

## DETERMINACIÓN DEL COCIENTE DE PELIGROSIDAD DE PLAGUICIDAS PRESENTES EN BIOMASA DE CHILES (*Capsicum annuum*)

Luis Alfonso Jiménez-Ortega y Pedro de Jesús Bastidas-Bastidas\*

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Carretera a Eldorado Km 5.5, Campo el Diez, 80110, Culiacán, Sinaloa, México. \*Correo-e: [pbastidas@ciad.mx](mailto:pbastidas@ciad.mx)

Recibido: 06/nov/2023 Aceptado: 06/dic/2023 // <https://doi.org/10.32870/rayca.v4i4.26>

### Resumen

El estado de Sinaloa, es uno de los mayores productores agrícolas en México, resaltando el cultivo de chile por sus volúmenes y rendimientos de producción. Debido a la producción intensiva se desprenden importantes cantidades de biomasa (tallos y hojas) los cuales comúnmente se descartan sin generar valor agregado, por lo que, en años recientes, estrategias de valorización sugieren su uso como fuente de nutraceuticos y fitoquímicos, sin embargo, si las biomásas se encuentran contaminadas con residuos de plaguicidas, pueden representar un riesgo a la salud. El objetivo del presente estudio fue determinar el cociente de peligrosidad (HQ) y el índice de riesgo (HI) de los plaguicidas identificados en biomásas de chile poblano, jalapeño y pimiento morrón. Para esto se usó la ingesta diaria admitida (IDA), ingesta diaria estimada (EDI), LD<sub>50</sub> y la dosis de referencia aguda de los analitos identificados (ARfD). Ninguno de los plaguicidas en las concentraciones cuantificadas representa un riesgo a la salud humana en su consumo de 0.001 kg por día, esto en adultos de 70 kg de peso, por lo que se podría aprovechar para el procesamiento de suplementos alimenticios y/o la extracción de moléculas con valor agregado.

**Palabras clave:** *Capsicum annuum*, plaguicidas, biomasa agrícola, fitoquímicos, valorización.

## DETERMINATION OF THE HAZARD RATIO OF PESTICIDES PRESENT IN BIOMASS OF CHILIES (*Capsicum annuum*)

### Abstract

The state of Sinaloa is one of the largest agricultural producers in Mexico, highlighting the cultivation of pepper for its production volumes and yields. Due to intensive production, significant amounts of biomass (stems and leaves) are released, which are commonly discarded without generating added value, that is why, in recent years, recovery strategies suggest its use as a source of nutraceuticals and phytochemicals. However, if biomasses are contaminated with pesticide residues, they can represent a health risk. The present study aimed to determine the hazard quotient (HQ) and the risk index (HI) of the pesticides identified in poblano, jalapeño, and bell pepper biomasses. For this, the admitted daily intake (ADI), estimated daily intake (EDI), LD<sub>50</sub>, and the acute reference dose of the identified analytes (ARfD) were used. None of the pesticides in the quantified concentrations represents a risk to human health in their consumption of 0.001 kg per day, this in adults weighing 70 kg, so they could be used for the processing of food supplements and/or extraction of molecules with added value.

**keywords:** *Capsicum annuum*, pesticides, agricultural biomass, phytochemicals, valorization.

## Introducción

La producción agrícola es una de las actividades más importantes para el ser humano, ya que los alimentos vegetales son parte fundamental de la nutrición humana (Yahia et al., 2019). En México, el estado de Sinaloa es uno de los más productivos, destaca por liderar la producción de maíz, tomate y chile (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2023). Este último es un fruto altamente apreciado por los consumidores tanto nacionales como internacionales, esto por sus propiedades nutricionales, funcionales y sensoriales (Antonio et al., 2018). Cabe mencionar que durante el 2022, Sinaloa produjo 598,399.29 ton de chile verde (SIAP, 2023).

Estos grandes volúmenes y rendimientos de producción derivan en importantes emisiones contaminantes al medio ambiente, entre las cuales resaltan las biomasas y subproductos agrícolas, los cuales comprenden hojas, tallos, raíces, semillas y frutos (Chen et al., 2017; Ullah et al., 2018), los cuales comúnmente se descartan sin generar ningún valor agregado, además de que generan un impacto medioambiental debido a la quema ilegal y contaminación de cuerpos de agua, por lo que es necesario la búsqueda de alternativas sustentables de valorización (McCarty, et al., 2009; Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER], 2023; Zhang et al., 2017).

En los últimos años se han implementado estrategias de valorización que favorecen la economía circular, una de ellas es el aprovechamiento para la extracción de moléculas bioactivas, ya que, según la pirámide de valorización de residuos, esta es la actividad que mayor valor agregado brinda (Ginni et al., 2021; Teigiserova et al., 2020). Se ha documentado extensivamente que dentro de su composición se encuentran fitonutrientes, los cuales mediante procesos de purificación

se pueden implementar en la industria alimenticia y farmacéutica (Oleszek et al., 2023). Con respecto a esto, se han identificado numerosos fitoquímicos en hojas y tallos de chile, destacando los flavonoides (Herrera-Pool et al., 2021), los cuales ejercen actividades antioxidantes (Chel-Guerrero et al., 2022), y antiinflamatorias (Cho et al., 2020), entre otras. También las hojas de chile son ricas en compuestos hidrofóbicos como los carotenoides, los cuales poseen numerosas actividades biológicas (Li et al., 2021).

Sin embargo, la extracción de fitoquímicos de biomasas agrícolas se puede ver limitada por la presencia de plaguicidas y otros xenobióticos que potencialmente pueden llegar a estar presentes en el producto final, ya que los métodos de extracción de fitonutrientes pueden también extraer a los plaguicidas (Socas et al., 2021). Es por ello que es de vital importancia implementar controles eficientes y rigurosos de calidad e inocuidad principalmente química ya que es bien sabido que la exposición recurrente a plaguicidas puede desencadenar enfermedades crónico degenerativas (Fernandes et al., 2023).

Uno de los aspectos a considerar en su utilización, es la concentración y la ingesta diaria admisible (IDA) del plaguicida en cuestión, ya que si la concentración se encuentra por debajo de la IDA su consumo puede ser seguro, sin embargo, debe ser estudiado de forma crónica. Así mismo la ingesta diaria estimada (EDI) del suplemento alimenticio debe ser tomada en cuenta con respecto a la indicación terapéutica, peso del individuo y la concentración de los plaguicidas que puedan llegar a estar presentes. Algunos indicadores toxicológicos son de utilidad para calcular posibles riesgos a la salud humana, uno de los más utilizados es el cociente de peligrosidad (HQ), el cual según la Agencia de Protección Ambiental

de los Estados Unidos (EPA) (EPA, 2023), es la proporción estimada entre la exposición a una sustancia química en un sitio específico durante un período específico para determinar el nivel de exposición diario al cual probablemente no ocurrirán efectos adversos a la salud humana.

El índice de peligrosidad (HI) refiere a la suma de los HQ de los plaguicidas que afectan al mismo órgano o sistema de órganos objetivo (Gad Alla et al., 2015; Goumenou & Tsatsakis, 2019). En la actualidad numerosas investigaciones se han enfocado en la extracción de fitoquímicos de subproductos y biomasa agrícolas, sin embargo, a nuestro conocimiento pocos han dilucidado la presencia de xenobióticos, por consiguiente, el objetivo del presente estudio fue determinar el cociente de peligrosidad (HQ) y el índice de peligrosidad (HI) de los plaguicidas identificados en biomasa agrícola de Chile, con la finalidad de dilucidar sus potenciales aplicaciones en el campo alimenticio, farmacéutico y/o agrícola.

## Materiales y métodos

En un estudio previo (Jiménez-Ortega et al., 2023) se realizó la extracción y cuantificación de los plaguicidas, presentes en las biomasa agrícolas de Chile (chile jalapeño, poblano y pimiento morrón), las cuales se encontraban en condiciones de senescencia, con ausencia de riego y suministro de nutrientes. El muestreo se efectuó en predios agrícolas ubicados en Culiacán, Sinaloa, México. Para fines del presente estudio se determinó el cociente de peligrosidad (HQ) de los plaguicidas identificados en las biomasa, para esto se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Cociente de peligrosidad (HQ)} = \frac{\text{Concentración del plaguicida mg/kg}}{\text{LD50 mg/kg}}$$

Para determinar el índice de riesgo (HI) se usó la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de riesgo (HI)} = \frac{\text{EDI}}{\text{IDA}}$$

La IDA de los plaguicidas en cuestión se obtuvo de la base de datos del CODEX (FAO/OMS 2023). La EDI se calculó multiplicando la concentración del plaguicida y la ingesta diaria establecida (0.001 kg) y el producto fue dividido entre 70 kg (peso promedio de una persona adulta). Según la EPA, un HQ y un HI  $\leq 1$  indica que no es probable que se produzcan efectos adversos a la salud, mientras que los HQ y HI  $> 1$  no reflejan probabilidades estadísticas de que ocurra algún daño, sino son una declaración de si una concentración de exposición excede la concentración de referencia (RfC).

## Resultados y discusión

Acorde a lo reportado por Jiménez-Ortega et al. (2023), Se identificaron y cuantificaron diferentes tipos de plaguicidas en las biomasa de Chile, resaltando por su diversidad de funcionalidades y clasificaciones. Se estableció una EDI de 0.001 kg de biomasa seca por día, considerando dos administraciones de 0.0005 kg de biomasa seca por día, debido a que para alcanzar la bioactividad deseada los fitoquímicos deben llegar al torrente sanguíneo, sin embargo, tras la ingesta oral, sufren una serie de biotransformaciones químicas como glicosilación, metilación, sulfatación y glucoronidación, por consiguiente, se debe mantener una concentración estable al paso del tiempo (Lee & Mitchell, 2012; Hayasaka et al., 2018).

Los principales fitoquímicos presentes en hojas y tallos de Chile son la quercetina y luteolina en su forma glicosilada (Antonio et al., 2018), los cuales se caracterizan por presentar una potente actividad antioxidante

y antiinflamatoria (Ahmadi et al., 2020; Xu et al., 2019).

Como se muestra en el cuadro 1, los plaguicidas identificados en las biomásas de Chile no exceden un HQ y un HI de 1, así mismo la IDE se encuentra en un rango de 0.000000143 - 0.0000128 mg/kg/día, por lo que el consumo de 0.001 kg/día de biomasa de Chile no representaría un peligro a la salud, concerniente al contenido de plaguicidas.

Las concentraciones de plaguicidas presentes en la biomasa de Chile, se deben a la degradación de los mismos en la planta, ya que como se mencionó previamente, la biomasa se encuentra expuesta a factores medioambientales que contribuyen a su degradación, como la fotodegradación, escurrimiento por lluvias, degradación microbiana, traslocación, características físicas de las plantas, altas temperaturas y sobre todo la vida media del ingrediente activo. En este caso al ser biomásas, comúnmente se dejan secar en el campo durante semanas, por lo que, al momento de la colecta, los plaguicidas presentes potencialmente pueden verse degradados (Fantke et al., 2014; Wirsching et al., 2020).

Otros factores propios del procesamiento de la biomasa, pueden contribuir a la degradación de los plaguicidas, por ejemplo, el lavado y la deshidratación térmica. Durante el lavado con agua potable, se puede reducir hasta un 50 % el contenido residual de plaguicidas, sin embargo, esto depende del tipo de material vegetal (fruto, hoja, tallo). Algunos de los plaguicidas que se ha observado pueden ser removidos en gran medida por el lavado son el clorantniliprol, fosadona, lindano, p,pDDT, dimetoato, profenofos y pirimifosmetil. Por otro lado, la deshidratación por arriba de los 60 °C, disminuye el contenido de

plaguicidas como clotianidina, dieto-fencarb, imidacloprid, tetraconazol, metomil, metoxifenoazida, clorfenapir, folpet, indoxacarb y dicarboximidazoles hasta un 50 %, esto depende de las características fisicoquímicas del ingrediente activo en cuestión. Sin embargo, debido a la deshidratación se pueden concentrar ciertos ingredientes activos, incrementando su concentración.

Durante la extracción de fitoquímicos con disolventes orgánicos, los plaguicidas también se pueden extraer, pudiendo llegar a contaminar el producto, esto es debido a la solubilidad y polaridad de los ingredientes activos y de los disolventes. Se ha documentado la extracción de plaguicidas en infusiones y tés preparados con agua, principalmente plaguicidas hidrofílicos como fosfamidon, dimetoato, monocrotofos, malatión, metil paratión, quinalfos y clorpirifos (Nguyen et al., 2020).

Otras investigaciones han determinado el HQ de plaguicidas en matrices alimenticias, por ejemplo, Stoner y Eitzer (2013), identificaron más de 60 plaguicidas en polen de abejas, de los cuales los que obtuvieron el mayor HQ fue fosmet, imidacloprid, indoxacarb, clorpirifos, fipronilo, tiametoxam, azinfos-metil y fention.

Chen et al. (2011), evaluaron residuos de plaguicidas en frutas y vegetales de Xiamen, China, identificando con un HQ superior a 1 el ometoato (2.61 HQ) y metamidofos (2.20 HQ).

Taghizadeh et al. (2019), realizaron un estudio de riesgo de la contaminación de plaguicidas en diferentes cultivares de pistache, en Irán, los autores reportaron 15 plaguicidas con un HQ superior a 1, incluso cuando la contaminación no superó los límites máximos permisibles.

**Cuadro 1.** Cociente de peligrosidad e índice de riesgo de los plaguicidas presentes en biomásas de Chile

Biomasa	Plaguicida	Concen- tración (mg/kg <sup>-1</sup> )	DL <sub>50</sub> (mg/kg <sup>-1</sup> )	IDA (mg/kg <sup>-1</sup> /peso/día)	ARfD (mg/kg <sup>-1</sup> / peso/día)	EDI (mg/kg <sup>-1</sup> /peso/día)	HQ	HI
Pimiento morrón	Lambda cialotrina	0.01	56	0.0025	0.005	1.43E-07	0.000	0.0000571
	Ciflutrina	0.107	16.2	0.003	0.02	1.53E-06	0.007	0.00051
	Cipermetrina	0.182	287	0.05	0.2	2.60E-06	0.001	0.000052
	Dinotefuran	0.102	2,000	0.22	-	1.46E-06	0.000	0.00000662
	Acetamiprid	0.156	146	0.025	0.025	2.23E-06	0.001	0.0000891
	Flonicamida	0.061	884	0.025	0.025	8.71E-07	0.000	0.0000349
	Tiacloprid	0.279	177	0.01	0.03	3.99E-06	0.002	0.000399
	Imidacloprid	0.142	131	0.06	0.08	2.03E-06	0.001	0.0000338
	Tiametoxam	0.075	1,563	0.026	0.5	1.07E-06	0.000	0.0000412
	Boscalida	1.471	5,000	0.04	0.5	2.10E-05	0.000	0.000525
	Piraclostrobina	0.11	5,000	0.03	0.09	1.57E-06	0.000	0.0000524
	Pyridalyl	0.652	5,000	0.03	-	9.31E-06	0.000	0.00031
	Flutriafol	0.918	1,140	0.01	0.05	1.31E-05	0.001	0.00131
	Malatión	0.323	1,778	0.03	0.3	4.61E-06	0.000	0.000154
	Bifentrina	1.619	54.5	0.015	0.03	2.31E-05	0.030	0.00154
Poblano	Lambda cialotrina	0.78	56	0.0025	0.005	1.11E-05	0.014	0.00446
	Cipermetrina	0.34	287	0.05	0.2	4.86E-06	0.001	0.0000971
	Miclobutanil	1.892	1,600	0.025	0.31	2.70E-05	0.001	0.00108
	Tiacloprid	0.027	177	0.01	0.03	3.86E-07	0.000	0.0000386
	Imidacloprid	5.592	131	0.06	0.08	7.99E-05	0.043	0.00133
	Tiametoxam	0.02	1,563	0.026	0.5	2.86E-07	0.000	0.000011
	Ciromazina	2.922	3,387	0.06	0.1	4.17E-05	0.001	0.000696
	Clorantraniliprol	1.455	5,000	1.56	-	2.08E-05	0.000	0.0000133
	Dimetomorf	0.049	4,300	0.05	0.6	7.00E-07	0.000	0.000014
	Malatión	0.582	1778	0.03	0.3	8.31E-06	0.000	0.000277
	Bifentrina	3.027	54.5	0.015	0.03	4.32E-05	0.056	0.00288
	Lambda cialotrina	1.11	56	0.0025	0.0025	1.59E-05	0.020	0.00634
	Cipermetrina	0.396	287	0.05	0.2	5.66E-06	0.001	0.000113
	Miclobutanil	3.453	1,600	0.025	0.31	4.93E-05	0.002	0.00197
	Acetamiprid	0.059	146	0.025	0.025	8.43E-07	0.000	0.0000337
Jalapeño	Tiacloprid	0.106	177	0.01	0.03	1.51E-06	0.001	0.000151
	Imidacloprid	4.509	131	0.06	0.08	6.44E-05	0.034	0.00107
	Tiametoxam	0.896	1,563	0.026	0.5	1.28E-05	0.001	0.000492
	Ciromazina	4.04	3,387	0.06	0.1	5.77E-05	0.001	0.000962
	Clorantraniliprol	2.493	5,000	1.56	-	3.56E-05	0.000	0.0000282
	Dimetomorf	0.044	4,300	0.05	0.6	6.286E-07	0.000	0.0000126

DL<sub>50</sub> (Dosis Letal Media); IDA (Ingesta Diaria Admisible); ARfD (Dosis de referencia aguda);  
 HQ (Cociente de peligrosidad); HI (Índice de riesgo)

Los resultados de la presente investigación sugieren que la utilización de biomásas o subproductos agrícolas de Chile deben someterse a análisis de residuos de plaguicidas y otros xenobióticos antes de procesarse para la obtención de nutraceuticos (suplementos alimenticios), ya que potencialmente pueden estar presentes en el producto final, limitando su producción y comercialización.

Es necesaria la implementación de regulaciones sanitarias que garanticen la inocuidad de los productos derivados de estas materias primas, ya que, en vez de ejercer un beneficio a la salud, podrían perjudicarla. Sin embargo, como se muestra en el cuadro 1, los plaguicidas presentes en las biomásas de Chile con una EDI de 0.001 kg, no representan un riesgo a la salud según el HQ y el HI calculado con base a la EDI e IDA, por lo que potencialmente se pueden procesar para la extracción de flavonoides antioxidantes.

## Conclusiones

Los plaguicidas cuantificados en las biomásas de Chile no representan un riesgo a la salud según el HQ y el HI, por lo que se puede valorizar para usos alimenticios y/o farmacéuticos, para ello es necesario su procesamiento industrial, siguiendo los estándares de calidad e inocuidad respectivos.

## Referencias

- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos [EPA]. (2023, fecha última actualización). *Términos C*. EPA en español. [https://espanol.epa.gov/espanol/terminos-c#:~:text=Coeficiente%20de%20peligro%20\(Hazard%20Quotient,adversos%20a%20la%20salud%20humana](https://espanol.epa.gov/espanol/terminos-c#:~:text=Coeficiente%20de%20peligro%20(Hazard%20Quotient,adversos%20a%20la%20salud%20humana).
- Ahmadi, S. M., Farhoosh, R., Sharif, A., & Rezaie, M. (2020). Structure-Antioxidant Activity Relationships of Luteolin and Catechin. *Journal of Food Science*, 85 (2), 298-305. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14994>
- Antonio, A.S., Wiedemann, L.S.M., & Veiga Junior, V.F. (2018). The genus *Capsicum*: a phytochemical review of bioactive secondary metabolites. *RSC Advances*, 45(8), 25767-25784. <https://doi.org/10.1039/C8RA02067A>
- Chel-Guerrero, L.D., Castañeda-Corral, G., López-Castillo, M., Scampicchio, M., Morozova, K., Oney-Montalvo, J.E., Ferrentino, G., Acevedo-Fernández, J.J., & Rodríguez-Buenfil, I.M. (2022). In Vivo Anti-Inflammatory Effect, Antioxidant Activity, and Polyphenolic Content of Extracts from *Capsicum chinense* By-Products. *Molecules*, 27(4), 1323. <https://doi.org/10.3390/molecules27041323>
- Chen, C., Qian, Y., Chen, Q., Tao, C., Li, C., & Li, Y. (2011). Evaluation of pesticide residues in fruits and vegetables from Xiamen, China. *Food Control*, 22(7), 1114-1120. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.01.007>
- Chen, Y.H., Wen, X.W., Wang, B., & Nie, P.Y. (2017). Agricultural pollution and regulation: How to subsidize agriculture?. *Journal of Cleaner Production*, 164, 258-264. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.216>
- Cho, S.-Y., Kim, H.-W., Lee, M.-K., Kim, H.-J., Kim, J.-B., Choe, J.-S., Lee, Y.-M., & Jang, H.-H. (2020). Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities in Relation to the Flavonoids Composition of Pepper (*Capsicum annuum* L.). *Antioxidants*, 9(10), 986. <https://doi.org/10.3390/antiox9100986>
- Fantke, P., Gillespie, B.W., Juraske, R., & Jolliet, O. (2014). Estimating Half-Lives for Pesticide Dissipation from Plants. *Environmental Science & Technology*, 48(15), 8588-8602. <https://doi.org/10.1021/es500434p>
- Fernandes, I. A., Maciel, G.M., Gonçalves, B.D., Pedro, A.C., Vieira, R.F.T., de Carvalho, K.Q., & Haminiuk. (2023). The bitter side of teas: Pesticide residues and their impact on human health. *Food and Chemical Toxicology*, 179, 113955. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2023.113955>
- Gad Alla, S.A., Loutfy, N.M., Shendy, A.H., & Ahmed, M.T. (2015). Hazard index, a tool for a long term risk assessment of pesticide residues in some commodities, a pilot study. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 73(3), 985-991. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2015.09.016>
- Ginni, G., Kavitha, S., Yukesh Kannah, R., Bhatia, S.K., Adish Kumar, S., Rajkumar, M., Kumar, G., Pugazhendhi, A., Lan Chi, N.T., & Banu, J.R. (2021). Valorization of agricultural residues: Different biorefinery routes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105435. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105435>
- Goumenou, M., & Tsatsakis, A. (2019). Proposing new approaches for the risk characterisation of

- single chemicals and chemical mixtures: The source related Hazard Quotient (HQ<sub>S</sub>) and Hazard Index (HI<sub>S</sub>) and the adversity specific Hazard Index (HI<sub>A</sub>). *Toxicology Reports*, 6, 632-636. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2019.06.010>
- Hayasaka, N., Shimizu, N., Komoda, T., Mohri, S., Tsushida, T., Eitsuka, T., Miyazawa, T., & Nakagawa, N. (2018). Absorption and Metabolism of Luteolin in Rats and Humans in Relation to *in Vitro* Anti-inflammatory Effects. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(43), 11320-11329. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b03273>
- Herrera-Pool, E., Ramos-Díaz, A.L., Lizardi-Jiménez, M.A., Pech-Cohuo, S., Ayora-Talavera, T., Cuevas-Bernardino, J.C., García-Cruz, U., & Pacheco, N. (2021). Effect of solvent polarity on the Ultrasound Assisted extraction and antioxidant activity of phenolic compounds from habanero pepper leaves (*Capsicum chinense*) and its identification by UPLC-PDA-ESI-MS/MS. *Ultrasonics Sonochemistry*, 76, 105658. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105658>
- Jiménez-Ortega, L. A., Bastidas-Bastidas, P. J., Valdez-Baro, O., Báez-Sañudo, M.A., & Heredia, J. B. (2023). Residuos de plaguicidas en biomasa agrícola de Chile (*Capsicum annuum* L.) usando un método QuEChERS acoplado a LC-MS/MS y GC-MS/MS. *E-CUCBA*, 20(10), 92-102. <https://doi.org/10.32870/ecucba.vi20.301>
- Lee, J., & Mitchell, A. E. (2012). Pharmacokinetics of Quercetin Absorption from Apples and Onions in Healthy Humans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(15), 3874-3881. <https://doi.org/10.1021/jf3001857>
- Li, N., Li, J., Ding, D., Xie, J., Zhang, J., Li, W., Ma, Y., Gao, F., Niu, T., Wang, C., & Bakpa, E.P. (2021). Optimum Parameters for Extracting Three Kinds of Carotenoids from Pepper Leaves by Response Surface Methodology. *Separations*, 8(9), 134. <https://doi.org/10.3390/separations8090134>
- McCarty, J.L., Korontzi, S., Justice, C.O., & Loboda, T. (2009). The spatial and temporal distribution of crop residue burning in the contiguous United States. *Science of The Total Environment*, 407(21), 5701-5712. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.07.009>
- Nguyen, T. T., Rosello, C., Bélanger, R., & Ratti, C. (2020). Fate of Residual Pesticides in Fruit and Vegetable Waste (FVW) Processing. *Foods*, 9(10), 1468. <https://doi.org/10.3390/foods9101468>
- Oleszek, M., Kowalska, I., Bertuzzi, T., & Oleszek, W. (2023). Phytochemicals Derived from Agricultural Residues and Their Valuable Properties and Applications. *Molecules*, 28(1), 342. <https://doi.org/10.3390/molecules28010342>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] y Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2023, diciembre de 2022). *Codex Pesticides Residues in Food Online Database*. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/dbs/pestres/en/>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER]. (2023, 28 de febrero de 2023). *Amplía Agricultura campaña Mi Parcela No Se Quema a 28 estados del país*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/amplia-agricultura-campana-mi-parcela-no-se-quema-a-28-estados-del-pais?idiom=es#:~:text=Datos%20de%20la%20Comisi%C3%B3n%20Nacional.fue%20de%2040%20por%20ciento>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2023, 08 de junio de 2023). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Gobierno de México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Socas-Rodríguez, B., Álvarez-Rivera, G., Valdés, A., Ibáñez, E., & Cifuentes, A. (2021). Food by-products and food wastes: are they safe enough for their valorization?. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 133-147. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.002>
- Stoner, K.A., & Eitzer, B.D. (2013). Using a Hazard Quotient to Evaluate Pesticide Residues Detected in Pollen Trapped from Honey Bees (*Apis mellifera*) in Connecticut. *PLOS ONE*, 11(7): e0159696. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077550>
- Taghizadeh, S.F., Goumenou, M., Rezaee, R., Alegakis, T., Kokaraki, V., Anesti, O., Sarigiannis, D.A., Tsatsakis, A., & Karimi, G. (2019). Cumulative risk assessment of pesticide residues in different Iranian pistachio cultivars: Applying the source specific HQ<sub>S</sub> and adversity specific HI<sub>A</sub> approaches in Real Life Risk Simulations (RLRS). *Toxicology Letters*, 313, 91-100. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2019.05.019>
- Teigiserova, D.A., Hamelin, L., & Thomsen, M. (2020). Towards transparent valorization of food surplus, waste and loss: Clarifying definitions, food waste hierarchy, and role in the circular economy. *Science of The Total Environment*, 706, 136033. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136033>
- Ullah, A., Khan, D., Khan, I., & Zheng, S. (2018). Does agricultural ecosystem cause environmental pollution in Pakistan? Promise and menace. *Environmental Science and Pollution Research*,

- 25, 13938-13955. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1530-4>
- Wirsching, J., Pagel, H., Ditterich, F., Uksa, M., Werneburg, M., Zwiener, C., Berner, D., Kandeler, E., & Poll, C. (2020). Biodegradation of Pesticides at the Limit: Kinetics and Microbial Substrate Use at Low Concentrations. *Frontiers in Microbiology*, 11, <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.02107>
- Xu, D., Hu, M. J., Wang, Y. Q., & Cui, Y. L. (2019). Antioxidant Activities of Quercetin and Its Complexes for Medicinal Application. *Molecules*, 24(6), 1123. <https://doi.org/10.3390/molecules24061123>
- Yahia, E.M., García-Solís, P., & Maldonado-Celis, M.E. (2019). Chapter 2 - Contribution of Fruits and Vegetables to Human Nutrition and Health. In Yahia, E.M. (Ed.), *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables* (pp. 19-45). Woodhead Publishing, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00002-6>
- Zhang, H., Hu, J., Qi, Y., Li, C., Chen, J., Wang, X., He, J., Wang, S., Hao, J., Zhang, L., Zhang, L., Zhang, Y., Li, R., Wang, S., & Chai, F. (2017). Emission characterization, environmental impact, and control measure of PM2.5 emitted from agricultural crop residue burning in China. *Journal of Cleaner Production*, 149, 629-635. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.092>