MUCHAS GRACIAS.

A los doctores **Adrián Argumedo** y **Araceli Vera**, por su apoyo y sus aportes en la realización de este trabajo de investigación.

A la **Ing. Rocío Meza Varela** y **familia**, por el apoyo brindado durante la fase de campo y por brindarme su valiosa amistad.

A la **M.C. Mónica Lilian Pérez** y **M.C. Yatzil Denih Díaz**, por abrirme las puertas de su hogar durante mi estancia, por su amistad, su apoyo y consejos. Gracias.

Con especial agradecimiento a la **M.C. Lourdes Mateos** y el **Biol. Ciro Rodríguez**, por todo su apoyo durante la fase del laboratorio, a su lado el trabajo se volvió más ameno y el tiempo pasaba más rápido, pero sobre todo gracias por su amistad.

A las **M.C. Nayeli Carreón, Yajaira Díaz, Gabrielle Fascinetto, Ana García, Jazmín Fortoul**, los **M.C. Sergio Pichón (Q.E.P.D.)** y **Juan Antonio Martínez**, las **Ing. Zayra Pérez** y **Blanca Bustos**, la Lic. **Isabel Lazcano** y al Ing. **Hugo Bautista**, por compartir parte de este trayecto conmigo, porque de cada uno de ustedes he aprendido cosas valiosas y han impactado de manera positiva en mi vida.

Con profundo agradecimiento a la **M.C. Ada María Ríos Cortes**, por su invaluable amistad, por todo su apoyo y consejos, por creer en mí y siempre motivarme a continuar, de corazón muchas gracias futura doctora.

Con profundo agradecimiento a **Haide Cortez** por su amistad durante todos estos años, por su apoyo incondicional y por siempre motivarme a no rendirme, por siempre estar a mi lado. Muchas gracias.

A mis amigos: **M.C. Patricia Acevedo, M.C. Nefalí Cansino** e **Ing. Rocío Perea**, por brindarme su apoyo durante las etapas más difíciles en este camino, por siempre motivarme a no rendirme y creer en mí. Muchas gracias.

DEDICATORIAS

A Dios, por permitirme llegar a esta etapa de mi vida y lograr este sueño.

*De manera muy especial y con todo mi amor a mi pequeña hija **Karla Elais Cantú**, mi pequeña maestra, mi fortaleza, por quien cada día busco ser una mejor persona y una mejor madre. Te amo.*

*Con cariño a mi hermana **Gilda Cantú López**, quien me ha enseñado que la voz que debemos escuchar principalmente es la nuestra, que siempre hay alguien que nos apoya, que nunca estamos solos, gracias por siempre darme ánimos, por mostrarme lo que es la perseverancia y la valentía. Te quiero mucho.*

*Con profundo cariño a mis padres **Adelina y Gildardo**, mis hermanos **Consuelo, Emmanuel, Luis, Christian y Susana**, y a mis sobrinos **Jahaziel, Franco y Darah**, porque sin su apoyo lograr esta meta hubiera sido más difícil. Muchas gracias.*

CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE CUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xii
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVOS.....	4
1.2 REFERENCIAS.....	5
CAPITULO II. METODOLOGÍA GENERAL.....	9
2.1 REFERENCIAS.....	11
CAPITULO III. CONTENIDO MINERAL EN HOJAS Y TALLOS DE <i>Amaranthus hybridus</i> L., <i>A. hypochondriacus</i> L. Y <i>A. cruentus</i> L.....	13
RESUMEN.....	13
SUMMARY.....	14
3.1 INTRODUCCIÓN.....	15
3.2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
3.2.1 Ambientes de prueba.....	17
3.2.2 Material genético.....	17
3.2.3 Diseño y unidad experimental.....	17
3.2.4 Manejo agronómico.....	18
3.2.5 Manejo postcosecha.....	18
3.2.6 Determinación de minerales.....	19
3.2.7 Análisis estadísticos.....	19
3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
3.4 CONCLUSIONES.....	34
3.5 REFERENCIAS.....	34
CAPITULO IV. COMPUESTOS FENÓLICOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN HOJAS Y TALLOS DE <i>Amaranthus</i> <i>hybridus</i> L., <i>A. hypochondriacus</i> L. Y <i>A. cruentus</i> L.....	38
RESUMEN.....	38
SUMMARY.....	39

4.1 INTRODUCCIÓN.....	40
4.2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	42
4.2.1 Material genético.....	42
4.2.2 Diseño y manejo de experimentos.....	42
4.2.3 Preparación de muestras para análisis.....	44
4.2.4 Evaluación de flavonoides, polifenoles y actividad antioxidante (DPPH y FRAP).....	44
4.2.5 Análisis estadísticos.....	45
4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45
4.4 CONCLUSIONES.....	53
4.5 REFERENCIAS.....	53
CAPITULO V. DISCUSIÓN GENERAL.....	59
5.1 REFERENCIAS.....	63
CAPITULO VI. PROPUESTA GENERAL DE ESTRATEGIA PARA IMPULSAR EL CULTIVO Y CONSUMO DE VARIEDADES Y ESPECIES MEJORADAS DE AMARANTO COMO VERDURA (AV).....	65
6.1 Referencias.....	70
CAPITULO VII. CONCLUSIONES GENERALES.....	71
ANEXO I. Curva de calibración para flavonoides.....	72
ANEXO II. Curva de calibración para polifenoles.....	72
ANEXO III. Curva de calibración para actividad antioxidante DPPH.....	73
ANEXO IV. Curva de calibración para actividad antioxidante FRAP.....	73

LISTA DE CUADROS

		Pág
Capítulo III		·
Cuadro 3.1	Descripción de la textura y fertilidad del suelo en los dos sitios experimentales.....	18
Cuadro 3.2	Significancia de cuadrados medios del contenido de micro minerales en hojas y tallos jóvenes de amaranto, cultivadas en Tlaxcala y Puebla.....	20
Cuadro 3.3	Significancia de cuadrados medios del contenido de macro minerales en hojas y tallos jóvenes de amaranto, cultivadas en Tlaxcala y Puebla.....	21
Cuadro 3.4	Contenido promedio de micro y macro minerales en hojas y tallos jóvenes de amaranto, cultivadas en Tlaxcala y Puebla, con y sin fertilización.....	22
Cuadro 3.5	Contenido promedio de micro minerales en hojas y tallos jóvenes de genotipos y especies de amaranto cultivadas en Tlaxcala y Puebla, México.....	23
Cuadro 3.6	Contenido promedio de macro minerales en hojas y tallos jóvenes de genotipos y especies de amaranto cultivadas en Tlaxcala y Puebla, México.....	24
Cuadro 3.7	Interacción de localidades, fertilización y genotipos de tres especies de amaranto, en relación al contenido de macro minerales en hojas y tallos jóvenes.....	31
Cuadro 3.8	Interacción de localidades, fertilización y genotipos de tres especies de amaranto, en relación al contenido de micro minerales en hojas y tallos jóvenes.....	32
Capítulo IV		
Cuadro 4.1	Descripción de la textura y fertilidad del suelo en los dos sitios experimentales.....	43

Cuadro 4.2	Significancia de cuadrados medios del análisis de varianza de flavonoides, polifenoles y actividad antioxidante en hojas y tallos jóvenes de genotipos de amaranto.....	46
Cuadro 4.3	Efecto de localidad de siembra, fertilización y de la interacción localidad por fertilización, en contenido de flavonoides, polifenoles y antioxidantes de amaranto.....	47
Cuadro 4.4	Contenido de flavonoides, polifenoles y actividad antioxidantes en hojas y tallos jóvenes de <i>A. hybridus</i> L., <i>A. hypochondriacus</i> L. y <i>A. cruentus</i> L.....	49
Cuadro 4.5	Interacción de localidades de cultivo, fertilización y genotipos de tres especies de amaranto, en relación al contenido de flavonoides, polifenoles y actividad antioxidante en hojas y tallos jóvenes.....	52

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO III		Pág.
Figura 3.1	Temperaturas máximas y mínimas (°C) y precipitación pluvial (mm) en los municipios de Huaquechula, Puebla y Tepetitla, Tlaxcala.....	17
Figura 3.2	Dispersión de especies y genotipos de amaranto, en función del contenido de minerales en hojas y tallos, en dos localidades de evaluación.....	26
Figura 3.3	Dispersión de especies y genotipos de amaranto, en función del contenido de minerales en hojas y tallos, en dos condiciones de fertilización.....	28
CAPITULO IV		
Figura 4.1	Temperaturas máximas y mínimas (°C) y precipitación pluvial (mm) en los municipios de Huaquechula, Puebla y Tepetitla, Tlaxcala.....	43
Figura 4.2	Dispersión de especies y genotipos de amaranto en función de la interacción localidades por genotipos y especies respecto al contenido de flavonoides, polifenoles y actividad antioxidante en hojas y tallos jóvenes.....	50
Figura 4.3	Dispersión de especies y genotipos de amaranto en función de la interacción fertilización por genotipos y especies en compuestos bioactivos y actividad antioxidante en hojas y tallos jóvenes.....	51
CAPÍTULO VI		
Figura 6.1	Esquema de la unidad de significación.....	68
Figura 6.2	Esquema general para el impulso a la producción y el fomento de amaranto para verdura (AV).....	70

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El amaranto fue un cultivo de gran importancia para las antiguas civilizaciones Mesoamericanas y se estima que se ha cultivado desde hace 5,000 a 7,000 años. Alrededor de 70 especies conforman el género *Amaranthus*, de las cuales 40 son nativas de América, el resto se originaron en Europa, Australia, Asia y África (Costea *et al.*, 2001). En México existen por lo menos 11 especies de amaranto, las cuales se encuentran ampliamente distribuidas y son utilizadas por la población: *A. cruentus*, *A. hybridus*, *A. hypochondriacus*, *A. powelli*, *A. tricolor*, *A. blitum*, *A. virides*, *A. retroflexus*, *A. palmeri*, *A. dubius* y *A. spinosus* (Espitia-Rangel *et al.*, 2010; Das, 2012; Mapes y Basurto, 2016; Ruiz-Hernández *et al.*, 2018).

Algunos de los usos que se han reportado para el cultivo de amaranto son para producción de grano, verdura, forraje, colorantes y como planta ornamental (Brenner *et al.*, 2000; Espitia *et al.*, 2010; Morales *et al.*, 2014). Sin embargo, la producción de grano es el uso principal al que se destina este cultivo. Tan solo en el año 2018 a nivel nacional se sembraron 3,555 ha de amaranto para este fin, principalmente en los estados de Puebla, Tlaxcala, México, Ciudad de México, Oaxaca y Morelos (SIAP, 2019). Para la producción de grano se utilizan dos especies *A. cruentus* y *A. hypochondriacus*.

Por otra parte, en México también existe la cultura de consumo de amaranto como verdura, donde se utilizan las plantas jóvenes (principalmente las hojas), las cuales son conocidas como quintoniles (Mapes *et al.*, 2012). Si bien no existen estadísticas que reporten la producción de amaranto como verdura, se sabe que, en algunas poblaciones de la Sierra Norte de Puebla, los quelites (plantas consumidas en estado joven) representan entre el 18 y 38 % de las plantas comestibles (Basurto-Peña *et al.*, 1998) y, en algunos mercados del estado de Oaxaca se ha logrado identificar la presencia de 22 especies de quelites (Manzanero-Medina *et al.*, 2020). En México, las principales especies silvestres usadas como verdura son: *A. hybridus* L., *A. retroflexus* L., *A. palmeri* S., *A. powellii* S. Watz., *A. dubius* y *A. spinosus* L. (Mapes *et al.*, 2012). Las hojas de amaranto destacan por tener alta calidad y cantidad de proteínas, fibra, minerales, aminoácidos, vitaminas y antioxidantes (Morales *et al.*, 2014; Das, 2016; McClung, 2016, Nana *et al.*, 2012). Además poseen funciones terapéuticas como antipirético (Bagepalli *et al.*, 2011), anticancerígeno (Joshua *et al.*, 2010; Arul-Albert *et al.*, 2012), antidiabéticos e hipolipidémico (Girija *et al.*, 2011), antiinflamatorio y contra el dolor nociceptivo (Bihani *et al.*, 2013).

Se ha reportado que las hojas de amaranto son una buena fuente de minerales como el hierro, cobre, calcio, magnesio, potasio y fósforo (Das, 2016). Los minerales son sustancias inorgánicas, necesarias en la regulación y mantenimiento de muchas funciones en el organismo. En el cuerpo humano se han identificado como minerales activos al calcio, zinc, cobalto, cobre, cromo, flúor, fósforo, hierro, iodo, magnesio, manganeso, molibdeno, potasio, selenio y sodio. La importancia de los minerales radica en que estos trabajan en conjunto con las vitaminas; es decir, si existe una deficiencia de minerales las vitaminas no pueden asimilarse ni ejercen sus funciones fisiológicas. Por otra parte, a diferencia de las vitaminas, algunas de las cuales pueden ser sintetizadas por el cuerpo humano, éste es incapaz de fabricar algún mineral (Illera *et al.*, 2000), por lo que es importante que en la ingesta diaria se incluyan alimentos que aporten estos elementos al organismo. Otras funciones de los minerales están relacionadas con el desarrollo óseo; el metabolismo de los aminoácidos, lípidos y carbohidratos; además de ser necesarios para el desarrollo de tejido conectivo y cubiertas nerviosas o participar en la actividad enzimática (Fraga, 2005).

Además de aportar minerales, se ha demostrado que las hojas de amaranto contienen antioxidantes como los compuestos fenólicos y flavonoides (Santiago-Sáenz *et al.*, 2018; Nana *et al.*, 2012; Khanam y Oba, 2013). Los antioxidantes son sustancias que tienen la capacidad de neutralizar los radicales libres (Avello y Suwalsky, 2006). El exceso de radicales libres en un organismo se ha asociado a diversas enfermedades degenerativas como cáncer, infecciones crónicas, inflamación, enfermedades cardiovasculares, afectaciones al sistema inmunitario, cataratas, párkinson, etc. (Montero, 1996). Aunque los antioxidantes se encuentran en diversos alimentos, las frutas y las verduras representan la principal fuente de estos compuestos, por lo que una ingesta adecuada de estos alimentos podría prevenir los daños ocasionados por los radicales libres (Delgado *et al.*, 2010).

En adición al aporte nutricional que este cultivo puede ofrecer en la alimentación humana, el amaranto consumido como verdura tiene la característica de que se puede producir durante todo el año; es un cultivo resistente a factores adversos como altas temperaturas y sequía, además de que sus requerimientos de agua son bajos; por otra parte, la venta de amaranto para verdura es una actividad que complementa la economía de las familias campesinas y su consumo proporciona diversidad a la gastronomía de la población (Barrales *et al.*, 2010; Manzanero-Medina *et al.*, 2020).

Todas estas características en el amaranto resultan relevantes si tomamos en cuenta que México y muchos países de bajos y medios ingresos enfrentan una doble carga de morbilidad; es decir, por una parte, existen problemas de enfermedades infecciosas y desnutrición y por el otro lado se experimenta un aumento en las enfermedades no trasmisibles como el sobrepeso y la obesidad (OMS, 2018). Entre algunos problemas de salud pública que no se han erradicado en la población mexicana, está la anemia, la cual tiene una mayor presencia en las mujeres embarazadas y los niños menores de 5 años (Bailey *et al*, 2015) y que para el año 2016 se reportó un aumento de 6.7 puntos porcentuales con respecto al año 2012. Cabe mencionar que los problemas en la alimentación se han visto intensificados por factores como el cambio tecnológico, la pérdida del conocimiento tradicional, la gran disponibilidad de nuevos productos, las modificaciones en los hábitos de consumo, así como el abandono de la dieta tradicional (De la Mora, 2013; Díaz-José *et al.*, 2019). Antes del año 1910, la dieta tradicional mexicana se conformaba de cultivos como el maíz, frijol, chile, jitomate, quelite, calabaza, amaranto, nopal, chíá, aguacate y cacao, sin embargo, a partir de esa fecha la dieta de la población mexicana se ha venido modificando (Román *et al.*, 2013). Ejemplos de estos cambios en los patrones de consumo en la población mexicana se muestran en los resultados de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018, donde se reporta que sólo el 20.2 % de la población infantil (de 1 a 4 años) y el 44.9 % de la población adulta, consumía verduras de manera cotidiana; sin embargo, el 85.12 % de la población consume diariamente bebidas no lácteas endulzadas y un 54.3 % de la población consume algún tipo de botanas, dulces o postre (INEGI-INSP, 2018). Por estas razones, se hace necesario analizar los patrones de consumo y hacer una revalorización de la dieta tradicional mexicana, lo que implica tener información actualizada de los compuestos nutricionales y nutracéuticos que aportan este tipo de cultivos (Gálvez-Mariscal y Peña-Montes, 2015) y que pudieran tener un impacto benéfico en la salud de la población en México.

Si bien el interés por conocer y aprovechar las propiedades del amaranto como verdura se han visto incrementadas durante los últimos años, aún falta mucho por investigar sobre la diversidad genética y cualidades nutricionales de las diferentes especies y poblaciones de amaranto que se encuentran en México, por lo que en el presente trabajo se planteó como objetivo revalorizar el potencial nutricional de amaranto para verdura, determinando el contenido de minerales, compuestos fenólicos y actividad antioxidante de 16 genotipos pertenecientes a tres especies de amaranto, para que con base en estos resultados se pueda hacer una mejor descripción y uso de

la diversidad con la que se cuenta en amaranto y el potencial nutricional que este cultivo puede ofrecer.

1.2 OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el contenido de compuestos fenólicos, antioxidantes, micro y macronutrientes minerales en 16 genotipos de tres especies de amaranto, a través de dos localidades y dos condiciones de fertilización.

Objetivos específicos

Evaluar la variación entre y dentro, de tres especies de amaranto en función de contenido de macro y micronutrientes minerales en hojas y tallos jóvenes, evaluadas en dos localidades de siembra con y sin uso de fertilizantes.

Evaluar la variación entre y dentro de tres especies de amaranto por efecto de localidad de siembra con y sin uso de fertilizantes, mediante determinaciones del contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante en hojas y tallos jóvenes.

1.3 REFERENCIAS

- Arul-Albert B., Khalid-S., Al., N. Mohammed-A., Alsaif and S. Ignacimuthu (2012)** In vitro antioxidant and antiproliferative potential of medicinal plants used in traditional Indian medicine to treat cancer. *Redox Report* 17: 145-156, DOI: 10.1179/1351000212Y.0000000017
- Avello M y M. Suwalsky (2006)** Radicales libres, antioxidantes naturales y mecanismos de protección. *Atenea* 494: 161-172, <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-04622006000200010>
- Bagepalli S. A. K., L. Kuruba and N.K. Jayaveera (2011)** Comparative antipyretic activity of methanolic extracts of some species of *Amaranthus*. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine* 1: S47-S50. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(11\)60121-4](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(11)60121-4)
- Bailey L. R., K. P. West Jr and R. E. Black (2015)** The epidemiology of global micronutrient deficiencies. *Annals of nutrition & metabolism* 66: 22-33. <https://doi.org/10.1159/000371618>
- Barrales D. J. S., E. Barrales B y E. Barrales B (2010)** Amaranato: recomendaciones para su producción. Plaza y Valdés. D. F. México. 166 p.
- Basurto-Peña F., Martínez-Alfaro MA y Villalobos-Contreras G (1998)** Los Quelites de la Sierra Norte de Puebla, México: Inventario y formas de preparación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 62: 49-62.
- Bihani G. V., S.L. Bodhankar., P. P. Kadam and G. N. Zambare (2013)** Anti-nociceptive and anti-inflammatory activity of hydroalcoholic extract of leaves of *Amaranthus tricolor* L. *Der Pharmacia Lettre* 5: 48-55.
- Brenner D. M., D. D. Baltensperger, P. A. Kulakow, J. W. Lehmann, R. L. Myers, M. M. Slabbert and B. B. Sleugh (2000)** Genetic resources and breeding of *Amaranthus*. *Plant Breeding Reviews* 19: 227-285
- Costea, M., A. Sanders and G. Waines (2001)** Preliminary results toward a revision of the *Amaranthus hybridus* species complex (*Amaranthaceae*). *SIDA, Contributions to Botany* 19: 931-974.
- Das S (2012)** Domestication, phylogeny and taxonomic delimitation in underutilized grain *Amaranthus* (*Amaranthaceae*) – a status review. *Feddes Repertorium* 123: 273-282. <https://doi.org/10.1002/fedr.201200017>.

- Das S (2016)** *Amaranthus*: A promising crop of future. Springer Nature, Singapore. 208 p.
- De la Mora G. J (2013)** La alimentación en México: Producción, abasto y nutrición. Problemas de desarrollo. *Revista Latinoamericana de Economía* 17: 9-24, DOI: <https://doi.org/10.22201/iiiec.20078951e.1986.64/65.35602>
- Delgado O. L., G. Betanzos C y M. T. Sumaya M (2010)** Importancia de los antioxidantes dietarios en la disminución del estrés oxidativo. *Investigación y ciencia* 18: 10-15. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67415744003>
- Díaz-José J., F. Guevara-Hernández, V. Morales-Ríos and J. L. López-Ayala (2019)** Traditional knowledge of edible wild plants used by indigenous communities in Zongolica, Mexico. *Ecology of Food and Nutrition* 58: 511-526. DOI: 10.1080/03670244.2019.16043.
- Espitia R. E., C. Mapes S., D. Escobedo L., M. De la O O., P. Rivas V., G. Martínez T., L. Cortés E., y J. M. Hernández C (2010)**. Conservación y uso de los recursos genéticos de Amarantho en México. INIFAP, Centro de investigación Regional Centro, Celaya, Guanajuato, México, 200 p.
- Espitia-Rangel E., E. C. Mapes-Sánchez, C. A. Núñez-Colín y D. Escobedo-López (2010)** Distribución geográfica de las especies cultivadas de *Amaranthus* y de sus parientes silvestres en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1(3):427-437.
- Fraga G. C (2005)** Relevance, essentiality and toxicity of trace elements in human health. *Molecular aspects of medicine* 26: 235-244. DOI:10.1016/j.mam.2005.07.013
- Gálvez-Mariscal A. y C. Peña-Montes (2015)** Revaloración de la dieta tradicional mexicana: una visión interdisciplinaria. *Revista Digital Universitaria-UNAM* 16(5):1-17. <http://www.revista.unam.mx/vol.16/num5/art33>.
- Girija K., K. Lakshman., C. Udaya., G. S. Sachi and T. Divya (2011)** Anti-diabetic and anti-cholesterolemic activity of methanol extracts of three species of *Amaranthus*. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine* 1(2): 133-138. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(11\)60011-7](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(11)60011-7)
- Illera M. M., J. I. Martín y J. C. I. Del Portal (2000)** Vitaminas y minerales. Editorial Complutense. España. 233 p.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)-Instituto Nacional de Salud Pública (INSP) (2018)** Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018, Presentación de resultados.

https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2018/doctos/informes/ensanut_2018_presentacion_resultados.pdf

- Joshua L.S., V. C. Pal., K. L. S. Kumar., R. K. Sahu and A. Roy (2010)** Antitumor activity of the ethanol extract of *Amaranthus spinosus* leaves against EAC bearing swiss albino mice. *Der Pharmacia Lettre* 2 (2): 10-15.
- Khanam, U. K. S and S. Oba (2013)** Bioactive substances in leaves of two amaranth species, *Amaranthus tricolor* and *A. hypochondriacus*. *Canadian journal of plant science* 93(1): 47-58.
- Manzanero-Medina G. I., M. A. Vásquez-Dávila, H. Lustre-Sánchez and A. Pérez-Herrera (2020)** Ethnobotany of food plants (quelites) sold in two traditional markets of Oaxaca, Mexico. *South African Journal of Botany* 130: 215-223. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.01.002>.
- Mapes C. and F. Basurto (2016)** Biodiversity and edible plants of Mexico. *In: Ethnobotany of Mexico, Interactions of People and Plants. In: Mesoamerica*, R. Lira, A. Casas and J. Blancas (Eds.), *Springer Science-Business Media*, New York, USA. pp:83-131.
- Mapes S. C., A. Díaz O. y J. Blancas (2012)** Caracterización de germoplasma de amaranto (*Amaranthus spp.*) para verdura. *In: Amaranto: Ciencia y Tecnología*. E. Espita Rangel (Ed.) INIFAP. Libro científico No 2. Celaya, Guanajuato, México. pp: 183-201.
- McClung D. E. (2016)** El amaranto desde el punto de vista arqueológico. *Arqueología Mexicana* 23 (138): 22-25.
- Montero M (1996)** Los radicales libre y las defensas antioxidantes. Revisión. *Anales de la facultad de medicina*. 57: 278-281.
- Morales G. J. C., N. Vázquez M y R. Bressani C (2014)** El amaranto: características y aporte nutricional. Segunda edición. Trillas. D.F. México. 280 p.
- Nana F. W., A. Hilou, J. F. Millogo y O. G. Nacoulma (2012)** Phytochemical composition, antioxidant and xanthine oxidase inhibitory activities of *Amaranthus cruentus* L. and *Amaranthus hybridus* L. extracts. *Pharmaceuticals* 5(6):613-628. <https://doi.org/10.3390/ph5060613>.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2018)** Obesidad y sobrepeso. Organización Mundial de la Salud. Washington, Estados Unidos de América. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight> (Mayo, 2019).

- Román S., C. Ojeda-Granados y A. Panduro (2013)** Genética y evolución de la alimentación de la población en México. *Revista de endocrinología y nutrición* 21: 42-51. DOI: <http://www.medigraphic.com/endocrinologia>
- Ruiz-Hernández V. C., J.P. Legarías-Solano, J. Sahagún-Castellanos y M. de la O-Olan (2018)** Variabilidad genética en algunas especies cultivadas y silvestres de amaranto. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9(2):405-416.
- Santiago-Sáenz Y. O., Hernández-Fuentes, A. D., Monroy-Torres, R., Cariño-Cortés, R., & Jiménez-Alvarado, R (2018)**. Physicochemical, nutritional and antioxidant characterization of three vegetables (*Amaranthus hybridus* L., *Chenopodium berlandieri* L., *Portulaca oleracea* L.) as potential sources of phytochemicals and bioactive compounds. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(4), 2855-2864. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9900-7>
- Sistemas de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2019)** Anuario Estadístico de producción Agrícola en México 2018. Sistemas de Información Agroalimentaria y Pesquera, SAGARPA, Ciudad de México, México. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119> (consultado: enero 20, 2019).

CAPITULO II. METODOLOGÍA GENERAL

El estudio se realizó en tres fases. La primera fue la siembra y cosecha en campo de los genotipos de amaranto. La segunda fue la determinación de minerales en laboratorio y la etapa final la medición del contenido de polifenoles, flavonoides y actividad antioxidante.

Ensayos en campo

En la presente investigación se establecieron dos ensayos en campo durante el ciclo primavera-verano 2018. Uno en el municipio de Huaquechula, Puebla (18° 45' 58.3" LN, 98°33' 25.14" LO y 1577 msnm) y otro en Tepetitla, Tlaxcala (19°16'31.31" LN, 98° 23' 20.07" LO y 2228 msnm). Antes de la siembra se tomaron muestras del suelo para su análisis general y durante el desarrollo del cultivo se monitorearon la precipitación pluvial y las temperaturas máximas y mínimas.

Se evaluaron 16 genotipos, de los cuales 12 fueron colectas y cuatro variedades mejoradas. Este grupo pertenece a las especies *A. cruentus*, *A. hypochondriacus* y *A. hybridus* y a continuación se acotan. Las colectas se obtuvieron de tres sitios. Los genotipos AV25, AV28, AV7, AV3 (*A. hypochondriacus*) AV17, AV8, AV29 y AV19 (*A. hybridus*) son originarias de Zapotitlán de Méndez, Puebla, los genotipos CP38, CP39, CP15 (*A. cruentus*) y CP30 (*A. hypochondriacus*), son poblaciones originarias de Tochimilco, Puebla y Huazulco, Morelos. Las variedades mejoradas Areli, Laura, Nutrisol (*A. hypochondriacus*) y Benito (*A. cruentus*) fueron utilizadas como testigos. También se evaluó dos niveles de fertilización, con y sin fertilizante. Los genotipos se establecieron en campo mediante un diseño látice 4x4, con dos repeticiones por localidad y una repetición por nivel de fertilización. La parcela experimental constó de dos surcos de cinco m de largo y 0.80 m de ancho. Se utilizaron cuatro y seis g de semilla por parcela (seis en algunos genotipos para asegurar la emergencia debida a posible pérdida de vigor por la edad de la semilla). El día 24 de agosto de 2018 se realizó la siembra en el municipio de Tepetitla, Tlaxcala y en el municipio de Huaquechula, Puebla, el 8 de septiembre del mismo año. Al momento de la siembra se aplicó la fórmula 18-07-09 en las parcelas evaluadas con fertilización, utilizando urea, fosfato diamónico y cloruro de potasio como fuentes de fertilización. El control de malezas se realizó de manera mecánica y manual. En los bordos de contorno se aplicó cipermetrina para el control de chapulín. La cosecha de las plantas se realizó

a los 40 días después de la siembra. La cosecha consistió en el corte de la planta a un centímetro del suelo.

Una vez cosechadas las plantas se separaron las hojas y los tallos y se dejaron secar a la sombra durante 15 días. Después de esto se realizó un secado en estufa de aire forzado durante 48 horas, a una temperatura de 48 °C. Una vez secas las muestras fueron colocadas en frascos de plástico, manteniéndose en un lugar seco y aislado de la luz hasta el momento de su análisis.

Estudios de laboratorio

Las determinaciones se realizaron en los laboratorios del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) ubicado en el estado de Oaxaca, durante los meses de febrero-abril del 2019.

En laboratorio se tomaron 100 g de cada muestra las cuales fueron cortadas para reducir el tamaño de la partícula y posteriormente ser pulverizadas con un molino para café (Krupps®, modelo GX4100, México). Las muestras pulverizadas fueron colocadas en frascos ámbar de plástico, selladas con papel parafilm y conservadas en congelación hasta su análisis. Para la determinación del contenido de minerales se tomó del material ya preparado una muestra de 2 g por triplicado, mismas que se llevaron a peso constante a 100 °C, para después ser incineradas a 570 °C en mufla y llevadas a peso constante. A las cenizas obtenidas se les adicionaron 3 mL de ácido clorhídrico concentrado, posteriormente se aforó a 50 mL con agua desionizada y se filtró con papel filtro de poro fino. Las soluciones se conservaron en refrigeración hasta el momento de su análisis. Adicionalmente se prepararon blancos sin muestra bajo el mismo procedimiento para su análisis.

Determinación de minerales

La cuantificación de 14 macro (Ca, K, Mg, Na, P, S) y micro (Al, Ba, Cu, Fe, Mn, Sr, Ti, Zn) minerales se realizó mediante espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente con configuración radial y axial. Se utilizó argón como gas auxiliar y automuestrador. El análisis de las soluciones previamente preparadas se realizó con flujo de gas auxiliar con una velocidad de análisis de 50 rpm, con 10 s en la estabilización de bomba peristáltica. Se utilizaron estándares multielementos de referencia en intervalos de 1 a 100 mg L⁻¹ para P, Mg, K, Ca, Fe y Na, y de 0.2 a 5 µg mL⁻¹ para Cu, S, Mn y Zn. Los análisis se

realizaron por triplicado y los resultados se expresan en g Kg⁻¹ para macro y mg 100 g⁻¹ para micro minerales

Determinación de polifenoles, flavonoides y actividad antioxidante

Para las determinaciones de polifenoles, flavonoides y actividad antioxidante se utilizaron 0.2 g de cada muestra en polvo (por triplicado), a las cuales se les adicionaron 20 mL de etanol (para polifenoles y flavonoides) o metanol (para actividad antioxidante) al 80%. Se homogenizaron durante 90 segundos y se centrifugaron a 11 000 rpm durante 15 minutos a una temperatura de 4 °C, posterior a esto los sobrenadantes fueron separados para su análisis correspondiente. El contenido de flavonoides totales se determinó con base en el método descrito por Lin y Tang (2007); para la determinación de fenoles totales se siguió la metodología propuesta por Singleton y Rossi (1965) y para la actividad antioxidante se utilizaron el método formulado por Brand-Williams et al. (1995) para DPPH y el método descrito por Benzie y Strain (1996) para FRAP.

Los resultados obtenidos, tanto para minerales como para el contenido de polifenoles, flavonoides y actividad antioxidante, se sometieron a análisis de varianza y análisis de comparaciones múltiples de medias por el método de Tukey ($P < 0.05$), utilizando el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2002).

2.1 REFERENCIAS

- Brand-Williams W., M. Cuvelier and C. Berset (1995)** Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel Wissenschaft and Thechnologie* 28: 25-30.
[https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Benzie I. F. and J. J. Strain (1996)** The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”. The FRAP assay. *Analytical Biochemistry* 239: 70-76.
<https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>.
- Lin J. Y. and C. Y. Tang (2007)** Determination of total phenolic and flavonoid contents in selected fruits and vegetables, as well as their stimulatory effects on mouse splenocyte proliferation. *Food Chemistry* 101(1):140-147.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.014>.

SAS Institute (2002) User's Guide SAS/STAT® 9.0. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA. 550 p.

Singleton V.L. and J.A. Rossi (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 16:144-158.

CAPITULO III. CONTENIDO MINERAL EN HOJAS Y TALLOS DE *Amaranthus hybridus* L., *A. hypochondriacus* L. Y *A. cruentus* L.

RESUMEN

El consumo de plantas jóvenes de amaranto siempre ha formado parte de la alimentación tradicional mexicana; actualmente la modificación en los hábitos de consumo y la escasa información acerca del aporte mineral de este cultivo han contribuido a la disminución del consumo de estas plantas. Nuestro objetivo fue evaluar la variación entre y dentro de tres especies de amaranto en función del contenido de macro y micronutrientes minerales en hojas y tallos jóvenes, con base en dos localidades de siembra y uso de fertilizantes. La cuantificación de minerales se realizó en 16 genotipos de tres especies de amaranto, evaluados mediante espectrometría de emisión óptica con plasma. Los análisis de varianza para macro y micro minerales mostraron diferencias significativas para todas las variables evaluadas. En ambientes de producción favorables en humedad y nutrición de suelo, se reportaron los contenidos más altos de la mayoría de los macro minerales. Las cantidades de minerales como, K, Mg, Na, P y Zn no mostraron respuesta positiva al efecto de fertilización. Las especies *A. hybridus* y *A. cruentus*, fueron las que sobresalieron al mostrar altas concentraciones en seis y ocho minerales respectivamente. Se identificaron como genotipos sobresalientes a AV8, AV3, AV17, AV28 y CP39. Estos genotipos mostraron mayor estabilidad al cambiar de localidad de cultivo y condición de fertilización. Por lo que el consumo de amaranto como verdura podría contribuir de manera positiva a la nutrición de la población mexicana.

Palabras clave: Fe, fertilización, genotipos y especies de amaranto, minerales, Zn.

SUMMARY

Amaranth and quelites have always been part of the traditional Mexican diet. Nowadays, the change in consumption habits and the scarce information about the mineral contribution of this crop have contributed to the decrease in the consumption of these plants. Our objective was to evaluate the variation between and within three species of amaranth on the basis of the content of macro and micronutrients in leaves and young stems, based on two localities of sowing and use of fertilizers. The quantification of minerals for the 16 amaranth genotypes evaluated was performed by plasma optical emission spectrometry. The analysis of variance for macro and micro minerals showed significant differences for all variables evaluated. In favorable production environments in soil moisture and nutrition, the highest values of most of the macro minerals were reported. Minerals such as K, Mg, Na, P and Zn did not show positive response to the fertilization. The species *A. hybridus* and *A. cruentus*, were the ones that stood out by showing high concentrations in six and eight minerals respectively. AV8, AV3, AV17, AV28 and CP39 were identified as outstanding genotypes. These genotypes showed greater stability when changing cultivation location and fertilization condition. Therefore, the consumption of this crop could contribute positively to the nutrition of the Mexican population.

Key words: Fe, fertilization, amaranth genotypes and species, minerals, Zn.

3.1 INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas que presentan actualmente las sociedades de muchos países de bajos y medios ingresos es la doble carga de morbilidad, esto debido a que por una parte se enfrentan problemas de enfermedades infecciosas y desnutrición y por el otro lado se experimenta un aumento en las enfermedades no trasmisibles (OMS, 2018). Con frecuencia la malnutrición está asociada a una deficiencia de micronutrientes, lo que puede tener efectos negativos en la salud (Velasco-Lavín, 2016). En los humanos por lo menos 23 elementos minerales tienen actividad fisiológica conocida, los minerales cumplen funciones relacionadas con el desarrollo óseo; con el metabolismo de los aminoácidos, lípidos y carbohidratos; son necesarios para el desarrollo de tejido conectivo y cubiertas nerviosas o participan en la actividad enzimática, por mencionar algunas funciones (Fraga, 2005). Los seres humanos comúnmente presentan deficiencias en los minerales hierro, yodo y zinc, y el problema es aún mayor en las mujeres embarazadas y los niños menores de 5 años (Bailey *et al.*, 2015). La deficiencia de zinc, afecta el sistema inmunológico, la cicatrización de heridas, los sentidos (gusto y olfato) y la síntesis del ADN (Fraga, 2005). Por su parte, la deficiencia de hierro causa anemia y afecta la función óptima de sistema endocrino e inmunitario, esta deficiencia es común durante el embarazo y se estima que contribuye al 20 % de las muertes maternas (Bailey *et al.*, 2015). Pese a los esfuerzos que se han realizado para disminuir este problema, las tendencias muestran que, entre las mujeres mexicanas en edad reproductiva, la anemia aumentó 6.7 puntos porcentuales del año 2012 al 2016, lo cual representa un problema de gran magnitud (Shamah-Levy *et al.*, 2018).

Gran parte del problema de nutrición es consecuencia de la modificación en los hábitos de consumo, esto es que la población (ya sea por inconciencia o como producto de campañas publicitarias) ha sustituido la alimentación tradicional (con alto valor nutricional) por productos de baja calidad (De la Mora, 2013), con alto contenido calórico, rico en grasas, azúcar, sal y pobres en micronutrientes. La Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018, reporta que sólo el 20.2 % de la población infantil (de 1 a 4 años) y el 44.9 de la población adulta (consumía verduras de manera cotidiana; sin embargo, el 85.1 % de la población consume de manera cotidiana bebidas no lácteas endulzadas y un 54.3 % de la población consume algún tipo de botanas, dulces o postre (INEGI-INSP, 2018). Estos datos resultan alarmantes si tomamos en cuenta que las frutas y verduras destacan nutricionalmente por su alto aporte de agua, vitaminas y minerales (Rodríguez y Simón, 2008). Anteriormente la alimentación básica tradicional

mexicana se conformaba de cultivos como el maíz, frijol, chile, jitomate, nopal, quelite, calabaza, amaranto, chíá, aguacate y cacao (Román *et al.*, 2013). Por lo que no es de extrañarse que en diversas regiones de México exista la cultura de consumo de quelites. El término quelites hace referencia a un conjunto de plantas de diversos géneros cuyo follaje es consumido como verdura. En México son importantes los quelites, ya que por ejemplo, en algunas poblaciones de la Sierra Norte de Puebla, este tipo de plantas representan entre el 18 % y 38 % de las plantas comestibles (Basurto-Peña *et al.*, 1998), y en mercados del estado de Oaxaca se han identificado 22 especies de plantas comestibles (Manzanero-Medina *et al.*, 2020).

Las plantas de amaranto presentan diversas ventajas. A nivel nacional se encuentran ampliamente distribuidas las especies *A. cruentus*, *A. hybridus*, *A. hypochondriacus* y *A. powelli*, por lo que es posible encontrar diversidad de colores en hoja, tallo y panícula (Espitia-Rangel *et al.*, 2010). Son una buena fuente de hierro, cobre, calcio, magnesio, potasio y fósforo (Das, 2016). La calidad nutricional del amaranto es comparable a la de la espinaca (Morales *et al.*, 2014). Se producen durante todo el año y la venta es una actividad que complementa la economía de las familias campesinas (Manzanero-Medina *et al.*, 2020). Este cultivo se considera resistente a factores adversos como altas temperaturas y sequía, además de que sus requerimientos de agua son bajos (Barrales *et al.*, 2010). Sin embargo, factores como el cambio tecnológico, la pérdida del conocimiento tradicional, la gran disponibilidad de nuevos productos, han contribuido a la disminución del consumo de estas plantas (Díaz-José *et al.*, 2019).

A pesar de que el amaranto para verdura representa un cultivo tradicional en la alimentación mexicana y de que su consumo podría contribuir a la nutrición de la población, son escasas las investigaciones realizadas para determinar el contenido mineral que las especies de amaranto cultivadas en México podrían aportar. Por lo que la presente investigación tiene como objetivo evaluar la variación entre y dentro de tres especies de amaranto en función del contenido de macro y micronutrientes minerales en hojas y tallos jóvenes, con base en dos localidades de siembra y uso de fertilizantes.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1 Ambientes de prueba

Se establecieron dos ensayos, uno en el municipio de Huaquechula, Puebla (18° 45' 58.3" LN, 98°33' 25.14" LO y 1577 msnm) y otro en Tepetitla, Tlaxcala (19°16'31.31" LN, 98° 23' 20.07" LO y 2228 msnm) durante el ciclo primavera-verano 2018. Se monitorearon la precipitación pluvial y las temperaturas máximas y mínimas durante el desarrollo del cultivo, los datos recabados se muestran en la Figura 3.1.

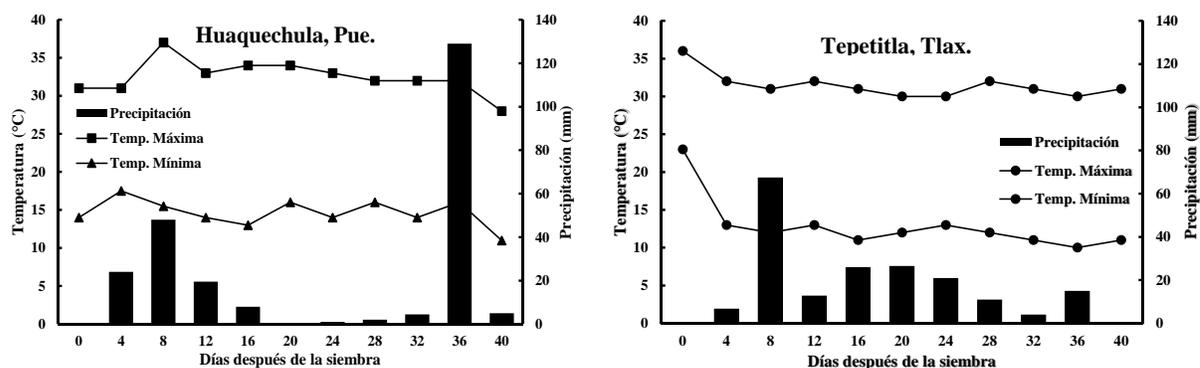


Figura 3.1. Temperaturas máximas y mínimas (°C) y precipitación pluvial (mm) en los municipios de Huaquechula, Puebla y Tepetitla, Tlaxcala.

3.2.2 Material genético

Se evaluaron 16 genotipos: 12 colectas y cuatro variedades mejoradas que fueron usadas como testigos. Los genotipos AV25, AV28, AV7, AV3 (*A. hypochondriacus*) AV17, AV8, AV29 y AV19 (*A. hybridus*) son originarias de Zapotitlán de Méndez, Puebla, y los genotipos CP38, CP39, CP15 (*A. cruentus*) y CP30 (*A. hypochondriacus*), son poblaciones originarias de Tochimilco, Puebla y Huazulco, Morelos. Las variedades Areli, Laura, Nutrisol (*A. hypochondriacus*) y Benito (*A. cruentus*) fueron utilizadas como testigos.

3.2.3 Diseño y unidad experimental

Se utilizó un diseño experimental látice 4x4, estableciéndose dos repeticiones por localidad para genotipos. De las dos repeticiones a una se le aplicó fertilizante y la otra no. La parcela experimental constó de 2 surcos de 5 m de largo y 0.80 m de ancho. Se utilizaron 4 g de semilla por parcela, para los genotipos colectados en Zapotitlán de Méndez, Puebla, para el resto se emplearon 6 g de semilla (para asegurar la emergencia debida a posible pérdida de vigor). Para

el análisis de suelo, al momento de la siembra se tomaron muestras a una profundidad de 30 cm, los resultados de este análisis se muestran en el Cuadro 3.1.

3.2.4 Manejo agronómico

Las fechas de siembra difieren de acuerdo a la presencia de las lluvias. En el municipio de Tepetitla, Tlaxcala, se sembró el día 24 de agosto del 2018, y en el municipio de Huaquechula, Puebla, el 8 de septiembre del mismo año. Al momento de la siembra se aplicó la fórmula 18-07-09 en la repetición evaluadas con fertilización. Se utilizaron urea, fosfato di-amónico y cloruro de potasio como fuentes de fertilización. El control de malezas se realizó de manera mecánica y manual. En los bordos de contorno se aplicó cipermetrina para el control de chapulín. La cosecha de las plantas se realizó a los 40 días después de la siembra. Cortando las plantas a un centímetro de la superficie del suelo.

Cuadro 3.1: Descripción de la textura y fertilidad del suelo en los dos sitios experimentales.

Descriptor	Huaquechula, Puebla	Tepetitla, Tlaxcala
Tipo de suelo	Franco Arcilloso Arenoso	Franco Arcilloso Arenoso
pH	6.9	6.7
Materia orgánica (%)	1.0	3.0
P-Bray (ppm)	17.8	340.0
K (ppm)	257.0	1213.0
Ca (ppm)	2078.0	1337.0
Mg (ppm)	491.0	432.0
Na (ppm)	27.5	35.0
Fe (ppm)	15.0	17.9
Zn (ppm)	0.7	6.0
Mn (ppm)	19.4	2.8
Cu (ppm)	1.4	0.8
B (ppm)	0.2	0.5
S (ppm)	1.4	20.7
N-NO3 (ppm)	30.2	494.0

3.2.5 Manejo postcosecha

Las plantas cosechadas se separaron por hojas y tallos, dejándose secar a la sombra durante 15 días. Posteriormente fueron secadas en una estufa de aire forzado (Thermo Scientific) durante 48 horas, a una temperatura de 48 °C. Una vez secas, las muestras fueron colocadas en frascos de plástico, manteniéndose en un lugar seco y aislado de la luz, hasta el momento de su análisis.

3.2.6 *Determinación de minerales*

Se pulverizaron 100 g de muestra (hojas y tallos), mediante un molino para café (Krupps®, modelo GX4100, México) en lapsos de 30 segundos, sin rebasar los 90 segundos. Las muestras pulverizadas fueron colocadas en frascos ámbar de plástico, selladas con papel parafilm y conservadas en congelación hasta su análisis. Posteriormente se tomó una muestra de 2 g por triplicado, las cuales se llevaron a peso constante en estufa (Barnstead/ Thermolyne Oven series 9000, USA) a 100 °C, para después ser incineradas a 570 °C en mufla (Barnstead/ Thermolyne 1400, USA) y llevadas a peso constante. A las cenizas obtenidas se les adicionaron 3 mL de ácido clorhídrico concentrado (J.T. Baker ®). Posteriormente se aforó a 50 mL con agua desionizada y se filtró con papel filtro de poro fino. Las soluciones se conservaron en refrigeración hasta el momento de su análisis. Se prepararon blancos sin muestra bajo el mismo procedimiento para su análisis y poder descartar posible contaminación por reactivos. Se cuantificaron 14 macro (Ca, K, Mg, Na, P, S) y micro (Al, Ba, Cu, Fe, Mn, Sr, Ti, Zn) minerales mediante espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES Thermo Scientific iCAP 6500 DUO, England) con configuración radial y axial. Se utilizó argón como gas auxiliar y automuestrador (CETAC ASX-520, USA). El análisis se realizó con flujo de gas auxiliar (0.4 L min^{-1} , 1200 w potencia de RF) con una velocidad de análisis de 50 rpm, con 10 s en la estabilización de bomba peristáltica. Se utilizaron estándares multielementos de referencia (High Purity Standards®, USA), en intervalos de 1 a 100 mg L^{-1} para P, Mg, K, Ca, Fe y Na, y de 0.2 a $5 \text{ } \mu\text{g mL}^{-1}$ para Cu, S, Mn y Zn. Los límites inferiores de detección para Mn, Cu, Zn, Mg, Na, S y Mg, fueron de 0.0001, 0.0002, 0.002, 0.003, 0.005, 0.009 y $0.00006 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente, y 0.01 mg L^{-1} para P, K y Ca. Los análisis se realizaron por triplicado y los resultados se expresan en g Kg^{-1} para macro y $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ para micro minerales.

3.2.7 *Análisis estadístico*

Las variables evaluadas se sometieron a un análisis de varianza combinado, para evaluar el efecto de localidad, fertilización, especie y genotipo. Se realizaron pruebas de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$). Todos los análisis se realizaron mediante el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2002).

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los Cuadros 3.2 y 3.3 muestran el análisis de varianza para micro y macro minerales. En los resultados se observan diferencias significativas ($P \leq 0.001$) para los factores de variación genotipo, especie, y para las interacciones localidad por genotipo y localidad por fertilización, en los 14 elementos minerales determinados. El factor localidad y las interacciones localidad por especie, fertilización por genotipo anidado en especie y localidad por fertilización por genotipo, fueron significativas para casi todos los elementos minerales, con excepción del Cu. El mineral Na fue el único en donde no se identificaron diferencias significativas para el factor fertilización. Los minerales K y Cu, no mostraron significancia en la interacción especie por fertilización. La interacción triple, localidad por fertilización por genotipo para los minerales Cu, Zn y S no fue significativa. Ningún elemento mineral reportó diferencias significativas para el factor repetición en localidad. Por lo que, con base en estos resultados, se puede deducir que el contenido de minerales en casi todos los elementos determinados, está en función del genotipo, la especie, la localidad y las condiciones de fertilización en las que se desarrolla el cultivo; sin embargo, para el mineral Cu la variación observada está determinada principalmente por el genotipo y la especie y no tanto por las condiciones de producción.

Cuadro 3.2: Significancia de cuadrados medios del contenido de micro minerales en hojas y tallos jóvenes de amaranto, cultivadas en Tlaxcala y Puebla.

Fuentes de variación	Al	Ba	Cu	Fe	Mn	Sr	Ti	Zn
Localidades (L)	278392 **	2476 **	0.11 ^{ns}	46921 **	3823.2 **	332.1 **	699.0 **	27.8 **
Fertilización (F)	1521 **	18 **	0.31 *	250 **	214.2 **	11.4 **	6.1 **	7.8 **
Especies (E)	650 **	20 **	0.19 *	3129 **	58.5 **	16.8 **	42.4 **	2.9 **
Genotipos (G)/ E ¹	2014 **	18 **	0.15 **	658 **	9.6 **	23.8 **	7.3 **	1.1 **
L x F	165 **	101 **	0.32 **	665 **	125.2 **	6.7 **	7.9 **	2.4 **
L x E	1443 **	25 **	0.08 ^{ns}	2052 **	42.1 **	63.7 **	31.7 **	4.0 **
E x F	243 **	13 **	0.10 ^{ns}	227 **	0.5 **	7.7 **	2.0 **	1.8 **
L x G/E	2361 **	14 **	0.12 **	455 **	11.5 **	35.3 **	6.0 **	1.4 **
F x G/E	1148 **	14 **	0.06 ^{ns}	371 **	8.3 **	15.1 **	4.3 **	0.8 **
L x E x F	769 **	8 **	0.02 ^{ns}	299 **	12.2 **	9.9 **	3.5 **	0.01 ^{ns}
L x F x G/E	973 **	18 **	0.03 ^{ns}	236 **	4.7 **	14.3 **	3.4 **	0.92 **
Repetición/L ¹	9 ^{ns}	0.2 ^{ns}	0.03 ^{ns}	1.0 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.01 ^{ns}
Error	13	1.2	0.04	1.22	0.02	0.01	0.01	0.01
Coef. variación (%)	6.3	15.1	22.5	2.6	2.1	0.9	3.6	1.8

*Significativo a $p \leq 0.05$; **Significativo a $p \leq 0.01$. ^{ns}No significativo ($p > 0.05$); ¹indica anidamiento de genotipos en especies y repeticiones en localidades.

En el Cuadro 3.4 se muestra la comparación de medias del contenido de los 14 minerales determinados para los factores, localidad, fertilización y la interacción localidad por fertilización. Para el factor localidad se observa que, con excepción del Ca, todos los macro

minerales reportan valores más altos en la localidad de Tepetitla: los minerales K, Mg, Na y S, presentan un 94, 63, 76 y 97 % más, respectivamente, en comparación con el valor obtenido en la localidad de Huaquechula.

Opuesto a lo que se observa para los macro minerales, en la localidad de Huaquechula (con excepción de Zn y Cu) se reportan los valores más altos para el contenido de micro minerales. Por ejemplo, en los minerales Al, Ba, Fe, Mn y Ti se observan valores superiores por 4.28, 1.9, 1.1, 2.87 y 2.0 veces, respectivamente, en comparación con los resultados obtenidos en la localidad de Tepetitla. El contenido del mineral Sr es 22.6 % superior en la localidad de Huaquechula. Estos resultados muestran que la mayoría de los macro minerales tuvieron una mayor acumulación en la localidad de Tepetitla, mientras que los contenidos más altos para casi todos los micros minerales se identificaron en la localidad de Huaquechula.

Cuadro 3.3. Significancia de cuadrados medios del contenido de macro minerales en hojas y tallos jóvenes de amaranto, cultivadas en Tlaxcala y Puebla.

Fuentes de variación	Ca	K	Mg	Na	P	S
Localidad (L)	10689634 **	1137955621 **	25066775 **	36388 **	7467534 **	22351 **
Fertilización (F)	724668 **	576065 **	102869 **	0.11 ^{ns}	44533 **	8929 **
Especies (E)	780013 **	32363956 **	1080038 **	184 *	146373 **	4189 **
Genotipos (G)/E ¹	638089 **	4981242 **	142050 **	4387 **	34760 **	763 **
L x F	90445 **	783657 **	554 *	649 **	29205 **	1335 **
L x E	4089722 **	5666205 **	656386 **	1010 **	126311 **	1250 **
E x F	86428 **	58184 ^{ns}	6405 **	554 **	2450 **	141 **
L x E x F	223389 **	1454551 **	19595 **	287 **	19818 **	61 ^{ns}
L x G/E	880447 **	2398984 **	90457 **	382 **	21072 **	473 **
F x G/E	396587 **	1618546 **	62744 **	716 **	6903 **	142 **
L x F x G/E	26691 **	1998835 **	70430 **	347 **	9611 **	502 **
Repetición/L ¹	1153 ^{ns}	33531 ^{ns}	29 ^{ns}	76 ^{ns}	125 ^{ns}	34 ^{ns}
Error	1106	23209	117	47	166	24
Coef. variación (%)	1.3	1.9	0.7	12.8	1.9	4.8

*Significativo a $p \leq 0.05$; **Significativo a $p \leq 0.01$. ^{ns}No significativo ($p > 0.05$); ¹indica anidamiento de genotipos en especies y repeticiones en localidades.

Para el factor de variación fertilización (Cuadro 3.4), los resultados obtenidos muestran una respuesta positiva para casi todos los macro minerales, con excepción de S, el cual es 16.1 % mayor en el tratamiento sin fertilización. Los minerales Ca, K, Mg, Na y P reportaron valores de 1.1, 1.4, 3.3, 9.6 y 4.5 % más, respectivamente, en comparación con los resultados obtenidos en el tratamiento sin fertilización. En el caso de los micro minerales se observa que el Al, Fe, Ti y Zn presentaron una mayor acumulación en el tratamiento sin fertilización (2.9, 3.5, 8.31 y 10.29 % respectivamente); sin embargo, elementos como el Ba, Cu, Mn y Sr mostraron una respuesta positiva a la fertilización reportando un incremento de 8.7, 9.8, 31.6 y 4.9 %, respectivamente, comparado con los resultados obtenidos en el tratamiento sin fertilización. Con

base en estos resultados podemos decir que los elementos Ca, K, Mg, Na, P, Ba, Cu, Mn y Sr, son influenciados positivamente por el efecto de la fertilización, mientras que los elementos S, Al, Fe, Ti y Zn, se acumulan mejor en condiciones sin fertilización.

Sin embargo, en la interacción localidad por fertilización (Cuadro 3.4), se observa que los minerales Ca, Al, Ba, Fe, Mn, Sr y Ti reportan contenidos más altos en las plantas que fueron fertilizadas. Opuesto a esto, los minerales K, Mg, Na, P, S y Zn, mostraron contenidos más altos en las plantas producidas sin fertilizante, además de que los valores en el contenido de estos minerales, fueron similares (con excepción de Mg) entre tratamientos de fertilización y a través de localidades. Para los minerales Fe y Al, los mayores contenidos se identificaron en la localidad de Tepetitla. Siendo la localidad de Huaquechula la que reportó los contenidos más altos de los minerales Ca, Ba y Mn.

Cuadro 3.4. Contenido promedio de micro y macro minerales en hojas y tallos jóvenes de amaranto, cultivadas en Puebla y Tlaxcala, con y sin fertilización.

Minerales	Localidades ¹		Fertilización ¹		Interacción Localidad x Fertilización ¹			
	Huaquechula, Pue.	Tepetitla, Tlax.	C/F ²	S/F ³	Huaquechula ¹		Tepetitla ¹	
					C/F ²	S/F ³	C/F ²	S/F ³
<i>Macroelementos</i> (g kg ⁻¹)								
Ca	27.10 a	22.57 b	24.48 a	24.20 b	27.87 a	23.00 c	26.25 b	22.18 d
K	53.13 b	103.31 a	78.78 a	77.66 b	54.06 b	103.25 a	52.15 c	103.03 a
Mg	11.59 b	18.94 a	15.51 a	15.01 b	11.82 c	19.19 a	11.33 d	18.70 b
Na	0.38 b	0.67 a	0.57 a	0.52 b	0.36 c	0.69 a	0.40 b	0.66 a
P	4.42 b	8.73 a	6.72 a	6.43 b	4.66 b	8.75 a	4.18 c	8.68 a
S	0.89 b	1.12 a	0.93 b	1.08 a	0.79 d	1.07 b	1.00 c	1.16 a
<i>Microelementos</i> (mg 100 g ⁻¹)								
Al	95.70 a	18.49 b	54.17 b	60.01 a	92.06 b	15.83 d	98.56 a	21.45 c
Ba	10.99 a	3.75 b	7.68 a	7.06 b	11.72 a	3.36 d	9.94 b	4.18 c
Cu	0.98 a	0.93 a	1.00 a	0.91 b	1.07 a	0.93 b	0.89 b	0.93 b
Fe	58.12 a	27.08 b	41.85 b	43.35 a	55.55 b	27.76 c	60.31 a	26.51 d
Mn	12.35 a	3.19 b	8.81 a	6.69 b	14.14 a	3.53 c	10.52 b	2.86 d
Sr	14.19 a	11.57 b	13.19 a	12.57 b	14.68 a	11.67 c	13.67 b	11.49 d
Ti	5.62 a	1.85 b	3.59 b	3.89 a	5.30 b	1.88 c	5.91 a	1.84 c
Zn	4.56 b	5.45 a	4.76 b	5.25 a	4.19 d	5.32 b	4.92 c	5.58 a

¹Entre localidades, fertilización e interacción localidad x fertilización, medias con la misma letra en hileras no son estadísticamente diferentes, (prueba de Tukey, $p \leq 0.05$); ²C/F: con fertilizante y ³S/F: sin fertilizante.⁴

En el Cuadro 3.5 se observa la comparación de medias para el contenido de micro minerales entre especies y genotipos. Los resultados muestran que la especie *A. hybridus* reporta los valores más altos en Al, Fe, Ti y Zn. Sin embargo, en la especie *A. cruentus* se identifican altos contenidos de Ba, Cu, Mn y Sr. En cuanto a los micro minerales, es posible identificar genotipos

sobresalientes para un micro elemento específico dentro de cada especie. Por ejemplo, los genotipos AV17, AV8 (*A. hybridus*) y Nutrisol (*A. hypochondricus*) presentan el mayor contenido de Fe con 66.27, 52.83 y 52.73 mg 100 g⁻¹, respectivamente. Para el caso de Mn, los valores más altos se identificaron en los genotipos CP39 y CP15 (10.09 y 10.06 mg 100 g⁻¹) de la especie *A. cruentus*, seguidos de los genotipos AV8 y AV29 (*A. hybridus*). Además, los genotipos Nutrisol, AV17, Laura, AV8 y Areli, reportan los valores más altos de Zn.

Cuadro 3.5: Contenido promedio de micro minerales en hojas y tallos jóvenes de genotipos y especies de amaranto cultivado en Tlaxcala y Puebla, México.

Genotipos	Al ¹	Ba	Cu	Fe	Mn	Sr	Ti	Zn
<i>A. hypochondriacus:</i>								
AV3	55.05 b ²	8.08 a	1.02 a	44.14 b	7.56 a	15.19 a	3.65 b	5.26 a
AV7	57.08 b	6.79 b	0.96 a	39.82 b	7.21 b	13.00 a	3.56 b	4.79 b
AV25	65.88 a	5.84 b	0.92 a	42.47 b	6.97 b	11.44 b	3.83 b	4.62 c
AV28	69.83 a	5.95 b	0.98 a	45.78 b	8.13 a	12.32 a	4.15 b	4.94 a
CP30	59.71 a	7.72 a	0.83 b	34.76 c	6.27 b	13.30 a	2.81 c	4.88 a
Areli	32.38 c	5.72 b	0.90 b	32.16 c	6.02 c	12.35 a	2.59 e	5.12 a
Laura	56.81 b	7.64 a	1.04 a	35.84 c	6.91 b	13.11 a	2.90 c	5.42 a
Nutrisol	56.22 b	7.67 a	0.75 b	52.73 a	7.92 a	13.59 a	4.56 a	5.69 a
<i>Promedio</i>	<i>56.62 B²</i>	<i>6.93 C</i>	<i>0.93 B</i>	<i>40.96 B</i>	<i>7.13 C</i>	<i>13.04 B</i>	<i>3.50 B</i>	<i>5.09 B</i>
<i>A. hybridus:</i>								
AV8	85.03 a	8.54 a	1.01 a	52.83 a	8.58 a	14.52 a	5.00 a	5.28 a
AV17	45.83 b	8.53 a	0.86 b	66.27 a	7.37 b	12.16 a	6.31 a	5.53 a
AV19	49.47 b	7.57 a	1.07 a	47.28 b	6.81 b	11.72 b	4.41 b	4.89 a
AV29	64.41 a	5.87 b	0.81 b	41.52 b	8.41 a	10.27 c	3.69 b	4.84 b
<i>Promedio</i>	<i>61.19 A</i>	<i>7.63 B</i>	<i>0.94 B</i>	<i>51.98 A</i>	<i>7.79 B</i>	<i>12.17 C</i>	<i>4.85 A</i>	<i>5.14 A</i>
<i>A. cruentus:</i>								
CP15	66.75 a	8.20 a	0.98 a	41.01 b	10.06 a	13.47 a	3.72 b	4.78 b
CP38	46.72 b	6.43 b	0.94 a	33.67 c	7.73 a	11.41 b	2.59 e	4.69 c
CP39	59.48 a	10.31 a	1.24 a	39.47 b	10.09 a	15.31 a	3.39 b	4.76 b
Benito	42.86 b	7.04 a	0.97 a	31.88 d	8.27 a	12.85 a	2.66 d	4.59 d
<i>Promedio</i>	<i>53.95 C</i>	<i>7.99 A</i>	<i>1.03 A</i>	<i>36.51 C</i>	<i>9.04 A</i>	<i>13.26 A</i>	<i>3.09 C</i>	<i>4.71 C</i>

¹Expresado en mg 100 g⁻¹; ²En columna, medias de genotipos o de especies con la misma letra no difieren significativamente (prueba de Tukey, $p \leq 0.05$).⁷

El genotipo con más número de microelementos sobresalientes es AV8, al reportar concentraciones altas en todos los micro minerales evaluados. Otro genotipo sobresaliente es CP39, en el cual se identifican altas concentraciones de Ba, Cu, Mn y Sr. Los genotipos AV17, AV3, CP15 y Nutrisol, reportan altos contenidos en al menos cuatro micro minerales. También el genotipo AV17 se considera sobresaliente por su alto contenido de Fe y Zn (Cuadro 3.5).

En el caso de los macro minerales, se observa que en la especie *A. cruentus* se identifican altas concentraciones de Ca, K, Na y S. La especie *A. hybridus* reporta los mayores contenidos de Mg y P. El Na fue el elemento que mostró la menor variación entre especies (Cuadro 3.6).

Cuadro 3.6: Contenido promedio de macro minerales en hojas y tallos jóvenes de genotipos y especies de amaranto cultivadas en Tlaxcala y Puebla, México.

Especies/ Genotipos	Ca ¹	K	Mg	Na	P	S
<i>A. hypochondriacus:</i>						
AV3	28.85 a ²	75.90 b	16.60 a	0.59 a	7.80 a	1.08 a
AV7	23.66 b	84.63 a	14.59 b	0.55 a	7.49 a	1.09 a
AV25	22.77 c	86.27 a	14.42 d	0.52 a	7.51 a	1.08 a
AV28	24.76 a	88.58 a	15.19 b	0.59 a	7.01 a	1.10 a
CP30	25.26 a	74.96 c	13.78 e	0.50 a	6.32 d	0.93 c
Areli	23.55 b	74.39 c	12.93 f	0.49 a	6.02 e	0.90 e
Laura	23.87 b	71.38 e	13.59 e	0.38 b	6.77 b	1.06 a
Nutrisol	25.75 a	67.09 e	14.58 b	0.54 a	6.66 b	0.95 b
<i>Promedio</i>	<i>24.81 B²</i>	<i>77.90 B</i>	<i>14.46 C</i>	<i>0.52 B</i>	<i>6.04 C</i>	<i>1.02 B</i>
<i>A. hybridus:</i>						
AV8	27.25 a	64.75 f	18.81 a	0.49 a	5.77 f	0.93 d
AV17	23.48 b	66.19 e	16.73 a	0.61 a	6.43 d	0.81 g
AV19	22.56 b	74.08 c	16.48 b	0.44 a	6.51 c	0.98 b
AV29	21.06 c	76.36 b	16.16 b	0.54 a	5.45 g	0.86 f
<i>Promedio</i>	<i>23.59 C</i>	<i>70.34 C</i>	<i>17.05 A</i>	<i>0.52 B</i>	<i>6.95 A</i>	<i>0.90 C</i>
<i>A. cruentus:</i>						
CP15	26.45 a	85.29 a	15.33 b	0.55 a	6.03 d	1.00 b
CP38	23.56 b	89.01 a	13.94 d	0.56 a	6.50 d	1.03 a
CP39	29.88 a	83.20 a	16.07 b	0.56 a	6.24 d	1.18 a
Benito	24.67 a	89.45 a	14.98 b	0.54 a	6.70 b	1.09 a
<i>Promedio</i>	<i>26.14 A</i>	<i>86.74 A</i>	<i>15.08 B</i>	<i>0.55 A</i>	<i>6.37 B</i>	<i>1.08 A</i>

¹Expresado en g kg⁻¹; ²En columna, medias de genotipos o de especies con la misma letra no difieren significativamente (prueba de Tukey, $p \leq 0.05$).

Respecto al contenido específico de macro minerales, el contenido de Ca entre los genotipos evaluados varía de 29.88 a 21.06 g. Kg⁻¹, siendo los genotipos CP39, AV3 y AV8, los que promedian los valores más altos con 29.88, 28.85 y 27.25 g. Kg⁻¹, respectivamente. El contenido más alto de K lo presentan el genotipo Benito (89.45 g. Kg⁻¹), seguido de CP38 (89.01 g. Kg⁻¹) y AV28 (88.58 g. Kg⁻¹). En el caso de Mg, los genotipos AV8 y Areli muestran el mayor y menor contenido con 18.81 y 12.93 g. Kg⁻¹, respectivamente. En el genotipo AV17 se identificó el mayor contenido de Na (0.61 g. Kg⁻¹), seguido de los genotipos AV28 y AV3. Para el mineral fósforo fueron los genotipos AV3, AV25 y AV7 (de la especie *A. hypochondriacus*) los que reportan mayores concentraciones. En el caso del mineral S, el mayor y menor contenido fue

identificado en los genotipos CP39 (1.18 g. Kg⁻¹) y AV17 (0.81 g. Kg⁻¹), respectivamente. Los resultados de macro minerales permiten identificar como genotipo sobresaliente a AV3, dado que reporta altas concentraciones de Ca, Mg, Na y P. En el genotipo AV28 se identifican altos contenidos de K, Na y S. Otros genotipos que son sobresalientes son AV17, AV7, AV8, Benito y CP39.

Debido a que la especie *A. hybridus* es sobresaliente en seis elementos minerales (Al, Fe, Ti, Zn, Mg y P) y *A. cruentus* en ocho (Ba, Cu, Mn, Sr, Ca, K, Na y S), se puede decir que estas especies serían las más apropiadas para consumo como verdura. Por otro lado, la variación intra especies permite identificar a los genotipos AV8 (*A. hybridus*), AV3 (*A. hypochondricus*), AV17 (*A. hybridus*), AV28 (*A. hypochondricus*) y CP39 (*A. cruentus*) como sobresalientes en el contenido de minerales.

En la interacción localidad por genotipo (Figura 3.2), se observa que los genotipos AV3, CP30 y Nutrisol, mostraron una menor variación en contenido de Ca al cambiar de una localidad de cultivo a otra; aunque de estos tres, solo el genotipo AV3 es el que logra superar ambas medias por localidad (27.04 y 22.67 g kg⁻¹). Para el mineral Cu, los genotipos AV19, CP38 y Benito fueron los que mostraron mayor estabilidad y concentraciones altas, a través de localidades. La variedad Nutrisol también presenta alta estabilidad; sin embargo, sus contenidos se sitúan por debajo de las medias (0.97 y 0.98 mg 100 g⁻¹). En los valores obtenidos de Fe y Mn, se observa que existe una mayor acumulación de estos minerales en las plantas cultivadas en la localidad de Huaquechula. Por ejemplo, el contenido de Fe más alto reportado en esta localidad fue de 97.38 mg 100 g⁻¹ (AV17), mientras que para la localidad de Tepetitla este valor es de 41.21 mg 100 g⁻¹ (AV3). A pesar de la gran variación que existe, es posible identificar a los genotipos AV3 (para el contenido de Fe), AV19 y AV17 (para Mn) con mayor estabilidad a través de localidades, aunque cabe resaltar que ninguno de los tres logra superar el contenido promedio (mayor de 57.96 y 12.30 mg 100 g⁻¹ para Fe y Mn, respectivamente) reportado para el municipio de Huaquechula. En el caso de los minerales P, Mg, K y Zn, los resultados muestran concentraciones mayores en las plantas cultivadas en el municipio de Tepetitla; sin embargo, los genotipos AV25, AV7 (para P), AV8, AV3, AV29 (para Mg), Benito, AV25, CP38 (para K), AV17, Nutrisol y Laura (para Zn) reportan altos contenidos de estos minerales en ambos municipios evaluados. En el caso del mineral Na, se observa un comportamiento más estable a través de localidades en los genotipos AV17, AV8 y Laura. Para el mineral S esta estabilidad se observa en los genotipos AV8, AV25, AV7, AV28 y Areli. Los contenidos promedio por

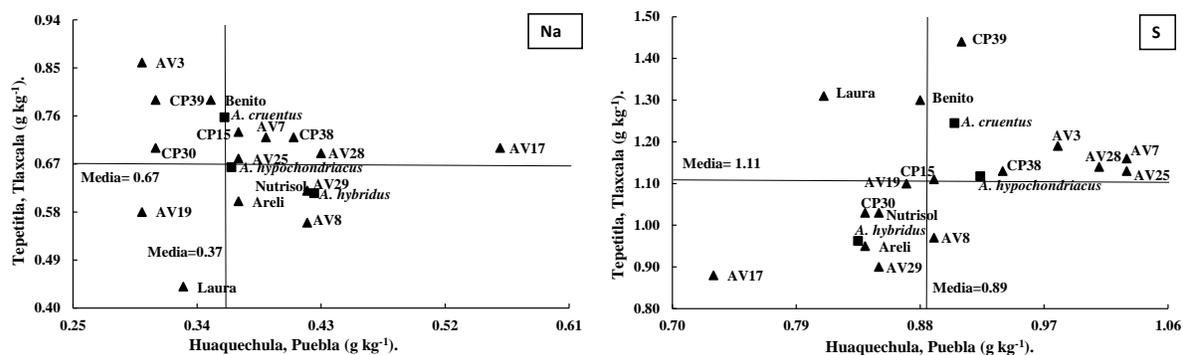
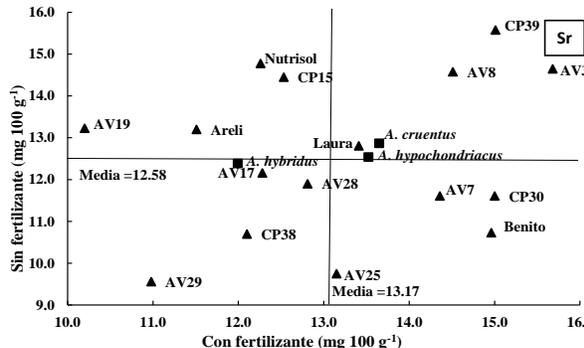
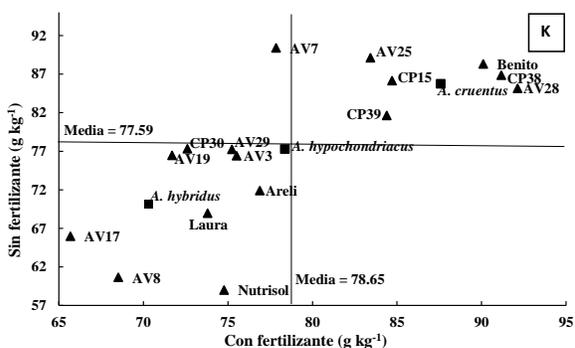
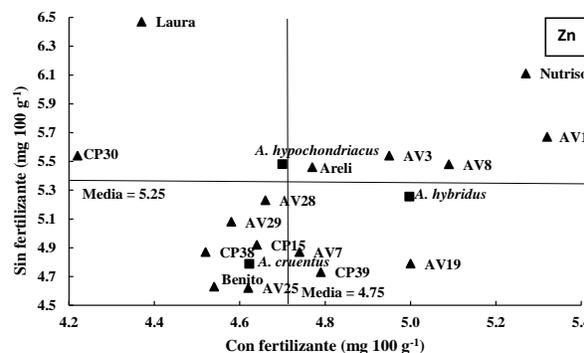
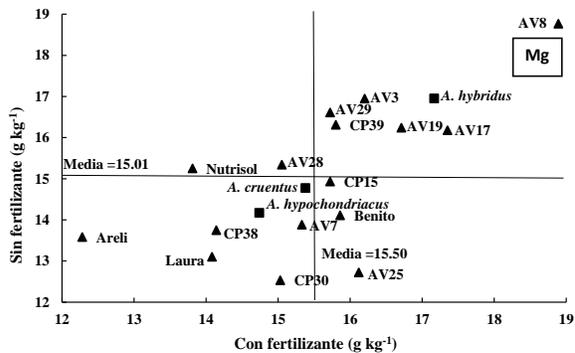
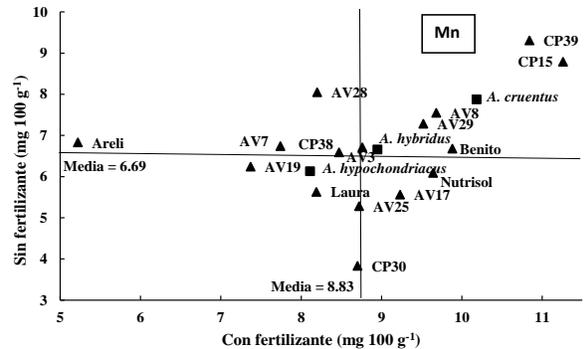
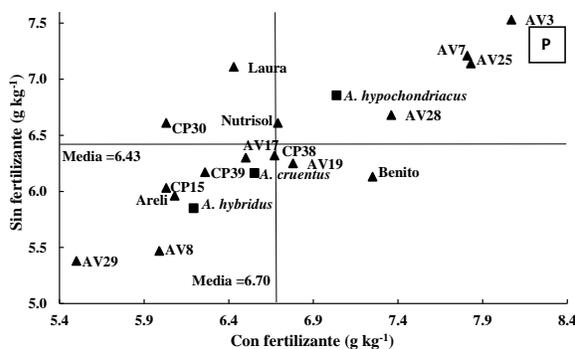
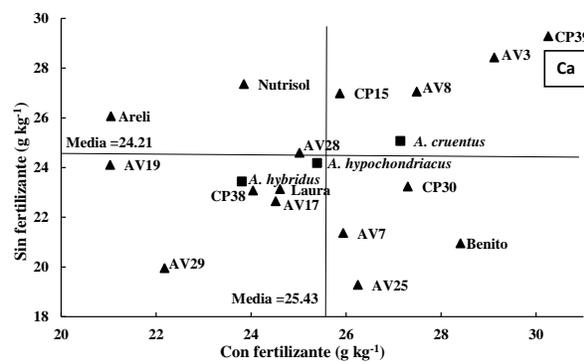
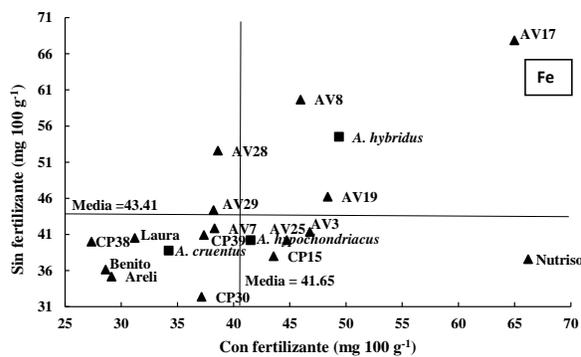


Figura 3.2: Dispersión de especies y genotipos de amaranto, en función del contenido de minerales en hojas y tallos, en dos localidades de evaluación.

▲: Genotipos. ■: Especies.

En la Figura 3.3 se puede observar la variación que presentaron los genotipos y especies en contenido de minerales a través de dos condiciones de fertilización. Si bien existen genotipos que presentaron alta estabilidad también algunos de ellos reportaron contenidos bajos de minerales. Por ejemplo, en el mineral zinc, los genotipos que mostraron mayor estabilidad a través de condiciones de fertilización fueron AV25, Benito y CP39; sin embargo, el contenido de zinc que reportan estos genotipos no logra superar los contenidos promedio de ambos tratamientos de fertilización (5.25 y 4.75 $\text{mg } 100\text{g}^{-1}$). Por otra parte, aunque los genotipos AV17, AV8 y AV3 muestran más variación a través de tratamientos de fertilización, son los que reportan contenidos altos de zinc y se mantienen más estables en comparación con otros genotipos. Por su parte el genotipo AV8 además de presentar alto contenido de zinc, también muestran altos contenidos y una buena estabilidad a través de tratamientos de fertilización en los minerales Ca, Sr, Mg y Mn, además de reportar bajos contenidos de S y Na. Este patrón (altos contenidos y buena estabilidad) se repite para en genotipo AV3 en los minerales, Ca, P, Mg y Mn. Otros genotipos que sobresalen con estas características son CP39 (en Ca, Sr, Mg, Mn y K), CP15 (en Ca y K), AV19 (en Fe y Mg) y AV17 (en Fe, Zn y Na).

De las tres especies de amaranto evaluadas *A. hybridus* es la que se comporta de manera más estable para un mayor número de minerales (Ca, S, Na, K, Mg y Sr), seguida de *A. hypochondriacus* (en los minerales Mn, Fe y P) y *A. cruentus* (en el mineral Zn).



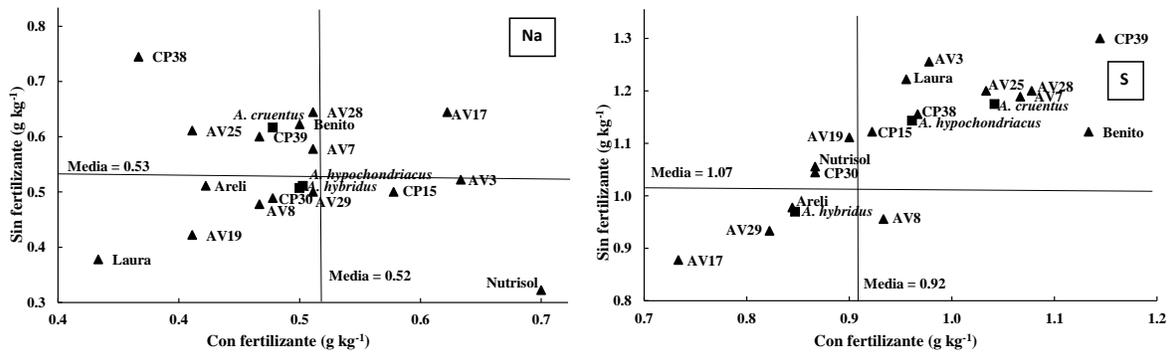


Figura 3.3: Dispersión de especies y genotipos de amaranto, en función del contenido de minerales en hojas y tallos, en dos condiciones de fertilización.

▲: Genotipo. ■: Especie.

En la triple interacción localidad por fertilización por variedad o colecta (Cuadros 3.7 y 3.8) se observa diferente respuesta en cada uno de los minerales determinados. En el caso de Ca (Cuadro 3.7), al comparar los contenidos promedio por especie, las plantas cultivadas con fertilización en la localidad de Huaquechula muestran concentraciones mayores de este mineral, en comparación con las producidas en Tepetitla. Sin embargo, los genotipos AV8 y AV3 reportan una mejor acumulación del mineral Ca en las plantas que no fueron fertilizadas. Para el mineral K (Cuadro 3.7), se observa que en ambas localidades y en todos los genotipos evaluados existió una mayor acumulación de este mineral en las plantas que no fueron fertilizadas en por lo menos un 50 % más (con excepción del genotipo AV8 el cual incrementa solo un 36.2 % en la localidad de Tepetitla). Este patrón se repite para los minerales Mg, P, Na y S. Para el mineral P se observa que este incremento es de al menos 35 % más en la localidad de Huaquechula y por lo menos 60 % más para el caso de Tepetitla. El intervalo de incremento en la concentración de Na para las plantas producidas sin fertilización va de 8 a 166 %, siendo únicamente el genotipo Laura (producido en la localidad de Tepetitla) el que muestra una respuesta positiva a la fertilización. El mineral S es el que muestra un intervalo de variación más bajo entre localidades y tratamientos de fertilización, el cual va desde 1.2 a 89.9 % más en las plantas cultivadas sin fertilización, con excepción de los genotipos AV8, AV25, AV28 y AV7 (Cuadro 3.7).

Opuesto a lo que se observa para los macro minerales, la mayoría de los micro minerales, mostraron una respuesta positiva a la fertilización (Cuadros 3.8). El incremento que muestran los genotipos en concentración depende del mineral analizado. Por ejemplo, para Al se observan concentraciones superiores en al menos 100 % más en las plantas que fueron fertilizadas, para los minerales Ba, Fe y Mn, este valor es de al menos 50, 20 y 81 %, respectivamente. Los

minerales Ba y Mn, reportaron concentraciones mayores en el municipio de Tepetitla, opuesto a lo observado para el mineral Mn, donde las concentraciones más altas se reportan en las plantas cultivadas en Huaquechula. Sin embargo, el mineral Zn en casi todos los genotipos evaluados (con excepción de los genotipos AV8, CP15, CP39 Y AV29) mostraron contenidos superiores en las plantas cultivadas sin fertilización. De los 14 minerales determinados, Cu fue el único que al comparar los contenidos promedio se observa concentraciones similares entre genotipos, localidades y tratamientos de fertilización, por lo que se podría considerar como un mineral más estable.

Los resultados permiten deducir que el contenido en casi todos los elementos minerales determinados, está en función del genotipo, la especie, la localidad y las condiciones de fertilización en las que se desarrolla el cultivo; sin embargo, la varianza atribuida al efecto de localidad o ambientes fue mayor que la de fertilización, especies y genotipos.

El mineral Cu se comportó de manera más estable a través de localidades y fertilización, su variación fue determinada principalmente por el genotipo y la especie, no tanto por las condiciones de producción. Un caso similar lo observan Molina *et al.* (2011) en los minerales Ca, Mg y Na, los cuales se comportaron de manera estable a través de épocas de recolección (época seca y época lluviosa) siendo afectadas únicamente en función del órgano de la planta analizado, hojas, tallos o panícula.

La mayoría de los macro minerales (con excepción de calcio) tuvieron una mayor acumulación en el municipio de Tepetitla y los micros minerales (con excepción de Cu y Zn) en el municipio de Huaquechula. En la Figura 3.1 y Cuadro 3.1, se muestran las condiciones de temperatura, precipitación y fertilización de los suelos en ambas localidades, observándose que en el municipio de Tepetitla se presentaron condiciones más favorables para el desarrollo de las plantas, con suelos más fértiles y una mejor distribución de las lluvias. Condiciones que resultan opuestas a las del municipio de Huaquechula, donde además de tener suelos más pobres, se presentó un periodo de 16 días sin presencia de lluvias. Por lo que se podría decir que la mayoría de los macro minerales se acumulan mejor en las plantas bajo condiciones favorables de humedad y fertilidad de suelo y de manera opuesta para el caso de los micro minerales. Sin embargo, los minerales Ca y Mg se han reportado en concentraciones mayores en plantas colectadas en época seca, mientras que los minerales Cu y Zinc reportan concentraciones mayores en plantas colectadas en época lluviosa (Molina *et al.*, 2011), resultados similares a las que se obtuvieron en este estudio, con excepción del Mg.

Cuadro 3.7. Interacción de localidades, fertilización y genotipos de tres especies de amaranto, en relación al contenido de macro minerales en hojas y tallos jóvenes.

Genotipos y especies	Ca ¹		K		Mg		Na		P		S	
	C/F ²	S/F ³	C/F	S/F	C/F	S/F	C/F	S/F	C/F	S/F	C/F	S/F
Localidad 1												
AV-17	25.9	23.2	47.2	84.2	13.0	21.7	0.6	0.7	4.8	8.2	0.7	0.8
AV-19	22.7	19.4	49.3	94.1	11.5	22.0	0.3	0.7	4.6	9.0	1.0	1.0
AV-29	27.1	17.3	46.3	104.2	12.6	18.9	0.4	0.7	4.1	6.9	0.8	0.8
AV-8	24.0	31.0	48.0	89.1	12.3	25.5	0.4	0.6	4.5	7.5	0.8	1.1
<i>A. hybridus</i>	24.9	22.7	47.7	92.9	12.3	22.0	0.4	0.7	4.5	7.9	0.8	0.9
Benito	31.2	25.6	67.5	112.7	12.2	19.5	0.3	0.8	5.6	8.9	0.9	1.3
CP-15	34.4	17.4	54.1	115.3	12.9	18.6	0.4	0.8	4.8	7.3	0.7	1.1
CP-38	29.8	18.3	64.2	118.1	11.9	16.4	0.3	0.6	5.2	8.1	0.8	1.1
CP-39	34.0	26.6	58.0	110.8	12.5	19.1	0.3	0.7	4.8	7.7	0.8	1.4
<i>A. cruentus</i>	32.3	21.9	61.0	114.2	12.4	18.4	0.3	0.7	5.1	8.0	0.8	1.2
Areli	22.3	19.8	52.4	101.4	9.4	15.2	0.3	0.7	4.4	7.8	0.8	0.8
AV-25	31.2	21.3	58.6	108.3	12.8	19.5	0.4	0.5	4.6	11.0	0.8	1.2
AV-28	31.1	19.0	56.7	127.6	12.5	17.6	0.3	0.7	4.6	10.2	0.8	1.3
AV-3	29.0	29.3	55.8	95.2	12.0	30.4	0.4	0.9	4.9	11.3	0.8	1.1
AV-7	24.4	27.5	61.8	93.9	10.3	20.4	0.3	0.8	5.3	10.4	0.9	1.2
CP-30	29.0	25.6	49.3	95.9	11.9	18.2	0.3	0.7	4.0	8.1	0.8	0.9
Laura	24.4	24.8	50.7	96.9	10.7	17.5	0.2	0.5	4.2	8.7	0.8	1.1
Nutrisol	25.6	22.1	45.1	104.5	10.6	17.0	0.6	0.8	4.4	9.0	0.7	1.0
<i>A. hypochondriacus</i>	27.1	23.7	53.8	102.9	11.3	19.5	0.3	0.7	4.5	9.5	0.8	1.1
Localidad 2												
AV-17	19.4	25.8	43.6	88.4	9.9	22.5	0.5	0.7	4.8	7.8	0.8	1.0
AV-19	23.4	24.8	51.1	101.8	11.9	20.6	0.3	0.5	4.1	8.4	1.0	1.2
AV-29	24.2	15.7	44.6	109.8	11.9	21.3	0.4	0.6	3.5	7.3	0.9	1.0
AV-8	23.4	30.7	51.4	69.9	12.8	24.7	0.5	0.5	3.8	7.1	1.0	0.9
<i>A. hybridus</i>	22.6	24.3	47.7	92.5	11.6	22.3	0.4	0.6	4.0	7.7	0.9	1.0
Benito	27.8	14.1	56.2	120.5	11.0	17.2	0.4	0.8	4.0	8.3	0.9	1.3
CP-15	34.3	19.7	53.9	118.4	13.8	16.0	0.3	0.7	3.9	8.2	1.0	1.1
CP-38	28.0	18.2	51.4	122.4	10.0	17.5	0.6	0.9	4.4	8.3	1.0	1.2
CP-39	34.7	23.9	55.4	107.9	13.3	19.3	0.3	0.9	3.9	8.5	1.1	1.4
<i>A. cruentus</i>	31.2	19.0	54.2	117.3	12.0	17.5	0.4	0.8	4.0	8.3	1.0	1.3
Areli	24.0	28.2	45.2	98.6	10.0	17.2	0.5	0.6	4.4	7.6	0.9	1.1
AV-25	23.7	14.9	64.2	114.1	10.0	15.5	0.4	0.8	5.5	8.9	1.2	1.1
AV-28	32.7	16.5	57.3	113.0	13.6	17.1	0.5	0.7	3.5	9.9	1.2	1.1
AV-3	28.3	28.6	59.8	93.0	11.9	22.0	0.2	0.8	4.1	11.0	1.1	1.3
AV-7	24.7	18.1	59.1	121.7	10.8	16.9	0.5	0.7	4.6	9.7	1.2	1.1
CP-30	20.8	25.6	49.2	105.4	8.3	16.8	0.3	0.7	4.9	8.4	0.9	1.1
Laura	26.0	20.3	45.8	92.1	12.2	14.0	0.4	0.3	3.9	10.3	0.9	1.5
Nutrisol	24.7	30.0	46.4	71.6	10.0	20.5	0.2	0.4	3.8	9.4	1.0	1.1
<i>A. hypochondriacus</i>	25.6	22.8	53.4	101.2	10.8	17.5	0.4	0.6	4.3	9.4	1.0	1.2
DSH-Tukey ⁴	1.3		5.6		0.4		0.3		0.5		0.2	

¹ Expresado en g kg⁻¹; ²C/F: con fertilizante; ³S/F: Sin fertilizante; ⁴DHS-Tukey: diferencias entre medias con valores mayores a la diferencia significativa honesta (DSH), son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Cuadro 3.8. Interacción de localidades, fertilización y genotipos de tres especies de amaranto, en relación al contenido de micro minerales en hojas y tallos jóvenes.

Genotipos y especies	Al ¹		Ba		Cu		Fe		Mn		Sr		Ti		Zn	
	C/F ²	S/F ³	C/F	S/F	C/F	S/F	C/F	S/F	C/F	S/F	C/F	S/F	C/F	S/F	C/F	S/F
Localidad 1																
AV-17	68.4	22.3	10.9	3.7	0.8	0.9	91.9	38.0	14.6	3.9	13.0	11.5	9.4	2.8	4.6	6.1
AV-19	113.6	22.3	15.2	1.5	1.3	1.0	60.2	36.6	11.3	3.4	11.9	8.5	6.0	3.1	4.2	5.8
AV-29	97.6	13.1	10.1	1.1	0.9	0.9	54.9	21.6	15.2	3.8	14.0	7.9	5.1	1.2	4.8	4.4
AV-8	135.7	11.5	10.6	6.4	1.2	1.0	68.2	23.7	15.1	4.3	13.0	16.0	7.2	1.3	4.3	5.8
<i>A. hybridus</i>	103.8	17.3	11.7	3.2	1.1	0.9	68.8	30.0	14.1	3.8	13.0	11.0	6.9	2.1	4.5	5.5
Benito	57.3	13.1	11.1	5.4	1.1	1.0	31.5	25.7	16.3	3.4	15.8	14.2	2.6	1.6	4.5	4.6
CP-15	130.1	10.2	14.0	1.1	1.1	0.9	67.3	19.8	18.9	3.6	16.8	8.3	6.9	1.0	4.5	4.8
CP-38	58.6	10.0	10.9	2.4	0.9	0.9	34.1	20.6	14.2	3.2	15.2	9.0	2.9	1.2	4.1	4.9
CP-39	86.8	20.8	17.5	4.0	1.3	1.0	46.8	27.9	17.8	3.9	16.2	13.8	4.4	2.2	4.4	5.2
<i>A. cruentus</i>	83.2	13.5	13.3	3.2	1.1	0.9	44.9	23.5	16.8	3.6	16.0	11.3	4.2	1.5	4.4	4.9
Areli	68.7	12.3	9.7	2.2	1.1	0.8	39.7	18.6	7.8	2.7	12.7	10.3	3.3	0.9	4.3	5.2
AV-25	140.4	9.1	12.3	1.5	0.9	1.0	68.8	20.6	14.5	2.9	16.5	9.8	7.1	1.1	3.4	5.8
AV-28	100.7	15.1	11.6	1.3	1.2	0.9	51.5	25.7	13.4	3.0	16.8	8.8	4.8	1.7	3.3	6.1
AV-3	82.8	27.2	10.9	6.6	1.0	1.1	45.6	48.0	13.0	4.0	15.4	15.9	3.9	3.9	3.7	6.2
AV-7	77.7	21.3	10.5	6.0	1.0	1.1	41.9	34.7	11.5	4.0	13.8	15.0	3.7	2.6	3.9	5.6
CP-30	110.6	13.0	11.3	5.5	1.0	0.9	54.7	19.6	14.4	3.0	15.9	14.1	5.2	0.9	4.0	4.5
Laura	79.1	9.3	11.0	2.9	1.7	0.9	41.1	21.3	12.6	3.8	14.0	12.9	3.5	1.3	4.1	4.6
Nutrisol	65.0	22.8	10.1	2.2	0.8	0.8	90.7	41.7	15.7	3.6	14.0	10.5	8.8	3.2	4.9	5.7
<i>A. hypochondriacus</i>	90.6	16.3	10.9	3.5	1.1	0.9	54.2	28.8	12.9	3.4	14.9	12.2	5.0	2.0	4.0	5.5
Localidad 2																
AV-17	78.2	18.3	12.5	7.0	0.7	1.1	102.8	32.9	6.9	4.2	10.2	14.1	11.0	2.1	5.0	6.3
AV-19	50.9	11.1	8.2	5.4	0.9	1.1	68.7	23.7	8.3	4.2	12.6	13.9	7.2	1.4	4.1	5.5
AV-29	121.0	25.2	11.9	0.4	0.7	0.8	60.5	28.2	10.8	3.7	13.4	5.7	5.9	2.6	5.0	5.2
AV-8	179.9	12.3	10.3	7.0	0.9	0.9	96.9	22.4	11.3	3.8	12.3	16.9	10.0	1.5	5.9	5.0
<i>A. hybridus</i>	107.5	16.7	10.7	5.0	0.8	1.0	82.2	26.8	9.3	4.0	12.1	12.6	8.5	1.9	5.0	5.5
Benito	84.3	20.8	10.8	1.0	0.8	1.0	43.0	29.2	10.2	3.1	15.6	5.9	4.3	2.1	4.2	5.0
CP-15	107.1	13.1	11.0	6.0	1.0	0.9	55.9	20.1	14.6	3.0	17.4	11.5	5.3	1.4	5.7	4.1
CP-38	102.4	16.0	9.4	3.0	1.0	1.0	54.5	25.5	10.2	3.2	12.3	9.1	4.8	1.5	4.1	5.7
CP-39	113.1	14.0	9.8	5.5	1.5	1.1	58.0	23.8	6.0	3.3	18.0	13.2	5.7	1.1	5.0	4.5
<i>A. cruentus</i>	101.7	16.0	10.2	3.9	1.1	1.0	52.9	24.6	10.2	3.2	15.8	9.9	5.0	1.5	4.8	4.8
Areli	37.8	10.8	7.7	3.3	0.9	0.9	50.9	19.4	10.6	3.1	12.4	14.0	5.0	1.2	5.1	5.8
AV-25	97.1	16.8	8.6	1.0	0.9	0.9	52.7	27.7	7.6	2.9	12.4	7.1	5.2	2.0	4.3	5.0
AV-28	132.9	28.1	10.2	0.8	1.0	0.9	69.7	35.5	13.2	2.9	17.0	6.8	6.8	3.3	4.7	5.8
AV-3	90.6	17.2	9.7	4.9	0.8	1.2	48.2	34.4	9.4	3.8	14.8	14.5	4.6	2.2	4.7	6.3
AV-7	115.4	16.6	8.2	3.0	0.8	1.0	56.7	26.9	9.8	3.6	13.8	9.5	5.7	2.1	4.0	5.8
CP-30	70.4	45.0	10.2	4.0	0.8	0.7	41.5	23.2	7.7	0.0	9.8	13.4	3.5	1.6	5.1	6.0
Laura	107.6	31.3	10.2	6.5	0.9	0.7	58.2	22.8	10.4	0.9	14.4	11.3	5.4	1.5	6.0	7.0
Nutrisol	88.3	46.7	10.6	8.3	0.8	0.7	46.7	28.4	12.2	0.0	12.6	16.9	4.1	2.0	5.8	6.4
<i>A. hypochondriacus</i>	92.5	26.6	9.4	4.0	0.8	0.9	53.1	27.3	10.1	2.2	13.4	11.7	5.0	2.0	5.0	6.0
DSH-Tukey ⁴	14.0		4.1		0.8		4.5		0.6		0.5		0.5		0.3	

¹ Expresado en mg 100 g⁻¹; ²C/F: con fertilizante; ³S/F: Sin fertilizante; ⁴DHS-Tukey: diferencias entre medias con valores mayores a la diferencia significativa honesta (DSH), son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

En nuestros resultados el efecto de la fertilización mostró respuesta positiva para algunos minerales (Ba, Cu, Mn Sr, Al, Fe y Ti), mientras que en otros no hubo respuesta a esta condición (S, K, Mg, Na, P y Zn). En evaluaciones realizadas en *A. tricolor* se observó que los minerales

K, Al, Fe, Mn y Zn, no fueron influenciados por los tratamientos de fertilización, mientras que en el nivel de fertilización más baja se observaron los mayores contenidos para los minerales Na, Ca, Mg y Al (Ohshiro *et al.*, 2016). Entre especies se observó que *A. hybridus* fue sobresaliente en los minerales Al, Fe, Ti, Zn, Mg y P, mientras que la especie *A. cruentus* sobresale en el contenido de Ba, Cu, Mn, Sr, Ca, K, Na y S.

El contenido de Ca para la especie *A. cruentus* es de 26.14 g.kg⁻¹, siendo el valor más alto de las tres especies evaluadas. Diversos autores reportan contenido de calcio para esta especie que van desde 12.30 a 31.20 g.kg⁻¹ (Mera-Ovando *et al.*, 2003, Seguin *et al.*, 2013 y Kachiguma *et al.*, 2015). Para *A. hybridus* y *A. hypochondriacus* los contenidos de calcio reportado en este estudio fueron similares a los reportados por Kachiguma *et al.* (2015) y Abbasi *et al.* (2012). Otras especies de amaranto que no fueron incluidas en este estudio debido a que no se cultivan en México, pero que reportan altos contenidos de calcio es *A. dubius* con contenidos que van de 30.14 a 31.61 g.kg⁻¹ (Molina *et al.*, 2011) y *A. tricolor* con valores de 55 a 169 g.kg⁻¹ (Ohshiro *et al.*, 2016).

Los contenidos de K reportados para las tres especies evaluadas en este estudio varían de 70.34 a 86.74 g.kg⁻¹; no obstante, estos resultados fueron superiores a lo reportado por otros autores (Kachiguma *et al.*, 2015, Seguin *et al.*, 2013 y Abbasi *et al.*, 2012). Para el mineral Cu Seguin *et al.* (2013) reporta contenidos de 13.8 a 14.7 mg 100 g⁻¹ para *A. cruentus*, valores que están muy por encima de los reportados en este estudio.

Para el caso del mineral Fe, los contenidos obtenidos en este estudio se encuentran por debajo de lo reportado por Molina *et al.* (2011), Montero-Quintero *et al.* (2011), Seguin *et al.* (2013) y Ohshiro *et al.* 2016, para las especies *A. dubius*, *A. cruentus* y *A. tricolor*, pero son superiores a lo reportado por Mera-Ovando *et al.* (2003), Abbasi *et al.* (2012) y Kachiguma *et al.* (2015).

Las variaciones de Zn fueron de 4.71 a 5.14 mg 100 g⁻¹ en las tres especies evaluadas, valores que son superiores a los reportados por Kachiguma *et al.* (2015) para las mismas especies, donde el contenido de Zn osciló entre 1.26-3.46 mg 100 g⁻¹.

Tomando en cuenta que la ingesta recomendadas de Fe y Zn, para niños oscila de 7-10 mg/día y 3-5 mg/día, respectivamente, y en el caso de las mujeres embarazadas la ingesta recomendada es de 27 mg/día para hierro y de 11-12 mg/día para Zn (García-Casal *et al.*, 2013) y con base en los resultados obtenidos en este estudio, se plantea que el consumo de amaranto como verdura es una opción relevante para la aportación de estos minerales. Otra ventaja de este cultivo, además de la importancia que tiene en la nutrición, la seguridad alimentaria, y la generación de

ingresos (Manzanero-Medina *et al.*, 2020), es su fácil producción, su resistencia a factores adversos como altas temperaturas y sequía, además de producirse con bajos requerimientos de agua (Barrales *et al.*, 2010).

3.4 CONCLUSIONES

El contenido de minerales en casi todos los elementos determinados, está en función del genotipo, la especie, la localidad y las condiciones de fertilización en las que se desarrolla el cultivo. Con excepción de Ca, todos los macro minerales reportan valores más altos en la localidad de Tepetitla, pero fue en la localidad de Huaquechula donde se presentaron los contenidos más altos para casi todos micro minerales. Se observó que los elementos Ca, Ba, Cu, Mn Sr, Al, Fe y Ti son influenciados positivamente por el efecto de la fertilización, mientras que los elementos S, K, Mg, Na, P y Zn, se acumulan mejor en las plantas que fueron cultivadas sin fertilización. Las especies *A. hybridus* y *A. cruentus*, sobresalieron en el contenido de seis y ocho minerales, respectivamente. Se identificaron como genotipos sobresalientes a las colectas AV8, AV3, AV17, AV28 y CP39; además, de que tanto para las especies como para los genotipos sobresalientes los contenidos de minerales en las muestras mostraron mayor estabilidad al cambiar de localidad de cultivo y condición de fertilización. Cabe resaltar que en los genotipos AV8 y AV3 el mineral calcio se acumula mejor en plantas sin fertilizar. Por lo tanto el consumo de este cultivo y en específico de estos genotipos podría contribuir de manera positiva a la nutrición de la población Mexicana.

3.5 REFERENCIAS

- Abbasi D., Y. Rouzbehan and J. Rezaei (2012)** Effect of harvest date and nitrogen fertilization rate on the nutritive value of amaranth forage (*Amaranthus hypochondriacus*). *Animal Feed Science and Technology* 171:6-13. doi:10.1016/j.anifeedsci.2011.09.014
- Bailey L. R., K. P. West Jr and R. E. Black (2015)** The epidemiology of global micronutrient deficiencies. *Annals of nutrition & metabolism* 66: 22-33. <https://doi.org/10.1159/000371618>
- Barrales D. J. S., E. Barrales B y E. Barrales B (2010)** Amaranto: recomendaciones para su producción. Plaza y Valdés. D. F. México. 166 p.

- Basurto-Peña F., Martínez-Alfaro MA., Villalobos-Contreras G (1998)** Los Quelites de la Sierra Norte de Puebla, México: Inventario y formas de preparación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 62: 49-62.
- Das S (2016)** *Amaranthus*: A promising crop of future. Springer Nature, Singapore. 208 p.
- De la Mora G. J (2013)** La alimentación en México: Producción, abasto y nutrición. Problemas de desarrollo. *Revista Latinoamericana de Economía* 17: 9-24, DOI: <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.1986.64/65.35602>
- Díaz-José J., F. Guevara-Hernández, V. Morales-Ríos and J. L. López-Ayala (2019)** Traditional knowledge of edible wild plants used by indigenous communities in Zongolica, Mexico. *Ecology of Food and Nutrition* 58: 511-526. DOI: 10.1080/03670244.2019.1604340
- Espitia-Rangel E. E., C. Mapes-Sánchez, C. A. Núñez-Colín y D. Escobedo-López (2010)** Distribución geográfica de las especies cultivadas de *Amaranthus* y de sus parientes silvestres en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1(3):427-437.
- Fraga G. C (2005)** Relevance, essentiality and toxicity of trace elements in human health. *Molecular aspects of medicine* 26: 235-244. DOI:10.1016/j.mam.2005.07.013
- García-Casal M. N., M. Landaeta, G. A. de Baptista, C. Murillo, M. Rincón, L. Bou R., P. Peña-Rosas (2013)** Valores de referencia de hierro, yodo, zinc, selenio, cobre, molibdeno, vitamina C, vitamina E, vitamina K, carotenoides y polifenoles para la población venezolana. *Archivos latinoamericanos de Nutrición* 63: 338-361
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)-Instituto Nacional de Salud Pública (INSP) (2018)** Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018, Presentación de resultados.
https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2018/doctos/informes/ensanut_2018_presentacion_resultados.pdf
- Kachiguma N. A., W. Mwase, M. Maliro y A. Damaliphetsa (2015)** Chemical and mineral composition of amaranth (*Amaranthus L.*) species collected from central Malawi. *Journal of Food Research* 4:92-102. <http://dx.doi.org/10.5539/jfr.v4n4p92>
- Manzanero-Medina G. I., M. A. Vásquez-Dávila, H. Lustre-Sánchez and A. Pérez-Herrera (2020)** Ethnobotany of food plants (quelites) sold in two traditional markets of Oaxaca, Mexico. *South African Journal of Botany* 130: 215-223. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.01.002>

- Mera-Ovando L. M., R. Alvarado-Flores, F. Basurto-Peña, R. Bye-Boettler, D. Castro-Lara, V. Evangelista y J. Saldivar (2003)** "De quelites me como un taco". Experiencia en educación nutricional. *Revista del Jardín Botánico Nacional* 24:45-49.
- Molina E., P. Gonzales-Redondo, K. Montero, R. Ferrer, R. Montero-Rojas y A. Sánchez-Urdaneta (2011)** Efecto de la época de recolecta y órgano de la planta sobre el contenido de metales *Amaranthus dubius* Mart. Ex Thell. *Interciencia* 36: 386-391. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33918012010>
- Montero-Quintero K., R. Moreno-Rojas, E. Molina y A. B. Sanchez-Urdaneta (2011)** Composición química de *Amaranthus dubius*: una alternativa para la alimentación humana y animal. *Rev. Fac. Agron* 28:619-627.
- Morales G. J. C., N. Vázquez M y R. Bressani C (2014)** El amaranto: características y aporte nutricional. Segunda edición. Trillas. D.F. México. 280p.
- Ohshiro M., M. A. Hossain, I. Nakamura, H. Akamine, M. Tamaki, P. C. Bhowmik and A. Nose (2016)** Effects of soil types and fertilizers on growth, yield, and quality of edible *Amaranthus tricolor* lines in Okinawa, Japan. *Plant Production Science* 19:61-72. <http://dx.doi.org/10.1080/1343943X.2015.1128087>
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2018)** Obesidad y sobrepeso. Organización Mundial de la Salud. Washington, Estados Unidos de América. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight> (Mayo, 2019).
- Rodríguez R. V. M y E. Simón M (2008)** Bases de la Alimentación Humana. Netbiblo, España. 19 pp.
- Román S., C. Ojeda-Granados y A. Panduro (2013)** Genética y evolución de la alimentación de la población en México. *Revista de endocrinología y nutrición* 21: 42-51. DOI: <http://www.medigraphic.com/endocrinologia>
- SAS Institute (2002)** User's Guide SAS/STAT® 9.0. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA. 550 p.
- Seguin P., A.F. Mustafa, D. J. Donnelly and B. Gélinas (2013)** Chemical composition and ruminal nutrient degradability of fresh and ensiled amaranth forage. *Society of Chemical Industry* 93: 3730-3736. DOI 10.1002/jsfa.6218
- Shamah-Levy T., F. Mejía-Rodríguez, I. M. Gómez-Humarán, V. de la Cruz-Góngora, V. Mundo-Rosas y S. Villalpando-Hernández (2018)** Tendencias en la prevalencia de

anemia entres mujeres mexicanas en edad reproductiva 2006-2016. ENSANUT MC 2016. *Salud pública de México* 60: 301-308. <https://doi.org/10.21149/8820>

Velasco-Lavín M. R (2016) La desnutrición y la obesidad: dos problemas de salud que coexisten en México. *Revista mexicana de pediatría* 83:5-6. <https://www.medigraphic.com/pdfs/pediat/sp-2016/sp161b.pdf>

CAPITULO IV: COMPUESTOS FENÓLICOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN HOJAS Y TALLOS DE *Amaranthus hybridus* L., *A. hypochondriacus* L. Y *A. cruentus* L.

RESUMEN

En la gastronomía rural mexicana es común el consumo de amaranto como quelite o quintonil, producto de la recolección de hojas y brotes tiernos en parcelas de producción de amaranto, terrenos cultivados, traspatios o zonas aledañas. El objetivo fue evaluar el efecto de localidades de cultivo, fertilización, especies y variedades o colectas (genotipos), en el contenido total de flavonoides, polifenoles y actividad antioxidante en hojas y brotes tiernos de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*, *A. hybridus* y *A. cruentus*). La siembra se hizo en Huaquechula, Puebla y en Tepetitla, Tlaxcala bajo un arreglo factorial de 16 genotipos de *A. hypochondriacus* (8), *A. hybridus* (4) y *A. cruentus* (4), y dos condiciones de fertilización (con 18N-07P-09K y sin fertilizante) bajo un diseño de bloques al azar con dos repeticiones. A 40 días de la siembra se recolectó una muestra de hojas y brotes tiernos, que se secó a temperatura ambiente y molió; posteriormente se cuantificó el contenido de polifenoles, flavonoides y actividad antioxidante por el método de FRAP y DPPH, mediante espectrofotometría UV-vis y estándares de referencia. Los resultados muestran que la ζ localidad de siembra, uso o no de fertilizante, especie y variedad o colecta cultivada tiene un efecto significativo de cambio en el contenido de flavonoides, fenoles y actividad antioxidante. En Huaquechula, Puebla se presentaron días sin lluvia o de escasa precipitación y altas temperaturas, condición ambiental que influyó en una mayor concentración de fenoles, flavonoides y actividad antioxidante. *A. hybridus* presentó valores altos de fenoles y flavonoides y significativamente diferentes de los valores registrados para *A. hypochondriacus* y *A. cruentus*. Las colectas sobresalientes en flavonoides y fenoles fueron AV-17 y AV-19 de *A. hybridus* y CP-38 de *A. cruentus*, y en actividad antioxidante fueron CP-38 y CP-39 de *A. cruentus* y AV-19 y AV-3 de *A. hybridus*.

Palabras clave: Alimento funcional, compuestos bioactivos, especies de *Amaranthus*, efecto ambiental, espectrofotometría.

SUMMARY

In Mexican rural gastronomy, the amaranth consumption is very common which is known as 'quelite' or 'quintonil', which is obtained from recollecting leaves and young shots into parcels of amaranth production, land cultivated, backyards or neighbor zones. So, we state as objective to evaluate the effect of crop location, fertilization, species and varieties or accessions, genotypes, on total content of flavonoids and polyphenols, and antioxidant activity of leaves and young shots of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*, *A. hybridus* y *A. cruentus*). In Huaquechula, Puebla and Tepetitla, Tlaxcala was sown an experiment under factorial arrangement of 16 genotypes of *A. hypochondriacus* (2), *A. hybridus* (8) and *A. cruentus* (6), and two conditions of fertilization (with 18N-07P-09K formula and without fertilizing), under a randomized complete block design with two replications. 40 days after sowing, samples of leaves and young shots were collected, after harvest samples were dried at room temperature and grounded, and after that in every sample the content of polyphenols, flavonoid and activity antioxidant by methods of FRAP and DPPH was quantified throughout a spectrophotometry UV-vis and reference standards. Results shown that, sowing location, use or not of fertilizer, specie and variety or accessions cultivated, they have a significant effect on changes in content of flavonoids, polyphenols and antioxidant activity. In Huaquechula, Puebla there were days without or scarce precipitations and high temperatures, an environmental condition which enhanced a major concentration of flavonoids, polyphenols and antioxidant activity. *A. hybridus* presented high values and different significantly in phenol and flavonoid contents from those values scored for *A. hypochondriacus* and *A. cruentus*. The accessions AV-17 and AV-19 of *A. hybridus*, and CP-38 of *A. cruentus* outstand in flavonoids and phenols but in antioxidant activity the higher values were registered in CP-38 and CP-39 of *A. cruentus*, AV-19 and AV-3 of *A. hybridus*.

Key words: *Amaranthus* species, bioactive compounds, environmental effect, functional food, spectrophotometry.

4.1 INTRODUCCIÓN

En México se cultivan anualmente de 3,192 a 3,552 ha de amaranto (*Amaranthus* spp.), de las que se obtiene una producción promedio de 4,317 a 6,971 toneladas de grano, principalmente en los estados de Puebla, Tlaxcala, México, Ciudad de México, Oaxaca y Morelos (SIAP, 2019). Este grano se utiliza principalmente reventado y transformado en harinas y otros productos procesados, pero no existen estadísticas de producción o recolección y consumo como quelite-verdura desde plántula hasta antes de la floración. El género *Amaranthus* agrupa a 70 especies, y once de ellas tienen amplia distribución en México: *A. cruentus*, *A. hybridus*, *A. hypochondriacus*, *A. powelli*, *A. tricolor*, *A. blitum*, *A. virides*, *A. retroflexus*, *A. palmeri*, *A. dubius* y *A. spinosus* (Espitia-Rangel *et al.*, 2010; Das, 2012; Mapes y Basurto, 2016; Ruiz-Hernández *et al.*, 2018).

En el grupo de plantas denominadas como quelites, del Nahuatl *quilitl*, se incluyen hasta 250 especies de amplia distribución en México. Algunas de las especies más utilizadas desde tiempos prehispánicos son huauzontle (*Chenopodium* spp.), quelite (*Chenopodium* spp.), romerito (*Suaeda* spp.), verdolaga (*Portulaca oleracea*) y quintoniles, bledo o amaranto (*Amaranthus* spp.), entre otras. Los quelites son de amplio uso regional en la alimentación de las comunidades indígenas como parte de sus costumbres y tradiciones de aprovechamiento de la biodiversidad regional, solo que hasta ahora han sido subvalorados y subexplotados en su contribución nutricional y de compuestos funcionales (Castro-Lara *et al.*, 2014; Mapes y Basurto, 2016; Santiago-Sáenz *et al.*, 2019). En particular, los quintoniles o amarantos son comúnmente reportados en los estudios etnobotánicos sobre quelites en México (Basurto-Peña *et al.*, 1998; Castro-Lara *et al.*, 2011; Balcázar-Quiñones *et al.*, 2020). No obstante, es necesario conocer la aportación en compuestos nutricionales y bioactivos para mejorar la salud de las familias.

La obesidad, sobrepeso y enfermedades vinculadas son problemas poblacionales mundiales de los cuales México no está exento. Estos problemas de salud pública fueron declarados a nivel nacional como emergencia epidemiológica el primero de noviembre del 2016. Se encuentran asociados a factores alimentarios, principalmente a procesos de transición alimentaria o abandono de dietas tradicionales. En la encuesta nacional de salud y nutrición de medio camino 2016, se registró que los niños, adolescentes y adultos presentaron una proporción de 33.2, 36.3 y 72.5 % de obesidad y sobrepeso debido a problemas de inactividad del orden de 82.8, 39.5 y

14.4 % (actividad < 35 min) y bajo consumo de verduras con 22.6, 26.9 y 42.3 %, respectivamente, y en general un incremento en el consumo de carne (86.7 %), (Secretaría de Salud, 2016). Ante este problema social alimentario el amaranto-quelite puede desempeñar una función esencial en la salud debido a que aporta proteínas, aminoácidos, minerales, vitaminas (E, C) y fibra, incluyendo una fuente importante de compuestos bioactivos como compuestos fenólicos, flavonoides y pigmentos (p. ej. clorofilas, betalaínas) con alta actividad antioxidante (Santiago-Sáenz *et al.*, 2019). Esta respuesta incluye una revaloración de la dieta tradicional mexicana con quintoniles o quelites mediante información actualizada de compuestos nutricionales y nutraceuticos (Gálvez-Mariscal y Peña-Montes, 2015).

En amaranto-quelite, el contenido de flavonoides (rutina y quercetina) varía en función del órgano; por ejemplo, es mayor en hojas que en flores y tallos, influye también el ciclo de cultivo de un año a otro, variedad y especie de amaranto (Kalinova y Dadakova, 2009). Nana *et al.* (2012) argumentan que el contenido de polifenoles, flavonoides y actividad antioxidante es mayor en *A. hybridus* que en *A. cruentus*. Una situación semejante reportaron Niveyro *et al.* (2013), quienes concluyen que la concentración del flavonoide nicotiflorina es mayor en *A. mantegazzianus*, en *A. hypochondriacus* sobresalió el contenido de rutina e iso-quercetina, y *A. cruentus* presentó los valores más bajos en los tres compuestos. Las diferencias entre especies en compuestos bioactivos, minerales y actividad antioxidante ha sido ampliamente reportada en diferentes estudios (Khanam y Oba, 2013; Li *et al.*, 2015; Jiménez-Aguilar y Grusak, 2017; Schröter *et al.*, 2018). No obstante, se desconoce el efecto de la fertilización mineral en el contenido de compuestos bioactivo-funcionales y actividad antioxidante. También es de remarcar que los compuestos bioactivos cumplen diferentes funciones preventivas de trastornos metabólicos y enfermedades por su potencial anticancerígeno o antitumoral (Joshua *et al.*, 2010; Baskar *et al.*, 2012), antidiabético e hipolipidémico (Girija *et al.*, 2011), antiinflamatorio (Bihani *et al.*, 2013), antibacterial, anticolesterómico y protector cardiovascular (Jimoh *et al.*, 2019).

En comunidades rurales del centro y sur de México es común el consumo de quintonil o amaranto fresco, obtenido mediante recolección de plantas silvestres o de la siembra para la producción de grano. En trabajos previos concluyeron que hay diferencias sustanciales entre especies en compuestos bioactivos y cambian con la fase de desarrollo de la planta (Kalinova y Dadakova, 2009; Ramzan *et al.*, 2018). En este trabajo el objetivo fue evaluar la variación entre y dentro de tres especies de amaranto por efecto de localidad de siembra y uso de fertilizantes,

mediante determinaciones del contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante en hojas y tallos jóvenes.

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1 Material genético

La evaluación de compuestos fenólicos y actividad antioxidante se realizó en una muestra de 12 colectas y cuatro variedades mejoradas (testigos) de tres especies de amaranto: AV25, AV28, AV7, AV3, CP30, Areli, Laura y Nutrisol de la especie *Amaranthus hypochondriacus*; AV17, AV8, AV29 y AV19 de la especie *A. hybridus*, en ambos casos originarias de Zapotitlán de Méndez, Puebla; y CP38, CP39, CP15 y Benito de *A. cruentus*, con origen en Tochimilco, Puebla y Huazulco, Morelos. Más detalles sobre el origen y características de grano de los genotipos evaluados se reportaron en Ortiz-Torres *et al.* (2018).

4.2.2 Diseño y manejo de experimentos

En Huaquechula, Puebla (18° 45' 58.3" LN, 98° 33' 25.14" LO y 1577 m de altitud, siembra 8 de septiembre) y Tepetitla, Tlaxcala (19° 16' 31.31" LN, 98° 23' 20.07" LO y 2228 m de altitud, siembra 24 de agosto), durante el ciclo primavera-verano 2018, se establecieron dos experimentos mediante un arreglo factorial 16x2 tratamientos bajo un diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones. El factor genotipos estuvo constituido por 16 colectas y variedades y el factor fertilización con dos niveles, con fertilización mediante la fórmula 18-07-09 al momento de la siembra, las fuentes fueron urea, fosfato diamónico y cloruro de potasio, y sin fertilización. La parcela experimental constó de 2 surcos de 5 m de largo y 0.8 m de ancho. En cada localidad experimental se registró la temperatura y precipitación (Figura 4.1). Al momento de la siembra se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 30 cm y se hizo un análisis general de fertilidad (Cuadro 4.1).

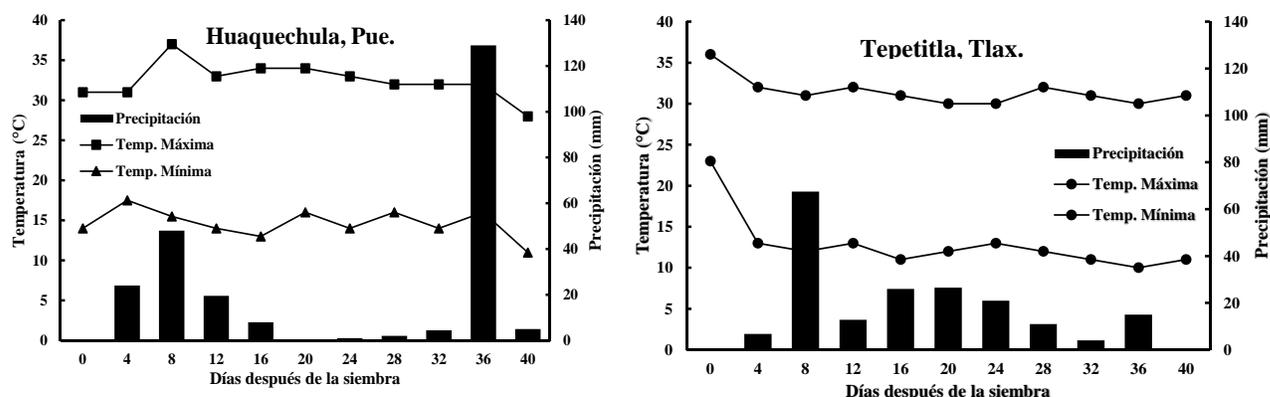


Figura 4.1. Temperaturas máximas y mínimas (°C) y precipitación pluvial (mm) en las localidades de Huaquechula, Puebla y Tepetitla, Tlaxcala.

Cuadro 4.1. Descripción de la textura y fertilidad de suelo en los dos sitios experimentales

Descriptor	Huaquechula, Puebla	Tepetitla, Tlaxcala
Tipo de suelo	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso
	Arenoso	Arenoso
pH	6.9	6.7
Materia orgánica (%)	1.0	3.0
P-Bray (ppm)	17.8	340.0
K (ppm)	257.0	1213.0
Ca (ppm)	2078.0	1337.0
Mg (ppm)	491.0	432.0
Na (ppm)	27.5	35.0
Fe (ppm)	15.0	17.9
Zn (ppm)	0.7	6.0
Mn (ppm)	19.4	2.8
Cu (ppm)	1.4	0.8
B (ppm)	0.2	0.5
S (ppm)	1.4	20.7
N-NO3 (ppm)	30.2	494.0

Los experimentos se establecieron bajo condiciones de temporal y sin riegos de auxilio. El control de malezas se realizó de manera mecánica y manual; en los bordos de contorno se aplicó cipermetrina para el control de chapulín. La cosecha de plantas se realizó a 40 días después de la siembra, se separaron hojas y tallos, y se dejaron secar a la sombra durante 15 días. Posteriormente fueron secadas en una estufa de aire forzado (Thermo Scientific) durante 48 horas, a una temperatura de 48 °C hasta humedad constante; una vez secas se colocaron en frascos, manteniéndose en lugar seco y aislado de luz, hasta el análisis.

4.2.3 Preparación de muestras para análisis

De cada muestra experimental de referencia se tomaron 0.2 g de muestra en polvo y se adicionaron 20 mL de etanol al 80 % para la determinación de fenoles y flavonoides totales, y 20 mL de metanol al 80 % para el análisis de actividad antioxidante mediante la técnica de DPPH y FRAP; ambos se homogenizaron en Ultra Turrax (IKA T75 Digital) durante 90 s y se centrifugaron a 11 000 rpm (centrifuga 5810R refrigerada marca Eppendorf) durante 15 min a una temperatura de 4 °C. Los sobrenadantes fueron separados para su análisis correspondiente. Ambos extractos se hicieron por triplicado.

4.2.4 Evaluación de flavonoides, polifenoles y actividad antioxidante (DPPH y FRAP)

El contenido de flavonoides totales se determinó con base en el método descrito por Lin y Tang (2007). A 500 µL del extracto se adicionaron 1.5 mL de etanol al 95 %, 100 µL de cloruro de aluminio, 100 µL de acetato de potasio y 2.8 mL de agua desionizada, se agitó en vortex y se dejó reposar durante 40 min a temperatura ambiente; después se registró la absorbancia a una longitud de onda de 415 nm en un espectrofotómetro UV/Vis (Shimadzu UV-1800, Kyoto, Japan), en muestras por triplicado. Para la cuantificación de flavonoides, se utilizó de referencia una curva de calibración con quercetina (estándar) en un intervalo de 0.1 a 0.7 mg mL⁻¹ ($r^2 = 0.999$). Los resultados se expresaron en mg equivalentes de quercetina por g de muestra base seca (mg EQ g⁻¹ bs).

La determinación de fenoles totales se realizó de acuerdo con el método propuesto por Singleton y Rossi (1965). A 400 µL de extracto, se adicionó un mL de agua desionizada y 200 µL del reactivo Folin-Ciocalteu. La mezcla se agitó y dejó incubar durante 5 minutos. Posteriormente, se adicionaron 2 mL de Na₂CO₃ al 7 % y 1.4 mL de agua desionizada, se agitó en vortex y se dejó reposar durante una hora a temperatura ambiente. Después se hicieron lecturas de absorbancia a una longitud de onda de 750 nm en un espectrofotómetro UV/Vis. La cuantificación se basó en una curva de calibración del estándar de ácido gálico en un intervalo de concentración de 0.021 a 0.165 mg mL⁻¹ ($r^2 = 0.999$). Los resultados se reportaron en mg equivalentes de ácido gálico por g de muestra en base seca (mg EAG g⁻¹ bs).

La actividad antioxidante por DPPH se determinó mediante el método formulado por Brand-Williams *et al.* (1995). A 100 µL de extracto se adicionaron 2.9 mL del reactivo DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo). La solución se agitó y se dejó incubar durante 30 min a temperatura ambiente. Posteriormente, se hicieron lecturas a una longitud de onda de 517 nm en un

espectrofotómetro UV/Vis. La actividad antioxidante se registró con base en una curva de calibración de Trolox (ácido 6-hidroxi-2, 5, 7, 8-tetrametilcroman-2-carboxílico) de 0.133 a 1.33 $\mu\text{mol mL}^{-1}$ y se expresó en $\mu\text{mol ETrolox g}^{-1}$ base seca (bs).

La actividad antioxidante por el método de FRAP, se analizó siguiendo el método descrito por Benzie y Strain (1996). A 100 μL del extracto metanólico se le adicionaron 3 mL del reactivo FRAP (buffer de acetato de sodio pH 3.6, TPTZ 10 mM y $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 10 mM), se incubó en baño María a 37 °C durante 30 min y se registró la absorbancia a una longitud de onda de 593 nm. La cuantificación de actividad antioxidante se realizó con base en una curva de calibración de Trolox de 50 a 1000 $\mu\text{mol L}^{-1}$; los resultados se expresaron como $\mu\text{mol ETrolox g}^{-1}$ base seca (bs).

4.2.5 Análisis estadístico

Con los resultados de laboratorio y en función del diseño experimental de campo, se hicieron análisis de varianza combinados mediante un modelo lineal con efectos de anidamiento de repeticiones en localidad y de colectas (genotipos) dentro de especies. Complementariamente se realizaron análisis de comparaciones múltiples de medias por el método de Tukey ($P < 0.05$). Los análisis se realizaron en el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2002). Las interacciones localidades por genotipos y fertilización por genotipos se presentan de manera gráfica.

4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La definición del potencial nutricional y nutracéutico o sus propiedades derivadas del consumo de amaranto como quelite, se fundamentan en información robusta del contenido de compuestos bioactivos. En este caso, el análisis de varianza combinado mostró diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre localidades de siembra, fertilización, especies y genotipos anidados en especies, y en todas las interacciones de los efectos principales, en relación al contenido de flavonoides y polifenoles totales, y actividad antioxidante, excepto en la interacción localidades por fertilizaciones para actividad antioxidante evaluada por el método de FRAP (Cuadro 4.2). Las diferencias entre efectos de niveles de factores principales y la significancia de las interacciones indican que las localidades de siembra, aplicación o no de fertilizante, especie, genotipo y sus interacciones influyen en la composición de fenoles, flavonoides y actividad antioxidante en hojas y tallos jóvenes de amaranto, que son las partes que se consumen como quelite.

Cuadro 4.2: Significancia de cuadrados medios del análisis de varianza de flavonoides, polifenoles y actividad antioxidante en hojas y tallos jóvenes de genotipos de amaranto.

Fuentes de variación	Flavonoides	Polifenoles	Actividad antioxidante	
	totales	totales	DPPH	FRAP
Localidades (L)	491.62 **	6985.8 **	108268.1 **	187927.6 **
Fertilización (F)	50.72 **	23.0 **	110.6 **	1058.8 **
Especies (E)	8.09 **	13.9 **	1507.4 **	2709.3 **
Genotipo (G)/Especie	8.29 **	16.5 **	488.3 **	790.5 **
L x F	1.72 **	65.9 **	547.6 **	3.8 ^{ns}
L x E	17.30 **	34.8 **	990.5 **	3028.1 **
F x E	17.65 **	28.9 **	150.1 **	281.3 **
L x G/E	3.64 **	26.4 **	575.3 **	829.4 **
F x G/E	4.84 **	29.3 **	535.1 **	894.6 **
L x F x E	4.13 **	72.8 **	85.4 **	87.7 **
L x F x G/E	7.56 **	20.9 **	672.0 **	979.4 **
Repetición/L	0.02 ^{ns}	0.4 **	5.39 ^{ns}	18.2 **
Replica de lab./Repetición	0.01 **	0.02 ^{ns}	9.60 ^{ns}	0.52 ^{ns}
Error	0.02	0.03	3.40	1.64
Coeficiente de variación (%)	3.1	2.5	6.4	4.4

^{ns}no significativo (P > 0.05); **Significativo a P ≤ 0.01.

La concentración de fenoles, flavonoides y actividad antioxidante cambió de una localidad de cultivo a otra, ya que los valores significativamente más altos fueron determinados en Huaquechula, Puebla en relación a Tepetitla, Tlaxcala. Esto indica que el ambiente de cultivo es determinante en la concentración de compuestos bioactivos. En este estudio, la cantidad y distribución de la precipitación fue contrastante porque se registró un intervalo de estrés hídrico en Huaquechula entre los 16 y 32 días después de la siembra, pero no fue así en Tepetitla, y un patrón semejante se observó en temperaturas mínimas y máxima (Figura 4.1); así, esta condición de estrés, entre otros factores, repercutió en mayor contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante en Huaquechula que en Tepetitla (Cuadro 4.3). Un patrón semejante fue reportado por Saker y Oba (2018a) al evaluar tres regímenes de déficit hídrico en *A. tricolor*, de bajo a severo, donde concluyeron que el contenido de polifenoles, flavonoides y actividad antioxidante evaluada por DPPH se incrementa a medida que es más severo el estrés hídrico. Incluso la severidad del estrés genera diferentes concentraciones de compuestos fenólicos específicos del tipo ácidos benzoicos, ácidos cinámicos y flavonoides del tipo quercetinas (Saker y Oba, 2018b).

Cuadro 4.3. Efecto de localidad de siembra, fertilización y de la interacción localidad por fertilización, en contenido de flavonoides, polifenoles y antioxidantes de amaranto.

Factores e interacción de estudio	Flavonoides (mg EQ g ⁻¹)	Polifenoles (mg EAG g ⁻¹)	Actividad antioxidante (μmol ET g ⁻¹)	
			DPPH	FRAP
<i>Localidades</i>				
Huaquechula, Pue.	5.11 a [†]	10.76 a	42.8 a	47.1 a
Tepetitla, Tlax.	3.29 b	3.64 b	14.7 b	10.7 b
<i>Fertilización</i>				
Con fertilización	4.54 a	7.46 a	29.4 a	30.1 a
Sin fertilización	3.86 b	6.94 b	28.2 b	27.7 b
<i>Interacción localidad x fertilización</i>				
<i>Huaquechula, Pue.</i>				
Con fertilización	5.44 a	11.48 a	42.7 a	48.5 a
Sin fertilización	4.78 b	10.03 b	42.9 a	45.8 b
<i>Tepetitla, Tlax.</i>				
Con fertilización	3.64 c	3.44 d	16.0 b	11.8 c
Sin fertilización	2.94 d	3.84 c	13.5 c	9.7 d

[†]Entre localidades, fertilización e interacción localidad-fertilización, medias con la misma letra en columnas y por fuente de variación no son estadísticamente diferentes (prueba de Tukey $p \leq 0.05$).

Durante el cultivo de amaranto para grano es común la aplicación de fertilizantes para mejorar e incrementar la producción, pero cuando se utiliza para quelite o como quintonil, tradicionalmente no se aplican fertilizantes. En este trabajo la aplicación de la fórmula 18-07-09 (N-P-K) generó un incremento significativo en el contenido de fenoles, flavonoides y actividad antioxidante, respecto a las parcelas donde no se aplicó fertilizante (Cuadro 4.3). Contrariamente, Onyango *et al.* (2012) no encontraron diferencias significativas en contenido de fenoles en hojas de *A. hypochondriacus* mediante la aplicación de nitrógeno. En cambio, en actividad antioxidante los resultados coinciden con las respuestas evaluadas por Skwarylo-Bednarz y Krzepilko (2009) en hojas de *A. cruentus*.

En la interacción localidades por fertilización se observó que en Huaquechula, Puebla la aplicación de fertilizante generó un mayor contenido de polifenoles, flavonoides y actividad antioxidante evaluada por FRAP y el extremo opuesto de respuesta se determinó en Tepetitla, Tlaxcala y sin fertilizante. Particularmente, en Tepetitla la aplicación de fertilizante presentó menor contenido de polifenoles que sin fertilizante (Cuadro 4.3). Todo esto confirma que los compuestos fenólicos y actividad antioxidante en hojas de amaranto están fuertemente influenciados por la localidad de siembra o ambiente de cultivo, especialmente en condiciones de estrés, y presenta un patrón semejante al efecto ambiental que se ha documentado ampliamente en composición de grano (Venskutonis y Kraujalis, 2013). Modi (2007) señala que

las temperaturas tienen un efecto significativo en la calidad nutricional de hojas de amaranto, pero de acuerdo con López-García *et al.* (2018) el contenido de fenoles y flavonoides cambia de una estación de cultivo a otra en *A. hybridus*.

Entre *A. hybridus*, *A. hypochondriacus* y *A. cruentus* hubo diferencias significativas en flavonoides, polifenoles y actividad antioxidante de hojas utilizadas como quelite o quintonil. *A. hybridus* presentó valores altos y significativamente diferentes de los valores registrados para *A. hypochondriacus* y *A. cruentus*. No obstante, la mayor actividad antioxidante, evaluada por los métodos de FRAP y DPPH, se registró en *A. cruentus* (hojas rojizas e inflorescencias rojizas), seguido de *A. hypochondriacus* (hojas cenizas con matices rojizos e inflorescencias rojizas) y por último *A. hybridus* (hojas verde claras a veces con márgenes y nervaduras rojizas), (Cuadro 4). Jiménez-Aguilar and Grusak (2017) determinaron también diferencias significativas entre *A. cruentus* y *A. hybridus* en flavonoides, polifenoles y actividad antioxidante aunque los valores registrados en este estudio fueron ligeramente más altos a los que estos autores determinaron. Todo indica que las especies responden diferencialmente a las condiciones ambientales en función de su constitución genética u origen genealógico.

Dentro de cada especie se observó que los genotipos (colectas o variedades) difieren significativamente. En contenido de flavonoide las colectas de *A. hybridus* presentaron una variación de 3.2 a 5.2 mg EQ g⁻¹ en base seca, y difieren de la variación determinada para *A. cruentus* (3.3 a 4.6 mg EQ g⁻¹) y de *A. hypochondriacus* (4.2 a 4.6 mg EQ g⁻¹). Un patrón semejante se determinó en contenido de polifenoles totales, la variación evaluada fue de 7.0 a 7.6, 6.4 a 8.2 y de 6.2 a 7.7 mg EAG g⁻¹, entre variedades y colectas de *A. hypochondriacus*, *A. hybridus* y *A. cruentus*, respectivamente (Cuadro 4.4). Entre cuatro variedades de *A. tricolor*, Sarker y Oba (2018a) determinaron una alta variación en contenido de polifenoles, flavonoides y actividad antioxidante, aunque con valores significativamente más altos que los reportados en este estudio; un patrón semejante también determinaron Sarker *et al.* (2020) entre 12 genotipos de *A. tricolor*. Las colectas sobresalientes en contenido de flavonoides y fenoles fueron AV-17 y AV-19 de *A. hybridus* y CP-38 de *A. cruentus*. En forma opuesta, las colectas de valores más bajos fueron AV-25 (*A. hybridus*) y CP-15 (*A. cruentus*) en contenido de flavonoides y en polifenoles totales fueron AV-28 y AV-8 (*A. hybridus*). Complementariamente, las colectas sobresalientes en actividad antioxidante fueron CP-38 y CP-39 de *A. cruentus* y AV-19 y AV-3 de *A. hybridus*.

Cuadro 4.4. Contenido de flavonoides, polifenoles y actividad antioxidante en hojas y tallos jóvenes de *A. hybridus*, *A. hypochondriacus* y *A. cruentus*.

Especies y genotipo	Flavonoides (mg EQ g ⁻¹)	Polifenoles (mg EAG g ⁻¹)	Actividad antioxidante (μmol ET g ⁻¹)	
			DPPH	FRAP
<i>A. hybridus</i>				
AV-17	5.2 a [†]	8.1 a	26.9 f	28.4 h
AV-19	4.2 d	8.2 a	31.4 b	33.7 b
AV-29	4.6 b	7.5 c	28.4 e	26.9 i
AV-8	3.9 f	6.5 h	21.7 h	20.4 k
<i>Promedio</i>	4.4 A	7.3 A	26.1 C	26.4 C
<i>A. hypochondriacus</i>				
Areli	4.2 d	7.6 b	30.0 c	30.0 g
AV-25	3.2 h	5.8 j	20.8 h	19.4 l
AV-28	3.8 g	6.4 h	25.3 g	24.6 j
AV-3	4.4 c	7.4 d	32.5 b	33.6 b
AV-7	4.0 f	7.2 e	30.1 c	31.5 e
CP-30	3.9 f	7.5 b	24.6 g	21.2 k
Laura	4.4 c	6.2 i	29.4 d	28.7 h
Nutrisol	4.6 b	7.0 f	28.9 d	27.7 h
<i>Promedio</i>	4.1 B	7.0 C	28.3 B	27.6 B
<i>A. cruentus</i>				
Benito	4.1 e	6.7 g	30.4 c	31.1 f
CP-15	3.3 h	6.8 f	30.1 c	32.2 d
CP-38	4.6 b	7.7 b	32.2 b	32.6 c
CP-39	4.1 e	7.7 b	37.9 a	40.8 a
<i>Promedio</i>	4.0 C	7.2 B	32.6 A	34.2 A

[†]En columna, entre genotipos y especies, medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes (prueba de Tukey, $P \leq 0.05$).

En la interacción fertilización por colectas y variedades, se determinó que la variedad Nutrisol (*A. hypochondriacus*) y las colectas AV-17, AV-29 y AV-3 (*A. hybridus*) presentaron concentraciones semejantes de flavonoides con y sin fertilizantes. Este patrón se repitió en las colectas AV-19 y AV-29 de *A. hybridus* y CP-39 de *A. cruentus* para el contenido de polifenoles totales. En ambos compuestos la especie *A. hybridus* fue más estable que *A. hypochondriacus* y *A. cruentus*. En contraposición, en actividad antioxidante la especie *A. cruentus* fue más estable que *A. hybridus* y *A. hypochondriacus*. Los genotipos más estables fueron Benito, CP-15, CP-38 y CP-39 de *A. cruentus*, y AV-3 de *A. hybridus* (Figura 4.2). Los patrones descritos muestran que los genotipos responden diferencialmente en compuestos bioactivos y actividad antioxidante en hoja a la aplicación de fertilizante, en compuestos bioactivos y actividad antioxidante en hoja, y algunos genotipos mostraron que la aplicación de fertilizante no mejoró sustancialmente el contenido final de estos compuestos. Por ejemplo, la composición de los genotipos AV-17, CP-39 y AV-29 permanece constantemente alta con o sin la aplicación de

fertilizante. Sin embargo, otro grupo de colectas y variedades (p. ej. Av-25) permanecen con bajas concentraciones a pesar de la adición de fertilizante.

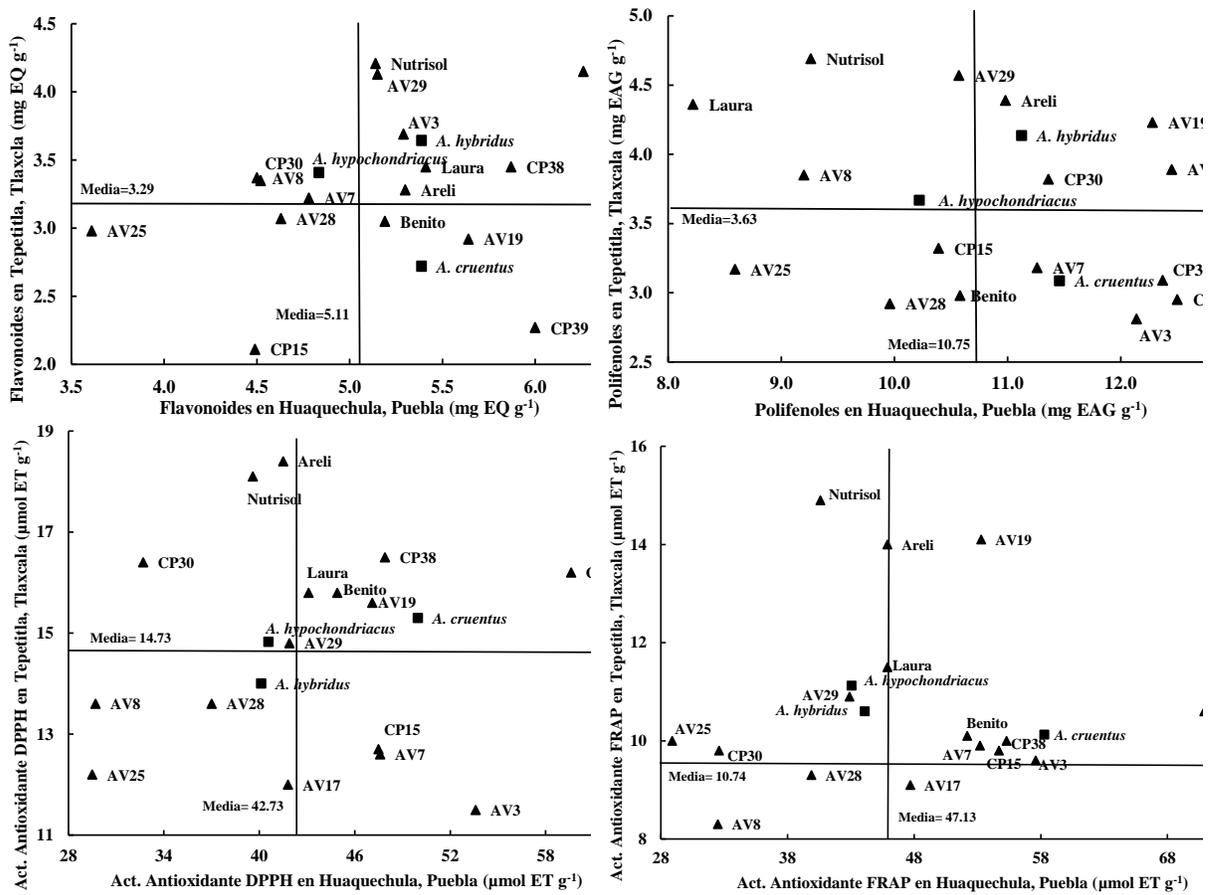


Figura 4.2. Dispersión de especies y genotipos de amaranto en función de la interacción localidades por genotipos y especies respecto al contenido de flavonoides, polifenoles y actividad antioxidante en hojas y tallos jóvenes.

▲: Genotipo; ■: Especie.

En la interacción localidad por genotipo y especie se observó que la variedad Areli (*A. hypochondriacus*) y las colectas AV-17 y AV-29 (*A. hybridus*) fueron estables con alto valor en su contenido de fenoles y flavonoides totales, al cambiar de una localidad de cultivo a otra. En forma opuesta, las colectas AV-25 y AV-28 (*A. hybridus*) también fueron estables, pero con bajo contenido de fenoles y flavonoides. Alternativamente, AV-8 (*A. hybridus*) se comportó mejor en Tepetitla, Tlaxcala en relación al contenido de flavonoides y CP-39 (*A. cruentus*) presentó los mayores valores de polifenoles totales en Huaquechula, Puebla. Las colectas AV-19 (*A. hybridus*), Benito, Laura, CP-38 y CP-39 (*A. cruentus*) fueron constantes de una localidad a otra en su actividad antioxidante (Figura 4.3). Los resultados muestran una gran

heterogeneidad de respuestas entre genotipos en función de la localidad de siembra; no obstante, en contenido de fenoles y flavonoides totales las colectas de *A. hybridus* presentaron mejor comportamiento, pero en actividad antioxidante las colectas de *A. cruentus*, y *A. hypochondriacus* estuvieron alrededor de la media.

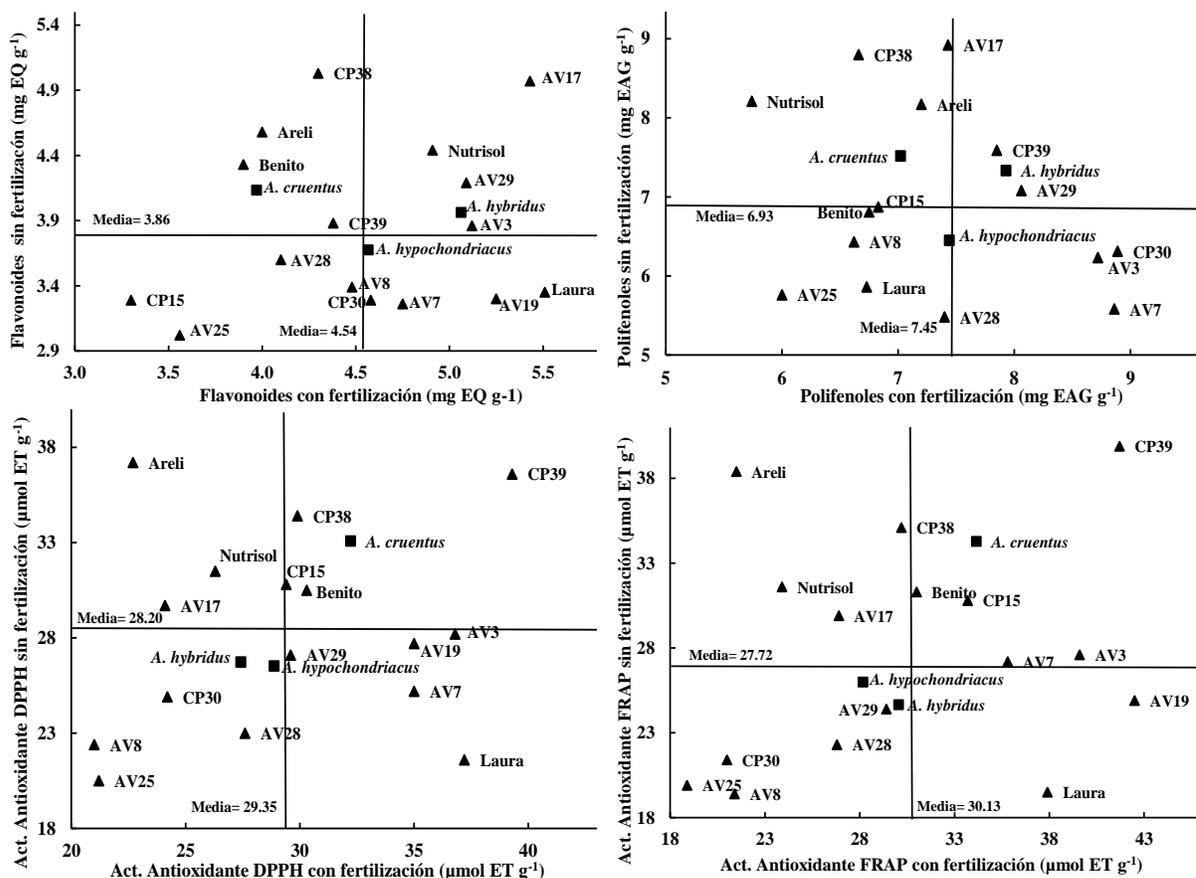


Figura 4.3. Dispersión de especies y genotipos de amaranto en función de la interacción fertilización por genotipos y especies en compuestos bioactivos y actividad antioxidante en hojas y tallos jóvenes.

▲: Genotipo; ■: Especie.

En la triple interacción localidad por fertilización por genotipo, se mostraron diferentes patrones de compuestos bioactivos y actividad antioxidante en hojas de amaranto. En principio, las variedades y colectas presentaron mayores valores de flavonoides, polifenoles y actividad antioxidante en Huaquechula, Puebla (localidad 1) y con la aplicación de fertilizante que en las siembras de Tepetitla, Tlaxcala con o sin la aplicación de fertilizante. Entre los casos específicos se observó que AV-17 (*A. hybridus*), CP-38 (*A. cruentus*) y Areli (*A. hipocohndriacus*) presentaron mayor contenido de flavonoides sin la aplicación de fertilizante que con fertilizante en Huaquechula. Este mismo patrón se observó para polifenoles totales en las colectas AV-19,

AV-3 y AV-7 (*A. hybridus*) y CP-30 (*A. cruentus*), cultivadas en Huaquechula y con fertilizante. Los valores más bajos de flavonoides, polifenoles y actividad antioxidante se presentaron en Tepetitla y sin la aplicación de fertilizante. Las colectas y variedades sobresalientes fueron AV-19 y AV-3 de *A. hybridus*, CP-38, CP-39 y Laura de *A. cruentus*, y Areli de *A. hypochondriacus* (Cuadro 4.5).

Cuadro 4.5. Interacción de localidades de cultivo, fertilización y genotipos de tres especies de amaranto, en relación al contenido de flavonoides, polifenoles y actividad antioxidante en hojas y tallos jóvenes.

Especies y genotipos	Flavonoides (mg EQ g ⁻¹)				Polifenoles (mg EAG g ⁻¹)				DPPH (μmol ET g ⁻¹)				FRAP (μmol ET g ⁻¹)			
	Loc-1 ¹		Loc-2		Loc-1		Loc-2		Loc-1		Loc-2		Loc-1		Loc-2	
	C/F ²	S/F	C/F	S/F	C/F	S/F	C/F	S/F	C/F	S/F	C/F	S/F	C/F	S/F	C/F	S/F
AV-17	5.75	6.76	5.11	3.19	11.57	13.34	3.30	4.49	34.0	49.6	14.2	9.8	43.3	52.3	10.6	7.5
AV-19	7.09	4.18	3.42	2.41	15.54	9.01	3.68	4.78	53.8	40.5	16.3	14.9	65.6	41.1	19.4	8.8
AV-29	5.52	4.79	4.65	3.60	11.82	9.32	4.31	4.84	41.7	42.2	17.6	12.0	45.5	40.3	13.3	8.4
AV-8	4.99	4.01	3.96	2.77	10.39	8.01	2.85	4.85	28.5	31.0	13.6	13.8	34.5	30.5	8.3	8.4
<i>A. hybridus</i>	5.84	4.94	4.29	2.99	12.33	9.92	3.54	4.74	39.5	40.8	15.4	12.6	47.2	41.0	12.9	8.2
Areli	4.40	6.21	3.61	2.95	10.10	11.86	4.31	4.47	24.4	58.6	21.0	15.9	24.2	67.7	18.8	9.2
AV-25	3.60	3.61	3.53	2.44	8.74	8.44	3.26	3.09	27.8	31.2	14.6	9.8	29.2	28.5	8.7	11.2
AV-28	5.42	3.85	2.78	3.35	11.79	8.13	3.01	2.84	41.5	32.6	13.8	13.4	43.8	36.0	9.9	8.7
AV-3	6.32	4.26	3.93	3.46	14.63	9.65	2.81	2.82	62.9	44.4	10.8	12.1	67.8	47.5	11.4	7.8
AV-7	5.80	3.77	3.69	2.76	14.36	8.16	3.36	3.01	55.0	40.3	15.0	10.2	63.3	43.0	8.3	11.5
CP-30	5.19	3.85	3.98	2.72	14.14	8.59	3.59	4.04	31.7	33.7	16.8	16.1	30.7	34.6	11.4	8.2
Laura	7.24	3.57	3.77	3.14	9.62	6.83	3.84	4.88	56.6	29.6	17.9	13.7	63.1	28.7	12.8	10.2
Nutrisol	5.23	5.05	4.59	3.83	7.91	10.62	3.58	5.81	34.1	45.2	18.6	17.7	31.4	49.7	16.3	13.5
<i>A. hypochondriacus</i>	5.40	4.30	3.70	3.10	11.40	9.00	3.50	3.90	41.8	39.5	16.1	13.6	44.2	42.0	12.2	10.0
Benito	5.00	5.38	2.80	3.29	10.12	11.04	3.38	2.59	41.7	48.2	18.9	12.8	50.9	53.6	11.1	9.1
CP-15	4.44	4.54	2.17	2.04	10.43	10.34	3.23	3.40	45.9	49.1	12.9	12.6	58.6	50.8	8.8	10.7
CP-38	4.82	6.93	3.78	3.12	9.85	14.88	3.47	2.71	41.1	54.7	18.8	14.1	50.3	60.2	10.1	10.0
CP-39	6.22	5.77	2.54	2.00	12.70	12.29	3.01	2.89	62.6	56.7	16.0	16.5	74.1	67.8	9.3	12.0
<i>A. cruentus</i>	5.10	5.70	2.80	2.60	10.80	12.10	3.30	2.90	47.8	52.2	16.7	14.0	58.5	58.1	9.8	10.5
DSH-Tukey ³	0.25				0.36				3.60				2.49			

¹Loc-1 = Huaquechula, Puebla; Loc-2 = Tepetitla, Tlaxcala; ²C/F: con fertilizante; S/F: Sin fertilizante; ³diferencias entre medias con valores mayores a la diferencia significativa honesta entre genotipos (DSH), son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

El contenido de flavonoides, fenoles y la actividad antioxidante en hojas de amaranto están fuertemente influenciadas por localidad de cultivo, uso de fertilizantes, especies y variedades o colectas cultivadas, y sus interacciones dobles o triples (Cuadro 4.2). La significancia en las interacciones muestra que los compuestos fenólicos y flavonoides, productos del metabolismo secundario, cambian o se incrementan en alguna condición de estrés. En este trabajo, el estrés hídrico (días sin lluvia o baja precipitación en Huaquechula, Puebla) incrementaron las concentraciones de compuestos fenólicos y actividad antioxidantes; también se registró una mayor concentración con la aplicación de fertilizantes (formula 18-07-09 de N-P-K) y

principalmente en colectas de las especies *A. hybridus* y *A. cruentus*, a través de dos sitios de cultivo.

Los resultados coinciden con las respuestas que determinaron Sarker y Oba (2018b), en *A. tricolor* sometido a tres condiciones de estrés hídrico. Venskutonis y Kraujalis (2013) argumentan que la fertilización y los factores ambientales influyen en la concentración de polifenoles totales en hojas de amaranto. Además, las respuestas están determinadas por la especie y genotipo cultivado (Jiménez-Aguilar y Grusak, 2017; Sarker y Oba, 2019a, b).

4.4 CONCLUSIONES

El uso de amaranto como quelite es una fuente importante de compuestos bioactivos y el contenido o concentración de estos es diferente dependiendo de la especie; *A. hybridus* presentó valores altos y significativamente diferentes de los valores registrados para *A. hypochondriacus* y *A. cruentus*. No obstante, la mayor actividad antioxidante, evaluada por los métodos de FRAP y DPPH, se registró en *A. cruentus*, seguido de *A. hypochondriacus* y por último *A. hybridus*. Las colectas sobresalientes en contenido de flavonoides y fenoles fueron AV-17 y AV-19 de *A. hybridus* y CP-38 de *A. cruentus*, mientras que las colectas sobresalientes en actividad antioxidante fueron CP-38 y CP-39 de *A. cruentus* y AV-19 y AV-3 de *A. hybridus*. Por lo tanto el consumo frecuente de estas especies como verdura podría tener efectos benéficos en la salud de la población mexicana.

4.5 REFERENCIAS

Balcázar-Quiñones A., L. White-Olascoaga, C. Chávez-Mejía y C. Zepeda-Gómez (2020).

Los quelites: Riqueza de especies y conocimiento tradicional en la comunidad otomí de Sas Pedro Arriba, Temoaya, Estado de México. *Polibotánica* 48:219-242. DOI: 10.18387/polibotanica.49.14.

Baskar A.-A., K.S. A. Numair, M.-A. Alsaif and S. Ignacimuthu (2012) *In vitro* antioxidant

and antiproliferative potential of medicinal plants used in traditional Indian medicine to treat cancer. *Redox Report* 17(4):145-156. DOI: 10.1179/1351000212Y.0000000017.

- Basurto-Peña F., M. A. Martínez-Alfaro y G. Villalobos-Contreras (1998)** Los quelites de la Sierra Norte de Puebla, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 62:49-62. DOI: 10.17129/botsci.1550.
- Benzie I. F and J. J. Strain (1996)** The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”. The FRAP assay. *Analytical Biochemistry* 239: 70-76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>.
- Bihani G. V., S. L. Bodhankar, P. P. Kadam and G. N. Zambare (2013)** Anti-nociceptive and anti-inflammatory activity of hydroalcoholic extract of leaves of *Amaranthus tricolor* L. *Der Pharmacia Lettre* 5(3):48-55.
- Brand-Williams W., M. Cuvelier and C. Berset (1995)** Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel Wissenschaft and Thechnologie* 28: 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Castro-Lara D., F. Basurto-Peña, L. M. Mera-Ovando y R. A. Bye-Boettler (2011)** Los Quelites, Tradición Milenaria en México. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México. 36 p.
- Castro-Lara D., R. A. Bye-Boettler, F. Basurto-Peña, L. M. Mera-Ovando, J. Rodríguez-Servín, J. Álvarez-Vega, J. Morales-de León y A. Caballero-Roque (2014)** Revalorización, conservación y promoción de quelites, una tarea conjunta. *Agroproductividad* 7(1):8-12.
- Das S (2012)** Domestication, phylogeny and taxonomic delimitation in underutilized grain *Amaranthus* (Amaranthaceae) – a status review. *Feddes Repertorium* 123(4):273-282. <https://doi.org/10.1002/fedr.201200017>.
- Espitia-Rangel E., E. C. Mapes-Sánchez, C. A. Núñez-Colín y D. Escobedo-López (2010)** Distribución geográfica de las especies cultivadas de *Amaranthus* y de sus parientes silvestres en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1(3):427-437.
- Gálvez-Mariscal A y C. Peña-Montes (2015)** Revaloración de la dieta tradicional mexicana: una visión interdisciplinaria. *Revista Digital Universitaria-UNAM* 16(5):1-17. <http://www.revista.unam.mx/vol.16/num5/art33>.
- Girija K., K. Lakshman; C. Udaya, G. S. Sachi and T. Divya (2011)** Anti-diabetic and anti-cholesterolemic activity of methanol extracts of three species of *Amaranthus*. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine* 1(2):133-138. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(11\)60011-7](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(11)60011-7).

- Jiménez-Aguilar D. M and M. A. Grusak (2017)** Minerals, vitamin C, phenolics, flavonoids and antioxidant activity of *Amaranthus* leafy vegetables. *Journal of Food Composition and Analysis* 58:33-39. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2017.01.005>.
- Jimoh M. O., A. J. Afolayan and F.B. Lewu (2019)** Therapeutic uses of *Amaranthus caudatus* L. *Tropical Biomedicine* 36(4):1038-1053.
- Joshua L. S., V. C. Pal, K. L. S. Kumar, R. K. Sahu and A. Roy (2010)** Antitumor activity of the ethanol extract of *Amaranthus spinosus* leaves against EAC bearing swiss albino mice. *Der Pharmacia Lettre* 2 (2):10-15.
- Kalinova J and Dadakova E (2009)** Rutin and total quercetin content in amaranth (*Amaranthus* spp.). *Plant Foods for Human Nutrition* 64(1):68-74. DOI 10.1007/s11130-008-0104-x
- Khanam U. K. S and S. Oba (2013)** Bioactive substances in leaves of two amaranth species, *Amaranthus tricolor* and *A. hypochondriacus*. *Canadian Journal of Plant Science* 93(1): 47-58.
- Li L., Z. Deng, R. Liu, H. Zhu, J. Draves, M. Marccone, Y. Sun and R. Tsao (2015)** Characterization of phenolics, betacyanins and antioxidant activities of seed, leaf, sprout, flower and stalk extracts of three *Amaranthus* species. *Journal of Food Composition and Analysis* 37:75-81. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2014.09.003>.
- Lin J. Y and C. Y. Tang (2007)** Determination of total phenolic and flavonoid contents in selected fruits and vegetables, as well as their stimulatory effects on mouse splenocyte proliferation. *Food Chemistry* 101(1):140-147. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.014>.
- López-García G., R. Baeza-Jiménez, H. S. García-Galindo, O. Dublán-García and L. X. López-Martínez (2018)** Cooking treatment effect on bioactive compounds and antioxidant activity of quintonil (*Amaranthus hybridus*) harvested in spring and fall seasons. *CyTA-Journal Food* 16:707-714. <https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1475422>.
- Mapes C and F. Basurto (2016)** Biodiversity and edible plants of Mexico. *In: Ethnobotany of Mexico, Interactions of People and Plants in Mesoamerica*, R. Lira, A. Casas and J. Blancas (Eds.), Springer Science-Business Media, New York, USA. pp:83-131.
- Modi A. T (2007)** Growth temperature and plant age influence on nutritional quality of *Amaranthus* leaves and seed germination capacity. *Water SA* 33(3):369-375.

- Nana F. W., A. Hilou, J. F. Millogo y O. G. Nacoulma (2012)** Phytochemical composition, antioxidant and xanthine oxidase inhibitory activities of *Amaranthus cruentus* L. and *Amaranthus hybridus* L. extracts. *Pharmaceuticals* 5(6):613-628. <https://doi.org/10.3390/ph5060613>
- Niveyro S. L., A. G. Mortensen, S. I. Fomsgaard and A. Salvo (2013)** Differences among five amaranth varieties (*Amaranthus* spp.) regarding secondary metabolites and foliar herbivory by chewing insects in the field. *Arthropod-Plant Interactions* 7:235-245. DOI 10.1007/s11829-012-9219-y.
- Onyango C. M., J. Harbinson, J.K. Imungi, R. N. Onwonga and O. van Kooten (2012)** Effect of nitrogen source, crop maturity stage and storage conditions on phenolics and oxalate contents in vegetable amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*). *Journal of Agricultural Science* 4:2019-230. <http://dx.doig.org/10.5539/jas.v4n7p219>.
- Ortiz-Torres E., A. Argumedo-Macías, H. García-Perea, R. Meza-Varela, R. Bernal-Muñoz y O.R. Taboada-Gaytán (2018)** Rendimiento y volumen de expansión de grano de variedades mejoradas de amaranto para Valles Altos de Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41(3):291-300. <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/41-3/9a.pdf>.
- Ramzan A., L. Tahir and R. U. Rehman (2018)** Evaluation of in vitro Antioxidant Potential of *Amaranthus caudatus* L. Grown in Kashmir Region. *Pharmacognosy Journal* 10(6): 1119-1124. DOI: 10.5530 / pj.2018.6.190
- Ruiz-Hernández V. C., J.P. Legaría-Solano, J. Sahagún-Castellanos y M. de la O-Olan (2018)** Variabilidad genética en algunas especies cultivadas y silvestres de amaranto. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9(2):405-416.
- Santiago-Sáenz Y. O., A. D. Hernández-Fuentes, C.U. López-Palestina, J. H. Garrido-Cauich, J. M. Alatorre-Cruz y R. Monroy-Torres (2019)** Importancia nutricional y actividad biológica de los compuestos bioactivos de quelites consumidos en México. *Revista Chilena de Nutrición* 46(5):593-605.
- Sarker U and S. Oba (2018a)** Response of nutrients, minerals, antioxidant leaf pigments, vitamins, polyphenol, flavonoid and antioxidant activity in selected vegetable amaranth under four soil water content. *Food Chemistry* 252:72-83. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.097>.

- Sarker U and S. Oba (2018b)** Drought stress enhances nutritional and bioactive compounds, phenolic acids and antioxidant capacity of *Amaranthus* leafy vegetable. *BMC Plant Biology* 18:258. <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1484-1>.
- Sarker U and S. Oba (2019a)** Antioxidant constituents of three selected red and green color *Amaranthus* leafy vegetable. *Scientific Reports* 9:18233. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52033-8>.
- Sarker U. and S. Oba (2019b)** Nutraceuticals, antioxidant pigments, and phytochemicals in the leaves of *Amaranthus spinosus* and *Amaranthus viridis* weedy species. *Scientific Reports* 9:20413. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50977-5>.
- Sarker U., M. M. Hossain and S. Oba (2020)** Nutritional and antioxidant components and antioxidant capacity in green morph *Amaranthus* leafy vegetable. *Scientific Reports* 10:1336. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-57687-3>.
- SAS Institute (2002)** User's Guide SAS/STAT® 9.0. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA. 550 p.
- Schröter D., S. Baldermann, M. Schreiner, K. Witzel; R. Maul, S. Rohn and S. Neugart (2018)** Natural diversity of hydroxycinnamic acid derivatives, flavonoid glycosides, carotenoids and chlorophylls in leaves of six different amaranth species. *Food Chemistry* 267:376-386. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.043>.
- Secretaria de Salud (2016)** Encuesta Nacional de Salud y Nutrición de Medio Camino 2019: Informe Final de Resultados. Secretaría de Salud, Ciudad de México. 149 p.
- Singleton V.L and J.A. Rossi (1965)** Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 16:144-158.
- Sistemas de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2019)** Anuario Estadístico de producción Agrícola en México 2018. Sistemas de Información Agroalimentaria y Pesquera, SAGARPA, Ciudad de México, México. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119> (consultado: diciembre 1, 2019).
- Skwaryło-Bednarz B and A. Krzepilko (2009)** Effect of various NPK fertilizer doses on total antioxidant capacity of soil and amaranth leaves (*Amaranthus cruentus* L.). *International Agrophysics* 23:61-65.

Venskutonis P. R and P. Kraujalis (2013) Nutritional components of amaranth seed and vegetables: a review on composition, properties and uses. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 12:381-412. DOI: 10.1111/1541-4337.12021.

CAPITULO V: DISCUSION GENERAL

La alimentación hoy en día es el resultado de un proceso de evolución que ha sido influenciado por diversos factores como son los ingresos personales, el precio de los alimentos, las preferencias y creencias individuales, la tradición cultural y los factores geográficos y ambientales (OMS, 2018). A nivel mundial la humanidad cuenta con 50 000 especies vegetales comestibles; no obstante la población solo se alimenta de unas 250 especies; pero el 90 % de la energía ingerida la obtiene de tan solo 15 especies, entre las que destacan el maíz, trigo, arroz y soya (Andrade, 2016).

Para el caso particular de México los alimentos que contribuyen al suministro de energía alimentaria a la población son: el maíz (33 %), el azúcar (14 %), el trigo (4 %), la leche (5 %), la carne de cerdo (4 %), el aceite de soya (4 %), el frijol (3%), el huevo (2 %) y otros alimentos (24 %) (Soria y Palacios, 2014). Estos porcentajes permiten identificar que los alimentos que se consumen en mayor cantidad corresponden a carbohidratos. Las frutas, las verduras, los frutos secos y los cereales integrales están incluidos dentro de la categoría de otros alimentos. Con estos datos es fácil considerar que la alimentación de la población a nivel nacional está aún lejos de considerarse como una alimentación saludable.

Los cambios en los patrones de consumo en conjunto con los estilos de vida actuales, han contribuido al incremento del sobrepeso y la obesidad en la población mexicana. En el año 2018, el 8.2 % de los niños de 0 a 4 años de edad presentaban sobrepeso, mientras que en la población de 12 a 19 años este porcentaje ascendía a 38.4 %. Esta tendencia es aún mayor en la población de 20 años en adelante donde se reporta un porcentaje del 75.2 %. Esta condición de salud predispone a la población mexicana a desarrollar diversas enfermedades o afectaciones como la diabetes e hipertensión arterial. En el año 2018 se reportaban 8.6 millones de mexicanos con diabetes. Las cifras para la hipertensión son aún más alarmantes, pues en este mismo año se reportaba que 15.2 millones de personas, es decir el 10.4 % de la población mexicana, padecían de presión alta y el 19.5 % reportaba altos niveles de colesterol y triglicéridos (INEGI -INSP, 2018). En adición, una persona con sobrepeso u obesidad produce altos niveles de ácidos grasos libres, los cuales favorecen la formación de especies reactivas de oxígeno, que pueden inducir a daños en biomoléculas como el ADN, los lípidos y las proteínas (Martínez-Abundis *et al.*, 2005).

Contrariamente, la población mexicana también presenta problemas de desnutrición, pues para el año 2012 se reportaba que 302, 279 (2.8 %) niños menores de 5 años estaban en bajo peso, 1, 467, 757 tenían baja talla y 171, 982 presentaban emaciación. Además existe la prevalencia de anemia; para el mismo año se reportó que 2, 084, 738 niños de 1 a 4 años de edad eran anémicos. En el caso de las mujeres entre 12 a 49 años de edad, el 11.2 % presentaba anemia y este porcentaje es mayor en mujeres embarazadas (17.9 %) y en mujeres de 40 a 49 años de edad (16.2 %) (Secretaría de Salud, 2012). Estos problemas de desnutrición y anemia provocan en los niños efectos adversos en el crecimiento y desarrollo, que se ven reflejados a mediano y largo plazo. Por otra parte, a nivel mundial, el 45 % de las muertes de niños menores de 5 años están relacionados con la desnutrición; estos casos se reportan en su mayoría en países de bajos y medianos ingresos, por lo que la pobreza es un factor que multiplica el riesgo de sufrir mal nutrición y sus consecuencias (OMS, 2020).

La desnutrición es más grave en el área rural y en la población con bajos ingresos. A nivel nacional la mayor prevalencia de baja talla se localiza en la parte sur del país y principalmente en las zonas rurales (Secretaría de Salud, 2012). También en esta región se reportan los menores ingresos por hogar. En el año 2018 la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares reportaba una media nacional de \$ 49,610 pesos de ingreso corriente trimestral por hogar. Sin embargo, 18 estados de la república se encontraban por debajo de la media. Por otra parte, si se analiza por separado a las zonas rurales y urbanas se puede observar que este valor está muy por encima del promedio que reportan las zonas rurales de estados como Oaxaca (\$23,259), Veracruz (\$23,081), Guerrero (\$19,578) y Chiapas (\$18,009). Los resultados de esta encuesta también demostraron que en promedio el 35.3 % del gasto de los hogares mexicanos se destina a la compra de alimentos, bebidas y tabaco. Dentro de esta categoría, la compra de carnes (23.0 %) y cereales (17.8 %) representan el mayor porcentaje del gasto (INEGI, 2018). Si tomamos en cuenta que el incremento en los costos de los alimentos de la canasta básica es superior al incremento al salario mínimo, se puede comprender cómo la capacidad adquisitiva de la población y por ende de la calidad nutricional de su dieta son en gran medida determinadas por la economía familiar y se agrava en los sectores de menor ingreso.

El hecho de que gran parte de la población mexicana presente obesidad o sobrepeso y que otro fragmento de esta población se encuentre en condiciones de desnutrición, nos muestra lo mal que se encuentra la población en educación alimentaria. Esta situación ha sido ocasionada principalmente por el abandono de la dieta tradicional, por dar preferencia a la producción y

consumo de proteína animal en lugar de la proteína vegetal y a la desvalorización de diversas especies vegetales, entre las que se encuentran los quelites, las cuales en su momento representaron la base de una buena nutrición en Mesoamérica (Gálvez-Mariscal y Peña-Montes, 2015).

Actualmente el consumo de futas, verduras y leguminosa ha disminuido (Rivera *et al.*, 2015). Sin embargo, las verduras y los quelites no sólo representan una buena fuente de micro y macro minerales, sino también de compuestos fotoquímicos y otras sustancias de importancia para la salud. Estos compuestos a la fecha se han estudiado muy poco, pero es necesario conocer sus características nutrimentales para poder hacer un mejor uso de estas especies y su diversidad (Gálvez-Mariscal y Peña-Montes, 2015).

México tiene amplia diversidad en amaranto tanto de especies dedicadas para la producción de grano (Ruíz *et al.*, 2013; De la O-Olán *et al.*, 2012) como verdura (Mapes *et al.*, 2012). Sin embargo, se carece de estudios sobre su potencial como alimento como verdura entre las especies existentes y dentro de estas especies.

Conocer el aporte nutrimental del amaranto y la diversidad que existe en las diferentes especies podría ayudar a recomendarlo para mejorar la nutrición de la población debido a su calidad para aportar proteína, minerales y compuestos antioxidantes.

La ingesta diaria de proteína recomendada para la población mexicana es de 73 g y para los minerales calcio, fosforo, hierro, magnesio y zinc es de 900, 664, 17, 250, y 10 mg por día, respectivamente (DOF, 2008). El contenido de proteína en 100 g de hojas cocidas de amaranto es de 3.5 - 4.6 g, el cual es superior al contenido de proteína en las hojas cocidas de espinaca (2.1-3.0 g de proteína /100 g) (Molina *et al.*, 2015). En una investigación previa se determinó el contenido de proteína cruda y fibra dietaría total para los genotipos evaluados en esta investigación. Sus resultados mostraron que el porcentaje promedio de proteína cruda de las tres especies evaluadas fue superior al 14 %, siendo los genotipos Areli (15.75 %), AV28 (15.75 %), CP30 (15.58 %), CP39 (15.78 %) y AV17 (15.07 %) los que mostraron los porcentajes más altos de proteína. Para el caso de la fibra dietaría total, la especie *A. hypochondriacus* es la que reporta el mayor contenido de fibra con 73.1 %, seguido de *A. hybridus* (71.1 %) y *A. cruentus* (69.5 %) (Salvador, 2018).

Los resultados de esta investigación permiten demostrar que en amaranto existe diversidad y que la planta contiene cantidades importantes de minerales esenciales para el ser humano. Se encontró que aun el genotipo con el contenido más bajo de calcio (AV29: 21.06 g. kg⁻¹) podría

aportar 1,053 mg de calcio en 50 gr de amaranto como verdura en base seca (bs); este valor es superior a la ingesta diaria recomendada para este mineral. Este patrón se repite en otros minerales como fósforo, magnesio y hierro. Por ejemplo, los genotipos con el menor contenido de estos minerales AV8 y Areli (P: AV8; Mg y Fe: Areli) podrían aportar en 50 g de amaranto como verdura bs, 577 mg de fósforo, 646 mg de magnesio y 16 mg de hierro. También en otros minerales el aporte es importante. En el caso del mineral zinc, las especies evaluadas en promedio aportarían 4.98 mg de este elemento en 100 gramos de amaranto como verdura en bs, cantidad que representa cerca del 50 % de la ingesta diaria recomendada para este mineral. Sin embargo, debido a que las principales formas de consumo de amaranto para verdura implican algún proceso de cocción (hervido, al vapor o asado) aún se necesita de mucha investigación que permita conocer cuál es el comportamiento de estos minerales a través de esos procesos. Hasta el momento los resultados obtenidos en esta investigación y de investigaciones anteriores muestran que el cultivo de amaranto como verdura podría aportar a la población cantidades apreciables de proteína, fibra y minerales.

Por otra parte, uno de los retos actuales a los que se enfrenta la agricultura en México y el mundo es el mantener o incrementar el abasto de alimentos con el menor costo ambiental (Rivera, 2015). Pero hay factores que dificultan esa meta, como el cambio climático que puede afectar la productividad y el rendimiento de los cultivos. En este contexto los resultados de esta investigación demostraron que aún bajo condiciones de estrés por falta de lluvia y con suelos pobres en nutrientes y materia orgánica, como en el caso de Huaquechula, el cultivo logró desarrollarse favorablemente e incrementó la capacidad antioxidante en las plantas cultivadas. Adicionalmente, genotipos como AV8, AV3, AV17, AV28 y CP39, mostraron menor variación al ser cultivadas en diferentes localidades y bajo diferentes condiciones de fertilización. Por lo que se podría decir que el uso de insumos externos como el fertilizante químico no se vuelve indispensable para el desarrollo de este tipo de cultivos. Es necesario hacer más evaluaciones sobre el comportamiento del cultivo a través de varios ciclos y de la utilización de otros tipos de fertilizantes más amigables con el ambiente como son las compostas.

Aunque en este tipo de cultivos resulte necesario seguir realizando más investigación, es conveniente que la información obtenida se difunda a la población en general y a los productores que actualmente cultivan y resguardan la diversidad de estas especies, ya sea mediante folletos o talleres, con el fin de que ellos conozcan los beneficios que este cultivo podría aportar a su

alimentación y con la esperanza de que estas especies estén presentes con mayor frecuencia en los cultivos de traspatio, en los mercados locales y en las mesas de la población.

5.1 REFERENCIAS

- Andrade F. H. (2016)** Los desafíos de la agricultura. Grancharoff Impresores. Buenos Aires, Argentina. 136 p.
- De la O-Olán M., E. Espitia R., A. V. Ayala G., J. M., Hernández C., J. L. Arellano V., V. C. Ruiz H (2012)** Caracterización del germoplasma para grano de amaranto (*Amaranthus* spp). En: Espitia-Rangel, (ed). Amaranto: ciencia y tecnología. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Científico, (2), pp 165-181
- Diario Oficial de la Federación (DOF) (2008)** Norma oficial Mexicana NOM-254-SSA1-2008, Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba. México. <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/3770/SALUD2a/SALUD2a.htm>
- Gálvez-Mariscal A. y C. Peña-Montes (2015)** Revaloración de la dieta tradicional mexicana: una visión interdisciplinaria. *Revista Digital Universitaria-UNAM* 16(5):1-17. <http://www.revista.unam.mx/vol.16/num5/art33>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)-Instituto Nacional de Salud Pública (INSP) (2018)** Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018, Presentación de resultados. https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2018/doctos/informes/ensanut_2018_presentacion_resultados.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2018).** Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares. Presentación de resultados. https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/enigh/nc/2018/doc/enigh2018_ns_presentacion_resultados.pdf

- Mapes S. C., A. Díaz O. y J. Blancas. (2012)** Caracterización de germoplasma de amaranto (*Amaranthus* spp.) para verdura. *In: Amaranto: Ciencia y Tecnología*. E. Espita Rangel (Ed.) INIFAP. Libro científico No 2. Celaya, Guanajuato, México. pp:183-201.
- Martínez-Abundis E., M. A. Sánchez-Rodríguez, M. E. Hafidi-Bentlakder (2005)** Participación de la mitocondria en el desarrollo del estrés oxidativo en la obesidad. *Bioquímica*. 30:82-89. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57630304>
- Molina K., Brunner B., Chavez-Jaregui R.N. y Flores L (2015)** Amaranto o bleado. Hoja informativa. Proyectos de agricultura orgánica. Departamento de Cultivos y Ciencias Agroambientales. Estación Experimental Agrícola de Lajas, Puerto Rico.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2020)** Malnutrición. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/malnutrition>
- Rivera D. J., A. Bonvecchio y A. Islas (2015)** Introducción. *In: Guías alimentarias y de actividad física en contexto de sobrepeso y obesidad en la población mexicana*. A. Benvecchio A., A. C. Fernandez-Gaxiola, M Plazas B., M. Kaufer-Horwitz, A. B. Pérez L y J. A. Rivera D (Eds).Academia Nacional de Medicina. Lomas de Chapultepec, Ciudad de México, México. pp: 1-12.
- Ruíz H. C., De la O O. M., Espitia R. E., Sangerman J. D. M., Hernández C. J., Scwentesi D. R. R (2013)** Variabilidad cualitativa y cuantitativa de accesiones de amaranto determinada mediante caracterización morfológica. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 4 (5): 789-801.
- Salvador M. G (2018)** Uso, manejo y calidad nutritiva de amaranto como verdura en la Sierra Norte de Puebla. Tesis de Maestría En Ciencias, Programa en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional. Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. Puebla, México.
- Secretaria de Salud (2012)** Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012, Resultados Nacionales. <https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2012/doctos/informes/ENSANUT2012ResultadosNacionales.pdf>
- Soria S. G y V. H. Palacio M (2014)** El escenario actual de la alimentación en México. *Textos & Contextos (Porto alegre)*. 13(1): 124-142.

CAPITULO VI. PROPUESTA GENERAL DE ESTRATEGIA PARA IMPULSAR EL CULTIVO Y CONSUMO DE VARIEDADES Y ESPECIES DE AMARANTO COMO VERDURA

Esta propuesta general de estrategia está orientada a una agricultura campesina, en especial a un tipo de productores de cultivos ancestrales con sus orígenes en la cultura mesoamericana, entre los que se incluye el amaranto y como tal, en éste se reflejan los grandes problemas que aquejan al mundo; la confrontación entre las grandes tradiciones y entre estas y las tendencias innovadoras y del cambio (Olivé, 1996). El amaranto, en especial el destinado al consumo como verdura, asociado a la gran tradición, lucha por ser notorio en una visión modernizadora que de entrada lo desdeña porque lo asocia al atraso, a lo campesino, a la pobreza y a la marginación.

Eliminar esta apreciación asociada al cultivo requiere de un esfuerzo por informar de sus propiedades, componentes y en general de sus beneficios para la salud. El campesino que se dedica a producir y consumir el amaranto como verdura conoce que la planta tiene propiedades alimenticias para su cuerpo. Si bien también de manera tácita conoce o sabe de algunas propiedades funcionales y/o nutraceuticas del amaranto, no tiene la precisión de los componentes como los fenólicos, antioxidantes, macro y micro nutrientes, así como las vitaminas y minerales que le ayuden en la distinción de las especies cultivadas. La investigación científica se une a esta experiencia de los productores de amaranto para verdura para conocer la diferencia que existe entre las variedades y especies de la planta en cuanto a estos compuestos. Unir estos conocimientos es importante por dos razones principales:

- a) Permite mejorar la selección de variedades y especies de amaranto para los propósitos expuestos con el subsecuente posible beneficio para la nutrición y salud de los habitantes del medio rural que ya lo consumen, así como su expansión en este ámbito.
- b) Permitirá identificar el potencial nutricional funcional y nutraceutico que guardan estas variedades y especies con el fin de que puedan insertarse en un proceso de difusión para un consumo más extenso entre la población en general o específico para un sector demandante como la industria, y la salud, entre otros.

Los resultados obtenidos en esta investigación evidencian las bondades del amaranto en su consumo como verdura, el reto en este momento es cómo lograr la visibilidad de ésta planta y

en especial de aquellas variedades y especies sobresalientes entre la propia población local que ya tiene la cultura del consumo y, también en aquella población en general que necesita y podría mejorar su alimentación. De esta manera este uso del amaranto es una opción que se sumaría a la disminución de los grandes problemas de salud que aquejan al país y que ya han sido señalados en su oportunidad en este estudio.

La propuesta general de estrategia que aquí se presenta asume la posición de Olivé (1996) en cuanto a que al estar en este mundo, en este país y regiones o territorios debemos actuar reconociendo las bondades y limitaciones de cada visión; aquella de los procesos en las grandes tradiciones y de la modernización y del cambio y tomar de ambas los aspectos que fortalezcan un proceso real de mejora de la sociedad, en este caso con el consumo de amaranto como verdura.

De esta manera, la estrategia propuesta tiene el fin de ampliar las oportunidades de una mejor alimentación a partir del amaranto tierno entre la población que ya lo consume mediante la incorporación de especies y variedades con mejores niveles en sus componentes funcionales y promover las bondades y su consumo como una opción alimentaria para los grupos vulnerables y de la sociedad en general, así como la continuación de la actividad de investigación, desarrollo e innovación de nuevas técnicas de producción, nuevas propiedades y funciones del amaranto.

De acuerdo a este propósito, los elementos transversales de la estrategia que están presentes en la propuesta son los siguientes:

1. **El ser humano.** Siempre, el objeto de la estrategia son los procesos humanos, las formas en que el ser humano elige y decide y los procesos de estrategia social, es decir el ser humano es el elemento que mueve y el destinatario de los resultados de los procesos en que se involucra.
2. **Trabajo en red.** Se refiere a la inclusión de los diferentes actores y el desarrollo de su proceso de trabajo e interacción, de manera coordinada. Se incluye a los expertos, gestores de la estrategia (extensionistas o asesores técnicos de visión integral) que sean capaces de integrar los factores necesarios para la ejecución de la estrategia (articuladores de las demandas y necesidades de los actores). Participación de los afectados y beneficiarios directos en todo el proceso, desde la formulación del problema hasta su solución.

3. **Interdependencia de saberes.** La consideración del conocimiento local en interacción con el conocimiento y la experiencia científica para asegurar una operación de la estrategia sobre la base de la realidad de los diversos saberes. Incluiría un sistema para la capacitación sobre el sistema técnico que considerará las dos vías de flujo de información: productor, profesional técnico y actores en general.
4. **Diálogo.** Dada la intervención de una diversidad de actores en la estrategia, un elemento permanente en el transcurso de su ejecución es el proceso de comunicación. Paradójicamente, en la actualidad, con los avances en la tecnología de la información y la comunicación, se vive una sensación global de que la comunicación está en permanente deterioro; para evitarlo se propone, de acuerdo con Bohm (2012), la consideración del diálogo que vendría a complementar la acción comunicativa, asegurando un fluir de ir y venir de palabras y significados que permitirán en mayor medida una comprensión de los mensajes y, además, una toma de conciencia de las diferencias que permite identificar la presencia de algo “nuevo y relevante” para los implicados. Entonces, la inclusión del diálogo estaría orientada a penetrar en el proceso del pensamiento y transformar el proceso de pensamiento colectivo.
5. **Grupo de acción.** Para hacer operativo el modelo de la estrategia, el ecosistema que se conformaría, retomando a Pérez y Massoni (2009), con la creación de una “Unidad central de significación, evaluación e imaginación”, es decir lo que ellos proponen como elementos del modelo estratégico y que se esquematiza en la Figura 6.1. El modelo operaría en función de los objetivos ya planteados y su propuesta obedece a que su accionar está rodeado de una serie de características que consideramos son indispensables en la promoción del consumo de amaranto como verdura en los niveles señalados. Al interior involucra una capacidad colectiva cerebral de predicción y de lenguaje; reconoce los conocimientos, capacidades y recursos que estarán favoreciendo o condicionando la operación con la que debe guardar una coherencia interna. Es pertinente señalar que en este grupo se involucra directamente a productores. De acuerdo a los retos a enfrentar, requiere un trabajo imaginativo y una firmeza de convicción para enfrentar los problemas mencionados de la disputa entre las grandes tradiciones y las tendencias del cambio. En consideración al entorno, se fijan los objetivos y metas y se detalla el funcionamiento de las redes sociales que estarán influyendo en la red interna

de trabajo. Con este modelo, el grupo de actores de la unidad de significación articularán los elementos de la estrategia y detallarán el plan de acción para que en función de ellos se escanee el entorno y se fije el curso a seguir.

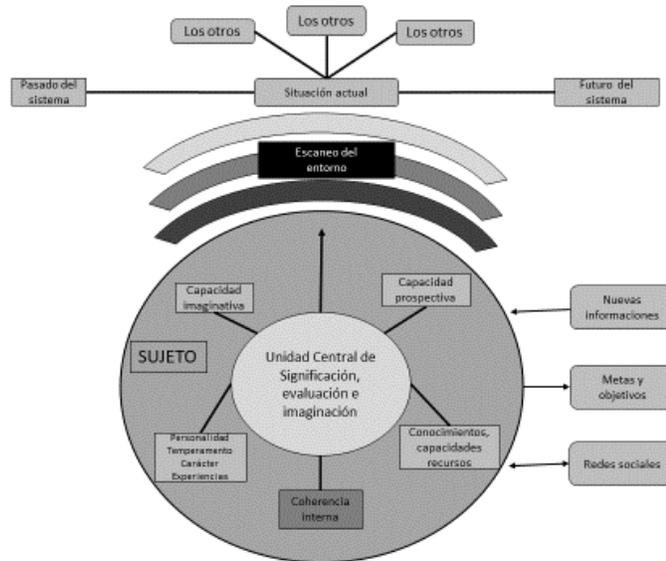


Figura 6.1 Esquema de la unidad de significación. Fuente: tomado de Pérez y Massoni, 2009.

6. **Innovación.** La intención de la estrategia se orienta a fomentar el cultivo y consumo de AV, con la propuesta de especies y variedades que tienen componentes en calidad y cantidad, mediante la aplicación de los elementos que estamos señalando; no puede pasarse por alto que la acción involucra un proceso de innovación por lo cual, la intervención de los diversos actores, si bien está orientada por los diversos elementos señalados, debe estar claro en la orientación que el concepto de innovación debe seguir. Por las características del propósito de la estrategia, la especie vegetal que se involucra y su contexto socioeconómico de producción y los actores interesados en su promoción, en esta propuesta consideramos que debe estar presente un concepto de innovación con orientación solidaria y para ello el concepto de innovación que nos ayuda con este propósito es el propuesto por Olivé (1996) que lo señala como aquella facultad para crear y aplicar conocimiento a través de operaciones o trabajo que produzca un cambio en la sociedad y su entorno, produce cambios en artefactos, sistemas o procesos que posibilita resolver problemas en concordancia o congruencia con valores y fines acordados entre sectores de la sociedad que están implicados y son afectados por el problema. Es un

concepto que está en plena armonía con el resto de los elementos de la estrategia propuesta. Un concepto cuyo inicio y fin es el ser humano, en interacción y con respeto a sus aspiraciones, basada en sus valores. Finalmente, es un concepto que nos recuerda que la innovación no es una tarea personal o individual sino un asunto de carácter colectivo.

En función de lo anterior se piensa que el escenario para el impulso del amaranto para verdura puede incluir la participación de los siguientes actores:

- i. Los campesinos productores de amaranto para verdura y sus organizaciones locales.
- ii. Instituciones de investigación y educación.
- iii. Administraciones locales. Municipal y auxiliar.
- iv. Agentes privados. ONG, financieras, etc.
- v. Administración federal.
- vi. Extensionistas.
- vii. Población del territorio.

La propuesta de estos elementos se ofrece de manera general (Figura 6.2). En la definición de un plan de acción específico se requerirá entrar a la especificidad del territorio, de los actores involucrados y los recursos disponibles y faltantes que serán valorados en la operación del mismo para definir la magnitud y alcance de la estrategia.

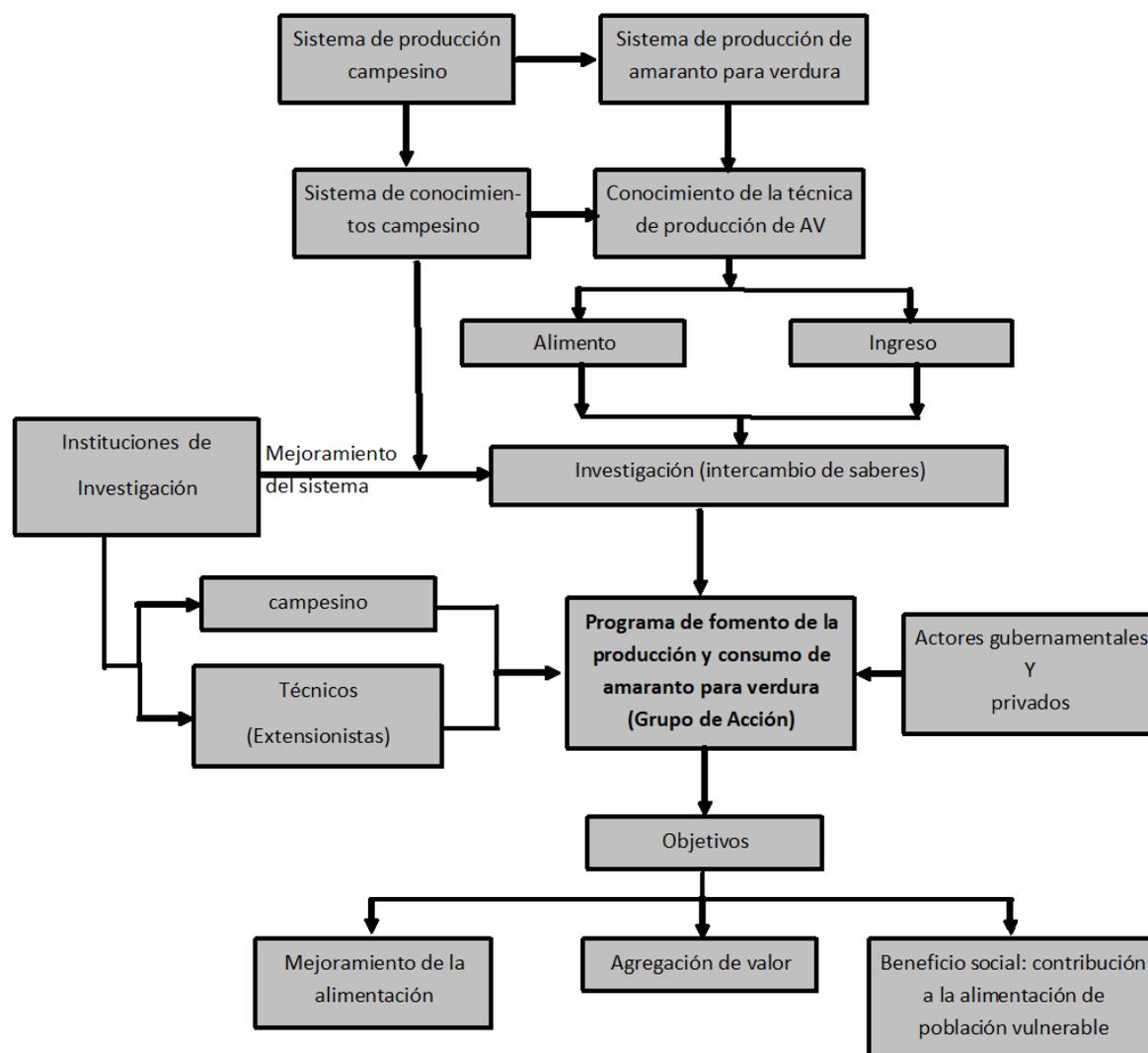


Figura 6.2. Esquema general para el impulso a la producción y el fomento de amaranto para verdura. Fuente: Creación propia.

6.1 REFERENCIAS

- Olivé L (1996)** Razón y Sociedad. Distribuciones Fontamara, Ciudad de México, México. 209 p.
- Pérez G. R. A y S. Massoni H (2009)** Hacia una teoría general de la estrategia: El cambio de paradigma en el comportamiento humano de la sociedad y las instituciones. Ariel. Barcelona, España. 557 p.
- Bohm D (2012)** Sobre el diálogo. David González Raga. Kairós, Barcelona, España. 152 p.

CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES GENERALES

Los resultados de esta investigación mostraron que existe variación entre los genotipos y las especies de amaranto evaluadas, además de que factores como la localidad de evaluación, la aplicación o no de fertilizante y sus interacciones influyeron en el contenido de minerales y en las concentraciones de fenoles, flavonoides y actividad antioxidante en las hojas y tallos jóvenes de amaranto.

Los contenidos más altos de fenoles, flavonoides, actividad antioxidante y micro minerales se presentaron en las plantas cultivadas en condiciones de estrés hídrico y suelos con baja fertilización.

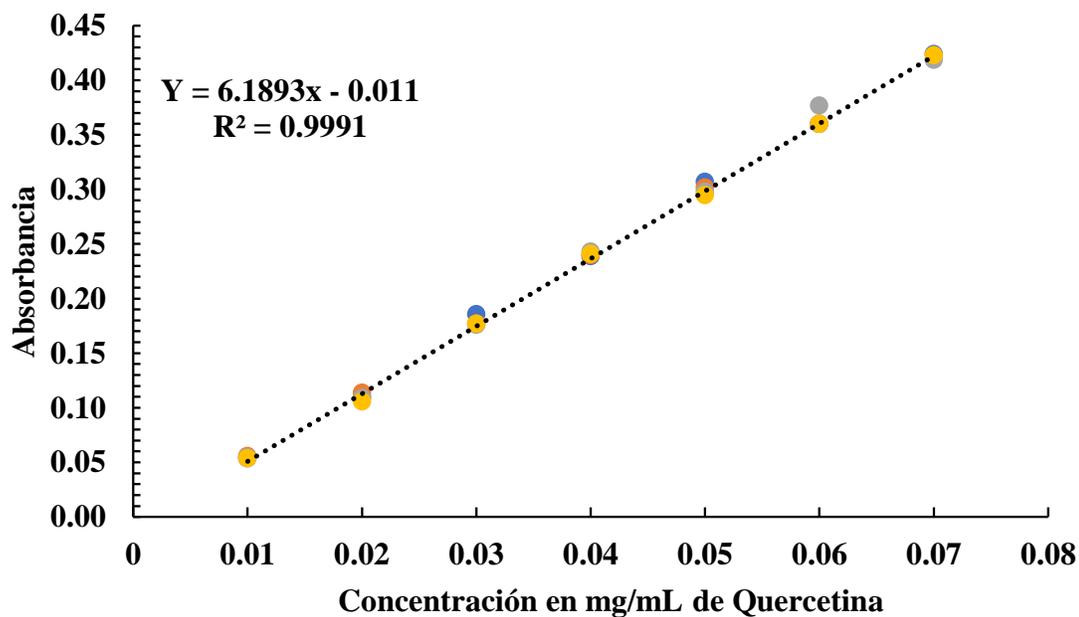
Los elementos Ca, Ba, Cu, Mn Sr, Al, Fe y Ti fueron influenciados positivamente con la aplicación de fertilizante, mientras que los minerales S, K, Mg, Na, P y Zn, se acumularon mejor en las plantas que fueron cultivadas sin fertilización.

Se identificaron como genotipos sobresalientes en contenido de minerales a AV8, AV3, AV17, AV28 y CP39 y en el contenido de flavonoides y fenoles a los genotipos AV17, AV19 y CP38. En cuanto a la capacidad antioxidante fueron los genotipos CP38 y CP39 los que resultaron sobresalientes.

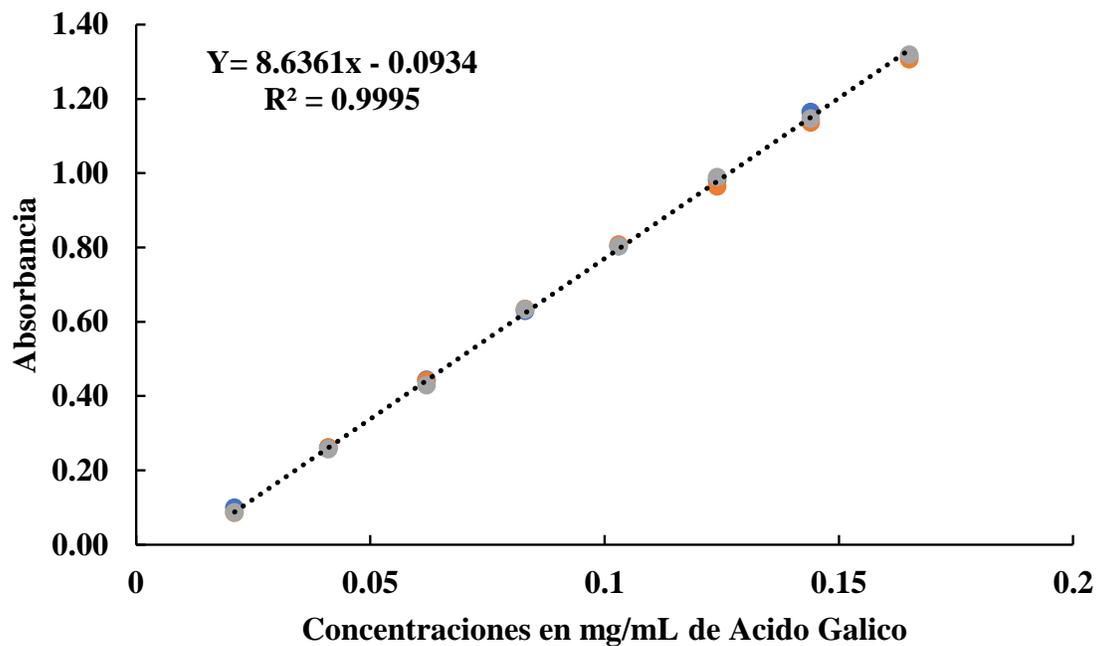
Los genotipos AV17 (*A. hybridus*) y CP39 (*A. cruentus*), cumplen con la característica de presentar altos contenidos de minerales y mayor capacidad antioxidante.

Además del aporte nutrimental de este cultivo, su producción es relativamente económica y pueden producirse durante todo el año y en un corto tiempo (40 días).

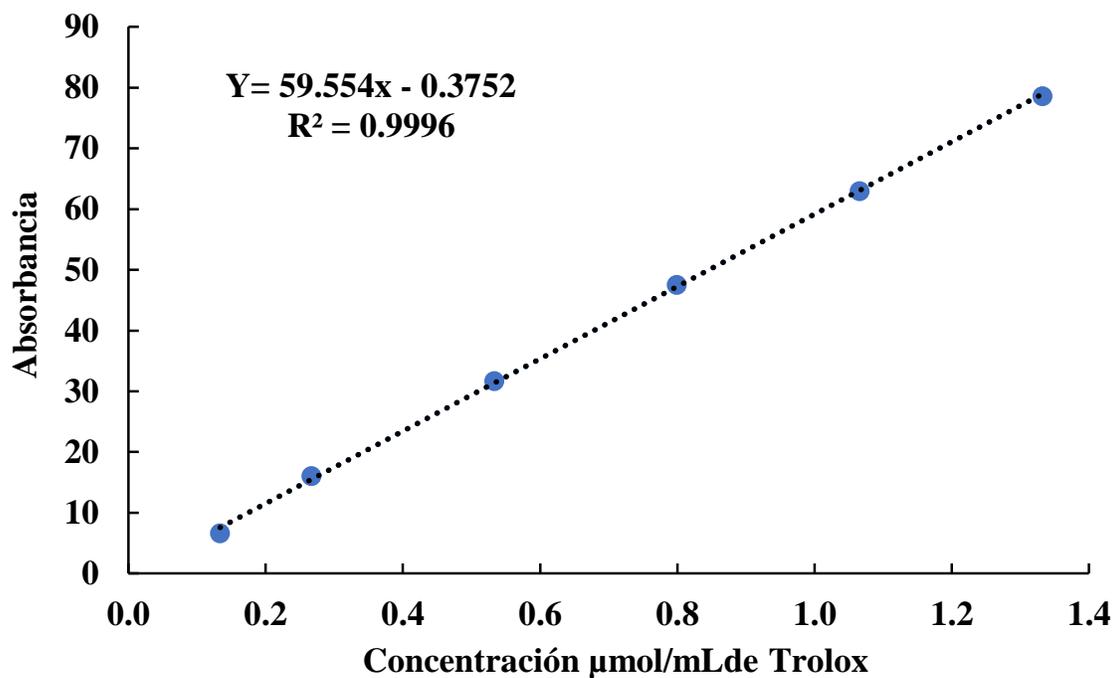
ANEXO I: Curva de calibración para flavonoides.



ANEXO II: Curva de calibración para polifenoles.



ANEXO III. Curva de calibración para actividad antioxidante DPPH.



ANEXO IV. Curva de calibración para actividad antioxidante FRAP.

