



*Original Article/Artículo Original*

Comparative study of the content of macrominerals, trace elements and heavy metals in fruits of *Carica papaya* L. by ICP-OES in the State of Colima, Mexico.

Estudio comparativo del contenido de macrominerales, elementos traza y metales pesados en frutos de *Carica papaya* L. por ICP-OES en el Estado de Colima, México.

Sarabia, O.¹ , Cárdenas-Coronel, W. G. , Acuña-Jiménez, M.³ .¹Centro de Estudios Tecnológicos Industrial y de Servicios No. 84.

Concha Nácar 148, C.P. 28869, Salahua, Colima, México.

²Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Ciencias Químico-Biológicas, Calzada De las Américas Norte 2771, C.P. 80013, Culiacán, Sinaloa, México.³Universidad Politécnica del Valle del Évora. Carretera 500 S/N, C.P. 81670, Leopoldo Sánchez Celis, Sinaloa, México.

Cite this paper/Como citar este artículo: Sarabia, O., Cárdenas-Coronel, W.G., Acuña-Jiménez, M. (2020). Comparative study of the content of macrominerals, trace elements and heavy metals in fruits of *Carica papaya* L. by ICP-OES in the state of Colima, Mexico. *Revista Bio Ciencias* 7, e590. doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.07.e590>



ABSTRACT

The present study aims to evaluate the content of macrominerals, trace elements and heavy metals in *Carica papaya* L. fruits. Sixty fruits were collected from local markets in all the municipalities of the state of Colima, six fruits per municipality. Papaya samples were digested by microwave assisted method, then analyzed by Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) to determine the content of Ca, K, Mg, Na, P, Fe, Ni, Cu, Zn, Mn, Be, Li, Al, Ba, Cd, Co, Cr, Pb, Sb, Se, Sn, Tl, and V.

Macromineral content was detected in a range from 157 to 2,741 mg kg⁻¹ of fresh fruit according the following trend K>Na>Ca>Mg>P; trace element content presented the following order of decreasing concentration Fe>Cu>Li>Ni>Zn>Ba>Mn>Be. Not detected elements were

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: October 22th 2018.Accepted/Aceptado: September 9th 2019.Available on line/Publicado: October 11st 2019.

RESUMEN

En este trabajo se determinó el contenido de macrominerales, elementos traza y metales pesados en frutos de *Carica papaya* L. Se seleccionaron 60 frutos de mercados locales de todos los municipios del Estado de Colima, seis frutos por municipio. Las muestras fueron digeridas por microondas y posteriormente analizadas por espectrometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente para determinar el contenido de Ca, K, Mg, Na, P, Fe, Ni, Cu, Zn, Mn, Be, Li, Al, Ba, Cd, Co, Cr, Pb, Sb, Se, Sn, Tl y V.

Los macrominerales fueron detectados en un rango de 157 a 2,741 mg kg⁻¹ de fruta fresca con una tendencia K>Na>Ca>Mg>P; el contenido de los elementos traza presentó el siguiente orden de concentración descendente Fe>Cu>Li>Ni>Zn>Ba>Mn>Be. Los elementos no detectados fueron Al, Co, Sb, Se, Sn, Tl y V. Los elementos detectados en baja concentración fueron Cd, Pb y Cr con un contenido promedio de 1.5 ± 0.30, 0.35 ± 0.15 y 0.16 ± 0.15 mg kg⁻¹ de fruta fresca respectivamente.

*Corresponding Author:

Orlando Sarabia. Centro de Estudios Tecnológicos Industrial y de Servicios No. 84. Concha Nácar 148, Salahua, Colima, México. C.P. 28869, Phone: +52 (312) 943 9250, E-mail: rsarabia@ucol.mx

Al, Co, Sb, Se, Sn, Tl, and V. Elements detected in low concentration were Cr, Pb and Cd, with mean values of 1.5 ± 0.30 , 0.35 ± 0.15 and 0.16 ± 0.15 mg kg⁻¹ of fresh fruit, respectively.

Health risk assessment was performed due to the content of Cr, Pb and Cd detected in fruit samples. The calculated values of Dietary Intake of Metals (DIM) and Health Risk Index (HRI) were <1, and based on safety limits established by the World Health Organization (WHO), there are no health risk for papaya fruits commercialized in the State of Colima.

KEY WORDS

Carica papaya L., Macrominerals, Trace elements, Heavy metals and ICP-OES.

Introduction

Papaya (*Carica papaya* L.) fruit is the third most consumed tropical fruit worldwide and represents 15.36 % of the worldwide production of tropical fruits, being Mexico the sixth producer of this fruit at a global level (Evans & Ballen, 2012). *Carica papaya* L. is one of the most important fruit and vegetable products of the state of Colima. Around 128,000 tons of papaya are estimated to be produced per year in this state (SAGARPA, 2017), with an economic apportionment close to 844 million pesos in 2016, most of the state production is destined to exportation (United States of America and Canada) and the rest is for local consumption (SIAP, 2016).

Regulation and norms regarding chemical and microbiological food safety are an important part for the commercialization and the development of supplies-producing activities; there are strict surveillance instruments and attached to take care of the health of human beings from the national to the international scope.

Foods are generally source of minerals, which play an important role in four types of functions in animals, such as structural, physiological, catalytic and regulatory functions (Suttle, 2010). On the other hand, elements called heavy metals, depending on their concentrations, are harmful to the environment and to human health, Pb, Cd, Se, Hg, Al, As, Ba, Be, Ni, Cr, Sn and V are this type of elements (Salma *et al.*, 2015).

Debido a la presencia de Cd, Pb y Cr en las muestras analizadas, se realizó una evaluación de riesgos a la salud. Los valores calculados de la Ingesta Diaria de Metales y del Índice de Riesgo a la Salud resultaron <1, con base en los límites que establece la Organización Mundial de la Salud, no existe riesgo a la salud por frutos de papaya comercializados en el Estado de Colima.

PALABRAS CLAVE

Carica papaya L., Macrominerales, Elementos traza, Metales Pesados e ICP-OES.

Introducción

La papaya (*Carica papaya* L.) es la tercer fruta tropical más consumida en el mundo y representa el 15.36 % de la producción de frutas tropicales a nivel mundial, siendo México el sexto productor a nivel global de este fruto (Evans & Ballen, 2012). La *Carica papaya* L. es uno de los productos hortofrutícolas más importantes del Estado de Colima. Se estima que se producen cerca de 128,000 toneladas de papaya al año en el Estado (SAGARPA, 2017), cuya derrama económica fue cercana a los 844 millones de pesos en el 2016, la mayor parte de la producción estatal se destina a la exportación (Estados Unidos y Canadá) y el resto es para consumo local (SIAP, 2016).

Las regulaciones y normatividades respecto a la inocuidad química y microbiológica de los alimentos son una parte importante para la comercialización y desarrollo de las actividades productoras de insumos; desde el ámbito nacional hasta el ámbito internacional, se cuenta con instrumentos de vigilancia estrictos y apegados a cuidar la salud del ser humano.

En general, los alimentos son fuente de minerales los cuales desempeñan un papel importante en cuatro tipos de funciones en los animales, como estructurales, fisiológicas, catalíticas y regulatorias (Suttle, 2010). Por otro lado, existen elementos denominados metales pesados que, dependiendo de sus concentraciones, son nocivos para el ambiente y la salud del ser humano, como son Pb, Cd, Se, Hg, Al, As, Ba, Be, Ni, Cr, Sn y V (Salma *et al.*, 2015).

En los productos hortofrutícolas estos metales se pueden bioacumular durante su desarrollo fenológico al transferirse a partir del suelo, agua de riego y subterránea, entre otros

In fruit and vegetable products, these metals can bioaccumulate during the phenological development by transferring from the soil, irrigation and subterranean water, among others (Ogbonna *et al.*, 2013; Kamal *et al.*, 2016; Yami *et al.*, 2016). Heavy metals represent a risk for human health since they can be toxic at low concentrations (Yerlikaya *et al.*, 2015).

Maximum limits allowed of heavy metals in food are established in the codex general standard for contaminants and toxins in food and feed (CODEX STAN 193-1995) of the Food and Agriculture Organization of the United Nations and the World Health Organization (FAO/WHO, 2007).

Food global demand makes that each time more lands are used for cultivations without considering nearby activities, such as metallurgical industries, chemical or nuclear plants and sanitary landfill, which can be sources of contamination by distinct heavy metals (Zhuang *et al.*, 2009; Salazar *et al.*, 2012; Ogunmodede *et al.*, 2016). Different studies have been conducted to determine metal content in fruits, such as apple, banana, avocado, cherry, cranberry, grape, lemon, mango, melon, papaya, among others (Ang & Ng, 2000; Fafar & Masud, 2003; Sobukola *et al.*, 2010; Li, *et al.*, 2012; Grembecka & Szefer, 2013; Islam *et al.*, 2015).

In the analysis of complex samples, such as vegetal tissues, food and soils, different analytical techniques have been used for determining macrominerals, trace elements and heavy metals; for example, in the preparation of this type of samples, a previous digestion has to be performed to eliminate organic components and to solubilize target elements for analysis, methods that are generally used are moisture or dry content calcination (Subramanian, 1996; Akinyele & Shokunbi, 2014), digestion with acid mixture (Mohammed *et al.*, 2017) and acid digestion by microwave assisted method (Rashid *et al.*, 2016).

Once the sample was prepared, the determination can be performed by Attenuated Total Reflection-Fourier Transform Infra-Red Spectroscopy (ATR-FTIR) (Fadare *et al.*, 2015), Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) (Ali & Al-Qahtani, 2012), Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometry (GFAAS) (Bakkali *et al.*, 2009), Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrophotometry (ICP-OES) (Adamu *et al.*, 2016; Tóth *et al.*, 2016), Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) (Hwang *et al.*, 2016).

(Ogbonna *et al.*, 2013; Kamal *et al.*, 2016; Yami *et al.*, 2016). Los metales pesados representan un riesgo para la salud humana ya que pueden ser tóxicos desde bajas concentraciones (Yerlikaya *et al.*, 2015).

Los límites máximos permisibles de metales pesados en alimentos están establecidos en el CODEX Alimentarius en la Norma General para los Contaminantes y las Toxinas Presentes en los Alimentos y Piensos (CODEX STAN 193-1995) de la Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y de la Organización Mundial de la Salud (FAO/WHO, 2007).

La demanda global de alimentos hace que cada vez se disponga de más tierras para el cultivo sin considerar las actividades cercanas como industrias metalúrgicas, plantas químicas, plantas nucleares y rellenos sanitarios, y que pueden ser fuente de contaminación de distintos metales pesados (Zhuang *et al.*, 2009; Salazar *et al.*, 2012; Ogunmodede *et al.*, 2016). Se han realizado trabajos para determinar el contenido de metales en diferentes frutas como lo son: manzana, plátano, aguacate, cereza, arándano, uva, limón, mango, melón, papaya, entre otros (Ang & Ng, 2000; Fafar & Masud, 2003; Sobukola *et al.*, 2010; Li, *et al.*, 2012; Grembecka & Szefer, 2013; Islam *et al.*, 2015).

En el análisis de muestras complejas como lo son los tejidos vegetales, alimentos y suelos, han sido utilizadas diferentes técnicas analíticas para la determinación de macrominerales, elementos traza y metales pesados; por ejemplo, en la preparación de muestras de este tipo, debe realizarse una digestión previa para eliminar los componentes orgánicos y solubilizar los elementos sujetos de análisis, los métodos generalmente utilizados son calcinación base húmeda o en seco (Subramanian, 1996; Akinyele & Shokunbi, 2015), digestión con mezcla de ácidos (Mohammed *et al.*, 2017) y digestión ácida asistida por microondas (Rashid *et al.*, 2016).

Una vez preparada la muestra, la determinación puede llevarse a acabo por espectroscopía infrarroja de transformada de Fourier de reflectancia total atenuada (ATR-FTIR) (Fadare *et al.*, 2015), espectrometría de absorción atómica (AAS) (Ali & Al-Qahtani, 2012), espectrometría de absorción atómica en horno de grafito (GFAAS) (Bakkali *et al.*, 2009), espectrometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) (Adamu *et al.*, 2016; Tóth *et al.*, 2016), espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) (Hwang *et al.*, 2016).

Due to the importance of these metals in human health, the present study aims to determine the content of macrominerals, trace elements and heavy metals in *Carica papaya* L. fruits, commercialized in local markets in the State of Colima, using ICP-OES and to evaluate Health Risk Index in consumers.

Debido a la importancia de estos metales en la salud, el presente estudio tiene como objetivo determinar el contenido de macrominerales, elementos traza y metales pesados en frutos de *Carica papaya* L. comercializados en los mercados locales del Estado de Colima utilizando ICP-OES y evaluar el índice riesgo a la salud de los consumidores.

Material and Methods

Studying and sampling area.

The State of Colima is located in western Mexico and delimits at the north and east with the State of Jalisco, at the southeast with the State of Michoacán and at the south and west with the Pacific Ocean. It is divided into ten municipalities (Figure 1) and has a population of around 711,235 inhabitants and one of the main agricultural products of exportation and local consumption is papaya.

Material y Métodos

Área de estudio y muestreo.

El Estado de Colima se encuentra ubicado en el occidente de México y limita al Norte y al Este con el Estado de Jalisco, al sureste con el Estado de Michoacán y al Sur y Oeste con el Océano Pacífico. Está dividido en diez municipios (Figura 1) y tiene una población de aproximadamente 711,235 habitantes y uno de los principales productos agrícolas de exportación y consumo local es la papaya.

Los frutos frescos fueron comprados en mercados de las 10 cabeceras municipales del Estado (dos mercados por

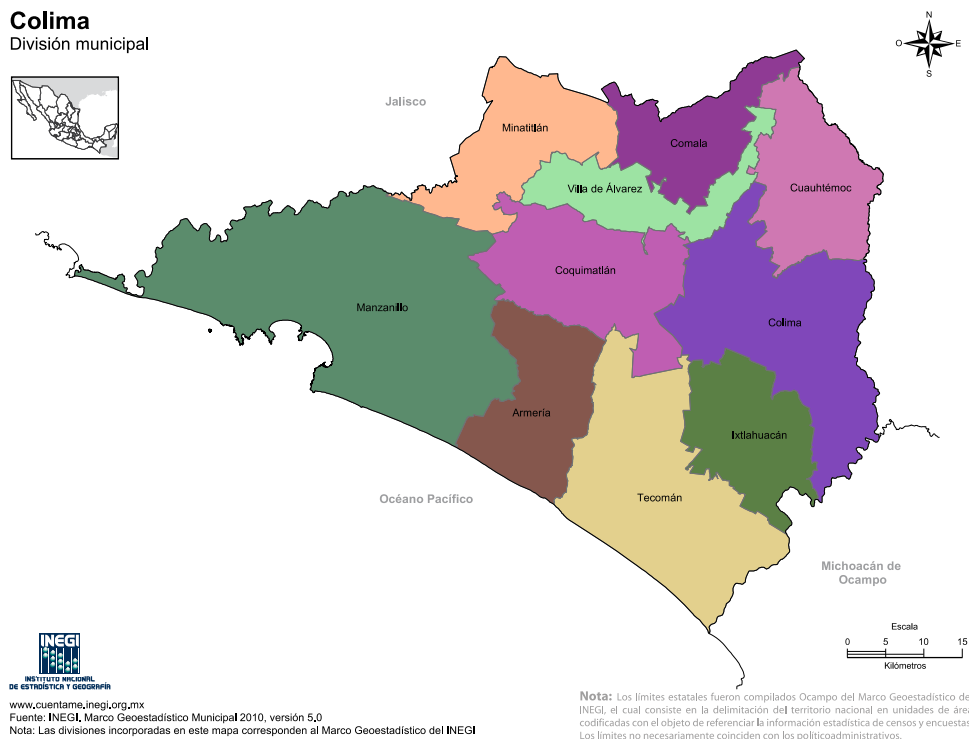


Figure 1. Municipalities in Colima State, Mexico.

Figura. 1. Municipios en el Estado de Colima, México.

Fresh fruits were bought in markets of the ten head-municipalities of the State (two markets per municipality), six fruits per municipality were acquired in their maturation stage number 5 (Santamaría-Basulto *et al.*, 2009) and immediately labelled and refrigerated at 15 °C for their analysis.

Reference reagents and materials.

Deionized water was used with a resistivity of 18.2 MΩcm to wash and prepare samples. Reagents were used as they were received from the manufacturer. Nitric acid 70 % (Sigma-Aldrich), hydrogen peroxide 30 % for trace analysis (Sigma-Aldrich). Reference standards were acquired from Accustandard, Inc. brand (United States of America) and count on NIST traceability certificate. All plastic and glass materials were washed with phosphate-free detergent and 10 % nitric acid solution 24 h before being used.

Moisture determination.

Moisture determination was performed according to established AOAC International procedure, in which fresh samples were washed with distilled water to eliminate dust particles, then with a 0.1 M nitric acid solution, rinsed with deionized water and dried exteriorly with paper. The skin was removed posteriorly, fruits were cut into pieces of 4 cm³ and 150 g of each fruit were pooled to make a compound sample, which was placed on polypropylene trays in an oven with forced air circulation MMM brand Venticell 222 model (United States of America) at 70 °C±5 °C from 48 to 72 h and moisture content was determined at constant weight. Once the sample dried, it was placed in a Bel Art mill Micro model (United States of America) until reducing particle size with a 2 mm sieve. Dried, ground and homogenous sample portions were placed in hermetic polypropylene bags and were stored at 4 °C for their posterior analysis (AOAC, 2005).

Elemental analysis by ICP-OES

Sample digestion.

Digestion process by microwave assisted method is based on EPA-3052 method of the Environmental Protection Agency (US-EPA) and is applicable to extraction/dissolution of available metals in fruit and vegetal tissues samples.

In this method, 0.3±0.05 g of dry samples were weighted with 2 mm particle size in triplicate in an analytic weighting scale Sartorius brand Secura 224-

municipio), seis frutos por municipio fueron adquiridos en etapa de maduración 5 (Santamaría-Basulto *et al.*, 2009) e inmediatamente etiquetados y refrigerados a 15 °C para su análisis.

Reactivos y materiales de referencia.

Se utilizó agua desionizada con una resistividad de 18.2 MW.cm para lavado y preparación de muestras. Los reactivos fueron utilizados como se recibieron del proveedor. Ácido nítrico 70 % (Sigma-Aldrich), peróxido de hidrógeno 30 % para análisis de trazas (Sigma-Aldrich). Los estándares de referencia utilizados fueron adquiridos de la marca Accustandard, Inc. (Estados Unidos) y cuentan con certificado de trazabilidad NIST. Todos los materiales plásticos y de vidrio fueron lavados con detergente libre de fosfatos y solución al 10 % de ácido nítrico 24 h previo a su uso.

Determinación de humedad.

La determinación de humedad se llevó a cabo siguiendo el procedimiento establecido en la AOAC Internacional, en el cual, las muestras frescas se lavaron con agua destilada para eliminar partículas de polvo, después con una solución de ácido nítrico 0.1 M y se enjuagaron con agua desionizada, se secaron exteriormente con papel y se retiró posteriormente la cáscara, se partieron los frutos en trozos de aproximadamente 4 cm³, se tomaron 150 g de cada fruto para conformar una muestra compuesta y se colocaron en charolas de polipropileno en una estufa con aire forzado marca MMM modelo Venticell 222 (Estados Unidos) a 70 °C±5 °C de 48 a 72 h y se determinó el contenido de humedad a peso constante. Una vez seca la muestra, se colocó en un molino Bel Art modelo Micro (Estados Unidos) hasta reducir el tamaño de partícula con un tamiz de 2 mm. Se colocaron las porciones de muestras, secas, molidas y homogéneas, en bolsas herméticas de polipropileno y se almacenaron a 4 °C para su posterior análisis (AOAC, 2005).

Análisis elemental por ICP-OES

Digestión de muestras.

El procedimiento de digestión asistida por microondas está basado en el método EPA-3052 de la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency, US-EPA por sus siglas en inglés) y es aplicable a la extracción/disolución de metales disponibles en muestras de frutos y tejidos vegetales.

Se pesaron 0.3±0.05 g de muestra seca con tamaño de partícula de 2 mm por triplicado en una balanza analítica marca

Table 1.
List of elements (wavelengths^a in nm) (Jones, 1987).

Tabla 1.
Listado de elementos (longitud de onda en nm) (Jones, 1987).

Aluminum (308.215)	Beryllium (313.042)	Copper (324.754)	Mercury (194.227 x2)	Silver (328.068)
Antimony (206.833)	Cadmium (226.502)	Iron (259.94)	Molybdenum (202.03)	Sodium (588.995)
Arsenic (193.696)	Calcium (317.933)	Lead (220.353)	Nickel (231.604 x2)	Thalium (190.864)
Boron (249.678 x2)	Chromium (267.716)	Magnesium (279.079)	Potassium (766.491)	Vanadium (292.402)
Barium (455.403)	Cobalt (228.616)	Manganese (257.61)	Selenium (196.026)	Zinc (213.856 x2)

^aThe wavelengths listed (where x2 indicates second order) are recommended because of their sensitivity.

^aLas longitudes de onda listadas (donde x2 indica segundo orden) son las recomendadas debido a su sensibilidad.

1S model (Germany), 2±0.1 mL of 30 % hydrogen peroxide and 7±0.1 mL of concentrated nitric acid were added. A system of digestion by microwave Anton Paar brand Multiwave PRO model (Austria) was used with the following operating conditions: Temperature ramp from 25 °C to 180±5 °C in 10 minutes, maintaining temperature at 180±5 °C for 10 minutes more. Digested samples were filtered with ashes-free filter paper Whatman No. 42 and were diluted to 50 mL (Jones *et al.*, 1988).

Determination by ICP-OES spectrophotometry.

The elemental analysis was performed in an equipment Perkin Elmer brand 8300 DV Optima model (United States of America). Quantifications were determined in relation with calibration curves with standard solutions from Accutrace reference, AccuStandard brand, with levels of concentration of 0.1, 0.5, 1, 5 and 7 mg L⁻¹. Elements and recommended wavelengths for its analysis based on EPA-6010C (Jones, 1987) and Perkin Elmer manufacturer Manual (Boss & Fredeen, 2004) are shown in Table 1. Operating conditions of ICP-OES equipment is shown in Table 2.

Statistical analysis

All data were statistically analyzed and have been presented as means, range and standard deviation. Average values of the analyzed elements in

Sartorius modelo Secura 224-1S (Alemania), se agregaron 2±0.1 mL de peróxido de hidrógeno al 30 % y 7±0.1 mL de ácido nítrico concentrado. Se utilizó un sistema de digestión por microondas marca Anton Paar modelo Multiwave PRO (Austria) con las condiciones de operación siguientes: Rampa de temperatura de 25 a 180±5 °C en 10 minutos manteniendo la temperatura a 180±5 °C por 10 minutos más. Las muestras digeridas se filtraron con papel filtro libre de cenizas Whatman No. 42 y se aforaron a 50 mL (Jones *et al.*, 1988).

Determinación por espectrometría ICP-OES.

El análisis se llevó a cabo en un equipo marca Perkin Elmer modelo 8300 DV Optima (Estados Unidos). Las cuantificaciones fueron determinadas con relación a las curvas de calibración hechas con soluciones estándares de referencia Accutrace marca AccuStandard, con niveles de concentración de 0.1, 0.5, 1, 5 y 7 mg L⁻¹. La Tabla 1 muestra los elementos y las longitudes de onda recomendadas para su análisis basadas en el método EPA-6010C (Jones, 1987) y en el manual del fabricante Perkin Elmer (Boss & Fredeen, 2004), la Tabla 2 muestra las condiciones de operación del equipo ICP-OES.

Análisis estadístico

Todos los datos fueron estadísticamente analizados y han sido presentados en forma de promedios, rango y desviación estándar. Los valores promedio de los elementos analizados en las muestras de papaya

Table 2.
ICP-OES operating conditions.

Tabla 2.
Condiciones de operación del ICP-OES.

RF Power (kW)	1.3
Nebulizer	SeaSpray
Spray chamber	Cyclonic
Plasma Viewing ^a	Axial
Processing mode	Area
Gas flow rate (L/min). Plasma	15
Gas flow rate (L/min). Auxiliary	1.5
Gas flow rate (L/min). Nebulizer	0.94
Read delay (s)	40
Rinse (s)	30
Replicates	3

^aRadial viewing was used to determine Ca, Na, P and K due to their higher concentrations.

^aLa vista radial fue utilizada para determinar Ca, Na, P y K debido a las altas concentraciones presentes en las muestras.

papaya samples collected in the different municipalities of the state of Colima were compared using a Student t-test for independent samples. A probability of $p < 0.05$ was used as significant statistical level. Statistical analysis was performed by using SPSS software version 1.0.0.800 (IBM).

Health Risk Assessment.

Health Risk Assessment by papaya consumption with the concentration of metals obtained in this study was performed through the determination of Daily Intake of Metals (DIM) and Health Risk Index (HRI). Aforementioned values were evaluated based on the method reported by (Khan *et al.*, 2013).

Daily Intake of Metals (DIM).

Values for Daily Intake of Metals (DIM) were calculated according to the following formula:

$$\text{DIM } (\mu\text{g/kg body weight/day}) = (C_{\text{metal}})(D_{\text{food intake}})/B_{\text{average weight}} \quad (1)$$

Where $D_{\text{food intake}}$ is food intake rate (16.71 g day⁻¹ per capita) (National Agricultural Planning 2017-2030, 2017), C_{metal} is the concentration ($\mu\text{g g}^{-1}$) of the element present in papaya and $B_{\text{average weight}}$ represents the average body weight (71.75 kg) of an adult consumer in Mexico

colectadas en las diferentes municipalidades del estado de Colima fueron comparados utilizando la Prueba T para muestras independientes. Una probabilidad de $p < 0.05$ fue utilizado como nivel estadístico significativo. El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el paquete estadístico SPSS versión 1.0.0.800 (IBM).

Evaluación de riesgo a la salud.

La evaluación de riesgos a la salud por el consumo de papaya con la concentración de metales obtenida en este estudio se llevó a cabo mediante la determinación de los Valores de Ingesta Diaria de Metales (Daily Intake Metals, DIM) e Índice de Riesgo a la Salud (Health Risk Index, HRI). Los valores antes mencionados se evaluaron basándose en el procedimiento reportado por (Khan *et al.*, 2013).

Valores de Ingesta Diaria de Metales (DIM).

Los valores de ingesta diaria de metales (DIM) fueron calculados por la siguiente fórmula:

$$\text{DIM } (\mu\text{g/kg peso corporal/día}) = (C_{\text{metal}})(D_{\text{ingesta alimento}})/B_{\text{peso promedio}} \quad (1)$$

Donde $D_{\text{ingesta alimento}}$ es la tasa de ingesta de alimentos (16.71 g day⁻¹ per capita) (Planeación Agrícola Nacional 2017-2030, 2017), C_{metal} es la concentración ($\mu\text{g g}^{-1}$) del elemento presente en la papaya y $B_{\text{peso promedio}}$ representa el peso corporal promedio (71.75 kg) de un consumidor adulto en México (CANAVE, 2018). Los valores calculados fueron comparados

(CANAIVE, 2018). Calculated values were compared with recommended values by the expert committee of the Food and Agriculture Organization and the World Health Organization (FAO/WHO, 2010).

Health Risk Index (HRI).

Health Risk Index (HRI) was calculated according to the following formula:

$$HRI = DIM/RfD \quad (2)$$

Where DIM is the Daily Intake of Metals and RfD is Reference Dose, which is an estimation of the daily exposition to a contaminant to which the human population may be continually exposed throughout life without any risk of harmful effects (Akoto *et al.*, 2014) with values of Cr 0.003, Cd 0.001 and Pb 0.004 mg kg⁻¹ day⁻¹ of the Environmental Protection Agency (US-EPA, 2004; 2012). HRI<1 indicates that there is no apparent health risk for consumers.

Total Health Risk Index, which is the sum of Health Risk Index of each metallic species, considers that in presence of several heavy metals, the toxic effect is additive and may suppose a risk for human health if its value is higher than 1 (Zheng *et al.*, 2007).

$$HRI_{total} = HRI_{Cr} + HRI_{Cd} + HRI_{Pb} \quad (3)$$

Results and Discussion

Moisture determination.

The average moisture content of the analyzed samples was 88.99±0.54 %. Results of moisture content are shown in Table 3, where samples from Tecomán municipality presented the highest moisture content with a 91.88±1.12 %, while those from Villa de Álvarez municipality presented a moisture content of 85.59±1.19 %, which was the lowest of all municipalities. These values were similar to those reported in other studies (Ang & Ng, 2000; Sobukola *et al.*, 2010; Grembecka & Szefer, 2013).

Chemical characterization by ICP-OES.

Macrominerals content in the analyzed samples is presented in Table 3. The trend for average mineral content on a humid basis is 2,740.97; 405.58; 225.08; 217.15 and

con los valores recomendados por el comité experto conjunto de la Organización para la Alimentación y la Agricultura y la Organización Mundial de la Salud (FAO/WHO, 2010).

Índice de Riesgo a la Salud (HRI).

El Índice de Riesgo a la Salud (HRI) fue calculado de la siguiente manera:

$$HRI = DIM/RfD \quad (2)$$

En donde, DIM es la Ingesta Diaria de Metales y RfD es la Dosis Oral de Referencia, que es una estimación de la exposición diaria a un contaminante, al cual la población humana puede estar continuamente expuesta a lo largo de su vida sin un riesgo de efectos dañinos (Akoto *et al.*, 2014) con valores de Cr 0.003, Cd 0.001 y Pb 0.004 mg kg⁻¹ día⁻¹ de la Agencia de Protección Ambiental (US-EPA, 2004; 2012). Un HRI<1 indica que no hay un riesgo aparente a la salud de los consumidores.

El Índice Total de Riesgo a la Salud, el cual es la suma de los índices de riesgo a la salud de cada especie metálica, considera que en presencia de varios metales pesados el efecto tóxico es aditivo y puede suponer un riesgo a la salud humana si su valor es mayor que 1 (Zheng *et al.*, 2007).

$$HRI_{total} = HRI_{Cr} + HRI_{Cd} + HRI_{Pb} \quad (3)$$

Resultados y Discusión

Determinación de humedad.

El contenido de humedad promedio de las muestras analizadas fue de 88.99±0.54 %. La Tabla 3 muestra los resultados del contenido de humedad, en donde, las muestras del municipio de Tecomán presentan el mayor contenido de humedad con un 91.88±1.12 %, mientras que las del municipio de Villa de Álvarez presentaron una humedad de 85.59±1.19 %, la más baja de todos los municipios. Estos valores son similares a los reportados en otros estudios (Ang & Ng, 2000; Sobukola *et al.*, 2010; Grembecka & Szefer, 2013).

Caracterización Química por ICP-OES.

El contenido de macrominerales en las muestras analizadas se presenta en la Tabla 3. La tendencia en el contenido promedio de minerales base húmeda es 2,740.97; 405.58; 225.08; 217.15 y 156.9 mg kg⁻¹ para K>Na>Mg>Ca>P respectivamente.

Table 3.
Macrominerals (mg kg⁻¹ wet wt.) n=3 and moisture content (%) n=5.
Tabla 3.
Macrominerales (mg kg⁻¹ peso húmedo) n=3 y Contenido de Humedad (%) n=5.

Municipality	Ca	K	Mg	Na	P	% Moisture
Armería	305.80	3,389.60	285.00	403.50	172.30	88.86
Colima	259.83	3,458.06	217.49	355.21	154.84	88.71
Comala	301.21	3,340.05	224.39	643.69	184.78	88.95
Coquimatlán	373.58	2,945.22	359.68	423.54	156.38	86.97
Cauhtémoc	249.46	2,591.49	243.07	529.84	150.93	90.86
Ixtlahuacán	155.87	2,598.35	216.47	468.71	163.87	89.05
Manzanillo	131.69	1,980.78	161.54	346.17	111.30	90.59
Minatitlán	140.04	2,717.86	184.69	380.13	179.89	88.49
Tecomán	135.95	2,127.72	177.39	253.84	126.62	91.88
Villa de Álvarez	117.97	2,260.62	181.03	251.11	168.09	85.59
Mean (SD)	217.15 (91.71)	2,740.97 (533.70)	225.08 (59.67)	405.58 (120.21)	156.90 (22.98)	88.99 (0.54)

SD= Standard Deviation.
 SD= Desviación estándar.

156.9 mg kg⁻¹ for K>Na>Mg>Ca>P, respectively.

There is a significant difference in results obtained in Table 3 between two groups of municipalities, possibly due to the fact that municipalities of Colima, Comala, Coquimatlán and Cauhtémoc represent 22 % of the state production and soil and irrigation water characteristics are similar among them, in contrast, municipalities of Ixtlahuacán, Manzanillo and Tecomán, which represent 69 % of the production have similar concentrations among them (SIAP, 2016).

The comparison of average values obtained in this study with previous studies is presented in Table 4. Potassium content in all reference studies was higher than the other minerals, but lower than 4,200 mg kg⁻¹ reported by (Othman, 2009). The aforementioned showed that papaya is a rich source of this mineral with a higher content than banana (*Musa paradisiaca*) with 140 mg kg⁻¹ and (*Musa L.*) 1,580 mg kg⁻¹ (Fafar & Masud, 2003; Grembecka & Szefer, 2013).

Macroelements and some trace elements generally come from the soil, for the particular case of this study,

Existe una diferencia significativa en los resultados obtenidos de la Tabla 3, puede deberse a que los municipios de Colima, Comala, Coquimatlán y Cauhtémoc representan el 22 % de la producción estatal y las características de suelo y agua de riego son similares entre sí, en contraste los municipios de Ixtlahuacán, Manzanillo y Tecomán, que representan el 69 % de la producción, presentan concentraciones similares entre sí (SIAP, 2016).

En la Tabla 4 se comparan los valores promedio obtenidos en este estudio con trabajos anteriores, el contenido de Potasio en todos los estudios referenciados es mayor que los demás minerales, pero inferior al valor reportado por (Othman, 2009). Lo anterior muestra que la papaya es una fuente rica en este mineral con un contenido similar a la banana (*Musa paradisiaca*) con 140 mg kg⁻¹ y (*Musa L.*) 1,580 mg kg⁻¹ (Fafar & Masud 2003; Grembecka & Szefer, 2013).

En general, los macroelementos y algunos elementos traza provienen del suelo, para el caso particular de este estudio, la concentración de Na, Ca y Mg por encima de los estudios de referencia en otros países sugiere el uso de aguas de riego con una alta dureza (Pérez-Zamora, 2002).

Table 4.
Comparative values of Macrominerals in other countries (mg kg⁻¹ wet wt).

Tabla 4.
Valores comparativos de macrominerales en otros países (mg kg⁻¹ peso húmedo).

Country	Ca	K	Mg	Na	P
Mexico*(This study)	217.15	2,740.97	225.08	405.58	156.90
Brazil ^a	149.00	1,250.00	127.00	33.00	139.00
Pakistan ^b	17.70	149.00	9.57	14.70	---
Ivory Coast ^a	145.00	1,050.00	206.00	33.70	117.00

^aGrembecka & Szefer, 2013.

^bFafar & Masud, 2003.

Table 5.
Trace elements (mg kg⁻¹ wet wt) n=3.

Tabla 5.
Elementos traza (mg kg⁻¹ peso húmedo) n=3.

Municipality	Fe	Ni	Cu	Zn	Mn	Be	Li	Ba
Armería	1.67	0.56	2.64	0.93	1.00	ND	2.04	0.93
Colima	2.45	0.56	2.33	0.56	0.38	0.02	1.99	ND
Comala	3.13	0.37	1.86	0.37	0.18	ND	2.03	1.84
Coquimatlán	2.82	0.65	2.80	0.65	0.43	0.04	2.39	0.22
Cauhtémoc	1.68	0.49	1.80	0.37	0.29	0.03	1.63	0.15
Ixtlahuacán	2.54	0.80	2.29	0.35	0.13	0.07	1.94	0.01
Manzanillo	2.65	0.69	1.84	0.36	0.32	0.06	1.67	0.17
Minatitlán	2.52	0.77	2.11	0.53	0.11	0.08	2.03	ND
Tecomán	1.76	0.75	1.71	0.27	0.14	0.07	1.43	ND
Villa de Álvarez	2.80	0.79	1.98	0.37	0.19	0.08	1.91	0.14
Mean	2.40	0.64	2.14	0.48	0.32	0.05	1.90	0.35
(SD)	(0.52)	(0.14)	(0.37)	(0.20)	(0.26)	(0.02)	(0.27)	(0.67)

ND= Not Detected SD= Standard Deviation.

ND= No Detectado SD= Desviación estándar.

Na, Ca and Mg concentrations above reference studies in other countries suggest the use in the state of Colima of irrigation waters with a high concentration of this elements (Pérez-Zamora, 2002).

Trace elements are shown in Table 5 with a decreasing trend Fe>Cu>Li>Ni>Zn>Ba>Mn>Be, in an average range

Los elementos traza se muestran en la Tabla 5 con una tendencia descendente Fe>Cu>Li>Ni>Zn>Ba>Mn>Be en un rango promedio de 0.05 ± 0.02 a 2.4 ± 0.52 mg kg⁻¹ de fruta fresca.

La Tabla 6 compara los resultados de metales traza obtenidos en este estudio con los previamente publicados,

Table 6.
Comparative values of trace elements in other studies (mg kg⁻¹ wet wt).

Tabla 6.
Valores comparativos de elementos traza en otros estudios (mg kg⁻¹ peso húmedo).

Country	Fe	Ni	Cu	Zn	Mn	Be
Mexico*	2.40	0.64	2.14	0.48	0.32	0.05
Brazil ^a	4.50	0.04	0.20	0.90	0.10	---
Pakistan ^b	6.58	---	0.77	26.20	---	---
China ^c	---	0.24	0.34	1.96	---	---
India ^d	75.50	0.90	1.4	7.20	1.20	7.60
Nigeria ^e	---	0.11	0.003	0.045	---	---
Malaysia ^f	---	0.65	3.48	8.13	---	---
Ivory Coast ^g	5.40	0.10	0.30	0.50	0.10	---
Bangladesh ^g	---	0.85	3.70	---	---	---

ND= Not Detected --- = Not Analyzed.

*This study; ^a(Grembecka & Szefer, 2013); ^b(Fafar & Masud, 2003); ^c(Li, et al., 2012); ^d(Basha et al., 2014); ^e(Sobukola et al., 2010); ^f(Ang & Ng, 2000); ^g(Islam et al., 2015).

ND= Not Detected --- = Not Analyzed.

*This study; ^a(Grembecka & Szefer, 2013); ^b(Fafar & Masud, 2003); ^c(Li, et al., 2012); ^d(Basha et al., 2014); ^e(Sobukola et al., 2010); ^f(Ang & Ng, 2000); ^g(Islam et al., 2015).

from 0.05±0.02 to 2.4±0.52 mg kg⁻¹ of fresh fruit.

The comparison of results of trace metals obtained in this study with those previously published are presented in Table 6, minerals with lower concentrations were found for Iron and Beryllium with 2.40±0.52 and 0.05±0.02 mg kg⁻¹ of fresh fruit respectively. Up to this time, there were no reports on Li and Ba content in papaya fruits, values in this study were 1.9±0.27 mg kg⁻¹ and 0.35±0.67 mg kg⁻¹ of fresh fruit, therefore a comparison was not possible these results gave a framework of reference to know the detailed mineral content of this produce.

Values of trace elements were generally in the range of reported values in reference studies, these concentrations were due to soil and water characteristics of the place where fruits were produced and did not necessarily represent an indicator of the quality regarding fruits from other regions.

Of all the heavy metals analyzed in this study (Al, Cd, Co, Cr, Pb, Sb, Se, Sn, Tl and V), only Cadmium, Chrome and Lead were detected with an average concentration

los minerales con las cantidades menores se encuentran en el Hierro y Berilio con 2.40 ± 0.52 y 0.05 ± 0.02 mg kg⁻¹ de fruta fresca respectivamente. En tanto que, no hay reportes a la fecha del contenido de Li y Ba en frutos de papaya y cuyos valores en este estudio fueron de 1.9 ± 0.27 mg kg⁻¹ y 0.35 ± 0.67 mg kg⁻¹ de fruta fresca respectivamente, por lo que no es posible una comparación, pero estos resultados dan un marco de referencia para conocer a detalle el contenido de minerales en este producto.

En general, los valores de los elementos traza se encuentran dentro del rango de los valores reportados en los estudios de referencia, estas concentraciones se deben a las características del suelo y agua propias del lugar en el que se producen y no necesariamente representan un indicativo de la calidad respecto a los frutos de otras regiones.

De los metales pesados analizados en este estudio (Al, Cd, Co, Cr, Pb, Sb, Se, Sn, Tl y V) solo fueron detectados Cadmio, Cromo y Plomo con una concentración promedio de 1.50±0.3 mgkg⁻¹, 0.16±0.15 mgkg⁻¹ y 0.35±0.15 mgkg⁻¹ de fruta fresca respectivamente. La Tabla 7 muestra los resultados para estos

Table 7.
Heavy metals (mg kg⁻¹ wet wt) n=3.

Tabla 7.
Metales pesados (mg kg⁻¹ peso húmedo) n=3.

Municipality	Cd	Cr	Pb
Armería	1.58	0.56	0.30
Colima	1.51	ND	0.64
Comala	1.66	0.18	0.55
Coquimatlán	1.74	0.22	0.28
Cuauhtémoc	1.13	0.08	0.20
Ixtlahuacán	1.49	0.13	0.31
Manzanillo	1.22	0.15	0.22
Minatitlán	1.55	0.09	0.48
Tecomán	1.03	0.08	0.22
Villa de Álvarez	2.04	0.11	0.27
Mean (SD)	1.50 (0.3)	0.16 (0.15)	0.35 (0.15)

SD=Standard Deviation.
SD= Desviación estándar.

of 1.50±0.3 mg kg⁻¹, 0.16±0.15 mg kg⁻¹ and 0.35±0.15 mg kg⁻¹ of fresh fruit respectively. Results for these three heavy metals determined in fruits sampled in the ten municipalities are shown in Table 7. The content of these metals was in a range of 1.03-2.04 mg kg⁻¹ for Cd, 0.00-0.56 mg kg⁻¹ for Cr and 0.20-0.64 mg kg⁻¹ for Pb.

The comparison of heavy metals obtained in published studies are presented in Table 8, Pb and Cr content in this study was within the range found in fruits of these countries. Due to the Cd concentration was above the reference studies, it is necessary to identify the source of this metal in order to exhibit soil and water conditions in the State of Colima.

Although K, Ca, Cu, Mg, Mn, Ba, Fe, Ni, Zn, Cr and Pb have been found in atmospheric particles in the state of Colima, with possible sources of emission such as: volcanic activity, volcanic ashes, automobile and industrial emissions (Miranda *et al.*, 2004; Campos-Ramos *et al.*, 2009), it was not possible to determine the influence of these sources on metal content in soil

tres metales pesados determinados en las frutas muestreadas en los diez municipios. El contenido de estos metales está en un rango de 1.03-2.04 mg kg⁻¹ para Cd, 0.00-0.56 mg kg⁻¹ para Cr y 0.20-0.64 mg kg⁻¹ para Pb.

En la tabla 8 se presenta la comparación de metales pesados obtenidos en estudios publicados, el contenido de Pb y Cr en este estudio está dentro del rango encontrado en los frutos de estos países. La concentración de Cd se encuentra muy por encima de los estudios referenciados, lo que genera la necesidad de identificar la fuente de origen, ya que a la fecha no existen estudios que muestren las condiciones del suelo y agua en el Estado de Colima.

Aunque se han encontrado elementos como K, Ca, Cu, Mg, Mn, Ba, Fe, Ni, Zn, Cr y Pb en partículas atmosféricas en el Estado de Colima, con posibles fuentes de emisión como lo son: actividad volcánica, ceniza volcánica, emisiones de automóviles e industriales (Miranda *et al.*, 2004; Campos-Ramos *et al.*, 2009), no es posible determinar la influencia de estas fuentes en el contenido de metales en suelo, agua y que son transferidos a los alimentos.

Table 8.
Comparative values of heavy metals (mg kg⁻¹ wet wt).

Tabla 8.
Valores comparativos de metales pesados (mg kg⁻¹ peso húmedo).

Country	Pb	Cr	Cd	Al	As
Mexico (This study)*	0.350	0.159	1.500	ND	---
Brazil	---	0.030	---	---	---
Pakistan	0.640	0.130	0.340	---	---
China	0.051	0.109	0.002	---	---
India	0.900	1.700	0.023	47.5	---
Nigeria	0.072	---	0.003	---	---
Malaysia	1.380	0.580	0.550	---	---
Ivory Coast	---	0.030	---	---	---
Bangladesh	0.280	1.500	0.028	---	0.22

ND= Not Detected.

----= Not Analyzed.

*This study; ^a(Grembecka & Szefer, 2013); ^b(Fafar & Masud, 2003); ^c(Li, et al., 2012); ^d(Basha et al., 2014); ^e(Sobukola et al., 2010); ^f(Ang & Ng, 2000); ^g(Islam et al., 2015).

ND= No Detectado.

----= No Analizado.

*Este estudio; ^a(Grembecka & Szefer, 2013); ^b(Fafar & Masud, 2003); ^c(Li, et al., 2012); ^d(Basha et al., 2014); ^e(Sobukola et al., 2010); ^f(Ang & Ng, 2000); ^g(Islam et al., 2015).

and water, which are transferred to food.

Health Risk Assessment

Daily Intake of Metals (DIM) and Health Risk Index (HRI).

The presence of Cadmium, Chrome and Lead detected in the present study urged to assess the health risk that implies these quantities in analyzed samples. Calculations obtained from the Daily Intake of Metals (DIM) and Health Risk Index (HRI) are shown in Table 9. The results are below the limit allowed by the Food and Agriculture Organization and the World Health Organization (FAO/WHO, 2010).

Conclusion

Results obtained for macrominerals and trace elements were within the range found in the studies cited in the comparative Tables. Papaya fruits commercialized in markets of the state of Colima were rich in Potassium and Sodium. Calculations of the Daily Intake of Metals

Evaluación del riesgo a la salud

Ingesta Diaria de Metales (DIM) e Índice de Riesgo a la Salud (HRI).

La presencia de cadmio, cromo y plomo detectada en el presente estudio, obliga a evaluar el riesgo a la salud que suponen estas cantidades en las muestras analizadas. Los cálculos obtenidos de la ingesta diaria de metales (DIM) y la evaluación del índice de riesgo a la salud (HRI) se muestran en la Tabla 9 y están por debajo del límite permitido por la Organización para la Agricultura y la Alimentación y la Organización Mundial de la Salud (FAO/WHO, 2010).

Conclusión

Los resultados obtenidos para los macrominerales y los elementos traza se encuentran dentro del rango encontrado en los trabajos citados en las tablas comparativas. Los frutos de papaya comercializados en mercados del Estado de Colima son ricos en potasio y sodio.

Table 9.
Daily Intake of Metals (DIM) ($\mu\text{g kg}^{-1} \text{ day}^{-1}$) and Health Risk Index (HRI) in fruits of *Carica papaya* L.
Tabla 9.
Ingesta Diaria de Metales (DIM) ($\mu\text{g kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$) e Índice de Riesgo a la Salud (HRI) en frutos de *Carica papaya* L.

Municipality	Index	Cd	Cr	Pb	Total*
Armería	DIM	3.68E-04	1.30E-01	6.92E-02	
	HRI	3.68E-01	4.33E-02	1.73E-02	4.28E-01
Colima	DIM	3.51E-01	0	1.49E-01	
	HRI	3.51E-01	0	3.72E-02	3.88E-01
Comala	DIM	3.86E-01	4.29E-02	1.29E-01	
	HRI	3.86E-01	1.43E-02	3.22E-02	4.33E-01
Coquimatlán	DIM	4.05E-01	5.06E-02	6.58E-02	
	HRI	4.05E-01	1.69E-02	1.64E-02	4.38E-01
Cauhtémoc	DIM	2.63E-01	1.77E-02	4.61E-02	
	HRI	2.63E-01	5.91E-03	1.15E-02	2.80E-01
Ixtlahuacán	DIM	3.49E-01	2.98E-02	7.23E-02	
	HRI	3.49E-01	9.92E-03	1.81E-02	3.77E-01
Manzanillo	DIM	2.85E-01	3.40E-02	5.11E-02	
	HRI	2.85E-01	1.13E-02	1.28E-02	3.09E-01
Minatitlán	DIM	3.62E-01	2.05E-02	1.12E-01	
	HRI	3.62E-01	6.85E-03	2.79E-02	3.97E-01
Tecomán	DIM	2.41E-01	1.89E-02	5.05E-02	
	HRI	2.41E-01	6.31E-03	1.26E-02	2.60E-01
Villa de Álvarez	DIM	4.76E-01	2.57E-02	6.30E-02	
	HRI	4.76E-01	8.58E-03	1.57E-02	5.00E-01
Mean	DIM	3.48E-01	3.70E-02	8.07E-02	
	HRI	3.48E-01	1.23E-02	2.02E-02	3.81E-01

*Values obtained in this study.

*Valores obtenidos en este estudio.

(DIM) and of the Health Risk Index (HRI) were found below the value of 1, therefore Chrome, Cadmium and Lead contents in analyzed samples did not present any health risks for consumers.

Monitoring the content of potentially toxic metals is a highly important public health issue. Complementary studies are needed, in which soil, irrigation water, plant

Los cálculos de la Ingesta Diaria de Metales y el Índice de Riesgo a la Salud se encuentran por debajo del valor de 1, por lo tanto, el contenido de cromo, cadmio y plomo en las muestras analizadas no presenta un riesgo a la salud de los consumidores.

El monitoreo del contenido de metales potencialmente tóxicos en alimentos es de suma importancia como asunto de salud pública. Es necesario realizar estudios

and produced fruits should be analyzed to identify the origin of the metals found and to assess their transference and bioaccumulation index.

Acknowledgement.

The present study was funded by Fondo Mixto CONACyT–Gobierno del Estado de Colima (COL-2014-C03-234868) and conducted in Laboratory of Biotechnology at Faculty of Biological and Agropecuarian

complementarios, en los cuales se analicen el suelo, el agua de riego, la planta y los frutos producidos para identificar la procedencia de los metales encontrados y evaluar el índice de transferencia y bioacumulación de estos.

Reconocimiento.

El presente estudio fue financiado por el Fondo Mixto CONACyT - Gobierno del Estado de Colima (COL-2014-C03-234868) y realizado en el Laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Colima.

References

- Adamu, H., Mshelia, E., Maigari, A., Humar, H. and Balogun, O. (2016). Determination of some trace elements and macro minerals in *grewia mollis* plant parts. *International Journal of Pure and Applied Science Research*, 11(2): 1-16. <http://www.arcnjournals.org/images/ansrd-PASR-1-2-1.pdf>
- Akinyele, I. O. & Shokunbi, O. S. (2015). Comparative analysis of dry ashing and wet digestion methods for the determination of trace and heavy metals in food samples. *Food Chemistry*, 173: 682-684. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.097>
- Akoto, O., Bismark, E., Darko, G. and Adei, E. (2014). Concentrations and Health Risk Assessments of Heavy Metals in Fish from the Fosu Lagoon. *Int. J. Environ. Res.*, 403-410. <https://doi.org/10.22059/IJER.2014.731>
- Ali, M. & Al-Qahtani, K. (2012). Assessment of some heavy metals in vegetables, cereals and fruits in Saudi Arabian markets. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 38(1): 31-37. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2012.08.002>
- Ang, L. & Ng, L. (2000). Trace Element Concentration in Mango (*Mangifera indica* L.), Seedless Guava (*Psidium guajava* L.) and Papaya (*Carica papaya* L.) Grown on Agricultural and Ex-mining Lands of Bidor, Perak. *Pertanika J. Tropical Agricultural Science.*, 23(1): 15-22. <https://core.ac.uk/download/pdf/153832661.pdf#page=19>
- AOAC (Asociación Oficial de Químicos Agrícolas). (2005). *Official Methods for Analysis*. U.S.
- Bakkali, K., Ramos-Martos, N., Souhail, B. and Ballesteros, E. (2009). Characterization of trace metals in vegetables by graphite furnace atomic absorption spectrometry after closed vessel microwave digestion. *Food Chemistry*, 15(1): 590-594. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.03.010>
- Basha, A. M., Yasovardhan, N., Satyanarayana, S. V., Reddy, G. V. and Kumar, A. V. (2014). Trace metals in vegetables and fruits cultivated around the surroundings of Tummalapalle uranium mining site, Andhra Pradesh, India. *Toxicology Reports*, 1: 505-512. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2014.07.011>
- Boss, C. B. and Fredeen, K. J. (2004). *Concepts, Instrumentation and Techniques in Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*. Shelton, CT, USA: Perkin Elmer Life and Analytical Sciences.
- Campos-Ramos, A., Aragon-Piña, A., Galindo-Estrada, I., Querol, X. and Alastuey, A. (2009). Characterization of atmospheric aerosols by SEM in a rural area in the western part of México and its relation with different pollution sources. *Atmospheric Environment*, 43(39): 6159-6167. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.09.004>
- CANAIVE (La Cámara Nacional de la Industria del Vestido). [Lastchecked 20th March 2018]. *Cámara Nacional de la Industria y Vestido*. www.canaive.mx, <http://bit.ly/1QBWpVg>
- Evans, E. A. & Ballen, F. H. (2012). Una mirada a la producción, el comercio y el consumo de papaya a nivel mundial. *Universidad de Florida. IFAS Extension*. [<https://edis.ifas.ufl.edu/fe917>].
- Fadare, O., Durosimi, O., Fadare, R., Izevbekhai, O., Awonyemi, I. and Obafemi, C. (2015). ATR-FTIR and HPLC Spectroscopic Studies and Evaluation of Mineral Content of Carica Papaya Leaves and Flowers. *Journal of Phytomedicine*, 1(1): 1-7. <https://ir.oauife.edu.ng/handle/123456789/3732>
- Fafar, M. & Masud, K. (2003). Selected toxic metal levels in seasonal fruits of Pakistan. *Nutrition & Food Science*, 33(1): 9-15. <https://doi.org/10.1108/00346650310459518>

- FAO/WHO. (2007). Joint FAO/WHO food standard programme codex alimentarius commission. *Report of the thirty eight session of the codex committee on food hygiene*. Houston.
- FAO/WHO (La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2010). Summary and Conclusions of the Seventythird Meeting of the Joint FAO/WHO Expert committee on Food Additives. *JECFA/73/SC*. Geneva.
- Grembecka, M. & Szefer, P. (2013). Comparative assessment of essential and heavy metals in fruits from different geographical origins. *Environmental Monitoring and Assessment* 185(11): 9139-9160. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3242-z>
- Hwang, I. M., Choi, J. Y., Nho, E. Y., Dang, Y. M., Jamila, N., Khan, N., Seo, H. W. and Kim, K. S. (2016). Determination of Essential and Toxic Elements in Vegetables from South Korea. *Analytical Letters*, 663-681. <https://doi.org/10.1080/00032719.2016.1194426>
- Islam, M. S., Ahmed, M. K., Al-Mamun, M. H. and Masunaga, S. (2015). Assessment of trace metals in foodstuffs grown around the vicinity of industries in Bangladesh. *Journal of Food Composition and Analysis*, 42:8-15. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.12.031>
- Jones, C. L. (1987). An interlaboratory study of inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy method 6010 and digestion method 3050. *Environmental Protection Agency*.
- Jones, C. L., Hodge, V. F., Schoengold, D. M., Biesiada, H. and Starks, T. H. (1988). An Interlaboratory study of inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy method 6010 and digestion method 3050. *U.S. Environmental Protection Agency*.
- Kamal, A. K., Islam, M. R., Hassan, M., Ahmed, F., Rahman, M. and Moniruzzaman, M. (2016). Bioaccumulation of Trace Metals in Selected Plants within Amin Bazar Landfill Site, Dhaka, Bangladesh. *Environmental Processes*. 3(1): 179-194. <https://doi.org/10.1007/s40710-016-0123-9>
- Khan, M., Malik, R. N. and Muhammad, S. (2013). Human health risk from heavy metal via food crops consumption with wastewater irrigation practices in Pakistan. *Chemosphere*, 93(10): 2230-2238. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.07.067>
- Li, Q., Chen, Y., Fu, H., Cui, Z., Shi, L., Wang, L. and Liu, Z. (2012). Health risk of heavy metals in food crops grown on reclaimed tidal flat soil in the Pearl River Estuary, China. *Journal of Hazardous Materials*, 227-228: 148-154. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.05.023>
- Miranda, J., Zepeda, F. and Galindo, I. (2004). The possible influence of volcanic emissions on atmospheric aerosols in the city of Colima, Mexico. *Environmental Pollution*, 27(2):271-279. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(03\)00265-3](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(03)00265-3)
- Mohammed, E., Mohammed, T. and Mohammed, A. (2017). Optimization of acid digestion for the determination of Hg, As, Se, Sb, Pb and Cd in Fish Muscle Tissue. *MethodsX*. 4: 513-523. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2017.11.006>
- Ogbonna, P. C., Odukaesime, C. and Teixeira da Silva, J. A. (2013). Distribution of heavy metals in soil and accumulation in plants at an agricultural area of Umudike, Nigeria. *Chemistry and Ecology*, 29(7): 595-603. <https://doi.org/10.1080/02757540.2013.810721>
- Ogunmodede, O. T., Ojo, A. A. and Jegede, R. O. (2016). Evaluation of Pollution Loads in and Around Municipal Solid Waste Dumpsite. *World Applied Sciences Journal*, 36(6): 720-732. https://www.researchgate.net/publication/330204444_Evaluation_of_Pollution_Loads_in_and_Around_Municipal_Solid_Waste_Dumpsite
- Othman, O. C. (2009). Physical and chemical composition of storage-ripened papaya (*Carica papaya* L.) fruits of eastern Tanzania. *Tanzania Journal of Science*, 35: 47-56. <https://www.ajol.info/index.php/tjs/article/view/73531>
- Planeación Agrícola Nacional 2017-2030, P. (2017). SAGARPA. [Last Checked January 2018], de Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257083/Potencial-Papaya.pdf>
- Pérez-Zamora, O. (2002). Efecto de la aplicación de aguas residuales industriales en las propiedades físicas y químicas del suelo. *Agrociencia*, 36(3): 279-290. <https://www.redalyc.org/pdf/302/30236302.pdf>
- Rashid, H., Fardous, Z., Chowdhury, A. Z., Alam, K., Bari, L., Moniruzzaman, M. and Gan, S. H. (2016). Determination of heavy metals in the soils of tea plantations and in fresh and processed tea leaves: an evaluation of six digestion methods. *Chemistry Central Journal*. <https://bmcchem.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13065-016-0154-3>
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, ganadería, desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). [Last Checked 3rd April 2017]. *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación*. de sagarpa.gob.mx <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/bajacaliforniasur/boletines/2017/abril/Documents/2017BS117.pdf>

- Salazar, M. J., Rodríguez, J. H., Nieto, G. L. and Pignata, M. L. (2012). Effects of heavy metal concentrations (Cd, Zn and Pb) in agricultural soils near different emission sources on quality, accumulation and food safety in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. *Journal of Hazardous Materials*, 233-234: 244-253. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.07.026>
- Salma, I. J., Sajib, M. A., Motalab, M., Mumtaz, B., Jahan, S., Hoque, M. M. and Saha, B. K. (2015). Comparative evaluation of macro and micro nutrient element and heavy metal contents of commercial fruit juices available in Bangladesh. *American Journal of Food and Nutrition*, 3(2): 56-63. <https://es.scribd.com/document/269024834/ajfn-3-2-4-pdf>
- Santamaría-Basulto, F., Sauri-Duch, E., Espadas y Gil, F., Díaz-Plaza, R., Larqué-Saavedra, A. and Santamaria, J. (2009). Postharvest ripening and maturity indices for maradol papaya. *Interciencia*, 34(8): 583-588. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33913144010.pdf>
- SIAP (El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (Diciembre de 2016). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*. [Last Checked December 2018], de SIAP: www.infosiap.siap.gob.mx
- Sobukola, O., Adeniran, O., Odedairo, A. and Kajihusa, O. (2010). Heavy metal levels of some fruits and leafy vegetables from selected markets in Lagos, Nigeria. *African Journal of Food Science*, 4(2): 389-393. http://www.academicjournals.org/app/webroot/article/article1380725945_Sobukola%20et%20al.pdf
- Subramanian, K. S. (1996). Determination of metals in biofluids and tissues: sample preparation methods for atomic spectroscopic techniques. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 51(3): 291-319. [https://doi.org/10.1016/0584-8547\(95\)01425-X](https://doi.org/10.1016/0584-8547(95)01425-X)
- Suttle, N. F. (2010). *Mineral nutrition of livestock 4th Edition*. Oxfordshire, UK: CAB International.
- Tóth, G., Hermann, T., Da Silva, M. and Montanarella, L. (2016). Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety. *Environmental International*, 299-309. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.12.017>
- US-EPA (La Agencia de Protección del Medio Ambiente). (2004). *Lead and compounds (inorganic)*. Washington: United States Environmental Protection Agency.
- US-EPA (La Agencia de Protección del Medio Ambiente). (2012). *Integrated Risk Information System (IRIS)*. Obtenido de United States Environmental Protection Agency: <http://www.epa.gov/iris>
- Yami, S., Chandravanshi, B. S., Wondimu, T. and Abuye, C. (2016). Assessment of selected nutrients and toxic metals in fruits, soils and irrigation waters of Awara Melka and Nura Era farms, Ethiopia. *SpringerPlus*, 1-12. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2382-3>
- Yerlikaya, E., Demirdag, R., Küfrevioğlu, O. and Gündoğdu, C. (2015). Effects of some heavy metals on the activities of carbonic anhydrase enzymes from tumorous and non-tumorous human stomach. *Anatolian Journal of Science*, 1(1): 25-28. <https://www.researchgate.net/publication/288808341>
- Zheng, N., Wang, Q., Zhang, X., Zheng, D., Zhang, Z. and Zhang, S. (2007). Population health risk due to dietary intake of heavy metals in the industrial area of Huludao city, China. *Science of the Total Environment*, 387(1-3): 96-104. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.07.044>
- Zhuang, P., McBride, M. B., Xia, H., Li, N. and Li, Z. (2009). Health risk from heavy metals via consumption of food crops in the vicinity of Dabaoshan mine, South China. *Science of the Total Environment*, 407(5): 1551-1561. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.10.061>