

Contenido mineral de maíces criollos de Yucatán: análisis mediante μ -Fluorescencia de Rayos X

Mineral content of landraces maize from Yucatán: analysis by μ -Fluorescence X-ray

Francisco Alberto Chí-Sánchez¹ , Carlos Juan Alvarado-López^{2,†} , Jairo Cristóbal-Alejo¹ ,
Alejandra González-Moreno¹  y Arturo Reyes-Ramírez¹ 

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Conkal. Av. Tecnológico s/n. 97345 Conkal, Yucatán, México.

² Cátedras-CONACYT Tecnológico Nacional de México/Instituto Conkal. Av. Tecnológico s/n. 97345 Conkal, Yucatán, México.

† Autor para correspondencia (carlos.alvarado@itconkal.edu.mx)

RESUMEN

El maíz (*Zea mays* L.) en Yucatán es considerado como el principal cultivo en la milpa, seguido de la calabaza, frijol y chile. El maíz está presente en la alimentación básica por su aporte de compuestos activos y minerales esenciales. El objetivo de este trabajo fue la caracterización de diferentes maíces criollos en términos de composición mineral cultivados en diferentes regiones de Yucatán, para la selección de poblaciones de maíz, las cuales podrían tener un uso potencial para la biofortificación y el mejoramiento genético. Se realizó el análisis mineral mediante μ -Fluorescencia de Rayos X (μ -XRF, M4Tornado 100) para la detección de macronutrientes (P, K, S, Ca, Mg y Na) y micronutrientes (Mn, Fe, Zn, Cu y Se) en 20 genotipos de maíces provenientes de cinco regiones en Yucatán (R1: Tixmehuac, R2: Chacsinkín, R3: Peto, R4: Motul y R5: Maní) de las razas *Nal t'eel* (5), *Ts'it bakal* (2), *Xmejen-nal* (5) y *Xnuuk-nal* (8). Se realizó un análisis de varianza de los minerales cuantificados, comparación de medias prueba por Tukey y diferencia mínima significativa. Se estableció una dispersión en el contenido total de macronutrientes y micronutrientes en cada genotipo. Con el promedio de los minerales se realizó un análisis de componentes principales (ACP). Los resultados indicaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en el contenido mineral entre los genotipos de maíz. El análisis de dispersión mineral mostró que tres genotipos de la R2 y uno de la R3 sobresalen por su contenido. El análisis de conglomerado delimitó cinco

grupos con características distintas por su coloración y región. Las razas *Xnuuk-nal* y *Xmejen-nal* cultivadas en R2 presentaron el mayor contenido mineral con la coloración lila, anaranjado-rojo y anaranjado, por lo que podrían ser aprovechados para el mejoramiento genético y biofortificación del maíz.

Palabras claves: *calidad nutricional, composición mineral, nutrientes, Zea mays.*

SUMMARY

In Yucatán, maize (*Zea mays* L.) is considered the main crop in the maize field, followed by squash, beans and pepper. Maize is found in the basic diet because of its contribution of active compounds, vitamins and essential minerals. Thus, the objective of this work is to characterize different maize landraces in terms of mineral composition cultivated in different regions of Yucatan for the selection of maize populations, which could have a potential use for biofortification and genetic improvement. Mineral analysis was performed by μ -X-Ray Fluorescence (μ -XRF, M4 Tornado 100) for the detection of macro- (P, K, S, Ca, Mg and Na) and micro-(Mn, Fe, Zn, Cu and Se) nutrients in 20 maize genotypes from five Yucatán regions (R1: Tixmehuac, R2: Chacsinkin, R3: Peto, R4: Motul and R5: Maní) of the races *Nal t'eel* (5), *Ts'it bakal* (2), *Xmejen-nal* (5) and *Xnuuk-nal* (8). An analysis of variance of the quantified minerals was performed, together with Tukey's comparison test and honestly

Cita recomendada:

Chí-Sánchez, F. A., Alvarado-López, C. J., Cristóbal-Alejo, J., González-Moreno, A. y Reyes-Ramírez, A. (2021). Contenido mineral de maíces criollos de Yucatán: análisis mediante μ -Fluorescencia de Rayos X. *Terra Latinoamericana* 39: 1-12. e454. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.454>

Recibido: 11 de febrero de 2020. Aceptado: 21 de enero de 2021.
Artículo. Volumen 39, abril de 2021.

significant difference. A dispersion in the total content of macronutrients and micronutrients in each genotype was established. With the average of minerals obtained, a principal component analysis (ACP) was performed. The results indicated significant differences ($P \leq 0.05$) in mineral content among the maize genotypes. The mineral dispersion analysis showed that three genotypes of R2 and one of R3 exceeded their own content. The conglomerate analysis showed five groups with different characteristics in their coloration and region. The races *Xnuuk-nal* and *Xmejen-nal* cultivated in R2 had the highest mineral content with lilac, orange-red and orange coloration, which could be exploited for maize genetic improvement and biofortification.

Index words: *nutritional quality, mineral composition, nutrients, Zea mays.*

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es el más importante a nivel mundial, con una amplia adaptabilidad y productividad (Yousuf *et al.*, 2018), con una producción de 1147 millones de toneladas a nivel mundial (Yang y Yan, 2020). México es el centro de origen del maíz con una amplia diversidad de razas y poblaciones nativas, que presentan una gran importancia alimentaria, social y económica para las comunidades rurales (Cázares *et al.*, 2015; Orozco-Ramírez *et al.*, 2017).

En México se tiene reportadas 59 razas de maíces criollos con una diversidad extensa de recursos genéticos de maíz y que son cultivados en diferentes regiones del país (Uriarte-Aceves *et al.*, 2018). En Yucatán las poblaciones de maíz son conocidas con los nombres Mayas *X-T'uup*, *X-ÉeK'Jjub Nal-t'eel*, *Xmejen-nal*, *T'siit-bakal* y *Xnuuk-nal* y comúnmente cultivadas en el sistema milpa (Dzib-Aguilar *et al.*, 2016; Fenzi *et al.*, 2017).

En México se han detectado áreas potenciales para la introducción de maíces biofortificados de acuerdo a los Índices de Priorización para Biofortificación (IPB) para combatir la deficiencia micronutriente en niños y mujeres embarazadas, siendo los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Puebla, Hidalgo y Zacatecas con una prioridad elevada, Campeche con un IPB alta y Yucatán con un IPB moderada (Ramírez-Jaspeado *et al.*, 2018).

Los granos de maíz, se caracterizan por contener vitaminas (A, B1, B2, B5, B6, C, E y K1) y aminoácidos esenciales (triptófano, treonina, isoleucina, lisina, metionina, fenilalanina, valina e histidina) (Edelma y Colt, 2016), antioxidantes (luteína y zeaxantina), carbohidratos, proteínas, grasa (Zandi *et al.*, 2017), almidón, aceite, celulosa y lignina, azúcar soluble entre otros compuestos (Yang *et al.*, 2018). Además, los granos de maíces contienen diferentes minerales esenciales como Ca (calcio), Co (cobalto), Se (selenio), Zn (zinc), Cu (cobre), Fe (hierro), Mn (manganeso), Mo (molibdeno), Mg (magnesio), K (potasio), Na (sodio), Ba (bario) y Al (aluminio) (Qamar *et al.*, 2017; Jaradat y Goldstein, 2018).

El contenido nutrimental constituye una parte importante en la calidad de la semilla (Jaradat y Goldstein, 2018). Los minerales presentes en los granos de maíz como el Ca, Fe, Mn y Zn muestran una correlación positiva con el crecimiento de la raíz durante la germinación (Bityutskii *et al.*, 2002). Los nutrientes (macro y micro) son de crucial importancia para aumentar los rendimientos de los cultivos (Ma y Zheng, 2018), comprender la interacción entre estos, es un requisito importante para lograr el equilibrio en la producción de cultivos.

El análisis basado en la fluorescencia de rayos X de baja potencia como la dispersión de energía por fluorescencia de Rayos X (EDXRF por sus siglas en inglés *energy-dispersive x-ray fluorescence spectrometry*) y la microfluorescencia por rayos X (μ -XRF por sus siglas μ -X ray fluorescence spectrometry) permiten un análisis rápido (tiempo y proceso), debido a que las muestras no necesitan un pretratamiento para su análisis (Gallardo *et al.*, 2016). El objetivo del presente estudio fue caracterizar diferentes maíces criollos cultivados en diferentes poblaciones de Yucatán en su composición mineral mediante μ -Fluorescencia de Rayos X (μ -XRF).

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta del Germoplasma

Se colectaron 20 genotipos de maíces criollos cultivados bajo condiciones de temporal en cinco municipios de Yucatán; y fueron clasificadas en cinco regiones (Figura 1): Tixmehuac; R2 Chacsinkín; R3: Peto; R4: Motul y R5: Maní. Cada una de las muestras fue etiquetada de acuerdo a la región, al tipo de raza



Figura 1. Clasificación de los genotipos de maíces criollos de cinco regiones (R) de Yucatán, México. Razas (Xnu = Xnuuk-nal; Xme = Xmejen nal; Tsi = Ts'it bakal; Nal = Nal t'eel). Coloración del grano (B = blanco; R = rojo; M = morado; L = lila; AR = anaranjado con rojo; V = vino; A = amarillo; AnR = anaranjado con rojo; An = anaranjado; BA = blanco con amarillo).

Figure 1. Genotype classification of maize landraces in five regions (R) of Yucatan, Mexico. Race (Xnu = Xnuuk-nal; Xme = Xmejen nal; Tsi = Ts'it bakal; Nal = Nal t'eel). Grain coloring (B = White; R = red; M = purple; L = lilac; AR = orange with red; V = wine; A = yellow; AnR = orange with red; An = orange; BA = white with yellow).

que fue proporcionado por el productor, color del grano y genotipo (Cuadro 1).

Evaluación del Contenido de Minerales en Semillas de Maíz

La determinación y cuantificación de los minerales presentes en las semillas de los maíces criollos se realizó mediante el análisis por μ -Fluorescencia de Rayos X (μ -XRF), con las metodologías descritas por Morales-Morales *et al.* (2019) en un equipo M4Tornado 100 (Bruker, Alemania) en el Laboratorio de Suelo y Planta del Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán. El haz colimador fue de 2 mm, el tubo de rayos X fue operado a 50kV y 200 μ A con un filtro de 12.5A. La detección de la radiación de fluorescencia se realizó mediante un detector de dispersión de silicio con un dispersor de energía XFlashTM, con un área sensible de 30 mm² y una resolución de energía de 142 eV. Las mediciones fueron realizadas al vacío a 20 mbar y se realizaron directamente en ocho granos por triplicado. Las fracciones de masa obtenidas se corrigieron con la biomasa total (g del grano).

Análisis Estadístico

Los datos del contenido de minerales en los distintos genotipos de maíces criollos, se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA, por sus siglas en inglés) para la proporción de las diferencias significativas entre las medias y se complementó con la comparación múltiple de medias Tukey, 0.05. Se realizó un gráfico descriptivo de la relación entre macro y micronutrientes. Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) y se clasificaron mediante un análisis de conglomerado jerárquico (CJ). Los análisis se realizaron en el paquete estadístico SPSS versión 25 ediciones de 64 bits.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variabilidad en el Contenido de Macronutrientes en Granos Maíces Criollos

La detección y la concentración de los macronutrientes (Cuadro 2) y micronutrientes (Cuadro 3) presentó una amplia variabilidad con diferencias significativas entre los 20 genotipos de maíces criollos cultivados en cinco regiones de Yucatán.

Cuadro 1. Genotipos colectados de maíces criollos cultivados en cinco regiones de Yucatán, México.
Table 1. Genotypes collected from maize landraces grown in five regions of Yucatan, Mexico.

Región de colecta (municipio) en el estado de Yucatán			
Genotipos	Tipo de población (Raza) [†]	Color del grano	Nombre local [†]
R1: Tixmehuac			
R1-XnuB01	<i>Xnuuk-nal</i>	Blanco (B)	Xnuk-naaL
R1-XmeAnR13	<i>Xmejen nal</i>	Anaranjado y rojo (AnR)	Pich-cristo
R2: Chacsinkín			
R2-XmeR02	<i>Xmejen nal</i>	Rojo (R)	Chac-chob
R2-TsiB03	<i>Ts'itit bakal</i>	Blanco (B)	Zdib-bakal
R2-XnuM04	<i>Xnuuk-nal</i>	Morado (M)	Ehúú
R2-XnuL06	<i>Xnuuk-nal</i>	Lila (L)	Maíz pinto
R2-NalV08	<i>Nal t'eel</i>	Vino (V)	Chac-tel
R2-XmeB09	<i>Xmejen nal</i>	Blanco (B)	Sac x mejen-naal
R2-XnuB11	<i>Xnuuk-nal</i>	Blanco (B)	Crupi- xnuk-nal
R2-XmeAn14	<i>Xmejen nal</i>	Anaranjado (An)	Kaan mejen naal
R2-XnuB15	<i>Xnuuk-nal</i>	Blanco (B)	Santa rosa
R2-XnuAnR17	<i>Xnuuk-nal</i>	Anaranjado con rojo (AnR)	Clavo chiapaneco
R2-XmeBA18	<i>Xmejen nal</i>	Blanco con anaranjado (BA)	Chac-choc
R3: Peto			
R3-NalB05	<i>Nal t'eel</i>	Blanco (B)	Naal-tel
R3-NalA12	<i>Nal t'eel</i>	Amarillo (A)	Gallito
R3-TsiA16	<i>Ts'itit bakal</i>	Amarillo (A)	Naal-xoy
R4: Motul			
R4-XnuAR07	<i>Xnuuk-nal</i>	Amarillo con rojo (AR)	San pauleño
R4-NalA10	<i>Nal t'eel</i>	Amarillo (A)	Gallito amarillo
R5: Maní			
R5-XnuB19	<i>Xnuuk-nal</i>	Blanco (B)	X-nuuk naal
R5-NalA20	<i>Nal t'eel</i>	Amarillo (A)	T'uup t'eel

[†] Nombre proporcionado por el productor.

[†] Name provided by the producer.

Los genotipos analizados presentaron concentraciones de fósforo (P) en un rango máximo de 52.66 mg kg⁻¹ (R2-XnuAnR17) y un mínimo de 6.95 mg kg⁻¹ (R1-XnuB01). Estas son concentraciones muy bajas comparadas con lo reportado por Jaradat y Goldstein (2018), en 1348 accesiones de 13 genotipos de maíces comerciales de EUA y criollos de Centro América y Sudamérica en las cuales el contenido de P fue en un rango de 4505.7 a 2556 mg kg⁻¹.

El potasio (K) presentó valores que van en un rango de 982.72 mg kg⁻¹ (R2-XmeB09) a 3693.36 mg kg⁻¹ (R2-XnuR17), Jaradat y Goldstein (2018), reportaron

concentraciones entre 2332.5 y 5166.8 mg kg⁻¹ por lo que el 90% de los genotipos analizados en este trabajo se encuentran por debajo, sin embargo, son superiores a lo reportado por Qamar *et al.* (2017), en granos de color blanco y amarillo cultivados en Pakistán con una concentración entre 34.98 y 914.98 mg kg⁻¹ respectivamente.

La mínima concentración de azufre (S) obtenida fue 9.34 mg kg⁻¹ (R2-TsiB03) y la máxima de 71.99 mg kg⁻¹ (R2-XnuAnR17), son concentraciones inferiores a lo reportado por Jaradat y Goldstein (2018) que reportan este elemento entre 824.5 y 1658 mg kg⁻¹ de azufre.

Cuadro 2. Comparación del contenido de macroelementos en semillas de maíces criollos cultivados en cinco regiones de Yucatán, México.
Table 2. Comparison of macronutrient content in maize landraces grown in five regions of Yucatan, Mexico.

Genotipo	P	K	S	Ca	Mg	Na
----- mg kg ⁻¹ -----						
R1-XnuB01	6.95 [†] n	1288.08 j	21.27 l	43.03 l	437 f	1084.27 g
R1-XmeAnR13	10.89 l	1595.32 g	50.37 cb	69.16 g	400.88 g	941.07 i
R2-XmeR02	16.61 hi	1604.02 g	29.77 k	56.12 i	524.27 e	1040.17 gh
R2-TsiB03	20.2 g	1711.5 f	9.34 n	61.54 h	338.07 ji	709.65 m
R2-XnuM04	19.51 g	1197.63 k	44.85 e	38 m	267.25 k	619.79 ñ
R2-XnuL06	37.49 c	2690.56 b	45.86 e	61.85 h	761.55 c	1684.6 b
R2-NalV08	30.94 d	1259.11 j	51.51 b	53.26 j	442.45 f	964.25 i
R2-XmeB09	17.01 hi	982.72 m	31.23 j	51.24 jk	394.11 g	949.97 i
R2-XnuB11	7.33 n	1687.21 f	38.58 h	86.87 d	444.16 f	1213.49 e
R2-XmeAn14	17.22 h	2034.39 d	15.99 m	91.66 c	790.23 b	1583.06 c
R2-XnuB15	13.37 j	1149.97 l	35.47 i	82.52 e	404.53 g	1068.35 g
R2-XnuAnR17	52.66 a	3693.36 a	71.99 a	96.49 b	831.94 a	1831.12 a
R2-XmeBA18	8.22 m	1495.89 h	42.54 f	73.23 f	253.58 k	659.04 n
R3-NalB05	12.14 k	1406.58 i	29.54 k	51.77 jk	532.05 e	1037.98 gh
R3-NalA12	28.93 e	1239.28 j	22.03 l	53.19 j	356.64 i	780.44 l
R3-TsiA16	20.95 f	2301.17 c	42.4 f	73.72 f	621.6 d	1194.11 e
R4-XnuAR07	43.55 b	1832.4 e	40.11 g	127.68 a	452.01 f	1134.84 f
R4-NalA10	16.36 i	1460.7 ih	30.44 kl	49.69 k	342.33 i	822.27 k
R5-XnuB19	21.21 f	1671.54 f	49.03 d	82.72 e	373.83 h	896.84 j
R5-NalA20	13.01 j	1877.92 e	49.18 dc	56.53 i	442.77 f	1248.86 d
DMS	0.74	56.07	1.24	2.20	15.37	34.64
C. V.	1.15	1.06	1.07	1.05	1.06	1.04

[†] Valores promedios de ocho granos de maíz analizados con tres réplicas cada uno. Medias con la misma letra en cada columna indican que no hay diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05). DMS = diferencia mínima significativa; C.V. = coeficiente de variación entre las razas de maíz colectadas en cinco regiones de Yucatán.

[†] Average values of eight maize seeds analyzed with three replicates each. Means with the same letter in each column indicate no significant statistical differences (Tukey, 0.05). DMS = minimum significant difference; C.V. = coefficient of variation among maize races collected in five regions of Yucatan.

La concentración de calcio (Ca) va de 38 mg kg⁻¹ (R2-XnuM04) a 127.68 mg kg⁻¹ (R4-XnuAR07), concentraciones que se encuentre dentro de los valores reportado por Edelman y Colt (2016) con 64 mg kg⁻¹ en una comparación de minerales tomados de la Base de Datos Nacional de Nutrientes del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés). Los valores obtenidos se encuentran por debajo a lo reportado por Qamar

et al. (2017) con una concentración entre 1327.56 y 1290.27 mg kg⁻¹ en granos de maíz de color blanco y amarillo respectivamente y por debajo de lo reportado por Jaradat y Goldstein (2018) con concentraciones de 335.4 y 556.9 mg kg⁻¹.

El contenido de magnesio (Mg) en los diferentes genotipos, va de un rango de 253.58 mg kg⁻¹ (R2-XmeBA18) a máxima de 831.94 mg kg⁻¹ (R2-XnuAnR17). Sin embargo, Qamar *et al.* (2017),

obtuvieron concentración similar entre 99.61 y 1594.13 mg kg⁻¹ en granos de maíz de color blanco y amarillo. El sodio (Na) en los diferentes genotipos, la mínima concentración fue de 619.79 mg kg⁻¹ (R2-XnuM04) y la máxima de 1831.12 mg kg⁻¹ (R2-XnuAnR17). Edelman y Colt (2016) reportaron valores superiores a lo obtenido, concentraciones de 2890 mg kg⁻¹ de Na en semillas de maíz. Qamar *et al.* (2017) obtuvieron concentraciones bajas de Na entre 96.08 y 63.88 mg kg⁻¹ en granos de maíz de color blanco y amarillo respectivamente cultivados en Pakistán.

Variabilidad en el Contenido de Micronutrientes en Granos Maíces Criollos

El manganeso (Mn) en los diferentes genotipos evaluados, presentó la mínima concentración de 1.7 mg kg⁻¹ (R3-NalB05) y la máxima de 9.35 mg kg⁻¹ (R2-XnuAnR17), el 70% de los resultados obtenidos en el presente trabajo se encuentran dentro de los valores reportados por Jaradat y Goldstein (2018), donde obtuvieron concentraciones entre 3.2 y 10.7 mg kg⁻¹ de Mn y el 80% a lo reportado por Qamar *et al.* (2017),

Cuadro 3. Comparación del contenido de microelementos en semillas de maíces criollos cultivados en cinco regiones de Yucatán, México.
Table 3. Comparison of micronutrient content in maize landraces grown in five regions of Yucatan, Mexico.

Genotipo	Fe	Zn	Mn	Cu	Se
	mg kg ⁻¹			µg kg ⁻¹	
R1-XnuB01	8.7 j †	14.2 j	3.1 l	454.5 f	29.1 l
R1-XmeAnR13	9.7 i	15.4 i	3.9 k	172.1 m	76.0 e
R2-XmeR02	13.7 e	19.3 g	4.6 h	363.2 h	32.5 k
R2-TsiB03	13.5 e	21.6 f	4.1 ij	253.7 k	75.2 e
R2-XnuM04	6.9 l	12.5 k	1.8 ñ	73.8 p	1.6 p
R2-XnuL06	18 a	27.6 d	6.2 c	217.5 l	15.7 n
R2-NalV08	9.0 j	16.9 h	3.9 k	137.0 n	79.4 d
R2-XmeB09	4.5 n	7.9 n	1.8 ño	296.1 j	44.8 j
R2-XnuB11	11.7 g	25.4 e	4.2 i	821.9 b	62.7 g
R2-XmeAn14	17.0 b	36.8 a	6.8 b	1169.4 a	96.1 b
R2-XnuB15	7.2 l	18.8 g	3.9 k	782.1 c	65.0 f
R2-XnuAnR17	16.5 c	31.6 b	9.3 a	378.1 g	3.1 p
R2-XmeBA18	12.7 f	26.1 e	5.7 d	755.3 d	49.2 i
R3-NalB05	6.5 m	9.1 m	1.7 o	389.8 g	9.7 p
R3-NalA12	6.33 m	9.8 l	2.1 n	81.7 op	11.3 o
R3-TsiA16	15.6 d	30.9 b	5.0 g	322.4 i	130.2 a
R4-XnuAR07	11.7 g	31.4 b	5.1 f	481.1 e	85.3 c
R4-NalA10	7.6 k	15.1 i	2.9 m	93.52 ño	27.1 m
R5-XnuB19	10.9 h	28.8 c	5.3 e	103.89 ñ	53.7 h
R5-NalA20	12.8 f	25.6 e	4.0 jk	203.9 l	12.7 ñ
DMS	0.36	0.70	0.14	0.01	0.07
C. V.	1.06	1.08	1.06	1.45	5.36

† Valores promedios de ocho granos de maíz analizados con tres réplicas cada uno. Medias con la misma letra en cada columna indican que no hay diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05). DMS = diferencia mínima significativa; C.V. = coeficiente de variación, entre las razas de maíz colectadas en cinco regiones de Yucatán.

† Average values of eight maize seeds analyzed with three replicates each. Means with the same letter in each column indicate no significant statistical differences (Tukey, 0.05). DMS = minimum significant difference; C.V. = coefficient of variation among maize races collected in five regions of Yucatan.

con concentraciones de 2.82 y 21.481 mg kg⁻¹ en granos de maíz de color blanco y amarillo respectivamente.

El contenido de hierro (Fe) en los diferentes genotipos, la mínima concentración fue de 4.54 mg kg⁻¹ (R2-XmeB09) y la máxima de 18 mg kg⁻¹ (R2-XnuL06), resultados que se encuentran dentro de los valores reportados por Jaradat y Goldstein (2018), donde obtuvieron la menor concentración de Fe de 13 mg kg⁻¹ e inferiores a los reportado por Qamar *et al.* (2017) con una concentración entre 82.03 y 115.13 mg kg⁻¹ en granos de maíz de color blanco y amarillo respectivamente.

El zinc (Zn) presentó la mínima concentración de 7.9 mg kg⁻¹ (R2-XmeB09) y la máxima de 36.81 mg kg⁻¹ (R2-XmeAn14), resultados que se encuentran entre los valores reportados por Jaradat y Goldstein (2018) donde obtuvieron la menor concentración de Zn entre 15.1 y 41.9 mg kg⁻¹.

El cobre (Cu) presentó la mínima concentración de 0.073 mg kg⁻¹ (R2-XnuM04) y la máxima de 1.169 mg kg⁻¹ (R2-XmeAn14). Resultados que se encuentra a lo reportado por Jaradat y Goldstein (2018), 0.92 y 8.7 mg kg⁻¹ e inferior a Qamar *et al.* (2017), con una concentración entre 5.43 y 11.46 mg kg⁻¹ en granos de maíz de color blanco y amarillo respectivamente.

La concentración de selenio (Se) en los diferentes genotipos presentó concentración mínima de 1.6 µg kg⁻¹ (R2-XnuM04) y la máxima 130.27 µg kg⁻¹ (R3-TsiA16). En este estudio las concentraciones de Se, fueron superiores a lo reportado por Qamar *et al.* (2017) reportando que en maíces de color blanco fue menor al límite de detección (0.018 µg) y en maíces de color amarillo se obtuvo 6.2 µg kg⁻¹.

Los resultados obtenidos, demuestra que la concentración de Fe es menor a la concentración de Zn para todos los genotipos de maíces cultivados en las diferentes regiones. Los fuertes efectos del genotipo (maíz) sobre las concentraciones únicas y múltiples de Fe y Zn, sugieren un alto potencial para la biofortificación (Jaradat y Goldstein, 2018), Estudios realizados por Ramírez-Jaspeado *et al.* (2018) demuestra que en México existen áreas con prioridad para establecer programas de Biofortificación del cultivo de maíz con Zn para combatir la deficiencia de este micronutriente, siendo los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Hidalgo y Puebla con una prioridad elevada, sin embargo, el estado de Yucatán se encuentra en una zona de prioridad moderada, algo que se podría considerar como una estrategia para implementar programas de

Biofortificación de cultivos de autoconsumo como el maíz, frijol (*Phaseolus* spp.), frijol caupi (*Vigna* spp.), Calabazas (*Cucurbita* spp.) entre otras especies criollas. La concentración de nutrientes en el grano va de depender del tipo de cultivar, la disponibilidad del agua en el suelo, el tipo de suelo, patrones de lluvia y periodo de cultivo (Ferreira *et al.*, 2012).

Se ha demostrado que la fertilización con N-P-K en maíz afecta significativamente el contenido de ácido grasos saturados e insaturados, las concentraciones de nutrientes en las semillas aumentan, aunque en algunos casos el contenido de Mn se ve reducido (Kaptan *et al.*, 2017).

Dispersión de los Genotipos de Maíz en el Contenido Total de Macro y Microelementos

En la Figura 2, está dividida en cuatro cuadrantes en función al promedio obtenido en la sumatoria de los macroelementos (Na+Mg+P+S+Ca) y microelementos (Mn+Fe+Zn+Cu+Se), generando cuatro escenarios para las poblaciones. En el cuadrante I (CI) se encuentra las poblaciones con mayor contenido de micro y macroelementos, las cuales se encuentran cuatro genotipos de las R2, una de la R3, R4 y R5, siendo la R2-XmeAn14, la de mayor contenido de microelementos y R2-XnuAnR17 mayor contenido de macroelementos. En el cuadrante II (CII) se encuentran las poblaciones que presentaron contenido de microelementos por encima de la media, y macroelementos por debajo de la media, siendo la R2-XmeBA18 la de mayor contenido de microelementos y R2-XmeR02 con mayores macroelementos. En el cuadrante III (CIII), se encuentra los genotipos que presentaron los menores contenido de nutrientes por debajo de la media de los valores de macro y micro elementos, las cuales se encuentran dos genotipos de la región R1 y R3, una de la región R4 y cuatro genotipos de la región R2. En el cuadrante IV (CIV) no se registró genotipos con alto contenido de macroelementos y por debajo de la media de los microelementos.

Los genotipos que sobresalen en su contenido mineral son R2-XnuL06 y R2-XnuAnR17 pertenecientes a la raza *Xnuuk-nal*, R2-XmeAn14 de la raza *Xmejen-nal*, siendo genotipos de color lila, anaranjado con rojo y anaranjado, pertenecientes a la región de Chacsinkín (R2). Cázares *et al.* (2015) reportaron resultados en la composición química en granos de maíces criollos cultivados en la región de Yaxcabá, Yucatán (centro-

norte de Yucatán), obteniendo que poblaciones de *Xmejen nal* presentan los valores más alto de proteína, triptófano, cenizas y fibra cruda, mientras la raza *Xnuuk nal* presenta el menor contenido de aceite.

Qamar *et al.* (2017), determinan que la composición del maíz tiene una gran discrepancia entre sus diferentes especies y subespecies, que depende de las diversas condiciones como el ambiente y topográficas. El pH de los suelos interviene en la disponibilidad, la absorción de ciertos nutrientes y transporte desde las raíces hacia los granos de maíz y en diferentes tejidos. Borges-Gómez *et al.* (2014), caracterizaron el suelo de 24 regiones de Yucatán, reportando un pH de 6.8 a 7.8, con concentraciones de 3 a 67 mg kg⁻¹ de P, 0.88 a 5.46 cmol(+) kg⁻¹ de Mg y 11 a 47 cmol(+) kg⁻¹ de Ca, 0.89 a 4.91 cmol(+) kg⁻¹ de Mg, niveles adecuados de Cu (0.08 a 1.13 cmol(+) kg⁻¹) y Mn (6 a 86 mg kg⁻¹), pero deficientes en Fe (2.6 a 14 mg kg⁻¹) y Zn (0.3 a 3.6 mg kg⁻¹), esta variación química y mineral influye en la absorción de nutrientes de las plantas. Un incremento del pH en el suelo afecta la concentración de Fe, Mn,

Cu y Zn, cuando los valores del pH se incrementan los niveles de Fe y Cu desciende progresivamente, en contraste con el Mn y Zn (Ordóñez *et al.*, 2005).

En granos de sorgo se han reportado correlaciones positivas entre la concentración de minerales como Fe-Zn, Mg-Zn, Mg-Fe y Mn-Zn, las cuales se ven afectados por factores genéticos que controlan la acumulación de minerales o mecanismos fisiológicos similares asociados con la absorción / translocación de estos minerales en sorgo (Pontieri *et al.*, 2014). En este estudio se observó que la concentración de Fe fue menor que las concentraciones de Zn en los diferentes granos de maíz, sin embargo, Borges-Gómez *et al.* (2014), presentaron datos en el que el Zn se encuentra en concentraciones entre 0.3 a 3.6 mg kg⁻¹ y el Fe entre 2.6 a 14 mg kg⁻¹, lo que sugiere que estos maíces criollos evaluado están absorbiendo una mayor cantidad de Zn con respecto al Fe. Otro factor a considerar en la variación del contenido mineral es los granos de maíz, es la fertilización adicionada al cultivo, este suministro puede interactuar con otros nutrientes y pH

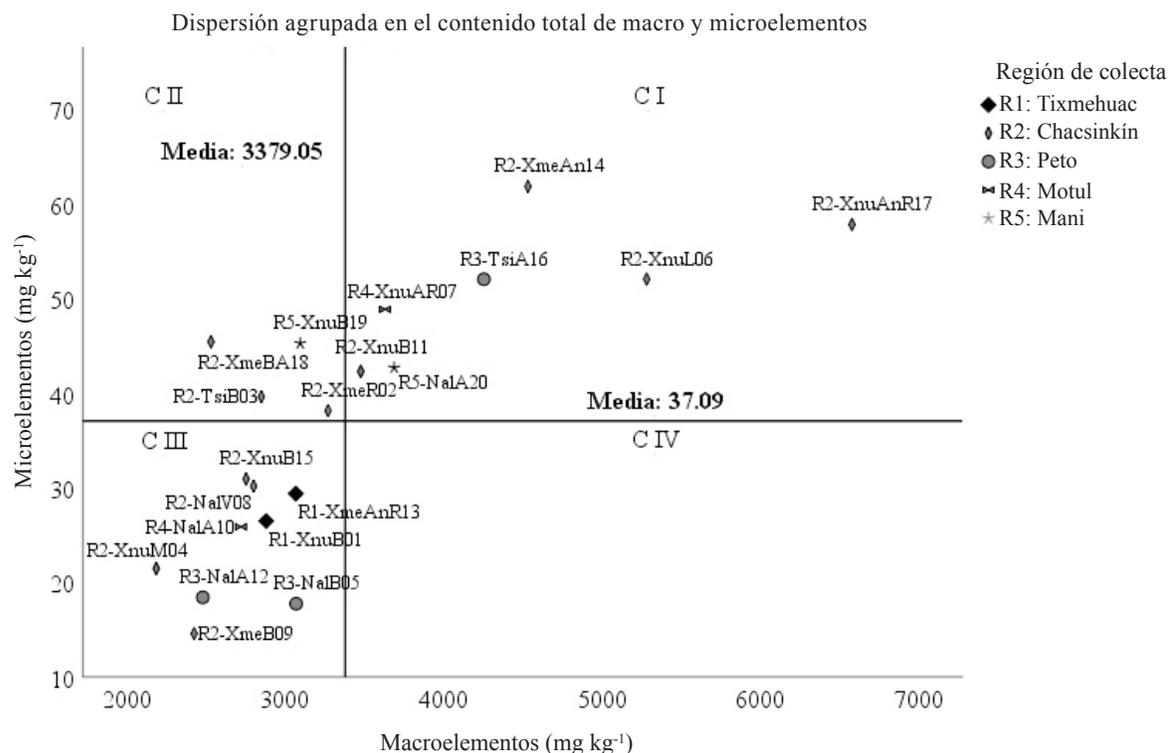


Figura 2. Dispersión entre poblaciones evaluadas en la relación con el contenido total de microelementos (Mn + Fe + Zn + Cu + Se) y Macroelementos (Na + Mg + P + S + Ca) en mg kg⁻¹ en semillas de maíces criollos cultivados en Yucatán, México.

Figure 2. Population dispersion evaluated in relation to total average content of micro- (Mn + Fe + Zn + Cu + Se) and macro- (Na + Mg + P + S + Ca) elements in mg kg⁻¹ in maize seed landraces grown in Yucatan, Mexico.

del suelo, disminuyendo la disponibilidad de ciertos micronutrientes o aumentando la solubilidad de los nutrientes suministrados (Bruns y Ebelhar, 2006).

Análisis de Componentes Principales (ACP)

Los primeros tres componentes explican el 81.53% de la varianza acumulada para la clasificación mineral de los genotipos. El primer ACP contribuyó con un 53.25%, el segundo con 18.60% y el tercero con 9.68%. En la Figura 3 se observa la dispersión de los genotipos con los ACP1 y ACP2, formando cinco grupos (G), siendo los genotipos del G4 y G5 que sobresalen en el contenido mineral.

El dendrograma obtenido en el análisis de conglomerado se presenta en la Figura 4, se obtuvieron cinco grupos. En los primeros tres grupos (G1, G2 y G3), se observa que los genotipos se mezclan entre las regiones y razas. Los grupos G4 y G5, está conformado por los genotipos de la R2. Los diferentes grupos del ACP mostró que tanto la Región como la Raza se pueden mezclar, sin embargo, los genotipos colectados con cierta coloración podría ser una característica de agrupamiento. El G3 formado por dos subgrupos,

en el primero se conforma por granos de color rojo, amarillo, anaranjado con rojo, vino y un blanco; en el segundo se congregan los granos de color blanco.

El cultivo de maíces criollos en las zonas rurales de Yucatán, presentan una fuerte relación con los campesinos o milperos, ya que estos seleccionan las mejores semillas de maíz después de cada cosecha, considerando varios factores como el tamaño de la mazorca, tamaño del grano, forma de la semilla y tipo de crecimiento de la planta (Dzib-Aguilar *et al.*, 2016; Fenzi *et al.*, 2017). Las mazorcas que no tienen las características deseables son utilizadas para la obtención de alimentos (masa, tortillas o sus derivados) o alimentos para los animales. Las poblaciones de maíces criollos de Yaxcabá, Yucatán presentan una variabilidad en la coloración de los granos, como los *Xnuuk-nal* con la coloración blanco y amarillo, el *T'siit bakal* de color blanco, amarillo y morado, *Xmejen-nal* de color anaranjado y *Nal t'eel* de color anaranjado (Cázares *et al.*, 2015), esta coloración se debe a la presencia de compuestos conocidos como flavonoides, carotenoides y antocianinas, los cuales dan origen a los distintos colores del grano. Estos compuestos varían su concentración en los granos de maíz, por ejemplo,

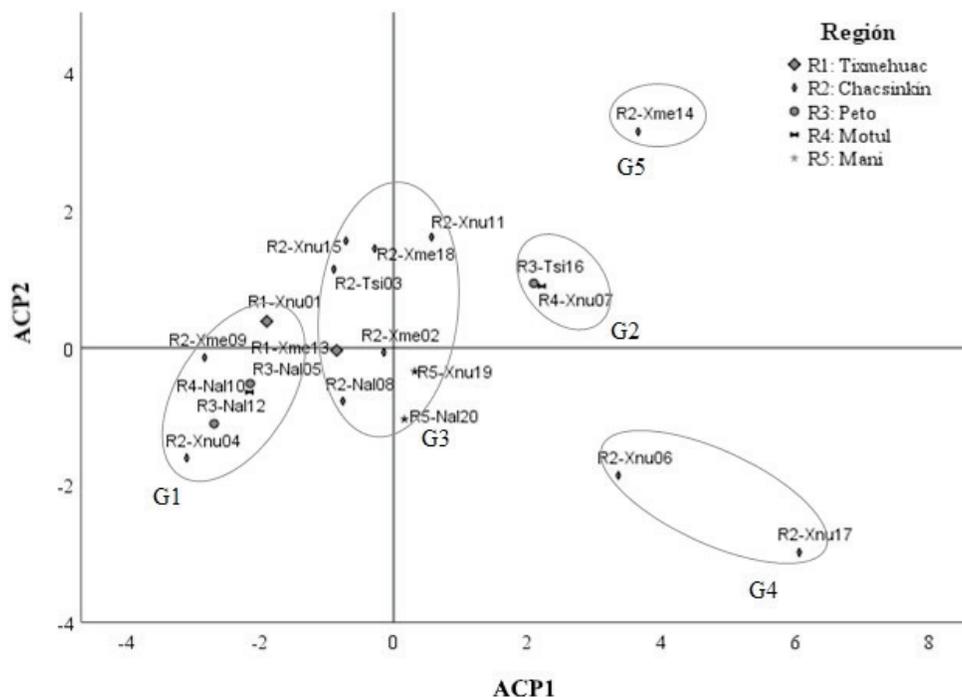


Figura 3. Dispersión entre poblaciones evaluadas en la relación con el contenido total de mineral.
Figure 3. Dispersion among maize landrace populations evaluated in relation to total mineral content.

en granos dorados tienen 76 mg/% de flavonoides, 0.90 mg/% de carotenoides; granos blanco con 67 mg/% de flavonoides, granos anaranjados con 80 mg/% de flavonoides; 2.40 mg/% de carotenoides y 30 mg/% de antocianinas; granos marrones con 2.40 mg/% de carotenoides; granos gris con 73 mg/% de flavonoides, 1.60 mg/% de carotenoides y 30 mg/% de antocianinas; y los granos de color rojo rubí presentó 70 mg/% de flavonoides, 1.7 mg/% de carotenoides y 120 mg/% de antocianinas (Zhirkova *et al.*, 2016). En este estudio se demostró que granos de color anaranjado con rojo (R2-XnuAnR17), anaranjado (R2-XmeAn14) y lila (R2-XnuL06) fueron los genotipos con mayor contenido de nutrientes y que son cultivados en Chacsinkín, Yucatán.

Se ha reportado que la variabilidad en el contenido mineral se debe a distintos factores como los climáticos, edáficos, genotipo y la contaminación por emisiones de automovilistas e industrias (Astudillo y Blair, 2008; Campos-Ramos *et al.*, 2009; Chávez-Mendoza y Sánchez, 2017), las cuales ejercen un efecto en la absorción de nutrientes en las distintas etapas o procesos fisiológicos y fenológico del maíz durante el desarrollo y maduración de las semillas.

El suelo de Yucatán presenta características edáficas particulares, que presentan una heterogeneidad mineral y pH (Borges-Gómez *et al.*, 2014) que favorecen o dificulta la absorción de mineral por las plantas que intervienen en procesos de la fotosíntesis, síntesis de proteínas, producción de fitohormonas de crecimiento; estimulación el crecimiento de las plantas, retrasa la senescencia de las hojas, promueve el crecimiento, desarrollo de los frutos y semillas (Nieder *et al.*, 2018).

González-Cortés *et al.* (2016) reportó que el contenido mineral de 12 accesiones de maíces criollos cultivados bajo condiciones de temporal y con poco o nulo sistema de fertilización en cuatro regiones del municipio de El Llano, Aguascalientes, México; para el P presentó un rango de 0.18 a 0.36 mg kg⁻¹, K con 0.25 a 0.38 mg kg⁻¹, Ca con 0.48 a 1.22 mg kg⁻¹, Mg con 0.09 a 1.17 mg kg⁻¹, Na con 7.8 a 16.5 mg kg⁻¹, Fe con 15.4 a 81.3 mg kg⁻¹, Mn con 2.3 a 29.8 mg kg⁻¹, Zn con 5 a 10 mg kg⁻¹ y Cu con 0.3 a 3.6 mg kg⁻¹ en maíces nixtamalizados. Los resultados obtenidos en este trabajo con los 20 genotipos de maíces criollos cultivados en cinco regiones superan dichas concentraciones de estos minerales.

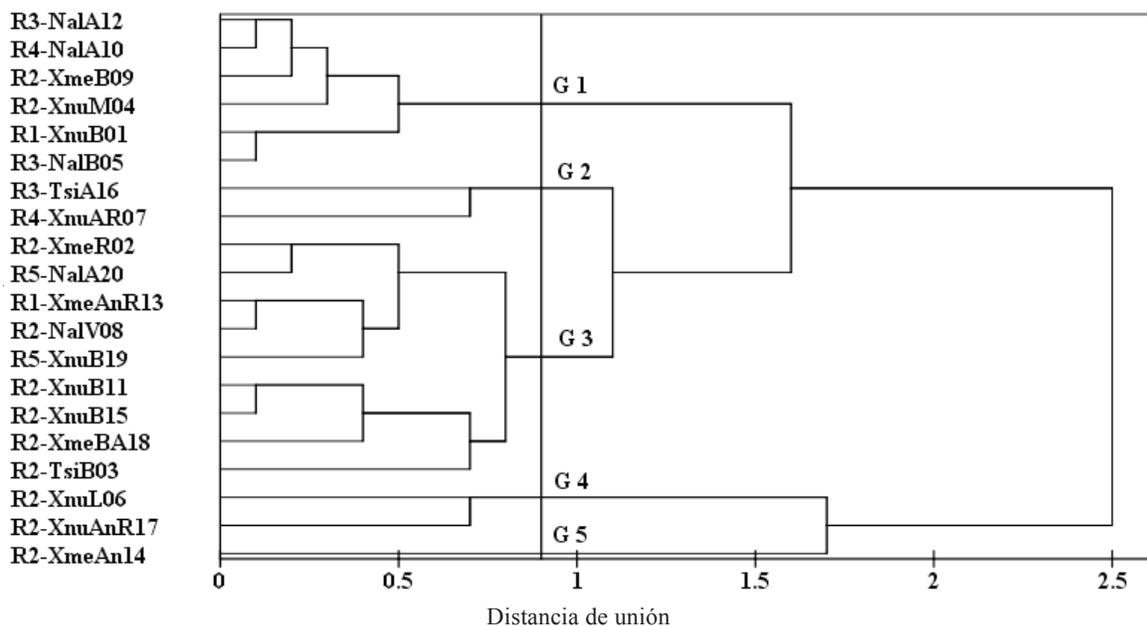


Figura 4. Análisis de agrupamiento jerárquico en el contenido mineral en 20 genotipos de maíces criollos cultivados en cinco regiones de Yucatán, México.

Figure 4. Analysis of hierarchical grouping in mineral content in 20 genotypes of maize landraces grown in five regions of Yucatan, Mexico.

CONCLUSIONES

Los análisis realizados confirman que los maíces criollos de Yucatán de las regiones Tixmehuac (R1), Chacsinkín (R2), Peto (R3), Motul (R4) y Maní (R5) mostraron tener una alta variabilidad mineral mediante el análisis por μ -Fluorescencia de rayos X (μ -XRF). La región de Chacsinkín presentó una mayor variabilidad en la composición mineral de los genotipos R2-XnuL06, R2-XnuAnR17 y R2-XmeAn14 con la coloración lila, anaranjado con rojo y anaranjado respectivamente, siendo las que sobresalen por su alto contenido de nutrientes y que podría ser aprovechados para el mejoramiento genético y el uso para establecer programas de Biofortificación del maíz.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos utilizados o analizados durante el estudio actual están disponibles del autor de correspondiente a solicitud razonable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen interés en competencia.

FONDOS

Los fondos empleados para el trabajo de colecta y análisis de laboratorio fueron proporcionados por la beca 301748 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Encargado de la colecta de campo, montaje del experimento y análisis de las muestras en el laboratorio: F.A.C.S. Conceptualización del estudio, análisis formal y preparación del borrador: C.J.A.L y A.R.R.

Contribuyeron en la revisión, aporte de sugerencia y edición del manuscrito: J.C.A. y A.G.M.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al CONACYT por la beca número 301748 otorgada para estudios de posgrado del primer autor.

LITERATURA CITADA

- Astudillo, C. y M. W. Blair. 2008. Contenido de hierro y zinc en la semilla y su respuesta al nivel de fertilización con fósforo en 40 variedades de frijol colombianas. *Agron. Colombiana* 26: 471-476.
- Bituyutskii, N. P., S. V. Magnitskiy, L. P. Korobeynikova, E. I. Lukina, A. N. Soloviova, V. G. Patsevitch, I. N. Lapshina, and G. V. Matveeva. 2002. Distribution of iron, manganese, and zinc in mature grain and their mobilization during germination and early seedling development in maize. *J. Plant Nutr.* 25: 635-653. doi: <https://doi.org/10.1081/PLN-120003387>.
- Borges-Gómez, L., C. Moo-Kauil, J. Ruíz-Novelo, M. Osaldebalam, C. González-Valencia, C. Yam-Chimal y F. Can-Puc. 2014. Suelos destinados a la producción de chile habanero en Yucatán: características físicas y químicas predominantes. *Agrociencia* 48: 347-59.
- Bruns, H. A. and M. Wayne Ebelhar. 2006. Nutrient uptake of maize affected by nitrogen and potassium fertility in a humid subtropical environment. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 37: 275-293. doi: <https://doi.org/10.1080/00103620500408829>.
- Campos-Ramos, A., A. Aragón-Piña, I. Galindo-Estrada, X. Querol, and A. Alastuey. 2009. Characterization of atmospheric aerosols by SEM in a rural area in the western part of Mexico and its relation with different pollution sources. *Atmos. Environ.* 43: 6159-6167. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.09.004>.
- Cázares-Sánchez, E., J. Chávez-Servia, Y. Salinas-Moreno, F. Castillo-González y P. Ramírez-Vallejo. 2015. Variación en la composición del grano entre poblaciones de maíz (*Zea mays* L.) nativas de Yucatán, México. *Agrociencia* 49: 15-30.
- Chávez-Mendoza, C. and E. Sánchez. 2017. Bioactive compounds from Mexican varieties of the common bean (*Phaseolus vulgaris*): Implications for health. *Molecules* 22: 1360. doi: <https://doi.org/10.3390/molecules22081360>.
- Dzib-Aguilar, L. A., R. Ortega-Paczka, and J. C. Segura-Correa. 2016. *In situ* conservation and participative improvement of creole maize in the peninsula de Yucatan. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 19: 51-59.
- Edelman, M. and M. Colt. 2016. Nutrient value of leaf vs. seed. *Front. Chem.* 4: 1-5. Article 32. doi: <https://doi.org/10.3389/fchem.2016.00032>.
- Fenzi, M., D. I. Jarvis, L. M. Arias, L. Latournerie, and J. Tuxill. 2017. Longitudinal analysis of maize diversity in Yucatan, Mexico: Influence of agro-ecological factors on landraces conservation and modern variety introduction. *Plant Genet. Resour.* 15: 51-63. doi: <https://doi.org/10.1017/S1479262115000374>.

- Ferreira, C. F., A. C. Vargas, S. A. Prior, C. B. Reissman, N. Z. dos Santos, and J. Gabardo. 2012. Influence of corn (*Zea mays* L.) cultivar development on grain nutrient concentration. *Int. J. Agron.* Article ID 842582 1-7. doi: <https://doi.org/10.1155/2012/842582>.
- Gallardo, H., I. Queralt, J. Tapias, M. Guerra, M. L. Carvalho, and E. Marguí. 2016. Possibilities of low-power X-Ray fluorescence spectrometry methods for rapid multielemental analysis and imaging of vegetal food stuffs. *J. Food Comp. Anal.* 50: 1-9. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.04.007>.
- González-Cortés, N., H. Silos-Espino, J. C. Estrada-Cabral, J. A. Chávez-Muñoz y L. Tejero Jiménez. 2016. Características y propiedades del maíz (*Zea mays* L.) criollo cultivado en Aguascalientes, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7: 669-680.
- Jaradat, A. and W. Goldstein. 2018. Diversity of maize kernels from a breeding Program for Protein Quality III: Ionome Profiling. *Agronomy* 53: 956-976. doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy8020009>.
- Kaptan, M. A., Y. O. Koca, and Ö. Canavar. 2017. Effect of N-P-K fertilization on mineral content and fatty acid compounds of corn seed. *J. Adnan Menderes Univ. Agric. Fac.* 14: 19-22. doi: <https://doi.org/10.25308/aduziraat.306902>.
- Ma, B. L. and Z. Zheng. 2018. Nutrient uptake of iron, zinc, magnesium, and copper in transgenic maize (*Zea mays*) as affected by rotation systems and N application rates. *Nutr. Cycl. Agroecos.* 112: 27-43. doi: <https://doi.org/10.1007/s10705-018-9925-7>.
- Morales-Morales, A. E., R. H. Andueza-Noh, C. Márquez-Quiroz, A. Benavides-Mendoza, J. M. Tun-Suarez, A. González-Moreno y C. J. Alvarado-López. 2019. Caracterización morfológica de semillas de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) de la Península de Yucatán. *Ecosist. Recur. Agropec.* doi: <https://doi.org/10.19136/era.a6n18.2171>.
- Nieder, R., D. K. Benbi, and F. X. Reichl. 2018. Macro- and secondary elements and their role in human health. CHAPTER 6. pp. 257-315. *In: R. Nieder, D. K. Benbi, and F. X. Reichl (eds.). Soil components and human health.* Springer. Dordrecht, Netherlands. doi: https://doi.org/10.1007/978-94-024-1222-2_6.
- Ordóñez, R., D. Kheraiwish, Ma. J. Polo, J. V. Giráldez y P. González. 2015. Influencia del encalado sobre la movilidad de metales en un suelo contaminado en el valle del río guadiamar (Sevilla). *Estud. Zona No Saturada Suelo* 7: 29-32.
- Orozco-Ramírez, Q., H. Perales, and R. J. Hijmans. 2017. Geographical distribution and diversity of maize (*Zea mays* L. Subsp. Mays) races in Mexico. *Gen. Resour. Crop Evol.* 64: 855-865. doi: <https://doi.org/10.1007/s10722-016-0405-0>.
- Pontieri, P., J. Troisi, R. Di Fiore, A. Di Maro, S. R. Bean, M. R. Tuinstra, E. Roemer, A. Boffa, A. del Giudice, G. Pizzolante, P. Alifano, and L. Del Giudice. 2014. Mineral contents in grains of seven food-grade sorghum hybrids grown in a Mediterranean environment. *Austr. J. Crop Sci.* 8: 1550-1559.
- Qamar, S., M. Aslam, F. Z. Huyop, and M. A. Javed. 2017. A comparative study of the inorganic nutrients in different types of *Zea mays* L. using inductively coupled plasma mass spectrometry. *J. Anim. Plant Sci.* 27: 1315-1320.
- Ramírez-Jaspeado, R., N. Palacios-Rojas, J. Funes, S. Pérez y M. L. Donnet. 2018. Identificación de áreas potenciales en México para la intervención con maíz biofortificado con zinc. *Rev. Fitotec. Mex.* 41: 327-37.
- Uriarte-Aceves, P. M., J. Milán-Carrillo, E. O. Cuevas-Rodríguez, R. Gutierrez-Dorado, C. Reyes-Moreno, and E. M. Milán-Noris. 2018. *In vitro* digestion properties of native isolated starches from Mexican blue maize (*Zea mays* L.) landrace. *Lwt Food Sci. Technol.* 93: 384-389. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.015>.
- Yang, G., Q. Wang, C. Liu, X. Wang, S. Fan, and W. Huang. 2018. Rapid and visual detection of the main chemical compositions in maize seeds based on Raman hyperspectral imaging. *Spectrochim. Acta - Part A: Mol. Biomol. Spectr.* 186-194. doi: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2018.04.026>.
- Yang, N. and J. Yan. 2020. New genomic approaches for enhancing maize genetic improvement. *Curr. Opin. Plant Biol.* 60: 101977. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2020.11.002>.
- Yousuf, N., S. A. Dar, A. A. Lone, M. A. Ahanger, Z. A. Dar, M. A. Bhat, A. Shikari, P. A. Sofi, Z. A. Bhat, and S. Gulzar. 2018. Field screening of maize (*Zea mays* L.) landraces for resistance against turcicum Leaf Blight (TLB) under temperate conditions. *Int. J. Chem. Stud.* 6: 333-37.
- Zandi, P., K. Mozdzeń, S. K. Basu, N. A. González-Valdivia, and W. Cetzal-Ix. 2017. Effect of different cadmium nitrate concentrations on sweet Maize (*Zea mays* L. Cv. Landmark). Chapter 24. pp. 207-214. *In: S. K. Basu, P. Zandi, and S. K. Chalaras (eds.). Environment at crossroads: Challenges, dynamics and solutions.* Haghshenas Publication. Iran. E-ISBN: 9789389184952.
- Zhirkova, E. V., M. V. Skorokhodova, V. V. Martirosyan, E. F. Sotchenko, V. D. Malkina, and T. A. Shatalova. 2016. Chemical composition and antioxidant activity of corn hybrids grain of different pigmentation. *Food Raw Mat.* 4: 85-91. doi: <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-2-85-91>.