



Water as contamination source of *Salmonella* and *Escherichia coli* in vegetable production in Mexico: A review

El agua como fuente de contaminación de *Salmonella* y *Escherichia coli* en la producción de hortalizas en México: Una revisión

González-Mendoza, D.*, Torrentera-Olivera, N.G., Ceceña Duran, C., Grimaldo-Juarez, O.

Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas (ICA-UABC), Carretera a Delta s/n C.P. 21705, Ejido Nuevo León, Baja California, México.

ABSTRACT

Mexico has an extensive infrastructure that has positioned it as a power vegetable producer exporter. However, the use of wastewater represents a potential risk to agriculture, economy and human health, since they are used without due precautions as applied in crop irrigation. In this sense, potential methods for diagnosis have been developed, such as microbiological and molecular methods, which are used for the rapid detection of *Samonella* and *E. coli* in minimally processed vegetables. Further studies are needed to determine a threshold dose of pathogens in the water and to correlate the risk that tends to cause pollution of a crop and the specified edible parts of the vegetables marketed in the interior and outside of Mexico.

KEY WORDS

Microorganisms, vegetables, human health.

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: January 15th 2014.

Accepted/Aceptado: April 08th 2014.

RESUMEN

México cuenta con una amplia infraestructura que lo ha posicionado como una potencia productora y exportadora de hortalizas. No obstante, el uso de aguas residuales representa un riesgo potencial para la agricultura, economía y salud humana, ya que son empleadas sin tomar las debidas precauciones en su aplicación en el riego de hortalizas. En este sentido se han desarrollado métodos potenciales de diagnóstico, como métodos microbiológicos y moleculares, que son usados para la rápida detección de *Salmonella* y *Escherichia coli* en hortalizas mínimamente procesadas. Futuros estudios son necesarios para la determinación de un umbral de concentración de patógenos en el agua, para poder correlacionarlo con el riesgo de contaminación de las partes comestibles de las hortalizas que se comercializan en el interior y exterior de México.

PALABRAS CLAVE

Microorganismos, hortalizas, salud humana.

*Corresponding Author:

González-Mendoza, D. Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California (ICA-UABC), Carretera a Delta s/n C.P. 21705, Ejido Nuevo León, Baja California, México. E-mail.: daniasaf@gmail.com

Introduction

The distribution of pluvial precipitation in the Mexican territory is irregular since in 42 % of it, specifically in the north zone, annual pluvial precipitation is less than 500 mm, and in some cases, such as in the zones near the River Colorado, there are precipitations of less than 50 mm. Nevertheless, even when there is not a high amount of hydraulic resource in the North and Northeast zones of the country (which have less than the third part of water), these are the ones where cities of great agricultural and industrial activities are found (Tortajada, 1998). In this sense, before the growing fresh water scarcity in the Northeast and North states of the country, which are characterized for their arid and semiarid climates, inferior quality water use has been employed for the agricultural sector and complementary activities. It represents a potential risk for agriculture and human, due to the fact the use of contaminated water causes 80 % of gastrointestinal diseases and death in developing countries (Donovan *et al.*, 2008).

Employment of water in the production of vegetables

Fresh fruit and vegetable consumption is widely recognized as one of the main factors that might contribute to the presence of microorganisms that cause diseases in human beings (Scallan *et al.*, 2011). Among the factors that might contribute to contamination in fruits and vegetables we can mention: **a)** the use of organic amendments to improve the physical-chemical characteristics of the soil; **b)** fauna present around the site of production; **c)** water used for the irrigation or washing of products (Pachepsky *et al.*, 2011). In this sense, from the above mentioned factors, water is considered as an important source of contamination in the field and in the post-harvest process of fruit and vegetable products, due to the presence of pathogenic microorganisms that affect the microbial quality of the water used in the irrigation of vegetables (Scheierling *et al.*, 2011).

The understanding of the transportation mechanisms of pathogenic microorganisms through irrigation water and the transference of fresh products during the production is of particular importance. Water quality standards have been established based mainly in indicating microorganisms such as the identification of total coliforms, *Escherichia coli*, *streptococcus* and *enterococcus*, which are indicators of recent fecal contamination (Bougeard *et al.*, 2011).

Introducción

La distribución de las precipitaciones pluviales en el territorio mexicano es irregular ya que en 42 % del territorio, principalmente en la zona norte, la precipitación pluvial media anual es menor a 500 mm, y en algunos casos como en las zonas próximas al río Colorado, se tienen precipitaciones menores a 50 mm. No obstante, aún cuando no existe una alta cantidad del recurso hídrico en las zonas Norte y Noroeste del país (cuentan con menos de la tercera parte de agua) son estas donde se encuentran las ciudades con una gran actividad agrícola e industrial (Tortajada, 1998). En este sentido, ante la creciente escasez de agua dulce en los estados del Noroeste y Norte del país que se caracterizan por un clima árido y semiárido, ha ocasionado el empleo de agua de calidad inferior para el sector agrícola y actividades complementarias. Lo cual, representa un riesgo potencial para la agricultura y salud humana. Debido a que el uso de agua contaminada es causante del 80 % de enfermedades gastrointestinales y muerte en países en vías de desarrollo (Donovan *et al.*, 2008).

Empleo del agua en la producción de hortalizas

El consumo de frutas y vegetales frescos es ampliamente reconocido como uno de los principales factores que pueden contribuir a la presencia de microorganismos causantes de enfermedades en humanos (Scallan *et al.*, 2011). Entre los factores que pueden contribuir a la contaminación de los productos hortofrutícolas se pueden mencionar: **a)** el uso de enmiendas orgánicas para mejorar las características fisicoquímicas del suelo; **b)** fauna presente alrededor del sitio de producción; **c)** el agua empleada para el riego o lavado de los productos (Pachepsky *et al.*, 2011). En este sentido, de los factores antes mencionados, el agua es considerada como una importante fuente de contaminación en el campo y en el proceso de poscosecha de los productos hortofrutícolas, debido a la presencia de microorganismos patógenos que afectan la calidad microbiana del agua usada en el riego de las hortalizas (Scheierling *et al.*, 2011).

La comprensión de los mecanismos de transporte de los microorganismos patógenos, a través del agua de riego y la transferencia a los productos frescos durante la producción es de particular importancia. Para esto se han establecido estándares de calidad del agua basándose principalmente en microorganismos indicadores como la identificación de coliformes totales, *Escherichia coli*, estreptococos y enterococos que son indicadores de contaminación fecal reciente (Bougeard *et al.*, 2011).

Some studies have suggested that through irrigation water, microorganisms such as enteric *Salmonella* and *E. coli* can reach the radicular system, where they can be transported to the edible parts of the plants (Solomon et al., 2002; Bernstein et al., 2007). The latter is a limitation to achieve efficient washing, disinfecting, fresh packaging and processing of the products for consumption.

On the other hand, it is difficult to establish the point and non-point sources of water pollution, since it can be since it can be due to the presence of manure, stormwater runoffs and wild fauna, which can cause outbreaks of human diseases (Droppo et al., 2009; Gorski et al., 2011). Therefore, the previous treatment and analysis of the irrigation water as a habitual practice might contribute to identifying and controlling the presence of pathogenic microorganisms in vegetables (Erickson et al., 2012).

Main microorganisms of sanitary importance in irrigation water

Currently, it is accepted that the consumption of fruits and vegetables is a risk factor to contract infections caused by microorganisms such as *Salmonella* and *Escherichia coli* (Heaton and Jones, 2007). *Salmonella* is considered an enteric pathogen with distribution all over the world, and it possesses a high number of serovars characterized by their distribution and specificity with the host.

In contrast, *E. coli* is considered an enteric pathogenic bacteria of great importance just as the *Salmonella*, it is an enteric disease transmitter in the human being, where the serovar *E. coli* O157:H7 is considered the main source of hemorrhagic diarrheas and hemolytic uremic syndrome, affecting humans of different age ranges (Kaper et al., 2004). Wastewater discharges and rain are the main causes of transmission of this enteric microorganisms to vegetables (Erickson et al., 2012).

***Salmonella* and *Escherichia coli* in the production of vegetable in Mexico**

In different parts of Mexico, the production of vegetables for fresh consumption is irrigated with non-treated or residual water. This implies that microorganisms such as *Salmonella* and *Escherichia coli* can be present in a wide spectrum of fresh products such as tomato, serrano chili, melon, lettuce and mangoes, just to mention some (Sivapalasingam et al., 2003; Berger et al., 2010). Recent studies show the presence of this pathogens in diverse

Algunos estudios han sugerido que a través del a través del agua de riego, microorganismos como *Salmonella* entérica y *E. coli* pueden llegar al sistema radicular en donde pueden ser transportados a las partes comestibles de las plantas (Solomon et al., 2002; Bernstein et al., 2007). Lo anterior es una limitante para lograr procesos eficientes de lavado, desinfección, envasado y procesamiento en fresco de los productos para su consumo.

Por otra parte, es difícil establecer las fuentes puntuales y no puntuales de contaminación del agua, ya que ésta se puede deber a la presencia de estiércol, escorrentías de agua y fauna silvestre, lo que puede ocasionar brotes de enfermedades en humanos (Droppo et al., 2009; Gorski et al., 2011). Por lo que el tratamiento y análisis previo del agua de riego como una práctica habitual podrían contribuir a identificar y control de la presencia de microorganismos patógenos en las hortalizas (Erickson et al., 2012).

Principales microorganismos de importancia sanitaria en el agua de riego

Actualmente, es aceptado que el consumo de frutas y hortalizas es un factor de riesgo para contraer infecciones causadas por microorganismos como *Salmonella* y *Escherichia coli* (Heaton y Jones, 2007). La *Salmonella* es considerada un patógeno entérico con distribución en todo el mundo y que tiene un amplio número de serovares caracterizados por su distribución y especificidad con el hospedero.

Por otro lado, *E. coli* es considerada como una bacteria entérica patógena de gran importancia que, al igual que *Salmonella*, es causante de enfermedades entéricas en el ser humano. En donde el serovar *E. coli* O157:H7 es considerado como el principal causante de diarreas hemorrágicas y síndrome hemolítico afectando a humanos de diferentes edades (Kaper et al., 2004). Siendo las descargas de aguas residuales y lluvia, las principales causas de transmisión de estos microorganismos entéricos a las hortalizas (Erickson et al., 2012).

***Salmonella* y *Escherichia coli* en la producción de hortalizas en México**

En diversas partes de México, la producción de hortalizas para su consumo en fresco es irrigada con agua no tratada o residual. Lo anterior implica que microorganismos como *Salmonella* y *Escherichia coli* pueden presentarse en un amplio espectro de productos frescos como tomate, chiles serranos, melón, lechugas y mango, por citar algunos (Sivapalasingam et al., 2003; Berger et al.,

companies that export fruits and vegetables (eg., cantaloupe melon and chili), in Sonora, Sinaloa and Colima (Mexico), being irrigation water the main source of contamination (Castillo *et al.*, 2004; Gallegos-Robles *et al.*, 2008). This indicates the high sanitary risk that the use of irrigation water represents in the different states of the country that export fresh products to the United States of America. On the other hand, studies made by Morales-Hernández *et al.*, (2009) to different units of production of Cantaloupe melon (*Cucumis melo* L.) in the State of Guerrero, Mexico, found the presence of *Salmonella* in fruits irrigated with filtered but not chloride river water and handled by workers with few hygiene measures. Similar results were found by Rosas *et al.*, (1984) and García- Gómez *et al.*, (2002), who independently report the bacteriological risk due to the presence of total and fecal coliforms, feces and *Salmonella typhi* in water used for vegetable irrigation such as lettuce, spinach and coriander grown in the Xochimilco zone, Mexico.

In recent studies made by Castro-Rosas *et al.*, (2012), in salads prepared with vegetables produced in the Valle del Mezquital (Hidalgo), they found the presence of paratypes of *E. coli*. of sanitary importance. Similar results were obtained by Lugo-Jiménez *et al.*, (2010) in the growth of chili habanero in two production systems (soil and hydroponic), where the presence of total and fecal coliforms in both production systems was the result of the inadequate application of the Good Agricultural Practices (GAP).

Rapid identification of *Salmonella* and *Escherichia coli* in vegetable products in Mexico

The presence of microorganisms in irrigation water increases the possibility of these to penetrate the interior of the edible parts of vegetables, representing an important risk since they can be found in the superior tissues of plants (Erickson *et al.*, 2012). This has motivated the necessity of having microbiological, biochemical, molecular, electrochemical and biophysical methods that would allow identification of the pathogens in short time and with great certainty during the production and packaging processes (Mandal *et al.*, 2011). In this sense, in recent years, a wide range of potential diagnostic methods that could favor the rapid detection of *Salmonella* and *E. coli* in a number of aliments have been developed.

2010). Estudios recientes muestran la presencia de estos patógenos en diversas empresas exportadoras de frutas y hortalizas (eg., melón cantaloupe y chile), en Sonora, Sinaloa y Colima (México), siendo el agua de riego la principal fuente de contaminación (Castillo *et al.*, 2004; Gallegos-Robles *et al.*, 2008). Esto indica el alto riesgo sanitario que representa el uso de agua de riego en los diferentes estados del país que exportan los productos en fresco a los Estados Unidos de Norteamérica. Por otra parte, estudios realizados por Morales-Hernández *et al.*, (2009) a diferentes unidades de producción de melón *Cantaloupe* (*Cucumis melo* L.), en el estado de Guerrero, México, encontraron la presencia de *Salmonella* en frutos irrigados con agua de río filtrada pero no clorada y manejados por trabajadores con poca higiene. Similares, resultados fueron obtenidos por Rosas *et al.*, (1984) y García- Gómez *et al.*, (2002), que de manera independiente reportan el riesgo bacteriológico por la presencia de coliformes totales, fecales y *Salmonella typhi*, en el agua empleada en el riego de hortalizas como lechuga, espinaca y cilantro cultivados en la zona de Xochimilco, México.

En estudios recientes realizados por Castro-Rosas *et al.*, (2012), en ensaladas elaboradas con vegetales producidos en el valle del Mezquital (Hidalgo), encontraron la presencia de paratipos de *E. coli*. de importancia sanitaria. Similares resultados fueron obtenidos por Lugo-Jiménez *et al.*, (2010) en el cultivo de chili habanero en dos sistemas de producción (suelo e hidropónico), en donde la presencia de coliformes totales y fecales en los dos sistemas de producción fue resultado de la inadecuada aplicación de las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA).

Identificación rápida de *Salmonella* y *Escherichia coli* en productos hortofrutícolas en México

La presencia de microorganismos en el agua de riego incrementa la posibilidad de que estos penetren al interior de las partes comestibles de las hortalizas, representando un riesgo importante ya que puede encontrarse en los tejidos superiores de las plantas (Erickson *et al.*, 2012). Esto ha motivado la necesidad de tener métodos microbiológicos, bioquímicos, moleculares, electroquímicos y biofísicos que permitan la identificación de los patógenos en corto tiempo y con gran certeza durante el proceso de producción y almacenamiento (Mandal *et al.*, 2011). En este sentido, en años recientes, se han desarrollado una amplia gama de métodos potenciales de diagnóstico que podrían favorecer la rápida detección de *Salmonella* y *E. coli* en una diversidad de alimentos. Estos métodos involucran aspectos innovadores como el uso de la técnica de infrarrojo termal, el cual se basa en el uso de imágenes térmicas para

These methods involve innovative aspects such as the use of the thermal infrared technique, which is based in the use of thermal images for the identification of microorganisms (Vadavambal *et al.*, 2011). This technique allows the identification of *E.coli* colonies in contaminated surfaces in less time than identification techniques in selective culture media and biochemical tests (Hahn *et al.*, 2006). Nevertheless, its application to vegetables and other types of food is in experimental phase (Hernández-Eugenio *et al.*, 2007).

The use of techniques based in vibrational spectroscopy, as the Fourier-transform infrared spectroscopy (FT-IR), has proven to be a rapid tool, non-destructive and that allows rapid identification of bacteria (Gupta *et al.*, 2005). However, in Mexico, the application of this technique in the determination of pathogenic bacteria in food is not widely known. Even though, it has been successfully applied for the identification of the parasite *Trichinella spiralis* in pork, contributing to a quick diagnosis of contamination in the meat of animals (Gomez de Anda *et al.*, 2012).

In contrast to the previous techniques, conventional techniques in combination with molecular and immunological tests are the ones widely distributed in the analysis of food and water in Mexico (Morales-Hernández *et al.*, 2009). This is due to the fact that the combination of both techniques allows to have higher specificity in less time in most of the cases, compared with the traditional techniques (Mandal *et al.*, 2011). Hence, the use of the combination of molecular and microbiological techniques has the potential to save time and effort in the laboratory. Finally, there is a wide infrastructure in Mexico, mainly in the Northeast and center zones (Bajío), that has positioned the country as a producing and exporting world power of vegetables (Macias, 2010).

Conclusions

Further investigations are required in order to confirm the existence of the correlation between indicator microorganisms of fecal contamination and the presence of pathogenic bacteria in the water used in agricultural fields. Investigations need to be made in the validation of the molecular tools for the determination of a threshold of pathogen doses in the water and its presence in the edible parts of vegetables that are commercialized in Mexico.

la identificación de microorganismos (Vadavambal *et al.*, 2011). Esta técnica permite la identificación de colonias de *E.coli* en superficies contaminadas en menor tiempo que las técnicas de identificación en medios de cultivo selectivo y pruebas bioquímicas (Hahn *et al.*, 2006). No obstante, su aplicación a hortalizas y otros tipos de alimentos está en fase experimental (Hernández-Eugenio *et al.*, 2007).

El uso de técnicas basadas en espectroscopia vibracional, como la espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FT-IR) ha demostrado ser una herramienta rápida, no destructiva y que permite la rápida identificación de bacterias (Gupta *et al.*, 2005). Sin embargo, en México, la aplicación de esta técnica en la determinación de bacterias patógenas en alimentos no es muy difundida. No obstante, se ha aplicado con éxito para la identificación del parásito *Trichinella spiralis* en carne de cerdos, contribuyendo a un diagnóstico rápido de la contaminación en la carne de los animales (Gomez de Anda *et al.*, 2012).

En contraste a las técnicas antes mencionadas, las técnicas convencionales en combinación con las pruebas moleculares e inmunológicas son las que se encuentran más ampliamente difundidas en el análisis de los alimentos y agua en México (Morales-Hernández *et al.*, 2009). Esto debido a que la combinación de ambas técnicas permite obtener mayor especificidad en menor tiempo en la mayoría de los casos, en comparación con las metodologías tradicionales (Mandal *et al.*, 2011). De tal forma que el uso de la combinación de técnicas moleculares y microbiológicas tiene el potencial de ahorrar tiempo y esfuerzo en el laboratorio. Finalmente, en México se cuenta con una amplia infraestructura principalmente en la zona Noroeste y del centro (zona del Bajío) que ha posicionado al país como una potencia productora y exportadora de hortalizas (Macias, 2010).

Conclusiones

Se requieren investigaciones que confirmen la existencia de una correlación entre los microorganismos indicadores de contaminación fecal y la presencia de bacterias patógenas en el agua utilizada en campos agrícolas. Se deben realizar investigaciones en la validación de las herramientas moleculares para la determinación de un umbral de dosis de patógenos en el agua y su presencia en las partes comestibles de las hortalizas que se comercializan en México.

References

- Berger, C.N., Sodha, S.V., Shaw, R.K., Griffin, P.M., Pink, D., Hand, P., *et al.* 2010. Fresh fruit and vegetables as vehicles for the transmission of human pathogens. *Environmental Microbiology* 12: 2385-2397. http://www.ic.ucsc.edu/~saltikov/bio119l/readings/Berger_EM_Review_Food_Micro.pdf
- Bernstein, N., Sela, S. and Neder-Lavon, S. 2007. Effect of irrigation regimes on persistence of *Salmonella enterica* serovar newport in small experimental pots designed for plant cultivation. *Irrigation Science* 26: 1–8. <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00271-006-0059-3#page-1>
- Bougeard, M., LE Saux, J.C., Pérenne, N., Baffaut, C., Robin, M. and Pommepuy, M. 2011. Modeling of *Escherichia coli* fluxes on a catchment and the impact on coastal water and shellfish quality. *Journal of the American Water Resources* 47: 350-366. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1752-1688.2010.00520.x/abstract>
- Castillo, A., Mercado, I., Lucía, L.M., Martínez-Ruiz, Y., Ponce de León, J. and Murano, E.A., 2004. *Salmonella* contamination during production of cantaloupe: a binational study. *Journal of Food Protection* 97: 713–720. <http://www.ingentaconnect.com/content/iafp/jfp/2004/00000067/00000004/art00013>
- Castro-Rosas, J., Cerna-Cortés, J.F., Méndez-Reyes, E., Lopez-Hernandez, D., Gómez-Aldapa, C.A. and Estrada-García, T. 2012. Presence of faecal coliforms, *Escherichia coli* and diarrheagenic *E. coli* pathotypes in ready-to-eat salads, from an area where crops are irrigated with untreated sewage water. *International Journal of Food Microbiology* 156(2): 176-180. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168160512001572>
- Donovan, E., Unice, K., Roberts, D.J., Harris, M. and Finley, B. 2008. Risk of Gastrointestinal Disease Associated with Exposure to Pathogens in the Water of the Lower Passaic River. *Applied and Environmental Microbiology* 74: 994-1003. <http://aem.asm.org/content/74/4/994.full.pdf+html>
- Droppo, I.G., Liss, S.N., Williams, D., Nelson, T. and Jaskot, C. Trapp B. 2009. Dynamic existence of waterborne pathogens within river sediment compartments. Implications for water quality regulatory affairs. *Environmental Science & Technology* 43: 1737–1743. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es802321w>
- Erickson, M.C. 2012. Internalization of fresh produce by foodborne pathogens. *Annual review of food science and technology* 3: 283–310. <http://www.annualreviews.org/doi/full/10.1146/annurev-food-022811-101211>
- Gallegos-Robles, M.A., Morales-Loredo, A., Alvarez-Ojeda, G., Vega, P.A., Chew, M.Y., Velarde, S., *et al.* 2008. Identification of *Salmonella* serotypes isolated from cantaloupe and chile pepper production systems in Mexico by PCRrestriction fragment length polymorphism. *Journal of Food Protection* 71: 2217-22. <http://www.ingentaconnect.com/content/iafp/jfp/2008/00000071/00000011/art00008?token=00481660036bff7e442f2067213e7646706a4956452d3f7b687627502b333e3568263c2b>
- García-Gómez, R., Chávez-Espinosa, J., Mejía-Chávez, A. and Durán De-Bazúa, C. 2002. Microbiological determinations of some vegetables from the Xochimilco zone in Mexico City, Mexico. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 44: 24-30. <http://www.medigraphic.com/pdfs/lamicro/mi-2002/mi021e.pdf>
- Gómez-de-Anda, F., Dorantes-Álvarez, L., Gallardo-Velázquez, T., Osorio-Revilla, G., Calderón-Domínguez, G., Martínez Labat, P., *et al.* 2012. Determination of *Trichinella spiralis* in pig muscles using Mid-Fourier Transform Infrared Spectroscopy (MID-FTIR) with Attenuated Total Reflectance (ATR) and Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA). *Meat Science* 91:240-246. http://ac.els-cdn.com/S0309174012000307/1-s2.0-S0309174012000307-main.pdf?_tid=8c8893a8-e466-11e4-83c5-00000aab0f6b&acdnat=1429209162_d654e2223da59b87eb93c4a879f6768a
- Gorski, L., Parker, C.T., Liang, A., Cooley, M.B. Jay-Russell, M.T., Gordus ,A.G., *et al.* 2011. Prevalence, distribution and diversity of *Salmonella enterica* in a major produce region of California. *Applied Environmental Microbiology* 77: 2734-3748. <http://aem.asm.org/content/77/8/2734.full.pdf+html>
- Gupta, M.J., Irudayaraj, J.M., Debroy, C., Schmilovitch, Z. and Mizrach, A. 2005. Differentiation of food pathogens using FTIR and artificial neural networks. *Trans. ASABE* 48: 1889-1892. [http://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=19978&t=2&redir=aid=19978&redir=\[volume=48&issue=5&conf=t&orgconf=t2005\]&redirType=to_c_journals.asp&redirType=to_c_journals.asp](http://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=19978&t=2&redir=aid=19978&redir=[volume=48&issue=5&conf=t&orgconf=t2005]&redirType=to_c_journals.asp&redirType=to_c_journals.asp)
- Hahn, F., Hernández, G., Echeverría, E. and Romanchick, E. 2006. *Escherichia coli* detection using thermal images. *Canadian Biosystems Engineering* 48: 7-4.13. <http://www.engr.usask.ca/societies/csae/protectedpapers/c0439a.pdf>

- Heaton, J.C. and Jones, K. 2008. Microbial contamination of fruit and vegetables and the behaviour of enteropathogens in the phyllosphere a review. *Journal of Applied Microbiology* 104: 613-626. <file:///C:/Users/User/Downloads/j.1365-2672.2007.03587.x.pdf>
- Hernández-Eugenio, G., Echeverría-Landín, E., and Hahn-Schlam, F. 2007. Detección del crecimiento de *Escherichia coli* con termografía infrarroja. *Agrociencia* 41: 503-511. <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2007/jul-ago/art-2.pdf>
- Kaper, J.B., Nataro, J.P. and Mobley, H.L. 2004. Pathogenic *Escherichia coli*. *Nature Reviews* 2: 123-140. <http://www.nature.com/nrmicro/journal/v2/n2/full/nrmicro818.html>
- Lugo-Jiménez, N., Carballo-Bautista, M., Sauri-Duch, E., Centurión-Yah, A. and Tamayo-Canul, E. 2010. Efecto del sistema de cultivo sobre la calidad microbiológica del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) después de su cosecha. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 11: 171-179. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81315809009>
- Macías, A. 2010. Competitividad de México en el mercado de frutas y hortalizas de Estados Unidos de América, 1989-2009. *Agroalimentaria* 16: 31-48. 85 <http://www.scielo.org/ve/pdf/a/v16n31/art03.pdf>
- Mandal, P.K., Biswas, A.K., Choi, K. and Pal, U.K. 2011. Methods for Rapid Detection of Foodborne Pathogens: An Overview. *American Journal of Food Technology* 6: 87-102. <http://docsdrive.com/pdfs/academicjournals/ajft/2011/87-102.pdf>
- Morales-Hernández, L., Hernández-Anguiano, A.M., Cháidez-Quiroz, C., Rendón-Sánchez, G. and Suslow, T. 2009. Detección de *Salmonella* spp. en melón *Cantaloupe* en unidades de producción y unidad de empaque. *Agricultura Técnica en México* 35: 135-145. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v35n2/v35n2a1.pdf>
- Pachepsky, Y., Shelton, D.R., Mclain, J., Patel, J. and Mandrell, R.E. 2011. Chapter Two –irrigation water as a source of pathogenic microorganism in produce: a review. *Advances in Agronomy* 113: 75-141.
- Reinoso, R., Torres ,L.A. and Bécares, E. 2008. Efficiency of natural systems for removal of bacteria and pathogenic parasites from wastewater. *Science of the Total Environment*; 395:80-86. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969708002258>
- Rosas, I., Báez, A. and Coutiño, M. 1984. Bacteriological quality of crops irrigated with wastewater in the Xochimilco plots, Mexico City, Mexico. *Applied and Environmental Microbiology* 47: 1074-1079. <http://aem.asm.org/content/47/5/1074.short>
- Scallan, E., Hoekstra, R.M., Angulo, F.J., Tauxe, R.V., Widdowson, M.A., Roy, S.L., et al. 2011. Foodborne illness acquired in the United States--major pathogens. *Emerging Infectious Diseases* 17: 7-15. <http://t.perishablepundit.com/docs/foodborneillness.pdf>
- Scheierling, S.M., Bartone, C.R., Mara, D.D. and Drechsel, P. 2011. Towards an agenda for improving wastewater use in agriculture. *Water International* 36: 420-440. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02508060.2011.594527#.VTAUg9yG-Wk>
- Sivapalasingam, S., Barrett, E., Kimura, A., Van Duyne, S., De Witt, W., Ying, M., et al. 2003. A multistate outbreak of *Salmonella* enteric serotype Newport infection linked to mango consumption: impact of water-dip disinfestations technology. *Clinical Infectious Diseases* 37: 1585-1590. <http://cid.oxfordjournals.org/content/37/12/1585.full.pdf+html>
- Solomon, E.B., Potenski, C.J. and Matthews, K.R. 2002. Effect of irrigation method on transmission to and persistence of *Escherichia coli* O157:H7 on lettuce. *Journal of Food Protection* 65: 673-676. <http://www.ingentaconnect.com/content/iafp/jfp/2002/00000065/00000004/art00014>
- Tortajada, C. 1998. Water supply and wastewater management in Mexico: an analysis of the environmental policies. *Water Resource Development*; 14: 327-337. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07900629849240#.VTAW-NyG-Wk>
- Vadavambal, R. and Digvir, J.S. 2011. Applications of thermal imaging in agricultura and food industry a review. *Food and Bioprocess Technology* 4: 186-19. <http://link.springer.com/article/10.1007/s11947-010-0333-5#page-1>

Cite this paper/Como citar este artículo: González-Mendoza, D., Torrentera-Olivera, N.G, Cefía Duran, C., Grimaldo-Juarez, O. (2015). Water as contamination source of *Salmonella* and *Escherichia coli* in vegetable production in Mexico: a review. *Revista Bio Ciencias*. 3(3): 156-162. <http://editorial.uan.edu.mx/BIOCIENCIAS/article/view/198>

