

VARIACIÓN EN CONTENIDO DE MINERALES EN FRUTOS DE VARIEDADES AUTÓCTONAS DE CHILE (*CAPSICUM ANNUUM* L.), CULTIVADAS EN INVERNADERO

VARIATION IN MINERALS CONTENT IN FRUITS OF PEPPER (*CAPSICUM ANNUUM* L.) LANDRACES, GROWN IN GREENHOUSE

José L. CHÁVEZ-SERVIA^{1*}, Araceli M. VERA-GUZMÁN¹,
José C. CARRILLO-RODRÍGUEZ², Elena HEREDIA-GARCÍA³

Recibido: Agosto 12 de 2015. Aceptado: Mayo 05 de 2016

RESUMEN

Antecedentes: La malnutrición es un problema tanto en países desarrollados como en desarrollo, y en Latinoamérica, una opción viable es reconsiderar las dietas precolombinas tradicionales basadas en las especies endémicas. En Mesoamérica el chile o *chilli* (*Capsicum annuum* L.) desempeñó una función esencial, y perdura en la gastronomía mexicana. **Objetivo:** evaluar la variación entre y dentro de cinco morfotipos de chile (*C. annuum* L.) nativo de Oaxaca, México, en relación al contenido de minerales en fruto. **Métodos:** Una colección de 45 muestras poblacionales de chile, agrupadas en cinco morfotipos, nominados como chile de Agua, Tabiche, Piquín, Solterito y Nanche, fueron sembradas en invernadero bajo un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. A la cosecha se obtuvo una muestra de 300 a 500 g de frutos por población, a partir de la que se obtuvieron cenizas solubilizadas en medio ácido, y la determinación de Cu, Fe, Mg, Zn, Na, K, y Ca se hizo por espectrofotometría de absorción atómica, y S y P se cuantificó mediante un espectrofotómetro UV-visible. **Resultados:** En el análisis de varianza se determinaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre y dentro de morfotipos de *C. annuum* para todos los macro y microelementos evaluados. Solterito sobresalió en ocho elementos minerales, le siguen Piquín y de Agua. En contenido de Fe sobresalieron Piquín y Solterito con 8,0 y 8,5 mg/100 g de pesos seco de muestra. Dentro de cada morfotipo sobresalen diferentes poblaciones: CAG03 y CAG10 en chile de Agua; CNA02 de Nanche; CPI02 y CPI09 de Piquín; CSO01, CSO02 y CSO03 de Solterito; y CTA02 y CTA05 del tipo Tabiche. Las diferencias entre morfotipos se confirmaron mediante un análisis discriminante múltiple y las distancias de Mahalanobis. **Conclusiones:** Los resultados muestran diferencias entre y dentro de morfotipos de *C. annuum*, y los valores del contenido de minerales reportados muestran que, el chile es un alimento con alto valor nutricional porque 100 g de peso seco potencialmente pueden suplir las necesidad diarias de Cu, Mg, P, y una proporción importante de Fe, Zn y K, entre otros elementos.

Palabras clave: *Capsicum*, macrominerales, elementos traza, espectrofotometría atómica, calidad nutricional.

ABSTRACT

Background: Malnutrition is a major health problem in developed and developing countries, and in Latino American, a viable option is reconsider the pre-Columbian and traditional diets based on ende-

¹ Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR-Oaxaca, México.

² Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Ex-hacienda de Nazareno, Oaxaca, México.

³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental El Bajío, Celaya, Guanajuato, México.

* Autor para correspondencia: jchavez@ipn.mx

mic species. In Mesoamerica, the chilli or pepper (*Capsicum annuum* L.) played an important role, and its contribution remain until today in the Mexican gastronomy. **Objective:** the aim of the present work was to evaluate the variation among and within five morphotypes of pepper (*C. annuum* L.) native of Oaxaca, Mexico, in relation to minerals content in fruits. **Methods:** a collection of 45 population samples of chilli pepper, which were grouped in five morphotypes named as chile de Agua, Tabiche, Piquin, Solterito and Nanche, and later planted in greenhouse conditions under a complete blocks randomized design with three replications. At harvest time a fruit samples from 300 to 500 g per population were obtained, and later the samples were incinerated to obtain ashes, which were solubilized in acid medium. The determinations of Cu, Fe, Mg, Zn, Na, K, and Ca were done by atomic absorption spectrometry, and the S and P elements were quantified by an UV-vis spectrometer. **Results:** in the analysis of variance, significant differences ($P < 0.05$) were determined among and within morphotypes of *C. annuum* over all macro and trace elements. Solterito presented the highest values in eight mineral elements, after Piquin and chile de Agua were the second more important. In Fe content, Piquin and Solterito showed high values between 8.0 and 8.5 mg/100 g of dry sample weight. Into each morphotype, the outstanding populations were: CAG03 and CAG10 from chile de Agua; CNA02 of Nanche; CPI02 and CPI09 of Piquin type; CSO01, CSO02 and CSO03 from Solterito; and CTA02 and CTA05 from Tabiche type. The differences among morphotypes were confirmed in the multiple discriminant analysis and the Mahalanobis' distances. **Conclusions:** The results showed differences among and within morfotypes of *C. annuum*, and the minerals content reported indicate that, the chilli pepper is a food with high nutritional values. In fact 100 g of dry weight, potentially can supply the dairy needs of Cu, Mg, P and an important proportion of the needs of Fe, Zn and K, among other nutritional elements.

Keywords: *Capsicum*, macrominerals, trace elements, atomic spectrophotometry, nutritional quality.

INTRODUCCIÓN

Hasta ahora se han propuesto innumerables iniciativas para resolver el problema de seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe, mediante la introducción de alimentos procesados y enriquecidos industrialmente, desdeñando el contexto social, cultura, ambiental y económico del problema, y por ello se requiere recuperar y revalorizar la cultural alimentaria de los pueblos originarios. El chile o *chilli* (*Capsicum annuum* L.) en lengua náhuatl, es una especie cultivada, recolectada y consumida en México, desde hace cientos de años. Los restos arqueobotánicos recuperados en diferentes sitios y evidencias filogenéticas, señalan que México tuvo uno o más eventos de domesticación y usos prehispánicos (1-4). En este contexto, se asume que prevalece en la gastronomía y biocultura mexicana desde tiempos precolombinos y hasta nuestros días (5, 6).

En México se reconocen con nombres locales alrededor de 20 formas o morfotipos cultivados de chile (*Capsicum* spp.). Con más de mil hectáreas cultivadas se destacan: Jalapeño, Ancho, Mirasol, Poblano, Serrano, Chilaca, Guajillo, Tabaquero, Colorado, Pasilla, Puya, de Árbol o Cola de Rata, Costeño y Piquín, entre otros, con diferentes formas

y tamaños de frutos (7). Regularmente se consume tanto en fresco o seco (especia) y por tanto la composición química de los frutos cambia, no solo por la forma de consumo sino también por la variedad, sistema de cultivo, épocas de cosecha o madurez fisiológica de frutos y manejo de poscosecha (8-10).

Frecuentemente se asocia a los frutos de *Capsicum* con su variación en contenido de capsaicinoides como los compuestos más abundantes. No obstante, los frutos además aportan vitaminas C y E, provitamina A, proteínas, minerales, polifenoles, carotenoides y una serie de compuestos bioactivos con alta capacidad antioxidante y son evaluados como agentes preventivos contra cáncer, anemia, diabetes y enfermedades cardiovasculares (11-13). En trabajos previos con chiles nativos de México se determinaron diferencias significativas entre morfotipos o variedades autóctonas en relación al contenido de ácido áscorbico, fenoles, flavonoides y capsaicinoides, entre otros compuestos (10, 14, 15). No obstante, poco se ha descrito en términos de divergencias fenotípicas o genéticas, entre poblaciones nativas de chile en referencia a su contenido de minerales en el fruto.

Uno de los fundamentos de la agricultura y producción de alimentos es la de proporcionar, además de carbohidratos, proteínas, grasas, vitaminas y

fibra, todos los nutrientes minerales esenciales para la salud humana, y en promedio se requieren más de 22 elementos: algunos de ellos en alta proporción (macroelementos; Na, K, Ca, Mg, P, Cl y S) y otros en pequeñas proporciones como Fe, Zn, Cu, Mn, Co, Cr, Mo, I y Se, porque su ingesta en altas concentraciones causa efectos tóxicos (16, 17). Los minerales cumplen funciones orgánicas esenciales como desarrollo de tejidos, procesos metabólicos, oxigenación de sangre, constituyentes esenciales de ciertas hormonas, enzimas y protección, y la ingesta requerida está en función de la edad, estatura y peso de la persona; por ejemplo, los infantes y mujeres embarazadas tienen mayor demanda (17, 18). La cantidad requerida de oligoelementos o elemento trazas es mínima pero indispensables desde g (Na, K y Cl) a μg (Fe, Zn, Cr y Mo), y los frutos de chile contienen estos elementos, solo que se desconoce con precisión, de acuerdo al genotipo y prácticas de manejo, la cantidad que pueden aportar a través del consumo en fresco como hortaliza o seco como condimento (19).

Los chiles nativos mexicanos comúnmente se cultivan en pequeñas parcelas con manejo tradicional o bien son recolectados de plantas que crecen de manera ruderal en huertos de traspatio, cercas, áreas de pastoreo, bosques o áreas naturales (20) y por consiguiente su contenido varía entre variedades locales, regiones geográficas y sistemas de producción. En Chile *bell*, Aghili *et al.* (21), documentaron que el contenido de P, K, Fe, Zn, Cu y Mn, difiere significativamente si se cultiva a cielo abierto o invernadero. López *et al.* (22) señalan que la concentración de minerales en frutos de Chile se modifica mediante el sistema de cultivo (orgánico, sin suelo o convencional), tiempo de cosecha y variedad. Pérez-López *et al.* (23) argumentaron que la composición de fruto en contenido de minerales, carotenoides y color son sensibles a las prácticas de cultivo. El contenido de minerales varía según la variedad cultivada, y cada variedad responde de manera diferencial al manejo y condiciones de cultivo (24).

En continuidad al trabajo desarrollado y reportado por Castellón-Martínez *et al.* (25), donde se determinaron divergencias fenotípicas significativas entre cinco morfotipos con diferentes formas de fruto y caracteres biofísicos poscosecha de Chile nativo mexicano, se planteó el objetivo de evaluar la variación entre y dentro de cinco morfotipos de

Chile (*Capsicum annuum* L.), nativos de Oaxaca, México, con base en el contenido de minerales en fruto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico y cultivo en invernadero

Se evaluó el contenido de minerales en fruto, en 45 poblaciones de *C. annuum* agrupadas en cinco morfotipos: 'Chile de Agua' (8 poblaciones), 'Tabiche' (8 poblaciones), 'Piquín' (13 poblaciones), 'Solterito' (12 poblaciones) y 'Nanche' (4 poblaciones), los nombres locales son asignados por consumidores y agricultores de los Valles Centrales de Oaxaca, México y están asociados con formas de frutos conocidos. Los morfotipos Agua y Tabiche son cultivados y provienen de plantas de traspatios o de crecimiento ruderal silvestre porque crecen sin ayuda. La colecta de germoplasma (poblaciones) se hizo de abril a septiembre de 2012, en comunidades de 32 municipios de los Valles Centrales de Oaxaca, México, más detalles en Castellón-Martínez *et al.* (25). En este trabajo, solo se incluyeron las poblaciones de mayor representatividad fenotípica del morfotipo, con base en el trabajo previo (25), y por ello el desbalance de poblaciones por tipo y diferencias secuenciales de códigos utilizados. Por tanto, cada morfotipo estuvo representado por diferente número de poblaciones.

Posterior a la integración de representantes fenotípicos por morfotipo, se germinó la semilla de cada población y se trasplantaron las plántulas, una vez que desarrollaron la quinta hoja verdadera, en invernadero bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. El invernadero se ubica en el Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO), en la Exhacienda de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. Para favorecer el crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas, se implementó un sistema de fertirriego por goteo con aplicaciones semanales de las fórmulas comerciales de fertilización: 15-30-15+1.0 MgO+ME y 25-10-10+ME de N, P y K, más aplicaciones semanales de nitrato de calcio cuando inició la fructificación. El cultivo y manejo homogéneo de plantas en invernadero de todas las poblaciones, ayudó a eliminar posibles efectos de manejo y condiciones agroecológicas de producción sobre el contenido de minerales en fruto, con el propósito de obtener el efecto puro de poblaciones, con base en las observaciones de Pérez-López *et al.* (23) quienes señalan que, el manejo influye en el contenido de minerales.

Evaluación del contenido de minerales en frutos

A la cosecha de cada parcela experimental, se obtuvo una muestra de 300 a 500 g de frutos por población sembrada, la que se molió y guardó en congelación a -20°C , hasta su análisis en laboratorio. Se obtuvieron cenizas de cada muestra de frutos de Chile, con base en el método 975.03B(a) de la AOAC (26). Las cenizas se solubilizaron en un medio ácido para favorecer la extracción y evaluación de minerales Cu, Fe, Mg, Zn, Na, K, y Ca (mg/100 g de muestra seca), mediante el método 965.09 (26) con determinaciones en un espectrofotómetro de absorción atómica (Thermo Scientific iCE 3000 Serie AA Spectrometer; Cambridge, United Kingdom) mediante lámparas de cátodo hueco (hollow cathode lamps, HCLs), y con base en curvas de calibración de estándares específicos para cada elemento. El contenido de S se cuantificó por el método turbidimétrico 973.57 (26) y P por el método del ácido vanadomolibdofosfórico 958.01 (26), en ambos casos las lecturas se realizaron mediante un espectrofotómetro UV-visible GBC (modelo CINTRA 303; Melbourne, Australia).

Análisis estadístico

El contenido de minerales en fruto por población de cada morfotipo, se concentraron en un base de datos y se hicieron análisis de varianzas (ANDEVA) para evaluar las diferencias entre morfotipos (=grupos) y entre poblaciones dentro de morfotipos, estadísticamente se consideraron a las poblaciones como efectos anidados en grupos de morfotipos.

Posteriormente, cuando se determinaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre y dentro de morfotipos, se procedió a hacer una comparación de medias por el método de Tukey. Posteriormente, con los promedios estandarizados por el valor máximo de cada variable, se realizó un análisis de discriminante canónico para evaluar las divergencias multivariantes entre morfotipos o grupos poblacionales y certeza de clasificación. Todos los análisis se realizaron en el paquete estadístico SAS (27).

RESULTADOS

En el análisis de varianza se detectaron diferencias significativas entre grupos (= morfotipos) y poblaciones dentro de cada grupo, con coeficientes de variación que oscilan entre 14,3 y 26,8%, los que están dentro de los criterios adecuados de manejo de experimentos de campo e invernadero. Cuando se comparó el contenido de minerales entre morfotipos; Solterito y Piquín fueron los de mayor contenido, y resulta relevante porque, de acuerdo con Castellón-Martínez *et al.* (25), son los morfotipos de tipo silvestres y ruderales, en comparación con los cultivados Agua, Nanche y Tabiche. En contenido de Mg, S, y Mn, sobresalieron Nanche, Piquín y Solterito. En Fe y Zn, oligoelementos asociados con síntomas de malnutrición humana, sobresalieron Piquín y Solterito en el primero y de Agua, Piquín, Solterito y Tabiche en el segundo, respectivamente. Es de remarcar que, los morfotipos de bajo contenido general de minerales fueron de Agua y Nanche (Tabla 1).

Tabla 1. Significancia en valores de F del análisis de varianza y medias del contenido de minerales entre grupos poblaciones de morfotipos de *Capsicum*, cultivados en invernadero.

Mineral	Fuentes de variación			CV (%)	Promedios por grupo (mg/100 g de peso seco)				
	Rep.	Grupo	Poblaciones (Grupos)		Agua (8 pob.)	Nanche (4 pob.)	Piquín (13 pob.)	Solterito (12 pob.)	Tabiche (8 pob.)
Macroelementos esenciales:									
Ca	0,46 ^{NS}	19,6**	2,97**	26,8	169,1 bc ¹	262,4 a	249,2 a	192,4 b	148,0 c
K	0,75 ^{NS}	12,97**	2,09**	15,2	2852,7 a	2232,7 b	2256,2 b	2698,1 a	2636,6 a
Mg	0,01 ^{NS}	20,37**	2,49**	14,3	124,5 c	166,1 a	153,8 ab	171,1 a	140,1 bc
S	1,07 ^{NS}	13,13**	2,67**	16,4	126,8 b	158,7 a	168,5 a	171,0 a	172,5 a
Na	2,18 ^{NS}	19,49**	1,72*	14,8	38,0 a	15,3 d	25,4 c	33,8 ab	30,7 bc
P	1,7 ^{NS}	24,28**	1,96**	17,8	431,0 ab	335,1 c	323,7 c	412,2 b	485,7 a
Oligoelementos esenciales:									
Cu	4,07*	33,16**	2,46**	20,5	0,88 a	0,57 c	0,53 c	0,84 ab	0,76 b
Mn	7,47**	46,35**	4,24**	16,9	0,77 c	2,32 a	2,34 a	2,62 a	1,24 b
Zn	0,26 ^{NS}	3,53*	2,06**	15,0	1,66 ab	1,43 b	1,66 ab	1,98 a	1,82 ab
Fe	2,66 ^{NS}	33,90**	4,29**	19,3	2,24 c	5,56 b	7,97 a	8,47 a	4,36 b

^{NS}No significativo ($P > 0,05$); *significativo a $P < 0,05$; **significativo a $P < 0,01$; ¹en renglón, medias de morfotipos con la misma letra no difieren significativamente (Tukey, $P < 0,05$); CV = coeficiente de variación.

Entre poblaciones de cada grupo poblacional o morfotipo se detectaron diferencias significativas en minerales (esenciales, y oligoelementos); Tabla 2, comparación de medias entre poblaciones. Los resultados muestran que, en cada morfotipo se determinaron poblaciones sobresalientes en Ca con más de 200 mg/100 g de peso seco de muestra; específicamente, en dos poblaciones del morfotipo Piquín (CPI) se detectaron los de mayor valor (>300 mg de Ca/100 g), y en los tipos Tabiche (CTA) se determinó que CTA04 presentó el menor contenido con 75,1 mg de Ca/100 g. En el caso de Na, en los chiles de Agua (CAG), Solterito (CSO) y Tabiche (CTA), se cuantificó más de 40.0 mg/100 g. En contenido de K sobresalieron cinco colectas de Agua, una de Piquín, tres de Solterito y tres de Tabiche con más de 2,8 mg/100 g de peso seco. En concentración de P se destacaron la mayoría de las poblaciones de los morfotipos de Agua, Solterito y Tabiche con más de 400 mg/100 g y la CTA02 con 678,5 mg/100 g; en S también se destacaron los materiales del tipo Piquín, Solterito y Tabiche. Todo esto hace inferir que el mayor contenido de macroelementos en fruto de *Capsicum* nativo de Oaxaca se obtiene regularmente en los morfotipo Tabiche, Solterito y Piquín, y excepcionalmente se puede encontrar en Nanche con mayor cantidad de Ca y en Chile Agua con mayores concentraciones de P. Un patrón semejante se repite, en términos de oligoelementos (Cu, Fe, Mn y Zn), para los morfotipos Nanche, Piquín y Solterito donde se

cuantificaron las mayores concentraciones de Fe, Mn y Zn, principalmente (Tabla 2).

Dentro de cada morfotipo se pueden seleccionar poblaciones con alto contenido de macro y oligoelementos esenciales (Tabla 2). Por ejemplo, en Chile de Agua (CAG) sobresalen CAG03 y CAG10; en Nanche (CNA) fue CNA02; en Piquín (CPI) fueron CPI02 y CPI09; en Solterito (CSO) se destacaron CSO01, CSO02 y CSO03; y CTA02 y CTA05 en Tabiche (CTA). Esto indica, que los diferentes morfotipos de *Capsicum* aquí evaluados, contienen fuentes importantes de minerales, necesarios para la nutrición de sus consumidores, ya que forman parte de los platos típicos de la gastronomía del estado de Oaxaca.

En el análisis de discriminante múltiple se determinaron diferencias significativas entre morfotipos de acuerdo con los estadísticos lambda de Wilks ($F = 0,014$; $gl = 40$; $P < 0,01$) y la traza de Pillai ($F = 2,032$; $gl = 40$; $P < 0,01$). En la Figura 1 se graficó la dispersión de colectas dentro de cada morfotipo en función de las dos primeras funciones discriminantes, y fueron notorios los patrones diferenciales por morfotipo. Por ejemplo, en el cuadrante superior izquierdo se distribuyen poblaciones del tipo Tabiche y algunas de Nanche; en el cuadrante superior derecho se separan ciertas poblaciones de Tabiche, cuadrante inferior derecho una combinación de los tipos Piquín y Nanche, cuadrante inferior izquierdo se distribuye los tipo Nanche y algunas poblaciones de Tabiche. Todo esto en función del contenido de Mn, S, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, P, Na y P en los frutos.

Tabla 2. Comparación entre poblaciones del contenido de minerales en frutos de *C. annuum*.

Código de poblaciones	Ca	Na	K	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	P	S
	mg/ 100 g de peso seco									
Chile de Agua (CAG):										
CAG02	139,7	36,3	2891,5	125,6	0,81	2,77	0,81	1,95	402,6	124,0
CAG03	165,2	45,2	2964,4	134,0	1,03	1,55	0,73	1,65	485,7	124,8
CAG05	148,6	38,1	2928,6	123,8	0,93	2,13	0,70	1,65	392,8	129,0
CAG06	169,6	41,8	2506,8	111,6	0,80	2,57	0,65	1,37	407,9	115,4
CAG07	180,2	31,6	2604,8	114,6	0,69	1,83	0,75	1,29	387,8	127,0
CAG08	143,5	41,9	2696,7	116,8	0,86	1,80	0,73	1,67	386,5	120,5
CAG09	209,3	32,5	2989,9	133,0	0,79	2,69	0,86	1,22	489,4	127,0
CAG10	196,6	36,1	3239,1	136,4	1,15	2,77	0,97	2,48	495,3	146,4
Chile Nanche (CNA):										
CNA01	283,5	13,1	2104,9	166,5	0,41	5,21	2,04	1,26	307,8	157,7
CNA02	294,3	17,1	2223,5	165,5	0,57	10,85	3,08	1,73	323,5	176,8
CNA03	197,8	18,2	2197,6	167,1	0,64	3,99	1,92	1,37	334,2	179,2
CNA04	273,8	12,9	2404,9	165,4	0,66	2,20	2,23	1,36	375,0	176,4

Código de poblaciones	Ca	Na	K	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	P	S
	mg/ 100 g de peso seco									
Chile Piquín (CPI):										
CPI01	317,3	22,4	2339,2	165,4	0,19	3,08	2,55	1,55	346,6	153,9
CPI02	369,8	32,1	2258,8	184,0	0,78	14,90	3,69	3,17	397,3	221,9
CPI03	168,0	25,3	2842,5	155,7	0,66	6,75	1,93	1,91	396,4	218,7
CPI04	248,9	35,2	2297,6	154,0	0,54	4,70	1,79	1,20	316,5	143,5
CPI05	186,4	26,0	1433,7	107,9	0,34	3,48	1,56	1,46	330,6	161,7
CPI07	252,8	26,5	2164,7	164,8	0,69	7,16	2,26	1,69	323,6	164,8
CPI08	210,7	22,6	2367,5	148,4	0,54	8,08	1,86	1,16	324,3	169,6
CPI09	360,0	28,2	2894,4	205,9	0,77	14,75	2,38	1,80	289,2	160,7
CPI10	157,4	24,8	1808,9	121,3	0,41	10,92	1,46	1,61	308,6	165,6
CPI11	298,0	23,0	2633,9	178,1	0,50	5,41	3,23	2,20	340,0	160,3
CPI12	213,1	27,5	1882,5	136,6	0,46	8,98	2,38	1,21	345,4	176,6
CPI13	223,2	20,2	2439,9	148,2	0,52	7,63	1,96	1,23	189,1	186,7
CPI14	234,3	15,7	1967,0	129,4	0,46	4,68	3,33	1,44	300,0	139,1
Chile Solterito (CSO):										
CSO01	242,5	30,7	3007,5	198,4	0,90	7,66	5,86	2,56	426,2	190,8
CSO02	226,2	35,7	2618,2	154,0	0,69	12,42	3,91	2,48	426,1	164,7
CSO03	219,6	26,3	2932,9	198,6	0,71	16,94	4,72	2,04	459,6	201,7
CSO05	153,1	39,0	3071,0	184,9	0,94	5,95	1,78	1,86	464,4	183,8
CSO07	166,7	43,6	2696,3	170,4	1,02	5,47	2,29	1,84	433,7	153,4
CSO08	201,6	47,3	2594,6	177,2	0,91	12,44	2,98	2,38	402,9	149,0
CSO09	154,3	32,0	2685,4	153,6	0,71	11,40	1,27	1,24	361,5	119,8
CSO10	114,6	38,9	2637,0	146,8	0,79	3,23	1,04	2,16	420,8	110,9
CSO11	119,8	35,5	2137,7	131,3	0,75	6,01	1,02	1,34	321,7	136,4
CSO12	223,2	25,6	2611,2	170,0	0,93	6,83	2,16	1,59	372,9	176,0
CSO13	208,8	28,8	2607,9	178,6	0,75	6,80	2,09	1,78	422,4	180,5
CSO14	195,3	21,0	2395,4	169,7	0,84	4,70	2,19	1,67	380,6	212,2
Chile Tabiche (CTA):										
CTA01	190,3	29,8	2876,2	147,1	0,84	6,20	1,66	1,93	492,2	171,7
CTA02	109,6	41,2	2896,7	146,0	0,85	2,06	1,06	1,42	678,5	168,3
CTA03	124,0	21,9	2732,5	154,8	0,86	4,02	1,12	1,80	467,2	162,5
CTA04	75,1	27,6	2519,8	129,5	0,76	3,53	1,03	1,93	420,2	139,0
CTA05	106,6	40,9	2913,2	153,1	0,75	5,10	1,17	1,65	452,8	189,5
CTA06	265,2	16,9	2509,2	147,9	0,67	5,29	1,78	2,21	526,6	169,2
CTA07	159,6	43,6	2780,0	134,5	0,73	4,21	1,16	2,26	480,7	132,5
CTA08	161,5	26,2	1833,1	103,4	0,59	4,59	0,98	1,37	367,2	135,3
DSH-Tukey	47,6	8,1	341,8	19,2	0,13	2,55	0,65	0,47	61,9	23,1

La diferenciación entre morfotipos se precisó a través de las distancias de Mahalanobis y la certeza en la clasificación de la colecta dentro de cada tipo (Tabla 3). Las distancias señalan que, en contenido de minerales en el fruto los morfotipos Piquín, Nanche y Solterito, son similares, tanto así que una población de Piquín y otra de Solterito fueron clasificadas como del morfotipo Nanche (distancias menores a 15,1 unidades). Un segundo bloque de semejanzas en contenido de minerales fue Tabiche y

Solterito, y el más cercano al morfotipo de Agua fue Tabiche. Esto indica, que hay una menor variación entre poblaciones dentro de morfotipos, son más semejantes (menor variación), que entre poblaciones de diferente morfotipo. Es decir, menores divergencias entre que dentro de morfotipos, y las poblaciones presentaron más del 91% de certeza en sus clasificaciones de morfotipos, con base en contenido de minerales en frutos.

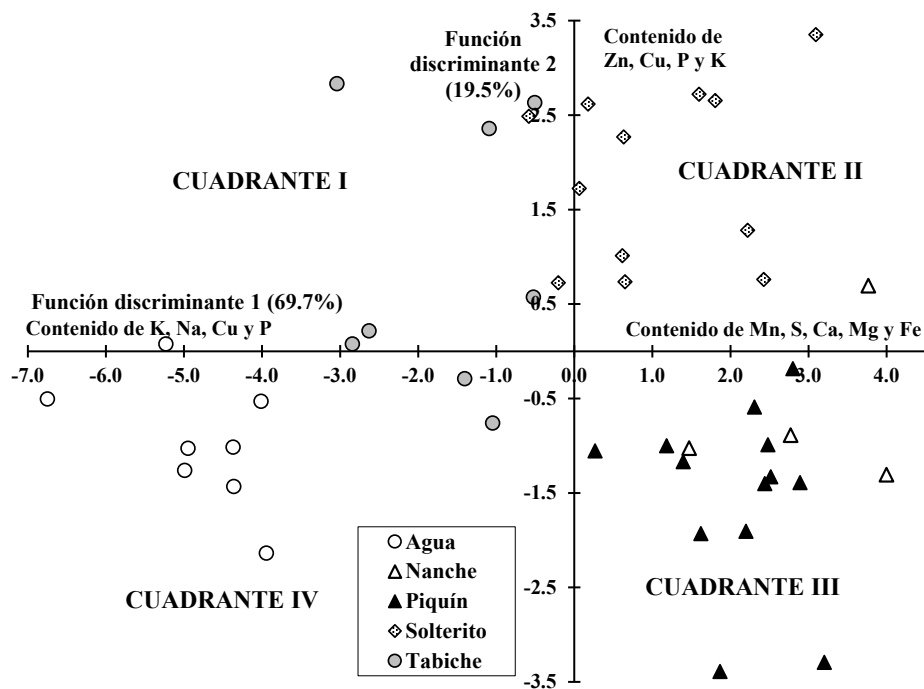


Figura 1. Dispersión de colectas de cada morfotipo de *C. annuum* evaluado, en función de las dos primeras funciones discriminantes, con base en el contenido de minerales en frutos.

Tabla 3. Distancias cuadradas de Mahalanobis y certeza de clasificación de grupos poblacionales, en función del análisis discriminante por contenido de minerales en frutos de *C. annuum*.

Grupos poblacionales de morfotipos (n)	Grupos poblacionales o morfotipos (n = poblaciones)				
	Agua (8 pob.)	Nanche (4 pob.)	Piquín (13 pob.)	Solterito (12 pob.)	Tabiche (8 pob.)
Agua (8 pob.):					
Distancia cuadrada	0,0	65,1	49,0	42,6	19,4
Poblaciones clasificadas	8	0	0	0	0
Porcentaje de certeza	100	0	0	0	0
Nanche (4 pob.):					
Distancia cuadrada	65,1	0,0	6,6	15,0	28,6
Poblaciones clasificadas	0	0	0	0	0
Porcentaje de certeza	0	100	0	0	0
Piquín (13 pob.):					
Distancia cuadrada	49,0	6,6	0,0	13,1	22,9
Poblaciones clasificadas	0	1	12	0	0
Porcentaje de certeza	0	7,7	92,3	0	0
Solterito (12 pob.):					
Distancia cuadrada	42,6	15,0	13,1	0,0	13,9
Poblaciones clasificadas	0	1	0	11	0
Porcentaje de certeza	0	8,3	0	91,7	0
Tabiche (8 pob.):					
Distancia cuadrada	19,4	28,6	22,9	13,9	0,0
Poblaciones clasificadas	0	0	0	0	8
Porcentaje de certeza	0	0	0	0	100

DISCUSIÓN

El contenido de minerales en frutos de *Capsicum* es afectado por factores genéticos relacionados con la especie y variedades o poblaciones nativa, estado de madurez del fruto, y prácticas agrícolas de manejo (p. ej. orgánico o convencional) o ambiente de crecimiento de la planta, incluyendo los métodos de cuantificación de minerales (8, 21-24, 28-31). En nuestras culturas precolombinas el *C. annuum*, originario de Mesoamérica, tuvo y tiene una función gastronómica importante en la dieta familiar y forma parte de la cultura gastronómica Latinoamericana. Aquí se aporta información del contenido de macrominerales y oligoelementos esenciales en frutos *Capsicum* y su potencial de uso nutricional; por ejemplo, puede aportar Cu, Mg y P, para suplir las necesidades básicas diarias.

El contenido de Na y K en frutos de *Capsicum* reportados por Khadi *et al.* (32) y Ribes-Moya *et al.* (30) fueron de 9,7 a 31,9 mg/100 g de peso seco en Na y de 1509 a 5180 mg/100 g en K. En este estudio la variación fue de 13,1 a 45,2 mg en Na y de 1833 a 3239 mg/100 g en K. Las comparaciones sugieren que, en este trabajo, algunas poblaciones presentan mayores valores de Na, pero en K la inferencia es opuesta; aun cuando se encuentra dentro de los rangos indicados. Por tanto, la diferencias entre morfotipos en relación a tamaño, forma y color de fruto, descritas por Castellón-Martínez *et al.* (25), concuerda con divergencias en macroelementos y oligoelementos esenciales y la población genética, genotipo o variedad son determinantes para evaluar las divergencias entre morfotipos o entre variedades como refieren Khadi *et al.* (32) y Ribes-Moya *et al.* (30). Las diferencias significativas entre y dentro morfotipos de *C. annuum* de Oaxaca, México en minerales en fruto, concuerdan con la diferencias en compuestos bioactivos determinadas por Vera-Guzmán *et al.* (10) para morfotipos semejantes de la misma región de origen, y con la capacidad de diferenciar esos morfotipos por sabor y aroma por sus consumidores (6). Esto indica una alta distintibilidad entre morfotipos que son aprovechados en la gastronomía local.

Otros elementos igualmente relevantes para la nutrición humana son Cu, Mg y P; Salomons *et al.* (18), señalan que el consumo recomendable de estos elementos son de 0,7 a 0,9, 255 a 420 y de 580 a 700 mg/día, respectivamente. En los resultados aquí reportados hubo tres poblaciones que presentaron

más de 1 mg/100 g de Cu, hasta 205,8 mg/100 g de Mg y once poblaciones con más de 450 mg/100 g de muestra en base seca (Tabla 2). Es decir, la aportación potencial de *C. annuum* a la dieta de los consumidores, es de enorme relevancia porque con 100 a 150 g de peso seco, se satisfacen los requerimientos mínimos diarios de esos elementos. La poblaciones sobresalientes con cinco o más minerales de mayores valores fueron; CPI02, CPI09, CPI11, CSO01, CSO02, CSO03 CS07, CSO08, CS012 y CSO13 (Tabla 2), las que difieren en uno o más minerales de las reportadas en otros trabajos (21-24, 28, 29), lo que podemos inferir que el genotipo o variedad y origen filogenético influye en el contenido de minerales en fruto.

Entre los oligoelementos de gran relevancia nutricional están Fe y Zn, cuyas deficiencias se asocian con malnutriciones de niños y mujeres embarazadas (17). En este trabajo las variaciones en Fe fueron de 1,5 a 16,9 mg y en Zn de 1,2 a 3,2 mg/100 g de peso seco, cantidades relevantes para hacer aportaciones importantes a los requerimientos mínimos diarios; de 5 a 8 mg de Fe y de 6,8 a 11 de Zn (18). Esto hace de los frutos de *Capsicum* con alto uso potencial para la elaboración de dietas en las regiones donde se produce en forma tradicional, y no existen otras fuentes como nueces, lentejas, garbanzos, col u otros vegetales o fuentes de origen animal, comúnmente recomendadas por los nutriólogos, sobre todo Fe (33). En México, los frutos de chile se consumen verdes o inmaduros, maduros y secos, en este caso los valores reportados de minerales son en peso seco de muestras.

Los resultados del contenido de macroelementos y oligoelementos esenciales en frutos de chile (*C. annuum*), son estimadores de la composición de fruto y su aportación potencial a la alimentación de las comunidades rurales. No obstante, las formas de consumo son en fresco sin procesar o bien mediante un procesamiento mínimo (cocido hervido o frito). En este último caso, regularmente se combina con tomate (*Solanum lycopersicum* L.), miltomate (*Physalis ixocarpa* L.), cebolla y ajo, forma muy popular en la gastronomía mexicana. Esto implica que, el contenido de minerales aquí estimado en los frutos de *C. annuum* puede diferir de la aportación final a la dieta diaria. En consecuencia, se requieren estudios complementarios que ayuden a conocer el contenido de minerales de frutos de chile procesados (cocinados) o sin procesar pero en la forma acostumbrada

de consumo. Todo con el propósito de obtener estimadores robustos de la ingesta real.

CONCLUSIONES

La evaluación del contenido de minerales en frutos de cinco morfotipos de chile (*C. annuum*) de Oaxaca, México, mostraron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre y dentro de morfotipos en contenido de macroelementos (Ca, Na, K, Mg, P y S) y oligoelementos esenciales (Cu, Fe, Mn y Zn), con base en el análisis de varianza. En el análisis discriminante múltiple se determinó que, además de corroborar las diferencias entre morfotipos, el contenido global de minerales entre los tipos Piquín, Nanche y Solterito fueron muy semejantes, también Solterito y Tabiche mostraron cierta similitud, y el tipo de Agua fue significativamente diferente de todos los tipos, con base en las funciones discriminantes y distancias cuadradas de Mahalanobis. Los valores del contenido de minerales aquí reportados, muestran que el chile es un alimento con alto valor nutricional; potencialmente 100 g de peso seco pueden suplir las necesidades diarias de Cu (0,7 a 0,9 mg), Mg (330 mg), P (580 mg), Ca (hasta 369.8 mg), Na (12.9 a 47.3 mg) y una proporción importante de los requerimiento de Fe (6 a 8 mg), Zn (6,8 a 11 mg), K (4,7 g), Mn (0.65 a 5.86 mg) y S (110.9 a 221.9 mg).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional por el financiamiento otorgado, a través de los proyectos: SIP: 201400074 y SIP: 20150297, y al Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca por las facilidades otorgadas en el usos de laboratorios.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores del presente trabajo manifestamos que no existen conflictos de intereses en cada una de las secciones que integran el presente artículo.

REFERENCIAS

- Loaiza-Figueroa F, Ritland K, Laborde JA, Tanksley SD. Patterns of genetic variation of the genus *Capsicum* (*Solanaceae*) in Mexico. *Pl Syst Evol*. 1989 Sep.; 165(1-2): 159-188.
- Perry F, Flannery K. Precolumbian use of chili peppers in the Valley of Oaxaca, México. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2007 Jul.; 104: 11905-11909.
- Powis TG, Gallaga E, Lesure R, Lopez R, Grivetti L, Kucera H, Gaikwad NW. Prehispanic use of chili peppers in Chiapas, Mexico. *PLoS ONE*. 2013 Nov.; 8(11):e79013. doi:10.1371/journal.pone.0079013.
- Brown CH, Clement CR, Epps P, Luedeling E, Wichmann S. 2013. The paleobiogeography of domesticated chili pepper (*Capsicum* spp.). *Ethnobiology Letters*. 2013 Jan; 4:1-11.
- Long J. Los senderos prehispánicos del *Capsicum*. In: Long J, León A (coords.), Caminos y Mercados de México. Serie Histórica General 23, UNAM e INAH. México, D.F. 2010, pp: 79-105.
- Castellón-Martínez E, Chávez-Servia JL, Carrillo-Rodríguez JC, Vera-Guzmán AM. Preferencias de consumo de chiles (*Capsicum annuum* L.) nativos en los Valles Centrales de Oaxaca. *Rev Fitotec Mex*. 2012 Sep.; 35(Núm. Esp. 5): 27-35.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2014. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola 2013 en México. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México, D.F. 2014 [citado junio 2015]. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>.
- Flores P, Hellín P, Lacasa A, López A, Fenoll J. Pepper mineral composition and sensory attributes as affected by agricultural management. *J Sci Food Agr*. 2009 Nov.; 89(14): 2364-2371.
- Kraft KH, Luna-Ruiz JJ, Gepts P. Different seed selection and conservation practices for fresh market and dried chili farmers in Aguascalientes, Mexico. *Econ Bot*. 2010 Dec.; 64(4): 319-328.
- Vera-Guzmán AM, Chávez-Servia JL, Carrillo-Rodríguez JC, López MG. Phytochemical evaluation of wild and cultivated pepper (*Capsicum annuum* L. and *C. pubescens* Ruiz & Pav.) from Oaxaca, Mexico. *Chilean J. Agric Res*. 2011 Oct.-Dec.; 71(4): 578-585.
- Ghasemnezhad M, Sherafati M, Payvast GA. Variation in phenolic compound, ascorbic acid and antioxidant activity of five coloured bell pepper (*Capsicum annuum*) fruits at two different harvest times. *J Funct Foods*. 2011 Jan.; 3:44-49.
- Rao BN. Bioactive phytochemicals in Indian foods and their potential in health promotion and disease prevention. *Asia pacific J Clin Nutr*. 2003 Mar.; 12(1): 9-22.
- Clark R and Le S-H. Anticancer properties of capsaicin against human cancer. *Anticancer Res*. 2016 Feb.; 36(2): 837-844.
- Cázares-Sánchez E, Ramírez-Vallejo P, Castillo-González F, Soto-Hernández M, Rodríguez-González T, Chávez-Servia JL. Capsaicinoides y preferencia de uso en diferentes morfotipos de chile (*Capsicum annuum* L.) del centro-oriente de Yucatán. *Agrociencia*. 2005 Nov.-Dic.; 39(6): 627-638.
- Morán-Bañuelos SH, Aguilar-Rincón VH, Corona-Torres T, Castillo-González F, Soto-Hernández RM, San-Miguel-Chávez R. Capsaicinoides en chiles nativos de Puebla, México. *Agrociencia*. 2008 Oct.-Nov.; 42(7): 807-816.
- Fraga CG. Relevance, essentiality and toxicity of trace elements in human health. *Mol Aspects Med*. 2005; 26: 235-244.
- World Health Organization (WHO). Trace Elements in Human Nutrition and Health. World Health Organization, Belgium. 1996; 343 p.
- Solomons NW, Kaufer-Horwitz M, Bermúdez OI. Armonización de las recomendaciones nutricionales para Mesoamérica: ¿unificación regional o individualización regional?. *Arch Latin Nutr*. 2004 Dic.; 54(4): 363-373.
- Martínez-Ballesta MC, Dominguez-Perles R, Moreno DA, Muries B, Alcaraz-López C, Bastías E, García-Viguera C, Carvajal M. Minerals in plant food: effect of agricultural practices and role in human health. A review. *Agron Sustain Dev*. 2010 Apr.; 30(2): 295-309.
- Aguilar-Rincón, VH, Corona-Torres T, López-López P, Latournerie-Moreno L, Ramírez-Meraz M, Villalón-Mendoza H Aguilar-Castillo JA. Los Chiles de México y su Distribución. SINAREFI, Colegio de Postgraduados, INIFAP, ITConkal, UNAL y UAN. Montecillo, Texcoco, México. 2010, 114 p.
- Aghili F, Khoshgoftarmansh AH, Afyuni M, Mobil M. Mineral and ascorbic acid concentrations of greenhouse- and field-grown

- vegetables: implications for human health. *Int J Veg Sci.* 2012 Dec.; 18:64-77.
22. López A, Fenoll J, Hellín P, Flores P. Physical characteristics and mineral composition of two pepper cultivars under organic, conventional and soilless cultivation. *Sci Hortic-Amsterdam.* 2013 Feb.; 150: 259-266.
 23. Pérez-López JA, López-Nicolaz LM, Núñez-Delicado E, del-Amor FM, Carbonell-Barrachina AA. Effects of agricultural practices on color, carotenoids composition, and mineral contents of sweet peppers, cv. Almuden. *J Agric Food Chem.* 2007 Oct.; 55(20):8158-8164.
 24. Guil-Guerrero JL, Martínez-Guirado C, Reboloso-Fuentes MM, Carrique-Pérez A. Nutrient composition and antioxidant activity of 10 peppers (*Capsicum annuum*) varieties. *Eur Food Res Technol.* 2006 Nov.; 224: 1-9.
 25. Castellón-Martínez E, Carrillo-Rodríguez JC, Chávez-Servia JL, Vera-Guzmán AM. Variación fenotípica de morfotipos de chile (*Capsicum annuum* L.) nativo de Oaxaca, México. *Phyton, Rev Int Bot Exp.* 2014; 83: 225-236.
 26. Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Vol. 1, 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA. 1990; p: 12-13, 27-28, 42, 330-331.
 27. Statistical Analysis System (SAS). SAS® Procedures Guide, Version 8. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 1999; 1643 p.
 28. Rubio C, Hardisson A, Martín RE, Báez A, Martín MM, Álvarez R. Mineral composition of the red and green pepper (*Capsicum annuum*) from Tenerife Island. *Eur Food Res Technol.* 2002 Jun.; 214(6): 501-504.
 29. Ogunlade I, Alebiosu AA, Osasona A. Pproximate, mineral composition, antioxidant activity, and total phenolic content of some pepper varieties (*Capsicum* spp.). *Int J Biol Chem. Sci.* 2012 Oct.; 65(5): 2221-2227.
 30. Ribes-Moya A, Pereira L, Guijarro-Real C, Raigon MD, Fita AM, Rodríguez-Burruezo A. Mineral content in *Capsicum* pepper landraces: effect of the genotype and the ripening stage. *Bull UASVM Hort.* 2014 ; 72(2): 2519-260
 31. BenMansour-Gueddes S. Evolution of capsaicinoids and minerals composition during fruit development in some hot pepper varieties (*Capsicum annuum* L.). *Int J Agric Innov Res.* 2015; Jan-Feb; 3(4): 1094-1102.
 32. Khadi BM, Goud JV, Patil VB. Variation in ascorbic acid and mineral content in fruits of some varieties of chilli (*Capsicum annuum* L.) *Plant Foods Hum Nutr.* 1987 Mar.; 37(1): 9-15.
 33. Lopez D, Castillo C, Diazgranados D. El zinc en la salud humana-I. *Rev Chil Nutr.* 2010 Jun; 37(2): 234-239.