

EN

Evaluation of the nutritional quality of agricultural products as a case study: Mexico City markets

ES

Evaluación de la calidad nutricional de los productos agrícolas caso: mercados de la Ciudad de México

María Concepción Martínez Rodríguez; Lorena Elizabeth Campos Villegas;
Miguel Alvarado Cardona; Ana Laura Cervantes Nájera*

Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Calle 30 de junio de 1520 s/n, col. La Laguna Ticomán. C. P. 07340, Alcaldía Gustavo A. Madero, Ciudad de México, México.

*Corresponding author:
acervantesn1300@alumno.ipn.
mx, cer.lau.ana.18@gmail.com

Received: April 11, 2022 /
Accepted: October 10, 2022

DOI:
10.5154/r.rchsat.2022.02.04

Abstract

One of the elements on which food security depends is the nutritional properties of food, which are obtained from the nutrients extracted from the soil but have been altered, generating a lack of micronutrients in crops. Therefore, it is necessary to identify the amount of micronutrients in foods commonly consumed in the Mexican diet. The objective of this study was to characterize the content of copper (Cu), zinc (Zn), cobalt (Co), chromium (Cr), and selenium (Se) in foods from nine markets in Mexico City. The methodology for this work was quantitative, based on random sampling and chemical analysis with atomic absorption spectrometry. No food rich in copper (Cu) was detected; low zinc concentrations (Zn) were found in eggs with 1,272 mg·kg⁻¹, tortillas with 1,485 mg·kg⁻¹, and rice with 1,135 mg·kg⁻¹. Foods with appropriate amounts of cobalt were also found in eggs with 0.01 mg·kg⁻¹, milk with 0.031 mg·kg⁻¹, and chicken with 0.006 mg·kg⁻¹. The chicken was the only one that presented a selenium (Se) concentration of approximately 0.22 mg·kg⁻¹. The results prove the micronutrient deficiency in the foods analyzed, which possibly impacts the nutritional deficiency of people and the reason for the growing need to consume food supplements to remedy this.

Keywords: Soil, agriculture, micronutrients, nutrition, deficiency.

Resumen

Uno de los elementos de los cuales depende la seguridad alimentaria, son las propiedades nutricionales de los alimentos, las que se obtienen a partir de los nutrientes que se extraen del suelo, pero estos han sido alterados generando una carencia de micronutrientes en las cosechas. Por lo que es necesario identificar la cantidad de micronutrientes en los alimentos comúnmente consumidos en la dieta mexicana. El objetivo de este trabajo fue caracterizar el contenido de cobre (Cu), zinc (Zn), cobalto (Co), cromo (Cr) y selenio (Se), de alimentos provenientes de nueve mercados de la Ciudad de México. La metodología para este trabajo fue del tipo cuantitativa a partir de un muestreo aleatorio y de análisis químicos

con espectrometría de absorción atómica. No se detectó ningún alimento rico en Cobre (Cu), se encontraron bajas concentraciones de zinc (Zn) en huevo con $1\,272\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, en la tortilla con $1\,485\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y en el arroz con $1.135\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. También se encontraron alimentos con cantidades apropiadas de cobalto como el huevo con $0.01\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, la leche con $0.031\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y el pollo con $0.006\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. El pollo fue el único que presentó una concentración de selenio (Se) de aproximadamente $0.22\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Con los resultados obtenidos se comprueba el déficit de micronutrientes en los alimentos analizados, lo que posiblemente impacta en la deficiencia nutricional de las personas, y la razón por la creciente necesidad de consumir suplementos alimenticios para subsanar esto.

Palabras clave: Suelo, agricultura, micronutrientes, nutrición, deficiencia

Introduction

It is fundamental for the development of humanity to satisfy food and nutritional needs; this is related to productivity in agriculture, which is of permanent interest in all countries. The link between agriculture and human health is found in the agroecological approach in which food security is a principal issue and in which agroecosystems are a sustainable option with the lowest environmental impact (Codillo Gutiérrez et al., 2008), as well as in better food quality.

The relationship between nutritional quality, food availability, and the agricultural situation has been addressed in several studies. Qualitative and quantitative methods are used to generate data and analyze information about agriculture practices implemented in the production or development of the products obtained from them, which are food, which can be influenced by environmental, climatic, social, and economic factors. Studies by Teklewold et al. (2019) consider the adoption of climate-smart agricultural innovations and their impact on nutritional outcomes, which is related to soil crop diversification, water conservation, and modern external inputs such as improved cultivation, seeds, and fertilizers.

Nowadays, the impact generated by the COVID-19 pandemic must be included in this list of factors on food production and quality. In many countries, quarantine and transport restrictions have affected the agricultural system due to the lack of inputs such as fertilizers (Adhikari et al., 2021) and the low availability of workers and access to information (Alvi et al., 2021), which has consequently affected the properties of food products. In the Americas and specifically in Peru, the crisis deepened the inequality in progress in rural areas, causing a reduction in food availability, and farmers are looking for alternatives, such as the

Introducción

Es fundamental para el desarrollo de la humanidad satisfacer las necesidades alimentarias y nutricionales, esto se relaciona con la productividad en la agricultura, la cual es de interés permanente en todos los países. El vínculo entre la agricultura y la salud del ser humano se encuentra en el enfoque agroecológico, en el cual la seguridad alimentaria es un tema principal y en el que los agroecosistemas son una opción sustentable con el menor impacto ambiental (Codillo Gutiérrez et al., 2008), así como en una mejor calidad de alimentos.

La relación entre la calidad nutricional, la disponibilidad de alimentos y la situación agrícola, ha sido abordada en diversos estudios, en los cuales se emplean tanto métodos cualitativos como cuantitativos para generar datos y analizar información acerca de las prácticas agrícolas que se implementan en la producción o en el desarrollo de los productos obtenidos de ellas, que son los alimentos, estos pueden ser influenciados por factores ambientales climáticos, sociales y económicos. Los estudios de Teklewold et al. (2019), consideran la adopción de innovaciones agrícolas climáticamente inteligentes y su impacto en los resultados nutricionales, lo cual se relaciona con la diversificación de cultivos en suelo, conservación de agua y los insumos externos modernos como lo son el cultivo mejorado, las semillas y los fertilizantes.

Actualmente, hay que incluir en esta lista de factores en la producción y calidad de los alimentos, el impacto generado por la pandemia por COVID-19. En muchos países la cuarentena y las restricciones de transporte ha afectado el sistema agrícola, debido a la falta de insumos como fertilizantes (Adhikari et al., 2021) y la baja disponibilidad de trabajadores y acceso a la información (Alvi et al., 2021), lo que en conse-

introduction of new crops to reduce dependence on sales of a single product (Vargas et al., 2021).

Agricultural practices in Mexico do not generate relevant economic growth, nor do they improve living conditions, and investment in agriculture is not promoted by public spending in this area (Urquía-Fernández, 2014). The crisis in Mexican lands is aggravated by the higher requirement of nutrients and agrochemicals to maintain soil fertility (Gómez Oliver, 2008). As a result of agricultural technification and the enormous reduction of spaces for the development of farming practices, there has been a change in the production of food that lacks micronutrients such as Cobalt (Co), Chromium (Cr), Selenium (Se), and Copper (Cu). Soil impoverishment generates the production of food with nutritional deficiencies. Agricultural production in Mexico increased by 117 % in crop yields and cultivated area. However, in the future, the supply by agricultural production should focus on improving crop yields due to the decrease in available land for this purpose, expecting that by 2050 there will be 0.18 ha of arable land available for the production of a person's annual food requirement (Sosa Baldivia and Ruiz Ibarra, 2017).

Soil is a fundamental element in food production, and as a natural resource, it has a relevant relationship with food security (Burbano-Orjuela, 2016). Its characteristics can cause problems in agricultural systems due to the lack of nutrients, generating the need to use pesticides and fertilizers (Silva and Correa, 2009) that are harmful to food products. An example of the repercussions on production can be attributed to the antagonistic interactions between minerals in soils rich in potassium (K), which hinders the absorption of magnesium by plants, i.e., one mineral in excess prevents the absorption of another (FitzPatrick, 2011). This problem is transferred to humans and animals that may manifest health problems at some stage of their lives or permanently due to deficiency or toxicity.

It is essential to study and understand crops, soil microclimate, growth, nutrient demands, and socio-economic factors in an integrated approach to food security using sustainable and durable agriculture (Gutiérrez Castorena et al., 2015). In Africa, for example, where the soil is naturally poor because of its properties, agroforestry systems have been proposed to improve its productivity (Balwinder-Singh et al., 2020) and thus obtain food products with a high nutritional level. In Mexico, Uribe-Valle and Petit-Aldana (2007) mentioned that soil chemical behavior varies according to the cover and fallow periods to evaluate soil fertility recovery.

La crisis ha afectado las propiedades de los productos alimenticios. En América y específicamente en Perú, la crisis profundizó la desigualdad en progreso en zonas rurales causando la reducción en la disponibilidad de alimentos, además, los agricultores buscan alternativas como la introducción de nuevos cultivos para reducir la dependencia por ventas de un solo producto (Vargas et al., 2021).

Las prácticas agrícolas en México no generan un crecimiento económico relevante, y tampoco mejoran las condiciones de vida y la inversión en la agricultura no se promueve de acuerdo con el gasto público destinado a este rubro (Urquía-Fernández, 2014). La crisis en las tierras mexicanas se agudiza por el mayor requerimiento de nutrimentos y agroquímicos, para mantener la fertilidad del suelo (Gómez Oliver, 2008). Derivado de la tecnificación agrícola y de la enorme reducción de espacios para el desenvolvimiento de prácticas agrícolas, se ha generado un cambio en la producción de alimentos que carecen de micronutrientes, como Cobalto (Co), Cromo (Cr), Selenio (Se) y Cobre (Cu). El empobrecimiento del suelo genera la producción de alimentos con deficiencias nutricionales. La producción agrícola en México incrementó un 117 % del rendimiento de los cultivos y el área cultivada. Sin embargo, a futuro el suministro por la producción agrícola se deberá centrar en la mejora del rendimiento de cultivos debido a la disminución en la tierra disponible para este fin, esperando que para 2050 se dispondrá de 0.18 hectárea de tierra cultivable para la producción del alimento necesario anual de una persona (Sosa Baldivia y Ruiz Ibarra, 2017).

El suelo es un elemento básico en la producción alimentaria y como recurso natural tiene una relación relevante a la seguridad alimentaria (Burbano-Orjuela, 2016). Sus características pueden ser las causantes de la problemática en los sistemas agrícolas, por la falta de nutrientes, se genera la necesidad de emplear plaguicidas y fertilizantes (Silva y Correa, 2009) dañinos a los productos alimenticios. Un ejemplo de las repercusiones a la producción se puede atribuir a las interacciones antagónicas entre minerales presentes en suelos ricos en potasio (K), que dificulta la absorción de magnesio por parte de las plantas, es decir, un mineral en exceso impide la absorción de otro (FitzPatrick, 2011). Este problema se traslada al ser humano y animales que pueden llegar a manifestar problemas de salud en alguna etapa de su vida o de manera permanente por deficiencia o toxicidad.

Es importante el estudio y comprensión de los cultivos, el microclima del suelo, el crecimiento, las demandas de nutrientes y factores socioeconómicos en un enfo-

Micronutrient deficiencies or hidden hunger are a prioritized global challenge (Nissar et al., 2019), nowadays the consumption of farm products only supplies the urgent needs of carbohydrates for energy and a small amount of protein, but scant amounts of the required micronutrients (Welch, 2005). Globally, the three micronutrient deficiencies of significant public health concern are vitamin A, iron (Fe), and iodine (I). The most widespread and severe micronutrient deficiency malnutrition forms are generally found in developing countries (Reynaud City, 2014).

Micronutrients are compounds obtained by digestion and are involved in essential physiological and metabolic functions of human metabolism (Reynaud City, 2014). It is worth noting that the current agricultural system puts in the hands of field products the self-supply of minerals, leaving the consumer responsible for acquiring mineral and vitamin supplements. However, it is relevant to mention that foods can be enriched with these nutrients through plant breeding, agronomic practices, or transgenic methods (Nissar et al., 2019).

Zinc (Zn) is essential for its role in the metabolism of proteins and nucleic acids; a deficit of this element is associated with maternal diseases such as preeclampsia (Ciudad, 2014). However, there is a deficiency of Zn due to the high consumption of cereals with low concentrations of this element (Nissar et al., 2019), which accentuates when they are cultivated in soils with low content of this element (Cakmak, 2010). Cu is a micronutrient forming part of body tissues with a minimum daily infant requirement of $80 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ and $40 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ in adults. Cu deficiency causes heart disease and osteoporosis (Silva Trejos, 2012). Cu has a structural, enzymatic, and metabolic function in metabolism. Cr is indispensable for the functioning of metabolism, and recommended intake varies between 50 to $200 \text{ mg}\cdot\text{d}^{-1}$ (Grijalva Haro et al., 2001). For the Mexican population, a daily intake of vitamins and specific nutrients is suggested for each stage of human development, as shown in Table 1 below, with the recommended reference levels of the micronutrients considered in this study.

This study aims to quantify the content of micronutrients in foods commonly consumed in the Mexican diet: eggs, chicken, milk, rice, and squash, to check if there is a negative effect on their quality.

Methodology

Study area

The study was carried out in Mexico City, where there are 329 public markets (Secretaría de Desarrollo

que integrado en la seguridad alimentaria empleando una agricultura no únicamente sustentable sino también sostenible (Gutiérrez Castorena et al., 2015). En África, por ejemplo, donde el suelo es naturalmente pobre por sus propiedades, se han propuesto sistemas agroforestales para mejorar su productividad (Balwinder-Singh et al., 2020) y con ello obtener productos alimenticios de alto nivel nutricional. En México, Uribe-Valle y Petit-Aldana (2007), mencionaron que el comportamiento químico del suelo varía según las coberturas y periodos de barbecho para evaluar la recuperación en la fertilidad del suelo.

Las carencias de micronutrientes o hambre oculta son un reto global priorizado (Nissar et al., 2019), actualmente el consumo de los productos del campo solamente suministra las necesidades urgentes de carbohidratos para la energía y una pequeña cantidad de proteínas, pero escasas cantidades de los micronutrientes requeridos (Welch, 2005). A escala mundial, las tres carencias de micronutrientes más preocupantes desde el punto de vista de la salud pública son las de vitamina A, hierro (Fe) y yodo (I). Las formas más extendidas y graves de malnutrición por carencia de micronutrientes se hallan generalmente en los países en desarrollo (Ciudad Reynaud, 2014).

Los micronutrientes son compuestos que se obtienen por digestión y participan en funciones fisiológicas y metabólicas básicas del metabolismo humano (Ciudad Reynaud, 2014). Cabe señalar que el sistema agrícola actual pone en manos de los productos del campo el auto suministro de minerales micronutrientes dejando al consumidor la responsabilidad de adquirir complementos minerales y vitamínicos. Aunque es importante mencionar que los alimentos pueden ser enriquecidos con estos nutrientes mediante el fitomejoramiento, prácticas agronómicas o métodos transgénicos (Nissar et al., 2019).

El zinc (Zn) es importante por su función en el metabolismo de proteínas y ácidos nucleicos, además de que el déficit de este elemento se asocia a enfermedades maternas como la preeclampsia (Ciudad, 2014). Sin embargo, existe una deficiencia del Zn por el elevado consumo de cereales con bajas concentraciones de este elemento (Nissar et al., 2019) lo cual se acentúa cuando son cultivados en suelos con bajo contenido de este elemento (Cakmak, 2010). El Cu es un micronutriente que forma parte de tejidos corporales y cuyo requerimiento infantil mínimo diario es $80 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ y $40 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ en adultos. La deficiencia de Cu causa enfermedades del corazón y osteoporosis (Silva Trejos, 2012). El Co tiene una función estructural, enzimática y metabólica en el metabolismo. El Cr es indispensable para el funcionamiento del metabolismo, la ingesta

Table 1. Recommended daily intake of inorganic micronutrients.
Cuadro 1. Ingesta diaria recomendada de micronutrientes inorgánicos.

Group / Grupo	Age / Edad	Copper (Cu) (mg) / Cobre (Cu) (mg)	Chromium (Cr) (mg) / Cromo (Cr) (mg)	Selenium (Se) (mg) / Selenio (Se) (mg)	Zinc (Zn) (mg)	Cobalt (Co) (mg) / Cobalto (Co) (mg)
Boys and girls / Niños y niñas	1 to 3 year-olds / 1-3 años	340	11	20	4	ND
	4 to 8 year-olds / 4-8 años	440	15	30	6.6	ND
Men and women / Hombres y mujeres	9 to 13 year-olds / 9-13 años	690	23	35	11.6	ND
	14 to 18 year-olds / 14-18 años	777.5	28.5	50	13.05	ND
	19 to 70 year-olds / 19-70 años	740	26	50	11	ND
	>70-year-olds / >70 años	740	22.5	50	11	ND

Source: Own elaboration with information from the Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán 2015.

Fuente: Elaboración propia con información del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán (2015).

Económico (SEDECO), 2020) considered independent retail stores (RS), where the population can purchase a variety of food products. The sampling was conducted in three mayoralties: Azcapotzalco, Miguel Hidalgo, and Gustavo A. Madero. By 2020, the population in Gustavo A. Madero was 1 173 351 inhabitants, with 46.9 % of economic units from the RS, while Azcapotzalco had 432 205 inhabitants, 42 % of economic units by the RS and Miguel Hidalgo had 414 470 inhabitants, in the case of the latter it is estimated that 34 % of its economic units come from the RS.

Experimental design

The sampling was carried out in March 2016 in nine markets in three different mayoralties (Table 2); this was done by undergraduate students of the Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB) of the IPN as part of their activities corresponding to their social service. The amount of sample established for each food was 500 g. Samples were taken randomly in triplicate in three different places or stalls, where the unprocessed foods were obtained, for a total of thirty independent samples for each of the foods acquired (Figure 1). The samples were analyzed in triplicate

recomendada varía entre 50 a 200 mg·d⁻¹ (Grijalva Haro et al., 2001). Para la población mexicana se sugiere una ingesta diaria tanto de vitaminas como de nutrientes específicos para cada etapa del desarrollo humano, a continuación, se presenta en el Cuadro 1 con los niveles de referencia recomendados de los micronutrientes considerados en este estudio.

El objetivo de este trabajo es cuantificar el contenido de micronutrientes en alimentos comúnmente consumidos en la dieta mexicana: huevo, pollo, leche, arroz y calabaza, para comprobar si existe una afectación en su calidad.

Metodología

Área de estudio

El estudio se desarrolló en la Ciudad de México, donde existen 329 mercados públicos (Secretaría de Desarrollo Económico (SEDECO), 2020) considerados comercios al por menor (CPM) de tipo independiente, en los cuales la población puede adquirir una variedad de productos alimenticios. El muestreo se realizó en tres alcaldías: Azcapotzalco, Miguel Hidalgo y Gustavo A.

Table 2. Selected markets in this study.
Cuadro 2. Mercados seleccionados en el presente estudio.

Mayoralty / Alcaldía	Markets / Mercados
1. Azcapotzalco	1. Obrero Popular Market / Mercado Obrero Popular
	2. Santa María Ticomán Market / Mercado Santa María Ticomán
	3. Capital Verde. Productores Market / Capital Verde. Mercado de Productores
2. Miguel Hidalgo	4. Tacuba Market / Mercado Tacuba
	5. Lago Garda Market / Mercado Lago Garda
	6. Gascasonica Market / Mercado Gascasónica
3. Gustavo A. Madero	7. Santa María Ticomán Market / Mercado Santa María Ticomán
	8. Ticomán Market on wheels / Mercado sobre ruedas Ticomán
	9. Lindavista Montevideo Market on wheels / Mercado sobre ruedas Lindavista Montevideo

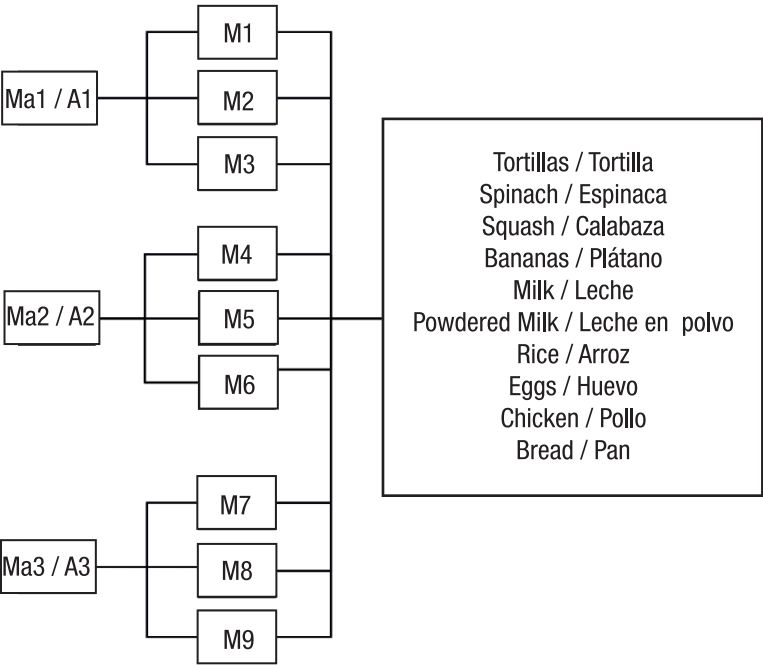


Figure 1. Structure of the experimental design and products sampled. Ma. Mayoralty, M. Market.
Figura 1. Estructura del diseño experimental y productos muestreados. A. Alcaldía, M. Mercado.

to evaluate the concentrations of Cu, Cr, Zn, Co, and Se. The sample analyses were performed at the Environmental Analysis and Monitoring Laboratory at the Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIIEMAD) located in the Gustavo A. Madero mayoralty.

Information analysis

The methods employed were those used by the U.S. Environmental Protection Agency (EPA) and the American Public Health Association (APHA). These were “EPA-3010 A Acid digestion of aqueous samples and extracts for total metals for analysis by ICP or FLAA spectroscopy” (U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 1992), “SW-846 Chapter three. Inorganic Analytes” (U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2014), “Method 7000B - Flame Atomic Absorption Spectrometry” (U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2007) and “Standard Methods for the Study of Water and Wastewater. Metals by atomic absorption spectrometry” (Secretaría de Economía, 2001).

The pretreatment consisted of separating 20 grams of each sample, washing them with water and phosphate-free neutral detergent at 1 %, rinsing them with deionized water, resting them in the water for 5 minutes to remove the peels and cutting them with a ceramic knife into 1 cm cubes. In this way, they were dehydrated until obtaining their dry weight in the oven for 48 hours at 60 °C; then, the samples were pulverized and homogenized by quartering, from which the representative amount of 5 grams per sample was extracted (Figure 2).

Subsequently, the samples were processed according to EPA methods on a heating grill without boiling at 80 °C until a clear solution free of organic material was obtained. For this purpose, approximately 1 gram of the homogenized sample was weighed and subjected to acid digestion with the following mixture: nitric acid (HNO_3) 1 mL, peroxide hydrochloric acid 3 mL, and (H_2O_2) 5 mL. The resulting solution was recovered in a 25 mL volumetric flask for the subsequent reading of the elements of interest in direct aspiration flame in the atomic absorption spectrophotometer Perkin Elmer AAnalyst 100 slit from 0.2 to 0.7. That was done in triplicate for each element of interest, with a spectral scanning interval of 191 nm to 855 nm wavelength for the determination by direct aspiration in air-acetylene flame and the cold vapor hydride generation technique for selenium. In both cases, individually coded hollow cathode lamps and certified standards were used for the calibration curves for each analyte of interest.

Madero. Para 2020, la población en Gustavo A. Madero fue de 1 173 351 habitantes, con un 46.9 % de unidades económicas del CPM, mientras que Azcapotzalco contaba con 432 205 habitantes, el 42 % de unidades económicas por el CPM y Miguel Hidalgo con 414 470 habitantes, en el caso de esta último se estima que el 34 % de sus unidades económicas provienen del CPM.

Diseño experimental

El muestreo se realizó en marzo de 2016, en nueve mercados de tres alcaldías diferentes (Cuadro 2), este fue realizado por estudiantes de licenciatura de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB) del IPN, como parte de sus actividades correspondientes a su servicio social. La cantidad de muestra establecida para cada alimento fue de 500 g, la toma de estas fue aleatoria y por triplicado, esto es en tres locales o puestos distintos, en los que se consiguieron los alimentos no procesados, para tener un total de treinta muestras independientes por cada uno de los alimentos adquiridos (Figura 1). Las muestras se analizaron por triplicado para evaluar la concentración de Cu, Cr, Zn, Co y Se. Los análisis de las muestras se llevaron a cabo en el Laboratorio de Análisis y Monitoreo Ambiental en el Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIIEMAD) localizado en la alcaldía Gustavo A. Madero.

Análisis de la información

Los métodos empleados fueron los utilizados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) y de la Asociación Americana de Salud Pública (APHA, por sus siglas en inglés). Estos fueron “EPA-3010 A Digestión ácida de muestras acuosas y extractos para metales totales para su análisis por espectroscopia ICP o FLAA” (U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 1992), “SW-846 Capítulo tres. Analitos inorgánicos” (U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2014), “Método 7000B – Espectrometría de absorción atómica de llama” (U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2007) y “Métodos normalizados para el estudio de agua y aguas residuales. Metales por espectrometría de absorción atómica” (Secretaría de Economía, 2001).

El pretratamiento consistió en separar 20 gramos de cada muestra, lavarlas con agua y detergente neutro libre de fosfatos al 1 %, enjuagar con agua deionizada y un reposo posterior en agua en un período de 5 minutos para eliminar las cáscaras y cortar con un cuchillo de cerámica en cubos de 1cm. De esta manera se deshidrataron hasta obtener su peso seco en la



Figure 2. Chemical analysis of food. a) Quartering b) Weighing c) and d) Use of the spectrophotometer.
Figura 2. Análisis químico de los alimentos. a) Cuarteo b) Pesaje c) y d) Uso del espectrófotómetro.

Results and discussion

Table 3 contains the values of micronutrients Cu, Cr, Co, and Zn in foods obtained from the survey in nine markets in Mexico City. There is little information on the content of the micronutrients analyzed in foods; nutritional tables focus on minerals: calcium (Ca), Fe, K, phosphorus (P), sodium (Na), fluorine (F), and Se, although they may consider Zn and Cu. Studies on the content of these micronutrients in foods are scarce in some cases, such as cobalt (Hokin et al., 2004), and the current results are a local and not a global reflection of the content of this element in foods.

The Cu content in eggs was $0.00165 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; this value was low compared to that reported by Silva Trejos (2012), who found $0.17 \text{ mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$. Zn content was also low compared to that reported to be in the range between 1.1 and $1.4 \text{ mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ (López de Romaña et al., 2010).

The egg cobalt content in a study conducted in Australia by Hokin et al. (2004) showed a wide range between 1 and $10 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (equivalent to 0.001 and

estufa por 48 horas a 60°C , posterior se procedió a pulverizar y homogeneizar las muestras por cuarteo, de lo cual se extrajo la cantidad representativa de 5 gramos por cada muestra (Figura 2).

Posteriormente las muestras fueron procesadas de acuerdo con los métodos EPA en parrilla de calentamiento sin dejar ebulir a 80°C hasta la obtención de una solución clara libre de material orgánico. Para ello, se pesó aproximadamente 1 gramo de la muestra homogeneizada y se sometió a digestión ácida con la siguiente mezcla: ácido nítrico (HNO_3) 1 mL, peróxido ácido clorhídrico 3 mL y (H_2O_2) 5 mL. La solución resultante se recuperó en un matraz aforado de 25 mL para la posterior lectura de los elementos de interés en flama aspiración directa en el espectrofotómetro de absorción atómica Marca Perkin Elmer Modelo AA-nalyst 100 slit de 0.2 a 0.7. Esta se realizó por triplicado para cada elemento de interés, con un intervalo de barrido espectral de 191 nm a 855 nm longitud de onda para la determinación por aspiración directa en flama aire-acetileno y la técnica de vapor frío generación de hidruros para el selenio, en ambos casos se usaron

0.01 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ respectively), so the values observed in the present study were included in the maximum range determined in Australia.

Cobalt in the chicken analyzed (0.006 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ equivalent to 6 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) was higher than that shown (1 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ cobalt) by Hokin et al., (2004). Cobalt reported in bread was lower concerning the other foods such as milk or eggs, but similar to the values measured in both studies in squash 0.012 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (equivalent to 12 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) and vegetables from Spain (11 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Cobalt evaluated in milk had a value of 0.067 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (equivalent to 67 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$), which was higher than the content analyzed in the Australian product (1 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$). And there was a higher concentration of chromium (0.031 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) in milk than the report of 0.0086 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ by Grijalva Haro, et al., (2001) in their study conducted in northwestern Mexico. Selenium (Se) was detected only in chicken, whose content ranged from 0.158 to 0.281 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Most of the foods did not exceed the detection limit of the method.

Currently, approximately two billion people are deficient in one or more micronutrients. Globally, the three micronutrient deficiencies of most significant public health concern are vitamin A, iron, and iodine.

lámparas de cátodo hueco codificadas de manera individual y estándares certificados para el desarrollo de las curvas de calibración para cada uno de los analitos de interés.

Resultados y discusión

El Cuadro 3 contiene los valores de micronutrientes Cu, Cr, Co y Zn en alimentos obtenidos del sondeo en nueve mercados de la Ciudad de México. Existe poca información sobre el contenido de los micronutrientes analizados en los alimentos, las tablas nutricionales se centran en los minerales: calcio (Ca), Fe, K, fósforo (P), sodio (Na), flúor (F) y Se, aunque pueden llegar a considerar el Zn y el Cu. Estudios sobre el contenido de estos micronutrientes en alimentos son escasos en algunos casos como el cobalto (Hokin et al., 2004) y los resultados existentes son un reflejo local y no global del contenido de este elemento en los alimentos.

El contenido de Cu en huevo fue de 0.00165 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, este valor fue bajo en comparación al indicado por Silva Trejos (2012) quienes encontraron 0.17 $\text{mg}\cdot 100\text{ g}^{-1}$. El contenido de Zn también fue bajo en comparación al reportado que está en el rango entre 1.1 a 1.4 $\text{mg}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ (López de Romaña et al., 2010).

Table 3. Micronutrient content of foods consumed in the metropolitan area.

Cuadro 3. Contenido de micronutrientes en alimentos consumidos en la zona metropolitana.

Food / Alimento	Micronutrients (mg/kg) / Micronutrientes (mg/kg)			
	Cu	Cr	Co	Zn
Eggs / Huevo	0.00165 \pm 0.0009	ND	0.01 \pm 0.0014	1.272 \pm 0.29
Tortillas / Tortilla	0.00108 \pm 0.00071	0.005 \pm 0.0016	0.016 \pm 0.002	1.485 \pm 0.37
Chicken / Pollo	0.00201 \pm 0.00056	ND	0.006 \pm 0.001	1.823 \pm 0.31
Chicken D / Pollo D	0.00121 \pm 0.0004	ND	ND	ND
Rice / Arroz	0.00149 \pm 0.00076	ND	ND	1.135 \pm 0.40
Powdered milk / Leche en polvo	0.00023 \pm 0.0001	ND	ND	1.059 \pm 0.048
Milk / Leche	0.00063 \pm 0.00012	0.031 \pm 0.009	0.067 \pm 0.05	0.034 \pm 0.029
Bread / Pan	0.00144 \pm 0.00087	ND	0.01 \pm 0.0012	1.875 \pm 0.39
Spinach / Espinaca	0.00329 \pm 0.00085	0.037 \pm 0.0079	0.059 \pm 0.003	1.318 \pm 0.33
Squash / Calabaza	0.00266 \pm 0.00090	0.116 \pm 0.027	0.012 \pm 0.0018	1.333 \pm 0.43
Bananas / Plátano	0.00165 \pm 0.0009	0.0015 \pm 0.0009	0.0015 \pm 0.0007	1.533 \pm 0.57

The most widespread and severe forms of essential mineral deficiency malnutrition are generally found in developing countries (Michael, 2002).

Tortillas are a representative food in Mexican cuisine, and due to their importance in the diet, they are considered in the ENA of 2019 (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), 2019). Corn, the basis for tortilla production, is the third most widely planted crop worldwide (Jiménez-Juárez et al., 2012). The reported Cr content in corn tortillas is $0.337 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Grijalva Haro et al., 2001). In the results of the present study, the value is $0.005 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, which is considered low. In the study by Salinas Moreno et al., (2017), tortillas from three corn breeds were analyzed, determining the content of Ca, Fe, and Zn as part of their results. The value obtained for Zn differed among breeds, with values between 1.6 and 2.4 mg per 100 g dry basis. Martínez Cruz et al. (2018) determined the Zn content in maize from 50 Cuban accessions, obtaining values in the range of 2.18 to $2.40 \text{ mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ with a mean value of $2.36 \text{ mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$, and indicated that the concentration of micronutrients in the soil determined the value of these elements in maize grain. In the results presented, the Zn concentration for the tortilla analyzed is $1.485 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ being a low value in comparison to those mentioned, inferring a possible nutrient deficiency in the soil in which the corn used to make the tortilla was grown and harvested. Nowadays, 20 mg of zinc is added to the flour to fortify the product to be industrially processed. However, this is not considered in nixtamal or handmade tortillas (Figueroa Cárdenas et al., 2001).

Both rice and maize are crops with high social and economic importance. The addition of micronutrients by agronomic techniques such as foliar and edaphic fertilization has shown an improvement in the nutritional quality of rice grain and the yield of this crop (Cedeño et al., 2018). The value of $1.135 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ in the present study is well below that found in the literature. An example of lower values of Zn in rice is the study by Trijatmiko et al. (2016), who report $16 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ in rice. On the other hand, the results of Denis Alpizar and Diaz Rizo (2009) range between 40 and $50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ in dry weight and from 15 to $40 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ fresh weight in edible parts of the rice crop. They attribute the Zn concentration in this food has increased thanks to the efforts of FAO (FAO, 2019); in years before 2002, the concentration could be half of the current values.

Foods considered rich in Cu contain between 0.3 mg and $2 \text{ mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ of food (García-Casal et al., 2013). The foods analyzed are not rich in this micronutrient as there is no value within this range or higher. The Cu concentrations are low compared to those reported by Ferreira et al. (2005) for eggs, milk, and chicken.

El contenido de cobalto en huevo en Australia en un estudio realizado por Hokin et al., (2004), mostraron un amplio rango entre 1 a $10 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (equivalente a 0.001 a $0.01 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), por lo que los valores observados en el presente estudio estuvieron incluidos en el rango máximo determinado en Australia.

El cobalto en el pollo analizado ($0.006 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ equivalente $6 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) fue más alto que el mostrado ($1 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ cobalto) por Hokin et al., (2004). También en el pan, el cobalto reportado fue menor con respecto al resto de alimentos, como la leche o huevo, pero similar a los valores medidos en ambos estudios en calabaza $0.012 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (equivalente $12 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) y vegetales de España ($11 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$). El cobalto evaluado en la leche tuvo un valor de $0.067 \text{ mg Co}\cdot\text{kg}^{-1}$ (equivalente $67 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$), que fue mayor al contenido analizado en el producto australiano ($1 \mu\text{g Co}\cdot\text{kg}^{-1}$), y se tuvo una mayor concentración de cromo ($0.031 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en leche que el reporte de $0.0086 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de Grijalva Haro, et al., (2001) en su estudio realizado en el noroeste de México. El selenio (Se), se detectó únicamente en pollo cuyo contenido osciló entre 0.158 a $0.281 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. La mayoría de los alimentos no excedieron el límite de detección del método.

En la actualidad, aproximadamente dos mil millones de personas padecen carencia de uno o más micronutrientes. A escala mundial, las tres carencias de micronutrientes más preocupantes desde el punto de vista de la salud pública son la vitamina A, hierro y yodos. Las formas más extendidas y graves de malnutrición por carencia de minerales esenciales generalmente se encuentran en los países en desarrollo (Michael, 2002).

La tortilla es un alimento representativo de la gastronomía mexicana y debido a su importancia en la alimentación es considerado en la ENA del 2019 (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), 2019). El maíz, base para la elaboración de la tortilla, es el tercer cultivo sembrado a nivel mundial (Jiménez-Juárez et al., 2012). El contenido reportado de Cr en la tortilla de maíz es de $0.337 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Grijalva Haro et al., 2001). En los resultados del presente estudio, el valor es $0.005 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, que se considera bajo. En el estudio de Salinas Moreno et al., (2017), se analizaron tortillas de tres razas de maíz, determinando como parte de sus resultados el contenido de Ca, Fe y Zn. El valor obtenido para Zn difirió entre razas con valores entre 1.6 a 2.4 mg por cada 100 g de base seca. Martínez Cruz et al. (2018), determinaron el contenido de Zn en el maíz de 50 accesiones cubanas, obteniendo valores en el rango de 2.18 a $2.40 \text{ mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ con un valor medio de $2.36 \text{ mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$, e indicaron que la concentración de micronutrientes en el suelo determinó el valor de estos elementos en el grano de maíz. En los

The results indicate a deficit in the nutritional character of the foods analyzed. The concentration of micronutrients in foods is related to the content of these elements in the soil. One reason for the low micronutrient content relates to the progressive depletion of the local supply of nutrients with each harvest. Other studies enunciate home orchards, aquaculture, livestock, and poultry as practices that enhance diversity in nutrient-rich crops and products, leading to a more varied diet and better nutrition (Pandey et al., 2016). The results presented are significant in terms of the genuine nutritional contribution of the foods analyzed in the diet of Mexicans. They allow elucidation of poor nutritional quality and the need to determine the contents of micronutrients in crop soils and techniques to improve their productivity and yield.

Conclusions

Foods purchased in Mexico City markets present deficiencies in some micronutrients: such as copper (Cu), which was not detected in any of the foods evaluated; in the case of zinc (Zn), low concentrations were found in eggs with $1\,272\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, in tortillas with $1\,485\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ and rice with $1\,135\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; concerning cobalt (Co), foods with high amounts of this element were found in eggs with $0.01\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, milk with $0.031\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ and chicken with $0.006\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; the chicken was the only food with a concentration of selenium (Se) of approximately $0.22\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Regarding the tortilla, whose origin was from three different types of corn, approximately $2\text{ mg}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ of zinc (Zn) was obtained, which is less than the one reported in the study of Cuban corn, suggesting a deficiency of this nutrient in the soils where it is grown.

The results of this study show that the lack of nutrients, in this case, micronutrients, is a reality in the daily diet of Mexicans, leading to "hidden hunger," which is potentially risky for health and human development.

Acknowledgments

To the Instituto Politécnico Nacional, a product derived from research project SIP 20200811.

End of English version

References / Referencias

Adhikari, J., Timsina, J., Khadka, S. R., Ghale, Y., y Ojha, H. (2021). COVID-19 impacts on agricultura and food systems in Nepal: Implications for SDGs, *Agricultural*

resultados presentados, la concentración de Zn para la tortilla analizada es de $1.485\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ siendo un valor bajo en comparación a los mencionados, infiriendo una posible deficiencia de nutrientes en el suelo en el que el maíz base de elaboración de la tortilla fue cultivado y cosechado. Actualmente, a las harinas se les adiciona 20 mg de zinc para enriquecer nutricionalmente el producto a elaborar industrialmente. Sin embargo, esto no se considera en tortillas de nixtamal o elaboradas a mano (Figueroa Cárdenas et al., 2001).

El arroz y el maíz son cultivos con gran importancia social y económica. La adición de micronutrientes por técnicas agronómicas como la fertilización foliar y edáfica ha demostrado una mejora en la calidad nutricional del grano de arroz y el rendimiento de este cultivo (Cedeño et al., 2018). El valor obtenido de $1.135\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en el presente estudio, está muy por debajo de lo encontrado en la literatura. Un ejemplo de valores menores de Zn en arroz es el estudio de Trijatmiko et al. (2016) que reportan $16\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ en arroz, mientras que los resultados de Denis Alpizar y Díaz Rizo, (2009) oscilan entre 40 a $50\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en peso seco y 15 a $40\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ peso fresco en partes comestibles del cultivo de arroz, atribuyen que la concentración en este alimento ha incrementado por los esfuerzos de la FAO (FAO, 2019); en años anteriores al 2002, la concentración podía ser la mitad de los valores actuales.

Los alimentos considerados ricos en Cu contienen entre 0.3 mg a $2\text{ mg}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ de alimento (García-Casal et al., 2013). Los alimentos analizados no son ricos en este micronutriente al no haber ningún valor dentro de este rango o superior. Las concentraciones de Cu son bajas en comparación a los reportados por Ferreira et al. (2005), para huevos, leche y pollo.

Los resultados indican un déficit en el carácter nutricional de los alimentos analizados. La concentración de los micronutrientes en alimentos se relaciona con el contenido de estos elementos en el suelo. Una razón para el bajo contenido de micronutrientes se refiere al agotamiento progresivo del suministro local de los nutrientes con cada cosecha. Otros estudios, enuncian los huertos familiares, acuicultura, ganado y aves de corral como prácticas que mejoran la diversidad en productos y cultivos ricos en nutrientes que conllevan a una dieta más variada y mejor nutrición (Pandey et al., 2016). Los resultados presentados son de importancia en cuanto al aporte nutricional real de los alimentos analizados en la dieta de los mexicanos. Permiten dilucidar una calidad nutricional deficiente y la necesidad de determinar los contenidos de micronutrientes en los suelos de cultivo y técnicas para mejorar la productividad y rendimiento de estos.

- Systems*, 186 (November, 2020), 102990. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102990>
- Alvi, M., Barooah, P., Gupta, S., y Saini, S. (2021). Women's Access to agricultura extensión amidst COVID-19: Insights from Gujarat, India and Dang, Nepal. *Agricultural Systems*, 188(September, 2020), 103035. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.103035>
- Balwinder-Singh, Shirsath, P. B., Jat, M. L., McDonald, A. J., Srivastava, A. K., Craufurd, P., Rana, D. S., Singh, A. K., Chaudhari, S. K., Sharma, P. C., Singh, R., Jat, H. S., Sidhu, H. S., Gerard, B., y Braun, H. (2020). Agriuctural labor, COVID-19, and potential implications for food security and air quality in the breadbasket of India. *Agricultural Systems*. 185(September), 102954. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102954>
- Burbano-Orjuela, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria *Revista de Ciencias Agrícolas* 33(2). <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.58>
- Cakmak, I. (2010). Biofortification of cereals with zinc and iron through fertilization strategy. *Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science: Soil Solutions for a Changing World, Brisbane, Australia, 1-6 August 2010. Congress Symposium 5: Micronutrientes in Soils and Plants in Relation to Crop and Human Health*, 2(3), 4-6. <http://www.issues.org/19thWCSS/Symposium/pdf/1165.pdf>
- Cedeño, J., Cedeño, G., Alcivar, J., Crgua, J., Cedeño, G., y Constante, G. (2018). Increase of yield and nutritional quality of rice with NPK fertilization complemented with micronutrients. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 503-509. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.05>
- Ciudad Reynaud, A. (2014). Requerimiento de micronutrientes y oligoelementos. *Revista Peruana de Ginecología y Obstetricia*, 60(2), 161-170. <https://doi.org/10.31403/rpgo.v60i131>
- Codillo Gutiérrez, J. G., Gómez, L. I. A., y Esquivel, C. E. G. (2008). Agroecología y sustentabilidad. *Convergencia*, 15(46), 51-87.
- de Romaña, D. L., Carlos Castillo, D., y Diazgranados, D. (2010). El zinc en la salud humana – II. *Revista Chilena de Nutrición*, 37(2), 240-247. <https://doi.org/10.4067/s0717-75182010000200014>
- Denis Alpizar, O., y Díaz Rizo, O. (2009). Determinación de contenido de zinc en arroz y otros agroproductos por fluorescencia de rayos X. *Ciencias Nucleares*, 46, 34-39. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-084X2009000200006&lng=es&tlng=es
- Ferreira, K. S., Gomes, J. C., y Chaves, J. B. P. (2005). Copper content f commonly consumed food in Brazil. *Food Chemistry*, 92(1), 29-32. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.07.004>
- Figueroa Cárdenas, J. de D., Acero Godínez, M. G., Vasco Méndez, N. L., Lozano Guzmán, A., Flores Acosta, L. M., y González-Hernández, J. (2001). Fortificación y evaluación

Conclusiones

Los alimentos adquiridos en mercados de la Ciudad de México presentan deficiencia en algunos micronutrientes, como el caso del Cobre (Cu) el cual no se detectó en ninguno de los alimentos evaluados; para el caso del zinc (Zn) se encontraron bajas concentraciones en el huevo con 1 272 mg·kg⁻¹; en la tortilla 1 485 mg·kg⁻¹ y en el arroz con 1 135 mg·kg⁻¹; respecto al cobalto (Co) se encontraron alimentos con cantidades ricas en este elemento como el huevo con 0.01mg·kg⁻¹, la leche con 0.031 mg·kg⁻¹ y el pollo 0.006 mg·kg⁻¹; el pollo fue el único que presentó concentración de selenio (Se) con aproximadamente 0.22 mg·kg⁻¹.

En términos de la tortilla, cuyo origen fue de tres tipos distintos de maíz, se obtuvo aproximadamente de 2 mg·100 g⁻¹ de zinc (Zn) es menor al estudio de maíz cubano, lo cual podría significar una deficiencia de este nutriente por la falta de estos en los suelos donde es cultivado.

Los resultados en este estudio permiten observar que la falta de nutrientes y en este caso micronutrientes, es una realidad en los alimentos de la dieta cotidiana de los mexicanos, derivando en el “hambre oculta”, la cual potencialmente es riesgoso para la salud y el desarrollo humano.

Agradecimientos

Al Instituto Politécnico Nacional, producto derivado del proyecto de investigación SIP 20200811.

Fin de la versión en español

- de tortllas de nixtamal. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 5(13), 293-302. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222001000300013&lng=es&tlng=es
- FitzPatrick, E. A. (2011). *Introducción a la ciencia de los suelos* (pp. 288). México. Trillas.
- García-Casal, M. N., Landaeta, M., De Baptista, G. A., Murillo, C., Rincón, M., Rached, L. B., Bilbao, A., Anderson, H., García, D., Franquiz, J., Puche, R., García O., Quintero, Y., & Peña-Rosas, J. P. (2013). Valores de referencia de hierro, yodo, zinc, selenio, cobre, molibdeno, vitamina C, vitamina E, vitamina K, carotenoides y polifenoles para la población venezolana. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 63(4), 338-361. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722008000200006&lng=es&tlng=es
- Gómez Oliver, L. (2008). La crisis alimentaria mundial y su incidencia en México. *Agricultura, Sociedad y*

- Desarrollo, 5(2), 115-141. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722008000200006&lng=es&tlng=es
- Grijalva Haro, María Isabel Ballesteros Vázquez, M. N., y Cabrera Pacheco, R. M. (2001). Contenido de cromo en alimentos y estimación de su ingestión dietaria en el noroeste de México. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 51(1), 105-110. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222001000100013&lng=es&tlng=es
- Gutiérrez Castorena, E. V., Gutiérrez Castorena, M. del C., y Ortiz Solorio, C. A. (2015). Manejo integrado de nutrientes en sistemas agrícolas intensivos: revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(1), 201-215.
- Hokin, B., Adams, M., Ashton, J., y Louie, H. (2004). Analysis of the cobalt content in Australian foods. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 13(3). <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15331341/>
- Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán. (2015). *Tablas de composición de alimentos y productos alimenticios*. https://www.incmnsz.mx/2019/TABLAS_ALLIMENTOS.pdf
- Jiménez-Juárez, J. A., Arámbula-Villa, G., Cruz-Lázaro, E. de la, y Aparicio-Trapala, M. A. (2012). Características del grano, masa y tortilla producida con diferentes genotipos de maíz del trópico mexicano. *Universidad y Ciencia*, 28(2), 145-152. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792012000200004&lng=es&tlng=es
- Martínez Cruz, M., Ortiz Pérez, R., y Raigón, M. D. (2018). Contenido de Fósforo, Potasio, Zinc, Hierro, Sodio Calcio y Magnesio, Análisis de su variabilidad en accesiones Cubanas de Maíz. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 92-101. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362017000100012&lng=es&tlng=es
- Michael C., L., (2002). Capítulo 39. Prevención de carencias específicas de micronutrientes. In *NUTRICIÓN HUMANA EN EL MUNDO EN DESARROLLO*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) <https://www.fao.org/3/w0073s17.htm>
- Nissar, R., Zahida, R., Kanth, R. H., Manzoor, G., Shafeeq, R., Ashaq, H., Waseem, R., A. Bhat, R., & Tahir, S. (2019). Agronomic biofortification of maior cereals with zinc and iron- A review. *Agricultural Reviews*, 40(1). <https://doi.org/10.18805/ag.R-1860>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2019). *El sistema alimentario en México. Oportunidades para el campo mexicano en la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible*. <https://www.fao.org/3/CA2910ES/ca2910es.pdf>
- Pandey, V. L., Mahendra Dev, S., y Jayachandran, U. (2016). Impacto of agricultural interventions on the nutritional status in South Asia: A review. *Food Policy*, 62, 2840. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2016.05.002>
- Salinas Moreno, Y., Hernández Martínez, V., Trejo Téllez, L. I., Ramírez Díaz, J. L., e Iñiquez Gómez, O. (2017). Composición nutricional y de compuestos bioactivos en tortillas de poblaciones nativas de maíz con grano azul/morado. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(7), 1483-1496. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i7.525>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2019). *Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA)*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ena/2019/doc/rrdp_ena2019.pdf
- Secretaría de Desarrollo Económico (SEDECO). (2020). *Secretaría de Desarrollo Económico*. Mercados Públicos de la Ciudad de México. <https://www.sedeco.cdms.gob.mx/servicios/servicio/conoce-los-329-mercados-publicos-de-la-ciudad-de-mexico>
- Secretaría de Economía (2001). Norma Mexicana NMX-AA-051-SCFI-2001. Análisis de agua-Determinación de metales por absorción atómica. In *Diario Oficial de la Federación*. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166785/NMX-AA-051-SCFI-2001.pdf>
- Silva, S., y Correa, F. (2009). Análisis de la contaminación del suelo: Revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. *Semestre Económico*. 12(23), 13-34. <http://www.scielo.org.co/pdf/seec/v12n23/v12n23a2>
- Silva Trejos, P. (2012). Cobre en alimentos de consumo básico por espectroscopía de absorción atómica modalidad de llama, Costa Rica. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 21(2), 92-95. <http://www.scielo.sa.cr/pdf/resp/v21n2/art09v21n2.pdf>
- Sosa Baldivia, A., y Ruiz Ibarra, G. (2017). La disponibilidad de alimentos en México: Un análisis de la producción agrícola de 35 años y su proyección para 2050. *Papeles de Población*, 23(93), 207-230. <https://doi.org/10.22185/24487147.2017.93.027>
- Teklewold, H., Gebrehiwot, T., y Bezabih, M. (2019). Climate Smart agricultural practices and gender differentiated nutrition outcome: An empirical evidence from Ethiopia. *World Development*, 122, 38-53. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.05.010>
- Trijatmiko, K. R., Duenãs, C., Tsakirpaloglou, N., Torrizo, L., Arines, F. M., Adeva, C., Balindong, J., Oliva, N., Sapasap, M. V., Borrero, J., Rey, J., Francisco, P., Nelson, A., Nakanishi, H., Lombi, E., Tako, E., Glahn, R. P., Stangoulis, J., Chadha-Mohanty, P., Slamet-Loedin, I. H. (2016). Biofortified indica rice attains iron and zinc nutrition dietary targets in the field. *Scientific Reports*, 6(September, 2015), 1-13. <https://doi.org/10.1038/srep19792>
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (1992). *METHOD 3010a. Acid Digestion of Aqueous Samples and Extracts for Total Metals for Analysis by FLAA or ICP Spectroscopy* (Issue July, pp. 1-5). <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/3010a.pdf>

- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2007). METOD 7000B-FLAME ATOMIC ABSORPTION SPECTROPHOTOMETRY SW-846. In *Revisión 2* (Vol. 3, Issue September, pp.1-8). <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/7000b.pdf>
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2014). Chpter Three – Inorganic Analytes. In *US EPA – United States Environmental Protection Agency* (Issue July, pp. 1-29). https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-06/documents/chapter_three_update_vi_12-11-2018.pdf
- Uribe-Valle, B., y Petit-Aldana, J. (2007). Contribución de los barbechos cortos en la recuperación de la fertilidad del suelo en milpas del estado de Yucatán, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 13(2). 137-142. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=629/62913207>
- Urquía-Fernández, N. (2014). La seguridad alimentaria en México. *Salud Pública de México*. 56 (1). <https://soi.org/10.21149/spm.v56s1.5171>
- Vargas, R., Fonseca, C., Hareau, B., Ordinola, M., Pradel, W., Robiglio, V., y Suarez, V. (2021). Health crisis and quarantine measures in Peru: Effects on livelihoods of cofee and potato farmers. *Agricultural Systems*, 187, 103033. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.103033>
- Welch, R. M. (2005). Biotechnology, biofortification, and global health. *Food and Nutrition Buletin*, 26(4), 304-306. <https://doi.org/10.1177/15648265050264S309>