

Contenido proximal de variedades de amaranto y análisis de suelo de algunos municipios de Tlaxcala, México.

Flores-Lima Isai Jese¹, Castro-Rivera Rigoberto¹, Luna-Suarez Silvia¹

¹ Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada - Instituto Politécnico Nacional, Carretera estatal Santa Inés Tecuexcomac - Tepetitla km 1.5, Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala, México, C.P. 9070

Correo electrónico: silvials2004@yahoo.com.mx





RESUMEN

Tlaxcala es el segundo productor nacional de amaranto. En este trabajo se analizó la fertilidad del suelo antes de establecer dos variedades mejoradas de amaranto. Y se analizó el contenido proximal de las semillas. El suelo utilizado fue de la localidad Tepetitla (Tp), y se comparó con Cuapixtla (Cp), Nativitas (Nt) y Terrenate (Tr). El contenido proximal se realizó a las variedades de amaranto Magali (*Amaranthus cruentus*) y Gabriela (*A. hypochondriacus*), comparándose además con cuatro semillas comerciales. Todos los suelos fueron arcillosos, el suelo Tp obtuvo los valores más altos ($p<0.01$), obteniendo 2.6 % y 0.12 % para materia orgánica y nitrógeno respectivamente. La variedad con mayor contenido de proteína fue una variedad comercial con 19.8 %, Gabriela y Magali reportaron 12.3 % y 15.7 % respectivamente. El contenido de grasa en Gabriela y Magali estuvo por encima de la media comercial con 8.7 % y 8.5 % respectivamente. Los carbohidratos en Gabriela fueron mayores con 70.4 %, un parámetro importante en el reventado de la semilla. Se obtuvo que el suelo Tp tiene potencial para ser utilizado en el cultivo de amaranto, las variedades mejoradas Gabriela y Magali tienen características nutricionales importantes.

Palabras clave: Amaranto, Variedad, Fertilidad, Proximal.

ABSTRACT

Tlaxcala is the second largest producer of amaranth in the country. In this study, soil fertility was analyzed in an agricultural area to cultivate two improved amaranth varieties and was determined the proximate protein content of the seeds. The soil used was from the town of Tepetitla (Tp), and was compared with Cuapixtla (Cp), Nativitas (Nt), and Terrenate (Tr). The proximate protein content was determined for the amaranth varieties Magali (*Amaranthus cruentus*) and Gabriela (*A. hypochondriacus*), and also compared with four commercial varieties. All soils were clayey, the Tp soil obtained the highest values ($\alpha<0.01$), obtaining 2.6% and 0.12% for organic matter and nitrogen, respectively. The variety with the highest protein content was a commercial variety with 19.8%; Gabriela and Magali reported 12.3% and 15.7%, respectively. The fat content of Gabriela and Magali was above the commercial average, at 8.7% and 8.5% respectively. Carbohydrates in Gabriela were higher, at 70.4%, an important parameter for seed bursting. It was determined that the Tp soil has potential for use in amaranth cultivation. The improved varieties Gabriela and Magali have important nutritional characteristics.

Keywords: Amaranth, variety, fertility, proximal content

1

INTRODUCCIÓN

El género amaranto comprende alrededor de 70 especies de las cuales *Amaranthus cruentus* y *Amaranthus hypochondriacus* son especies originadas en México, con características nutricionales importantes, desde hojas y semillas (Das 2016). En nuestro país los principales estados productores de amaranto son Puebla, Tlaxcala, Morelos y Estado de México, esto según datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP 2020). La semilla de amaranto se destaca por sus características nutricionales, destacando la proteína, la cual se ha reportado que oscila entre 13-22 %, posicionándose con un alto valor de acuerdo a la proteína ideal para consumo humano (Bojórquez-Velázquez et al. 2018; Granja et al. 2023). Además, la fracción lipídica representa 2-7 %; con excelente relación de ácidos grasos insaturados con capacidad antioxidante (Gámez-Valdez et al. 2021). El componente mayoritario en amaranto son los carbohidratos con un porcentaje que va desde los 53-60 % considerándose así como una buena fuente de fibra y almidón con aplicaciones tecnológicas (Zhu 2016). Con los

valores antes descritos destaca la calidad nutricional de este pseudocereal, incluso superando a los principales cereales utilizados en la alimentación humana como el trigo y maíz. Así mismo, el contenido de minerales duplica su valor con respecto a los cereales, destacando la presencia de calcio, hierro, magnesio, fosforo y zinc, entre otros; los cuales se tienen reportes desde 0.18-3.5 % en semilla. Estas variaciones químico proximales en la semilla son influenciadas por genotipo, prácticas de cultivo, condiciones ambientales y fertilidad de suelo (Kachiguma et al. 2024). El estado de Tlaxcala está ubicado en el Altiplano central mexicano, tiene un rango altitudinal de 2,200 a 4,420 metros, el uso del suelo en la entidad para la actividad agrícola es 75.21 %, la agricultura que se practica en su mayoría es de temporal, sin la suficiente tecnificación y organización productiva (INIFAP 2021). Una de las características importantes para el desarrollo del cultivo es la fertilidad del suelo ya que de esta, la planta obtiene los macro y micro nutrientes necesarios para el crecimiento y producción del cultivo, lo cual repercute en el rendimiento del amaranto (Barrales 2010). Una de las cualidades del amaranto es que puede completar su ciclo de producción en suelos con escasez de nutrientes debido a su plasticidad fenotípica y traslocación de recursos, sin embargo, existen pocos estudios que consideren análisis de suelos donde se cultiva amaranto, particularmente en el estado de Tlaxcala, México. Al introducir nuevas variedades de amaranto al mercado resulta necesario conocer la composición nutricional, y conocer si el suelo donde se pretende cultivar es apto para el cultivo de estas variedades, siendo éste el objetivo del presente estudio.



2

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales vegetales

Se tomaron muestras de dos variedades de amaranto denominadas Magali (*Amaranthus cruentus*) obtenida del Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada IPN-Tlaxcala, y Gabriela (*Amaranthus hypochondriacus*) proveniente del Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala. Ambas variedades fueron cultivadas en invernadero en las instalaciones del Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada CIBA-IPN Tlaxcala. Además se analizaron las semillas de 4 variedades de amaranto comercial, perteneciendo todas ellas a la especie *Amaranthus hypochondriacus*, siendo las variedades Areli y Rollo cultivadas principalmente en el municipio de Nativitas(Nt), por otro lado las variedades Diego y PQ2 son provenientes del municipio de Cuapiaxtla (Cp) ambos municipios pertenecientes al estado de Tlaxcala.

2.2 Análisis proximal

Se molieron 10 g de semilla para cada variedad, en un molino eléctrico para café marca Byxdu modelo M150B, China, esto a temperatura ambiente por 1 min, la harina obtenida fue pasada por un tamiz de 250 µm. Inmediatamente se determinó el contenido de humedad mediante una termobalanza de la marca OHAUS modelo MB45, EE. UU. Para la determinación de cenizas se emplearon 0.5 g de harina previamente seca usando una mufla marca Thermolyne modelo 1400, EE. UU.de acuerdo con la metodología 923.03 de la AOAC, para la determinación de proteína total se usaron 0.1 g de harina seca por el método micro Kjeldahl, usando un equipo marca Scorpion scientific modelo A50304, México. Para la determinación de grasa se emplearon 2 g de harina seca y fue por extracción en sistema sohxlet marca Lab-line modelo 500, EE. UU. Se emplearon las metodologías descritas 979.09 y 939.05 de la AOAC considerándose 3 réplicas para cada análisis. La determinación de los carbohidratos totales se obtuvo por diferencia.



2.3 Análisis de suelo

Se muestreó suelo de acuerdo a la NOM 021 RECNAT 2000, proveniente de tres municipios donde se cultiva amaranto de forma extensiva, Cuapiaxtla (Cu) 97°46'41"W, Nativitas (Nt) 98°20' 45"W y Terrenate (Tr) 97°58' 33"W. Así también, se muestreó suelo perteneciente al Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, perteneciente al municipio de Tepetitla (Tp) 98°21'58"W, cuyo uso era para crecer pasto. Todos estos municipios pertenecen al estado de Tlaxcala, México. Para el análisis de suelo se consideraron las especificaciones de fertilidad correspondientes a la NOM 021 RECNAT 2000, como lo fue pH, densidad real mg/ml (ρ), capacidad de retención de agua % (WHC), conductividad eléctrica μS (C.E.), contenido de nitrógeno mg/kg (N), materia orgánica % (MO), y textura de suelo (Tx).

2.4 Análisis estadístico

Los datos obtenidos de las diferentes variables se ordenaron para su análisis de homocedasticidad de varianzas mediante la prueba de Levene, y una vez comprobado que las varianzas fueron homogéneas se realizó la prueba de medias mediante el procedimiento ANOVA y post hoc LSD ($p<0.05$) del software SAS versión 9.0 para Windows.



3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis del contenido proximal

Se determinó el contenido de humedad y no presentó diferencia significativa entre las variedades Magali y Gabriela, en cambio estas dos si presentaron diferencias ($p<0.05$) con respecto a las comerciales como se observa en la tabla 1.



Variedades	Humedad %	Cenizas %	Grasa %	Proteína %	Carbohidratos totales %
Gabriela	5.1 ± 0.5 B**	3.5 ± 0.1 B*	8.7 ± 0.2 A**	12.3 ± 0.6 E*	70.4 ± 0.6 A*
Magali	4.6 ± 0.5 B**	3.4 ± 0.0 B*	8.5 ± 0.8 A**	15.7 ± 0.3 D*	67.8 ± 0.9 B*
Areli	10.1 ± 1.3 A**	3.2 ± 0.1 B*	8.6 ± 1.9 A**	18.1 ± 0.5 B*	60 ± 1.2 D*
Diego	10.1 ± 0.2 A**	4.5 ± 0.1 A*	5.3 ± 0.1 B**	17.3 ± 0.6 BC*	62.8 ± 0.7 C*
PQ2	8.9 ± 1.1 A**	3.3 ± 0.4 B*	8.4 ± 0.8 A**	15.9 ± 0.9 CD*	63.5 ± 0.5 C*
Rollo	9.2 ± 1.6 A**	3.5 ± 0.3 B*	9.8 ± 0.1 A**	19.8 ± 0.4 A*	57.7 ± 0.6 E*

ANOVA & Test TUKEY; Medias con la misma letra en columnas no son significativamente diferentes, donde= *p<0.05, **p<0.01

Tabla 1. Contenido proximal de variedades cultivadas en el estado de Tlaxcala

Las diferencias del contenido de humedad de las variedades comerciales están asociadas al mayor tiempo de almacenamiento, como lo describe Nadarajan et al. (2023). El mayor contenido de cenizas fue para la variedad comercial denominada Diego con 4 % del contenido. Las variedades de Magali y Gabriela no presentaron diferencia significativa ($p<0.05$) con el resto de variedades, ya que todas presentaron un valor cercano al 3 % y se encuentran dentro de lo reportado; el contenido de cenizas está relacionado con el aporte mineral y este a su vez puede estar relacionado con la salud del suelo (Kachiguma et al. 2024). En el contenido de proteína hubo diferencias ($p<0.05$) entre las variedades Gabriela y Magali con 12.3 y 15.7 % respectivamente, lo que nos indica que la variedad genotípica puede ejercer cambios en el contenido nutricional, aun cuando se cultiven en el mismo tipo de suelo, como lo reportó Bojórquez-Velázquez et al. (2018). Y en lo que respecta a los demás resultados de proteína, en la variedad rollo se encontró el valor más alto con 19.8 % y en el resto de las variedades comerciales hubo diferencia ($p<0.05$), es importante mencionar que estos cambios pueden estar asociados al genotípico, a su vez que las variedades comerciales se cultivan bajo esquemas de fertilización; de ahí la principal diferencia con las variedades Magali

y Gabriela. Derivado de los resultados obtenidos, se abre una oportunidad con este trabajo para una correcta determinación de fertilización en el suelo Tp para mejorar el desarrollo vegetal, incrementar rendimiento de la semilla y su contenido nutricional (Barrales et al. 2018), destacando que las variedades cultivadas en el estado de Tlaxcala se encuentran con valores por arriba de la media ya reportado, estas variedades se han adaptado a las condiciones ambientales y a la baja fertilidad del suelo de la región, por lo que la introducción de nuevas variedades sugiere realizar análisis del suelo, así como evaluar los factores bióticos y abióticos para conocer la respuesta del cultivo y determinar si serán favorables para su cultivo de forma extensiva (Yadav y Yadav 2024). El contenido de grasa en las variedades Magali y Gabriela no presentaron diferencias con respecto a las comerciales, a excepción de la variedad Diego la cual obtuvo el valor más bajo con 5%, las variedades cultivadas y comerciales están por arriba de lo reportado en la literatura (5.5%) y representan un buen aporte nutricional ya que se ha descrito que el contenido lipídico de amaranto está compuesto principalmente por ácidos grasos insaturados (Gámez-Valdez et al. 2021; Procopet y Oroian 2022). Finalmente, el contenido de carbohidratos totales fue de-



terminado por diferencia. Los contenidos mayoritarios y con diferencia con respecto a las variedades comerciales, fueron para Gabriela y Magali 70.4% y 67.8% respectivamente, este parámetro puede ser considerado importante en la transformación de la semilla para la obten-

ción de amaranto reventado ya que mayor contenido de carbohidratos totales está asociado al volumen de expansión, así lo expresan reportes de aprovechamiento de almidón proveniente de amaranto (Dharshini y Meera 2023).

3.2 Análisis de suelo

De acuerdo con los resultados que se muestran en la tabla 2, se determinó que el suelo Tp es fértil y puede ser empleado en el cultivo de amaranto, de acuerdo a lo recomendado por Barrales et al. (2010). Ya que este suelo es de tipo arcilloso, y moderadamente ácido, contenido balanceado de MO y N. En ciertos valores, el suelo de Tp estuvo por arriba de la media de aquellos municipios, donde se lleva a cabo de forma extensiva el cultivo de amaranto en el estado. Siendo el caso de N, que de acuerdo con la NOM 021 RECNAT 2000 fue de clase muy alta con 115.9 mg kg^{-1} , casi el doble de aquellos suelos con mencionada actividad agrícola, este parámetro resulta importante considerar ya que es el elemento más restrictivo en el cultivo de amaranto y a partir de este se sugiere la aplicación en dosis adecuada de fertilizante (Ramírez et al. 2011). Los suelos Cu, y Tr se

clasificaron como clase media y alta. De acuerdo con Hernández et al. (2019), reportaron baja concentración de N y baja fertilidad en el suelo de Nt, hasta este estudio no hay reportes para los suelos de Cu y Tr. Así también ocurrió para la MO, siendo el suelo Tp, el que presentó el mayor valor (2.6 %), y de acuerdo a la normativa oficial, se encuentra en una clase media, mientras que los demás suelos presentaron 0.73% de MO, siendo de clase baja. La MO es un parámetro importante ya que permite mantener una disponibilidad de nutrientes, así como mejora la fertilidad del suelo, a su vez que está relacionado con un mayor WHC ya que forma agregados en el suelo. En la tabla 2 se observa que hay una tendencia, a valores más bajos de MO existió menor porcentaje de WHC (Gao y et al., 2024).

Localidad	pH	g cm^{-3}	WHC %	C. E. μS	N mg Kg^{-1}	M.O. %	Textura
Tp	$5.8 \pm 0.11 \text{ B}^{**}$	$2.3 \pm 0.14 \text{ A}$	$64 \pm 7.0 \text{ A}^*$	$1627 \pm 58 \text{ A}^{**}$	$115.9 \pm 4.3 \text{ A}^{**}$	$2.63 \pm 0.5 \text{ A}^{**}$	Arcilloso
Tr	$4.7 \pm 0.08 \text{ C}^{**}$	$2.4 \pm 0.18 \text{ A}$	$52 \pm 1.4 \text{ B}^*$	$826 \pm 15 \text{ C}^{**}$	$60.6 \pm 1.2 \text{ C}^{**}$	$0.45 \pm 0.2 \text{ B}^{**}$	Arcilloso
Nt	$7.2 \pm 0.05 \text{ A}^{**}$	$2.1 \pm 0.13 \text{ A}$	$70 \pm 2.9 \text{ A}^*$	$1226 \pm 32 \text{ B}^{**}$	$83.1 \pm 6.1 \text{ B}^{**}$	$0.99 \pm 0.2 \text{ B}^{**}$	Arcilloso
Cu	$4.8 \pm 0.01 \text{ C}^{**}$	$2.2 \pm 0.27 \text{ A}$	$47 \pm 2.3 \text{ B}^*$	$781 \pm 12 \text{ C}^{**}$	$40.5 \pm 1 \text{ D}^{**}$	$0.88 \pm 0.1 \text{ B}^{**}$	Arcilloso

ANOVA & Test Fisher LSD; Medias con la misma letra en columnas no son significativamente diferentes, donde = * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

De acuerdo con el análisis estadístico tanto para N y MO hubo cambios ($p<0.01$) entre el suelo de Tp y los demás sitios. A pesar de los bajos valores de N y MO encontrados en los diferentes suelos de Tr, Nt y Cu, permiten el desarrollo de amaranto. El amaranto tiene una alta capacidad de desarrollo en suelos con baja fertilidad, incluso puede desarrollarse en condiciones adversas, por lo que se ha descrito resiliente ante el cambio ambiental (Yadav y Yadav 2024). De acuerdo con los valores de pH se observaron cambios significativos ($p<0.05$) en cada municipio siendo para Tp un valor de 5.8 y se clasificó como moderadamente ácido de acuerdo con la NOM 021 RECNAT 2000, el suelo Nt tuvo pH neutro y se encontraron dos suelos ácidos (Cu y Tr) con el mismo valor de 4.8,

a pesar de estas diferencias el cultivo de amaranto tiende a adaptarse en suelos ácidos, para una mejor transferencia de nutrientes (Singh y Whitehead 1992). Donde no se presentaron diferencias ($p<0.05$) fue en la densidad real ya que el tamaño de partícula está asociado a la textura y esta misma no presentó cambio, ya que todos los suelos pertenecen a la clase de arcillosos. Una característica importante en el suelo es la WHC, la cual permite retener la humedad y la disposición de agua a la planta, en el presente trabajo, el segundo valor más alto obtenido de WHC, fue para el suelo de Tp con 66.3 % y esto se encuentra relacionado con el alto valor de materia orgánica que presentó dicho suelo.

4 CONCLUSIONES

De acuerdo con la NOM 021 RECNAT, se determinó la fertilidad de un sitio en el municipio de Tepetitla, Tlaxcala, con potencial para el cultivo de amaranto; en contraste con los demás suelos agrícolas, donde se encontraron carencias importantes en nitrógeno y materia orgánica. Con los resultados obtenidos se podrían sugerir técnicas en fertilización. De acuerdo con el contenido proximal *A. cruentus* var. Magali tuvo adecuado nivel de proteína y grasa comparable con variedades comerciales lo que le permite ser una opción para su cultivo y consumo; por otro lado *A. hypochondriacus* var. Gabriela podría ser una variedad para el proceso de reventado de semilla por su alto nivel de carbohidratos totales.

5 AGRADECIMIENTOS

A CONAHCYT por el apoyo de beca de posgrado y a los productores de la región por las facilidades para la obtención de las muestras.





REFERENCIAS

- Barrales S, Barrales E, Barrales E (2010) Amaranto recomendaciones para su producción. Plaza y Valdes, editores. 92-103 pp.
- Bojórquez-Velázquez E, Velarde-Salcedo A J, León-Rodríguez A, Jimenez-Islas H, Pérez-Torres J L, Herrera-Estrella A, Espitia-Rangel E, Barba de la Rosa A C (2018) Morphological, proximal composition, and bioactive compounds characterization of wild and cultivated amaranth (*Amaranthus* spp.) species. Journal of Cereal Science. 83:222-228.
- Das S (2016) *Amaranthus*: A promising crop of the future. Springer, 208-210 pp
- Gámez-Valdez L C, Gutiérrez-Dorado R, Gómez-Aldapa C A, Perales-Sánchez J X K, Milán-Carrillo J, Cuevas-Rodríguez E O, Reyes Moreno C (2021) Effect of the extruded amaranth flour addition on the nutritional, nutraceutical and sensory quality of tortillas produced from extruded creole blue maize flour. Biotecnia. 23:103-112.
- Granja E, Parra G P, Molina R A, Calapíña B O (2023) Caracterización fisiológica de semillas de ocho variedades de amaranto (*Amaranthus* spp.) en la provincia de Cotopaxi. Universidad & ciencia. 12:82-96
- Hernández E, García E, Ramírez J L (2014) Caracterización de suelos cultivados con amaranto y algunos aspectos agronómicos de la planta. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 53:421-431
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias INIFAP (2021) [Online]. Available from <https://www.gob.mx/inifap/>
- Kachiguma N, Mwase, W, Moses M, Alex D (2024) Chemical and Mineral Composition of Amaranth (*Amaranthus* L.) Species Collected From Central Malawi. Journal of Food Research. 4:92-92.
- Nadarajan J, Walters C, Pritchard H W, Ballesteros D, Colville L (2023) Seed Longevity The Evolution of Knowledge and a Conceptual Framework. Plants. 12(3):47.
- Procopet O, Oroian M (2022) Amaranth Seed Polyphenol, Fatty Acid and Amino Acid Profile. Applied Sciences. 12(4): 2181.
- Dharshini S, Meera M (2023) Effect of popping and milling on physical, chemical, structural, thermal properties and angle acciones-y-programas/centro-de-investigacion-regional-cir [Fecha de revisión 25 enero 2025]
- of repose of amaranth seed (*Amaranthus cruentus* L.) and finger millet (*Eleusine coracana* L. Gaertn) from Udhagamandalam. Applied Food Research. 3:2.
- Ramírez M L, Espitia E, Carballo A, Zepeda R, Vaquera H. Córdova L (2011) Fertilización y densidad de plantas en variedades de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.). Revista mexicana de ciencias agrícolas. 2(6):855-866.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera SIAP (2020) Avance de siembras y cosecha resumen nacional por estado, México [online]. Available from http://infoSIAP.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/
- ResumenProducto.do. [Fecha de revisión 29 enero 2025].
- Singh B P y Whitehead W F (1992) Response of vegetable amaranth to differing soil ph and moisture regimes. Acta Hortic. 318:225-230.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2000) NOM-02-RECNAT-2000 [Online]. Available from <https://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>. [Fecha de revisión 19 febrero 2025].
- Yadav A, Yadav K 2024 From humble beginnings to nutritional powerhouse: the rise of amaranth as a climate-resilient superfood. Tropical Plants 3:37.
- Zhu F (2016) Structures, physicochemical properties, and applications of amaranth starch. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 57(2):313-325.